

CAMBIO CLIMÁTICO, ENERGÍA Y AMBIENTE

# OPORTUNIDADES PARA EL HIDRÓGENO VERDE EN COSTA RICA

Hacia una transformación de la matriz energética

**Carolina Álvarez Vergnani**

Octubre 2023



No hay una verdadera transición energética si no hay equilibrio en las tres dimensiones de la sostenibilidad para la transformación social y ecológica de la economía.



El hidrógeno verde representa una opción de transformación del modelo energético de Costa Rica, más allá de la descarbonización, integración económica y posibilidades de financiarización.



Por lo tanto, se analiza si este vector brinda una oportunidad para políticas y modelos económicos que trasciendan el *statu quo*, para generar un aumento de la resiliencia y un desarrollo sostenible.



# CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>¿COSTA RICA EN EL MERCADO DE HIDRÓGENO VERDE?</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>CONTEXTO DEL HIDRÓGENO VERDE (H2V)</b>	<b>4</b>
2.1	El caso costarricense y su normativa.....	5
2.2	Posibilidades de inversiones extranjera detectada.....	8
2.3	La realidad de las capacidades de producción.....	9
2.4	Posicionamiento de Costa Rica en el mapa mundial del H2V.....	11
2.5	Los retos por enfrentar.....	12
2.6	Las oportunidades para el país.....	16
<b>3.</b>	<b>POSIBILIDADES DE USO</b>	<b>18</b>
3.1	Usos domésticos: el mercado nacional.....	18
3.2	Usos para exportación: el mercado internacional.....	21
<b>4.</b>	<b>POTENCIALES RIESGOS PARA COSTA RICA</b>	<b>25</b>
4.1	A nivel ambiental.....	25
4.2	A nivel económico.....	25
4.3	A nivel social.....	26
<b>5.</b>	<b>GOBERNANZA</b>	<b>27</b>
<b>6.</b>	<b>HOJA DE RUTA</b>	<b>30</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>34</b>
	Referencias.....	35

## 1

## ¿COSTA RICA EN EL MERCADO DE HIDRÓGENO VERDE?

En un mundo más conectado y de relaciones comerciales altamente complejas, con un alto desequilibrio de poderes y de acceso a recursos y donde tomar riesgos pareciera dejar de ser una opción, la decisión de que Costa Rica se inserte al mercado del hidrógeno verde (H2V) o de sus derivados debe ser analizada a partir del conocimiento multiactor, de las herramientas y de las posibilidades con las que cuenta el país, así como del poder de negociación que este tenga para ocupar el rol específico deseado. Este análisis facilitará la claridad acerca de quién y qué se estaría ganando al promover un ecosistema en torno al H2V, cuál es el nivel de inversión requerida y riesgo para el país y cuáles son los verdaderos beneficios que podrían alcanzarse.

Es sabido que, desde muchas perspectivas, Costa Rica se comporta en las relaciones comerciales internacionales de la misma forma que lo hace el grueso histórico de Latinoamérica, colocándose en los extremos de las cadenas de valor, utilizando las exportaciones como motor de desarrollo –incluso– al punto de depender de ellas, desplazando la producción de bienes básicos y generando un alto nivel de impactos sociales y ambientales como parte del proceso productivo.

Esta situación, que suele estar acompañada de pocas ganancias o una mala distribución de estas, tiene asidero en una reglamentación flexible o ausente, así como en una sumisión –a distintos niveles– del aparato público a los intereses privados, lo cual permite la tendencia a la privatización de bienes públicos y servicios esenciales, que a su vez aumenta los niveles de vulnerabilidad de la población.

Esta realidad vivida por los países latinoamericanos durante el consenso de los *commodities* podría repetirse en lo que Brinigel y Svampa llaman el «consenso de la descarbonización» (Brinigel y Svampa 2023: 53). Sin embargo, en esta ocasión, se pasa de un Estado levemente regulador y en alianza con el capital transnacional a un Estado «ecocorporativo». Mismo que, supone planificar una transición energética con la promoción de fondos privados y la financiarización de la naturaleza, cuando en realidad se refiere más a una transición «corporativa», es decir a un cambio en la estrategia de mercado.

Con la intención de generar insumos para evitar este escenario, se presentan los resultados del intercambio de información y experiencia práctica, realizado mediante entrevistas y grupos focales con personas expertas en temas relacionados con el H2V de Costa Rica, así como conclusiones propias de la autora, que buscan ofrecer recursos para la discusión sobre la viabilidad de la promoción de un ecosistema de H2V para Costa Rica y el nivel de ambición del país de cara a este tema.

Para esto, se ha intentado transformar las distintas perspectivas del conocimiento técnico y científico actualizado en un documento para la discusión política, en el cual se presenta una perspectiva del contexto nacional del H2V, las posibilidades y oportunidades de su producción y uso y los potenciales riesgos y beneficios para Costa Rica, de cara a una transición energética, así como los vacíos de información y las inquietudes pendientes de resolver, que deben formar parte de una posible hoja de ruta.

## 2

## CONTEXTO DEL HIDRÓGENO VERDE (H2V)

Para iniciar es importante aclarar que el hidrógeno verde (H2V) se distingue de otros tipos de hidrógeno, pues se produce a partir de la electrólisis del agua utilizando fuentes renovables de energía, como la hídrica, eólica, geotérmica o solar. Por lo que, no produce dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como residuo.

El hidrógeno gris que hasta el momento es el más barato, es un producto de la reformación del gas natural y por tanto, emite altas concentraciones de CO<sub>2</sub> como residuo. El hidrógeno azul, que al igual que el gris se produce a partir de gas natural o carbón, suma al proceso una posterior captura de CO<sub>2</sub>. Este, muchas veces, se utiliza en la fabricación de otros

productos como los «biocombustibles», por lo que, si bien se podría decir que sus emisiones son aprovechadas, es un tipo de hidrógeno que produce gases de efecto invernadero (GEI), cuya captura también requiere energía.

Además de estos, existe también el hidrógeno rosa, que se obtiene mediante la electrólisis del agua, como se hace en la producción de H2V, pero bajo un proceso alimentado por energía nuclear. El hidrógeno turquesa, producto de la pirólisis del gas natural o metano, además de emitir CO<sub>2</sub> emite carbono y, por último, el hidrógeno marrón o negro se produce mediante la gasificación de lignito o carbón bituminoso, respectivamente.

Según datos publicados por la Agencia Internacional de Energía (AIE), cerca de la mitad de la producción actual de hidrógeno (indistintamente del color) se dedica a la industria de fertilizantes nitrogenados y alrededor del 44 por ciento a la refinación de petróleo. El pequeño porcentaje restante se utiliza en la industria siderúrgica, electrónica, alimenticia y de salud, para un total de 90 a 100 toneladas de hidrógeno anuales. (AIE 2022)

Según las proyecciones realizadas en el 2021 por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés), la producción de hidrógeno puede llegar a duplicarse para el 2050, llegando a representar el 12 por ciento del uso final de la energía. Sin embargo, esto no significa necesariamente que todo el hidrógeno que se vaya a producir sea verde, ya que la producción de hidrógeno azul y gris también estarían en aumento. (IRENA 2021)

Después de esta conceptualización de los tipos de hidrógeno y sus proyecciones, queda claro que, aunque la fuerte demanda internacional del H2V puede deberse a la necesidad de descarbonizar las economías, existe un fuerte componente de expansión energética y transición «corporativa», más que una verdadera transición energética que tienda a la descarbonización. Estos aspectos son indispensables en la discusión sobre la participación de Costa Rica en el mercado internacional de la energía, sus necesidades y oportunidades de transición energética y su ligamen con la transformación social y ecológica.

Actualmente, la Alianza Europea del Hidrógeno tiene planificada una inversión de 430 000 millones de dólares al 2030 para la subvención de la producción de H2V y ya cuenta con algunos países que incluyen hasta el cinco por ciento de hidrógeno en las tuberías de gas, como medida de transición energética. Uno de los tantos motivos por los que están interesados en importar H2V. (BBVA 2021; Comisión Europea 2020)

Sin embargo, según indica esta organización, la importación que se realice no podrá provenir de cualquier país. La Unión Europea (UE) prohíbe la importación de H2V si esto implica un traslado hacia la generación de energía no renovable en el país exportador, de modo que, cualquier país que desee exportar a la UE, deberá hacerlo al menos manteniendo la dotación de energía renovable para su población. (Comisión Europea 2023a)

Países como Alemania, Estados Unidos y Japón han sido muy claros en sus aspiraciones en torno al H2V y las relaciones internacionales. Por ejemplo, Alemania plantea en la actualización de su Estrategia Nacional del Hidrógeno, importar entre 95 y 130 TWh para el 2030, de los cuales se espera que entre 50% y 70% sea proveniente de H2V o de sus derivados; porcentaje que se espera vaya incrementando con los años. (BMWK-Alemania 2023)

Alemania, en específico, parece apostar en su primera fase a

la importación de H2V en forma de amoniaco y que sea transportado por barco desde países que estén sujetos a un sistema de certificación común o reconocido para el hidrógeno, que cuenten con criterios de promoción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y de creación de valor local, que cumplan con las normas internacionales en materia de derechos humanos, trabajo y medio ambiente y con las normas de debida diligencia, tales como las Líneas Directrices de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) para Empresas Multinacionales, los Principios Rectores de las Naciones Unidas sobre las Empresas y los Derechos Humanos y la Agenda 2030. (BMWK-Alemania 2023)

Sin embargo, cuando se analiza la declaración del Pacto Verde Europeo resalta el requisito de «asegurar el suministro de materias primas sostenibles —en particular, de las materias primas críticas necesarias para las tecnologías limpias, las aplicaciones digitales, espaciales y de defensa». (Comisión Europea 2019: párrafo 34) Aunado a esto, en el 2023, la UE presenta la propuesta de Reglamento de materias primas críticas, dejando la sospecha de que, si bien existe un interés genuino por descarbonizar las economías, el principal propósito es mantener el *statu quo* de las mismas. (Comisión Europea 2023b)

Japón, por su parte, tiene la intención de importar 300 000 toneladas (t) anuales de H2V para el 2030 (Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues of Japan 2017). También, Estados Unidos, como parte de la Ley de Protección del Clima, pretende equiparar los precios de H2V con los del hidrógeno gris, gracias al crédito de 3 dólares/kg para generación con cero emisiones de carbono. (La Información 2022)

## 2.1 EL CASO COSTARRICENSE Y SU NORMATIVA

A pesar de que la empresa NUMAR utiliza el H2V en la fabricación de grasas saturadas desde hace aproximadamente 40 años. No fue hasta en el 2011 cuando se firmó el primer convenio relacionado al H2V en Costa Rica. Este convenio de cooperación entre el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), la Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE) y Ad Astra Rocket Company tenía como propósito investigar tecnologías factibles para la producción de H2V, razón por la que se inició el diseño de una planta experimental para la producción, compresión, almacenamiento y dispensado de hidrógeno para aplicaciones vehiculares. (Del Valle 2015)

Por cuestiones legales, se determinó que RECOPE solo puede trabajar con hidrocarburos, de manera que no pudo continuar con el convenio. (Del Valle 2015) Debido a esto, en el 2016, Ad Astra inició labores con el Sistema Nacional de Banca para el Desarrollo (SNBD) y con empresas privadas, algunas de las cuales forman ahora parte de la Alianza por el Hidrógeno<sup>1</sup>. (MEIC, Universidad EARTH, Ad Astra Rocket Company y Sistema Banca para el Desarrollo 2016)

<sup>1</sup> Actualmente Ad Astra utiliza en H2V en cuatro vehículos livianos de celdas de combustible (FCEV) y en un bus de celdas de combustible de hidrógeno. La planta de Ad Astra es la única estación dispensadora de hidrógeno del país. A pesar de que RECOPE no pudo seguir participando en este proyecto, los activos que aún maneja Ad Astra le pertenecen a RECOPE, ya que como producto de su convenio fueron comprados con dinero del Estado costarricense. (Del Valle 2015)

Junto con los vehículos de Ad Astra, pertenecientes a Purdy Motor, la empresa NUMAR y el uso de H2V para el enfriamiento de los generadores de la planta geotérmica Miravalles, existen dos compañías más que actualmente utilizan H2V en Costa Rica. Estas son Intel (uso no confirmado) y Metalco, que lo utiliza para la limpieza de sus hornos en las líneas de recubiertos con amoniaco, que forman parte del proceso de galvanizado.

Según datos de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Costa Rica, el total de la demanda mapeada para estos usos es de solo 475 kg/día (170 t/año) de H2V. (MINAE-SEPSE 2022) Este total es producido a partir de electrolizadores de mediana capacidad que son alimentados por el Sistema eléctrico nacional (SEN). Para el 2020, según un estudio de H Inicio, el 85 por ciento de la producción de H2V eran prosumidores<sup>2</sup> y solo el 15 por ciento era comercial. (Inicio 2021a)

Aunque esta experiencia pareciera anecdótica, actualmente se han desarrollado varios proyectos con una alta posibilidad de ejecución. Entre ellos, la *NAMA Facility* liderada por la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ, por sus siglas en alemán), que consiste en una propuesta de escalamiento de experiencias, mediante el uso de fondos concesionales.

Por el momento, este proyecto tiene planteado desarrollar, en asociación con cuatro empresas, un ecosistema tecnológico completo de producción, acondicionamiento, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno para diez camiones de carga, que serán alquilados a operadores de transporte de mercancías. Sin embargo, la NAMA se abrió a la recepción de nuevas propuestas que puedan aumentar la demanda y demostrar la viabilidad y los beneficios de las tecnologías asociadas al H2V, mediante proyectos piloto escalables que colaboren a descarbonizar al país. (H2LAC 2023)

Entre las propuestas concursantes, la Asociación Costarricense de Hidrógeno (ACH2) está planteando un ecosistema de hidrógeno en la región Huetar Norte, con el fin de utilizarlo en la producción de amoniaco y fertilizantes de uso agrícola. Se propone ejecutarlo junto con actores presentes en esa zona rural y de la academia, tales como el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), la Universidad Técnica Nacional (UTN) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), además empresas de producción de energía renovable instaladas en Ciudad Quesada y otros segmentos de la zona norte del país, así como empresas consumidoras de fertilizantes.

Incluso, se ha valorado que este proyecto también podría producir combustibles sintéticos junto con las dos empresas extractoras de CO<sub>2</sub> de la zona, que actualmente están utilizando este recurso únicamente para procesos agroindustriales y alimenticios.

Otras iniciativas están evaluando utilizar las plantas hidroeléctricas del sector privado, que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) no incorporó dentro del Sistema eléctrico nacional (SEN), para la producción privada de H2V. Así como proyectos inmobiliarios, de menor escala, que aún se encuentran en fase de evaluación o viabilidad ambiental y que están valorando uti-

lizar H2V para el transporte interno de personas. Lastimosamente, debido a que muchas iniciativas se encuentran en fase de desarrollo o de diseño, están protegidas por temas de confidencialidad y no se puede tener acceso.

A nivel de banca estatal, desde inicios del 2023, el Banco de Costa Rica (BCR) ofrece créditos de hasta siete años y tasas entre los cinco y 10.65 por ciento para la adquisición de motocicletas, vehículos usados (con menos de 3 años de antigüedad) y autobuses (marca Daewoo) dedicados al turismo o transporte de pasajeros, que utilicen H2V.

Además, en mayo del 2023, el BCR, en conjunto con el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), la Agencia Francesa para el Desarrollo (AFD) y la Bolsa Nacional de Valores, como asesor, generaron un acuerdo para la emisión de bonos sustentables en el mercado de capitales del país, con el fin de promover las energías renovables, la movilidad eléctrica, la transformación de la flota vehicular y el desarrollo de infraestructura resiliente. Todas áreas en las que se incluye al H2V como motor de cambio. (BCIE 2023)

Posteriormente, en junio del 2023, el BCR firmó un acuerdo específico de financiamiento con la AFD por 25 000 000 de dólares, más una línea de crédito de hasta 300 000 euros dedicada a asistencia técnica, con el fin de desarrollar un portafolio de proyectos de cambio climático y mejorar los procesos de gestión ambiental y social del banco. (AFD 2023)

Por último, desde la academia existe una tesis en curso de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica y su Centro de Investigación en Electroquímica y Energía Química (CELEQ), que trata temas relacionados con *Power to Liquid/Gas/Fuel* (PtX) para la producción de syngas, como insumo químico en la producción de combustibles sintéticos. Como parte de esta tesis, se pretenden realizar estudios para entender si la captura del CO<sub>2</sub> y su combinación con el H2V, producido mediante energía geotérmica, podría impactar la reducción de las emisiones de GEI.

Paralelo a todas estas iniciativas, la actual administración apunta a utilizar el H2V para el desarrollo de un mercado local y no necesariamente internacional. La base de esta decisión se centra en la necesidad de descarbonización a nivel nacional, especialmente en los sectores de transporte e industria. Para esto, el país ha desarrollado la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Costa Rica (ENHVCR), que fue oficializada el 06 de julio del 2023, mediante la Directriz Ministerial DM-525-2023.

Junto a la ENHVCR, Costa Rica cuenta con dos proyectos de ley asociados al tema. El primero de ellos bajo el nombre de Ley para la Promoción e Implementación de una Economía de Hidrógeno Verde en Costa Rica, que se ubica en el expediente N.º 22.392 y en este momento se encuentra detenido en la Asamblea Legislativa, esperando ser reactivado. Este proyecto ha sido criticado por no contar con estudios técnicos que respalden los incentivos planteados, ni la viabilidad de la autorización que se estaría dando a las empresas del Estado en la adquisición de nuevos roles.

<sup>2</sup> Los prosumidores se refieren a productores de energías renovables que, además, son consumidores de la esta.

Además, aunque trata de regular ciertas cuestiones, es criticado porque no se refiere a una ley marco y se enfoca principalmente en temas de fomento e incentivo. Además, deja de lado cuestiones básicas, como el tema de la rectoría, sobre el cual apenas menciona aspectos muy generales para el MINAE, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) y el Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT).

Inclusive, según expertos legales, muchos de los incentivos que plantea este proyecto de ley son muy agresivos y se desconoce si pudiesen ser contraproducentes. Este es el caso de las exoneraciones del Impuesto al Valor Agregado (IVA) y del Impuesto sobre la Renta (ISR), las oportunidades de acceso a créditos bancarios diferenciados, la disminución de los precios de la electricidad para producir H2V por parte de las distribuidoras, entre otros.

El segundo proyecto de ley se refiere al expediente N.º 23.414, llamado Ley de Armonización de la Ley de Energía. Este proyecto tiene como objetivo «impulsar la modernización del Sistema eléctrico nacional, buscando la eficiencia del sistema, promoviendo el aprovechamiento de las nuevas tecnologías, impulsando el desarrollo de nuevos esquemas de negocios entre agentes para la prestación del servicio público de electricidad, de forma tal que favorezca el crecimiento económico y la productividad del país». (Artículo 1) Sin embargo, ha sido ampliamente criticado porque beneficiaría a grandes industrias productoras de energía, al tiempo que disminuiría los ingresos del ICE y, por lo tanto, un aumento en las tarifas finales que pagarían las personas usuarias.

Aparte de estas tres herramientas de reciente data, Costa Rica cuenta con otras políticas públicas y normativas asociadas al H2V. Como parte de los planes más importantes y en orden de publicación, se encuentran los siguientes:

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

Aspira a contar con un Sistema eléctrico nacional (SEN) bajo en emisiones de GEI, basado en fuentes limpias y renovables, con precios competitivos y capaz de sustentar el bienestar de la mayoría de la población. Como parte de sus objetivos, plantea optimizar la eficiencia energética en la oferta, evaluando la posibilidad de almacenamiento de energía (Objetivo Específico 1.4.4) y la modernización de la flota vehicular. Lo anterior, se pretende cumplir mediante la creación de condiciones técnicas y normativas y la elaboración de una hoja de ruta para la incorporación de nuevas tecnologías, entre ellas el hidrógeno (Objetivo Específico 5.2.3). (MINAE 2015)

– **Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050**

Como parte de las actividades de su primer eje, se encuentra definir la hoja de ruta para la consolidación de un clúster de hidrógeno, implementar el plan de acción, realizar estudios de prefactibilidad, diseñar un piloto con autobuses públicos y dar a conocer las lecciones en materia de costos, rendimiento e infraestructura. Además, como parte de las actividades de su tercer eje, se men-

cionan la elaboración de estudios de viabilidad financiera y tecnológica e implementación de pilotos para transporte de carga. (Gobierno de Costa Rica 2019) Todas estas acciones han ido avanzando con los estudios realizados gracias a la cooperación técnica del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para la elaboración de la ENHVCR. Además, como una cooperación extra ofrecida específicamente por el BID-LAB, la consultora H Inicio ha realizado distintos estudios técnicos que pueden encontrarse en la página de la Alianza por el Hidrógeno.

Algunos de estos son los siguientes:

1. La evaluación del ciclo de vida de los vehículos eléctricos (hidrógeno y baterías)
2. El análisis de costo total de posesión (CTP) de los vehículos eléctricos y escenarios de penetración
3. La hoja de ruta para el despliegue de infraestructura de recarga de hidrógeno
4. El análisis del mercado global de hidrógeno verde (H2V) y el potencial de participación de Costa Rica

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

Tiene como objetivo el promover la participación de las energías renovables mediante la electrificación del transporte. Asimismo, mejorar la calidad de aire y aportar, de esta forma, a mejores condiciones en la salud pública y en la descarbonización. (Gobierno de Costa Rica 2018)

– **Plan de Expansión de la Generación 2022-2040**

Elaborado por el ICE, incluye la ampliación en la producción y almacenamiento de energías renovables con fuentes eólicas, solar, hidroeléctrica y geotérmica. Sin embargo, no contempla las necesidades energéticas que implican las acciones del Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 ni el Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030, previamente publicados. Tampoco incluye las acciones incluidas en la ENHVCR. Por lo anterior, urge su actualización para poder iniciar los nuevos procesos de inversión asociados. (ICE 2023)

En cuanto a normativa asociada a directrices, decretos y leyes, vale la pena rescatar los siguientes:

– **Directriz MINAE-002-2018**

Instruye a las instituciones del sector de ambiente y energía para que desarrollen un plan de acción para propiciar la investigación, la producción y la comercialización del hidrógeno como combustible, conforma la Comisión de Hidrógeno e instruye la elaboración del Plan de acción interinstitucional para propiciar el uso de hidrógeno en el sector transporte, que ya fue realizado.

– **Decreto Ejecutivo N.º 43366-MINAE del 06 de enero del 2022**

El nombre completo de este decreto es Política para el aprovechamiento de los recursos excedentes en el Siste-



ma eléctrico nacional para el desarrollo de una economía de hidrógeno verde. Ofrece el aprovechamiento del surplus o excedentes eléctricos del SEN para la producción de H2V.

– **Decreto Ejecutivo N.º 43095-MINAE-H del 11 de noviembre de 2021**

Llamado Reforma Lista oficial de bienes exonerados conforme al artículo 38 de la Ley de Regulación del Uso Racional de la Energía, Ley N.º 7447 del 03 de noviembre de 1994 y sus reformas. Este decreto modifica al Decreto Ejecutivo N.º 41121-MINAE-H del 05 de abril de 2018 e incluye una lista de equipos para el aprovechamiento de las energías renovables o alternativas, así como las normas técnicas aplicables a ellos. Dentro de esta, se incluyen equipos para el uso del H2V tales como dispensadores, tanques de almacenamiento y compresores mecánicos para hidrógeno, también, generadores de hidrógeno verde mediante electrólisis, celdas de combustible para generación de electricidad, entre otros.

– **Ley N.º 10.209 del 03 de junio 2022**

Su nombre completo es Ley de incentivos al transporte verde, reforma la Ley N.º 9518. En ella, se hace referencia a incentivos y exoneraciones del IVA aplicables al transporte eléctrico, repuestos relacionados con su funcionamiento, baterías y dispensadores de recarga, así como exoneraciones al Impuesto de Consumo, Impuesto a la Propiedad de Vehículos y sobre el Valor Aduanero. (La Gaceta 2022)

## 2.2 POSIBILIDADES DE INVERSIONES EXTRANJERA DETECTADA

Si bien el Gobierno de Costa Rica pareciera querer centrarse en el desarrollo de un mercado endógeno de H2V, en las últimas dos administraciones se han mantenido conversaciones y negociaciones con empresas transnacionales, la mayor parte de ellas con resultados desconocidos por la población general. Según distintos medios de comunicación masivos, actualmente se habla de un mínimo de cinco empresas con interés en invertir en Costa Rica. Estas provienen de España, Australia, Estados Unidos y posiblemente Bélgica, pero, en la mayoría de los casos, detalle se desconocen más detalles debido a ciertos términos de confidencialidad.

Una de estas empresas es Purdy Motor, cuarto distribuidor mundial de Toyota en el mundo y una de las empresas más grandes en Costa Rica. Cuenta con una empresa estilo *spin off*, llamada Cavendish, que se dedica a la movilidad con energías renovables. Además de su participación con Ad Astra<sup>3</sup>, Cavendish inició operaciones en diciembre del 2022 y anunció en febrero del 2023 una alianza con la compañía inglesa *Atome Energy*. Dicha empresa es conocida por sus proyectos de H2V y amoniaco en Islandia, así como el proyec-

to de movilidad Villeta en Paraguay. Esta alianza tiene el fin de establecer la *National Ammonia Corporation* (NAC) en Costa Rica, desde donde se pretende desarrollar proyectos de amoniaco verde y fertilizantes que abastezcan la totalidad del mercado costarricense para el 2024-2025. Además, tiene la intención posterior de expandirse al mercado centroamericano y caribeño. (H2LAC Chile 2023)

La segunda empresa de la que se tiene detalles es la empresa australiana KADELCO, que se desempeña en desarrollo de infraestructura y procesos industriales. Esta considera que Costa Rica podría generar H2V para exportación a escala del Proyecto Diquís (50 000 t H2V/año), para lo cual ofrecen hasta 2 600 puestos de empleo directos asociados a su construcción. (Segura-Vargas 2022)

Esta negociación inició en febrero 2022 con una expresión de interés en invertir 3300 millones de dólares en proyectos, dentro los que se incluía la construcción de un puerto. (Segura-Vargas 2022) Sin embargo, en abril de 2023, la propuesta ascendió a 12 400 millones de dólares, con intención de generar hasta 13 proyectos relacionados con H2V para exportación en un periodo de 15 años. Esto equivaldría, según sus cálculos, a más de 15 000 empleos de alta remuneración. (Arce 2023)

Esta negociación, que se realiza a través del Consejo de Negocios de Australia- Latinoamérica, actualmente tiene un memorándum de entendimiento con el ICE acerca de mecanismos de intercambio de información técnica y espera trabajar con Ad Astra, ICE, RECOPE e instituciones académicas, como CONARE.

Por último, la empresa alemana DLZ obtuvo la aprobación para realizar un proyecto en el que producirán hidrógeno verde para autoconsumo, sin embargo no se logró obtener mayor información al respecto.

Otras posibilidades, de las que no hay ofertas, son el Banco Europeo del Hidrógeno, una plataforma de compra conjunta o CCfD europeas (*Carbon Contracts for Difference*) que pretende fomentar el crecimiento del mercado del hidrógeno, y la *Strategic Research and Innovation Agenda*, elaborada para el desarrollo de cadenas de valor transfronterizas que puedan impulsar la cooperación en materia de investigación en Europa y fuera de ella. Dentro de sus potenciales formas de cooperación, se incluye la puesta en marcha de alianzas portuarias para enlazar puertos de importación y exportación. (Clean Hydrogen Partnership 2022)

Otra eventual oportunidad es con la Asociación Clima, Energía e Hidrógeno, cuyo objetivo es desarrollar proyectos económicos y a gran escala en países con un alto potencial de energías renovables y una infraestructura industrial existente, que permita tanto el desarrollo de estructuras económicas locales sostenibles como la exportación a la UE.

Por último, no deben olvidarse los mecanismos alternativos de pago de deuda histórica, como los pagos de deuda eco-

<sup>3</sup> La marca Toyota y su modelo Mirai forman parte del proyecto tecnológico de Ad-Astra, donde cuentan con cuatro vehículos ligeros utilizados para realizar pruebas ambientales.



lógica, las condonaciones de deuda, la reducción de tasas de interés para la transición energética, las cláusulas de contingencia, entre otras.

## 2.3 LA REALIDAD DE LAS CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN

La capacidad de producción del SEN pareciera tener un «excedente» en su producción, que podría utilizarse para producir H2V. Incluso, según la ENHVCR, Costa Rica cuenta con una capacidad instalada ociosa en el SEN de aproximadamente 917.4 GWh/año. (MINAE-SEPSE 2022)

Esta conclusión se ha debido a que la capacidad instalada del país ronda los 3 000 MW, siendo el consumo máximo de aproximadamente 1 800 MW<sup>4</sup>. Sin embargo es importante aclarar que esta capacidad instalada es normal y cambiante en cualquier uso de energía renovable, ya que depende de la naturaleza y de la variación climática. En este caso específico, esta capacidad pareciera ser ociosa, sin embargo se debió al efecto de la niña en los años 2020-2022, que permitió una producción alta de hidroelectricidad y una la reducción de los precios; ambas circunstancias fuera de lo normal.

En años del Niño, la generación de las energías renovables alcanza únicamente para suministrar el 80 por ciento de la demanda del país. El 20 por ciento restante se da generación térmica local e incluso, energía importada en forma de combustibles. Ante un escenario de activación de un ecosistema de H2V, la opción para no depender de esta «producción ociosa» fluctuante sería la nueva instalación de eólicas y fotovoltaicas, las cuales en caso de exportación de H2V, deben competir en precio con la energía generada en África o Chile. (ICE 2023)

Otra de las posibilidades valoradas para la producción de H2V es mediante la generación privada. Durante el 2020 y 2022, el ICE canceló ocho contratos con plantas de generación privada, que volvió a activar en el 2023. Esto se debió a varias circunstancias; en primer lugar, el fenómeno de la Niña, que tuvo una duración aproximada de seis años y terminó en 2022, produjo grandes cantidades de agua y altos niveles de generación. Este incremento en la generación provocó que algunas plantas de producción dejaran de ser indispensables para el abastecimiento nacional. Luego, la pandemia por COVID redujo la demanda energética, volviendo menos indispensable el uso de la producción privada.

A esto se suma el costo de la producción eléctrica de los contratos cancelados. A pesar de que en algunos casos el precio de producción era más barato que el precio de producción de las plantas públicas del ICE<sup>5</sup>, lo cual haría pensar que no es buena idea cancelarlos, una de las razones por las que estos contratos privados fueron cancelados fue debido a que el ICE ya había pagado su inversión y ganancia planificada después de funcionar por periodos mayores a los 20 años, sin embargo esta se seguía cobrando. (ARESEP 2021) Ahora, los nuevos contratos establecidos con estas plantas se basan nada más en el costo de la generación y no en el de la inversión, que ya está pagada, por lo que son aún más bajos<sup>6</sup>. (Alvarado 2023a)

Actualmente, los generadores privados sin contrato que se encuentran negociando con el ICE son pocos. (Alvarado 2023b) Aunque podrían convertirse en prosumidores de energías renovables y productores de H2V individuales, según indican, no tienen la seguridad jurídica para invertir en este negocio. Por lo que, algunos prefieren otras alternativas de inversión como el uso de la energía para el desarrollo de las criptomonedas «limpias» o la exportación a industrias de tamaño medio del mercado regional.

Si bien estas plantas privadas desconectadas podrían seguirse dedicando a la venta de *bitcoins* o a la producción de H2V, se espera que los próximos cuatro o cinco años sean más secos, por lo que estas plantas estarían dedicadas a la demanda natural de electricidad del país. Por esto, tampoco podrían utilizarse para producir H2V.

Otra opción es que las plantas desconectadas pueden exportar electricidad y pagar el peaje de transmisión. Sin embargo cuando esto sucede, la energía extra del ICE, que también es utilizada también para la exportación, deja de colaborar en la reducción del costo de la electricidad a nivel nacional.

Esta realidad aplicaría a nuevos proyectos de generación privada, por lo que, además, de la seguridad jurídica, el tema de modernizar el sistema de transmisión se vuelve básico para que el mercado sea competitivo. En este sentido y ante el nuevo escenario que representa el H2V, es importante que las nuevas plantas de energías renovables concursen también por el precio de venta y no solo por el precio de construcción. El país está habilitado para que el 30 por ciento de la matriz eléctrica provenga de generación privada<sup>7</sup>. Actualmente, estamos en aproximadamente 22 por ciento.

4 La capacidad instalada del SEN a diciembre del 2021 fue de 3 482 MW, conformada por un 67 por ciento de plantas hidroeléctricas, 12 por ciento de plantas térmicas, 8 por ciento de plantas geotérmicas, 11 por ciento de plantas eólicas, 2 por ciento de bagazo y un 0.16 por ciento de plantas solares. De esta capacidad, el 68 por ciento fueron plantas que pertenecían al ICE, 18 por ciento plantas contratadas a generadores privados (de los cuales 10 por ciento fueron esquemas BOT-Built, Operate and Transfer) y 14 por ciento plantas de empresas distribuidoras (Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago (JASEC), dos empresas municipales y las cooperativas de electrificación rural de Guanacaste, San Carlos, Los Santos y Alfarero Ruiz (COO-PEGUANACASTE, COOPELESCA, COOPESANTOS y COOPEALFARO, respectivamente). La máxima demanda de potencia durante este año fue de 1 763 MW.

5 En el 2021, la ARESEP emitió el informe llamado «Sistema eléctrico nacional (SEN): costos por planta de generación, públicas y privadas, para el 2019», en el que se demuestra que muchas de las plantas de generación privada, tienen costos de producción de electricidad más bajos que los de las plantas de generación pública. El informe es el IN-0021-IE-2021 del 22 de febrero del 2021.

6 Como se muestra en la nota del periódico digital El Observador, del del 11 de julio del 2023, titulada «ICE recurre a generadores privados de electricidad para enfrentar efectos de la disminución de lluvias por fenómeno de El Niño», en estos nuevos contratos se pagará un 59% menos por kilovatio hora, en comparación con contratos anteriores.

7 Ley 7200. Ley que Autoriza la Generación Eléctrica Autónoma o Paralela. Publicada el: 18 de octubre de 1990 en la Gaceta N.º 197 y Ley 7508. Reforma de la Ley que Autoriza la Generación Eléctrica Autónoma o Paralela N.º 7200. Publicada el 31 de mayo de 1995 en la Gaceta N.º 104.

## LAS PROYECCIONES

En un estudio realizado en el 2021 por H Inicio, se concluye que el potencial de producción de H<sub>2</sub>V en el país es de 5 927 kton/año<sup>8</sup>. Esta cantidad, según indican, podría equivaler al ocho por ciento de la demanda mundial de hidrógeno para el 2020. Para lograr esta producción, se necesitaría 326 TWh de energías renovables, considerando el 100 por ciento del potencial renovable aprovechable de la producción, que según el estudio corresponde a 95 GW de origen fotovoltaico y 5.3 GW de origen eólico (Hinicio 2021a).

Según el estudio de H Inicio, para lograr esa producción se necesitaría ocupar aproximadamente el seis por ciento del territorio nacional: cinco por ciento ocupado por parques fotovoltaicos y uno por parques eólicos, mayormente ubicados en la región noroeste del país. Este estudio ofrece, además, un potencial físico teórico para la geotermia e hidro, los cuales provienen respectivamente del Plan Estratégico para la Promoción y Desarrollo de Fuentes Renovables no Convencionales del ICE del año 2016 y del Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2018-2034. En estos estudios, el ICE estima un potencial teórico técnico, aprovechable técnicamente con las tecnologías disponibles hoy en día, de 33 TWh/año (7 137 MW de capacidad instalada) de energía hidroeléctrica y 5.3 TWh/año (875 MW de capacidad instalada) de energía geotérmica. (Hinicio 2021a)

Sin embargo, en el mismo Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2018-2034 advierte lo que ya se había mencionado desde la versión del Plan 2016-2023, que aproximadamente un 35 por ciento del potencial teórico se ubica en territorios indígenas y un 20 por ciento en parques nacionales, por lo que aproximadamente un 50 por ciento de esta disponibilidad es inviable. (ICE 2017; 2022) Además, el ejercicio realizado para generación solar se sitúa mayormente en una zona de Guanacaste donde existe un amplio desarrollo turístico, por lo que es posible que su costo de implementación sea sumamente alto.

Otros estudios, como el de *NTT Data Europe & Latam*, mencionado en la ENHVCR, arrojan los siguientes potenciales de producción:

- **Eólica:** 25 TWh/año, mediante una capacidad instalada de 5 360 MW, siendo la capacidad instalada en Costa Rica al cierre del 2020 de 393.5 MW.
- **Solar fotovoltaica:** 180 TWh/año mediante una capacidad instalada de 95 500 MW, siendo la capacidad instalada en Costa Rica al cierre del 2021 y sin tomar en cuenta la generación distribuida de 5.4 MW. Esta pareciera representar la mayor oportunidad de incrementar la producción

de energías renovables en el país, ya que actualmente es muy poca. (MINAE-SEPSE 2022)

Lo anterior, separado de los posibles y temporales excedentes que pueda tener la capacidad instalada hidroelectricidad y geotermia, calculada para 2 331,3 MW y 261,9 MW, respectivamente, según los datos al 2020. (MINAE-SEPSE 2022)

En ambos estudios, el problema con la energía geotérmica es que, según indican los expertos, tiene un potencial técnico teórico bajo, su despacho tiene como prioridad el amortiguar la variabilidad de las hidroeléctricas de paso y las energías renovables variables y, al poder almacenarse, no representa un excedente real. Además, su uso no permite la intervención privada y no es competitiva en costos, debido a que su exploración y desarrollo de infraestructura son de alto costo.

Estos números, aunado al hecho de que la energía eólica y solar se ubican en la actualidad como las más baratas en producción eléctrica en el mundo, apoyan la idea de una generación distribuida más que centralizada. Esta requeriría modificar el modelo de negocio del país: de grandes sistemas a pequeños productores y distribuidores.

Según H Inicio, a diferencia de la geotérmica y la energía hidroeléctrica, cuyos costos nivelados de energía (LCOE, según sus siglas en inglés)<sup>9</sup> actuales son 95.3 y 59.2 dólares por kilogramo y se proyectan con montos similares al 2050, el LCOE de la producción de energía eólica y fotovoltaica está disminuyendo: se proyecta a 17.1 y 15.9 dólares por kilogramo respectivamente, para el mismo periodo. Por esto, podrían resultar la mejor inversión para un despliegue de energías renovables. (Hinicio 2021a)

Otro factor importante en la producción de H<sub>2</sub>V es el recurso hídrico. Se calcula que el consumo de agua por kilogramo de H<sub>2</sub>V al 2021 fue de 16 L, sin embargo para el 2030 se proyecta en 13 L y para el 2050 en 11 L, con consumos actuales de energía del 2021 de 55 KWh/KgH<sub>2</sub>V, que se proyectan a 51 KWh/KgH<sub>2</sub>V al 2030 y 48 KWh/KgH<sub>2</sub>V al 2050. (Hinicio 2021a)

## OPORTUNIDADES PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

El uso de la generación distribuida de electricidad para la producción de H<sub>2</sub>V necesitaría, al menos en la mayoría de los casos, el respaldo de la red eléctrica nacional. Esto debido a que la energía eólica o fotovoltaica que podrían distribuirse en el país no es constante y la mayoría de equipos que producen H<sub>2</sub>V necesitan estar encendidos las 24 horas del día, los siete días de la semana, para asegurar su rentabilidad.

<sup>8</sup> Si bien la unidad de medida de kilotoneladas (kton o kt) no existe dentro del Sistema Internacional de unidades, esta es utilizada, tanto en los informes presentados por la empresa H Inicio, como en los informes del Instituto Costarricense de Electricidad, a los que esta consultora hace referencia. El kilogramo y la tonelada, son dos unidades de masa distinta, en combinación, la kilotonelada equivaldría a 1000 toneladas.

La abreviación kt también se utiliza para medir la cantidad de energía liberada por una explosión nuclear, equivalente a la energía que se libera al explotar mil toneladas de trinitrotolueno. En este caso la unidad de medida se conoce como kilotón.

<sup>9</sup> El LCOE se refiere al costo por kilovatio hora de la generación eléctrica. Su cálculo considera todos los costos del sistema de generación a lo largo de su vida útil (inversiones, combustible, emisiones, operación y mantenimiento, desmantelamiento, entre otros) y lo divide entre la producción de energía total, para posteriormente actualizar su valor al valor presente.

Otro aspecto para considerar en este sentido es el autoconsumo virtual o remoto, para el cual, nuevamente, se necesitaría la modernización del Sistema eléctrico nacional y su sistema de transmisión.

El argumento de la necesidad de modernizar la transmisión se da debido a que se necesita un sistema suficientemente robusto para que la energía entre y salga, sin que se produzcan cuellos de botella hacia zonas de alto consumo y baja producción. Este argumento presenta la ventaja de un consumo local, pero, para que se aproveche, es necesario un sistema bien distribuido y descentralizado, donde las zonas de consumo sean también de producción.

Además, habría que replantear los peajes para que realmente sea un negocio para el Gobierno realizar la transmisión. Dichos peajes deberían ser pagados únicamente por quienes tienen interés en ampliar la transmisión y no por el público en general. El punto medular por resolver es, entonces, quién y cómo se pagaría de forma justa este *retrofit* o modernización.

En este sentido se podría esperar que, debido a las complicaciones de la modernización del sistema de transmisión y bajo un sistema de generación distribuida privada, muchas empresas cuenten con energías renovables para la producción de H2V *in situ*. De modo que solo utilicen el SEN, con su batería renovable, como respaldo.

El esquema de prosumidores, por su parte, se podría dar más que todo a nivel de hogares o pequeños centros de producción; especialmente, cuando se prevé un aumento de la generación distribuida debido al descenso de los costos de los paneles solares y, recientemente, del almacenamiento mediante baterías.

Por otra parte, algunos expertos opinan que en un escenario de producción eléctrica distribuida y con un sistema de transmisión mejorado, el abastecimiento de energía para el transporte de carga mediante el H2V o su exportación podría ser rentable. Esto debido a que en Costa Rica existen plantas de generación específicas, de relativamente gran escala, que generan electricidad renovable a menos de 2 centavos de dólar por KW/h. Además, porque existe la posibilidad, aún no normada, de que esta electricidad, en lugar de satisfacer la demanda eléctrica, pueda utilizarse para producir H2V, con la estrategia paralela de integrar la generación distribuida para abastecer la demanda eléctrica nacional.

Muchas de estas opciones requieren un alto grado de coordinación por parte del Gobierno, ya que su ejecución hace parte de una planificación que por el momento no cuenta con una institución encargada. Parte de esta planificación, además de definir el rol del sector público y privado, consistiría en definir cuál es el rol, es decir cuál sería propósito, que tendría el parque de electrolizadores con que vaya a contar el país.

Como parte de esta estrategia, una posibilidad sería que quienes produzcan H2V vendan sus servicios al SEN en la regulación de la frecuencia y gestión de la demanda a la red eléctrica nacional, con lo cual se migraría de un modelo de grandes centros de generación de energía a operadores que puedan controlar los consumos de energía. Es decir, administrar las solicitudes de la población consumidora y las formas en las que se pueden satisfacer sus necesidades. Lo anterior, por ejemplo, podría ejecutarse mediante la modificación de su nivel y patrón de uso de la electricidad. Esto implicaría, nuevamente, el establecimiento de nuevos sistemas energéticos, no solo para el país sino también para la subregión. En este sentido, podría haber implicaciones tanto en la exportación de la energía como en el transporte de carga, pues muchas de las unidades que podrían ser abastecidas cruzan las fronteras de los países centroamericanos.

## 2.4 POSICIONAMIENTO DE COSTA RICA EN EL MAPA MUNDIAL DEL H2V

Cuando se habla de Costa Rica, a nivel internacional, se destacan una serie de puntos positivos y negativos en torno al hidrógeno verde.

Como parte de los puntos positivos está el posicionamiento del país como referente mundial de electricidad producida a partir de fuentes renovables. Costa Rica cuenta con una red eléctrica prácticamente descarbonizada y basada en una gran diversidad de fuentes renovables de alta disponibilidad y de alto potencial de generación, con un respaldo que también es renovable y con oportunidades de incrementar su producción a partir, de como ya se mencionó, la energía solar, eólica e hídrica.

Como es sabido, la mayoría de los equipos de producción de H2V necesitan mantenerse encendidos para que sean rentables y se le pueda sacar el mayor provecho. Esto significa que no pueden depender de energías renovables variables que funcionen solo durante unas horas del día o ciertos días del año. Por esto, se necesitarían otras energías complementarias que puedan abastecer el proceso para evitar algún *impasse*.

Costa Rica tiene la ventaja de que su SEN ya es renovable, por lo que utilizar este servicio es básico para el buen desarrollo de un ecosistema de H2V. Estos requerimientos no pueden ser cumplidos por Chile<sup>10</sup> o Colombia<sup>11</sup>, donde la matriz no es 100 por ciento renovable y, por tanto, no siempre se puede generar H2V utilizando la energía de la red. Su matriz eléctrica proporciona garantía de que el hidrógeno generado será verde, lo que le ahorra tiempo si quisiera desarrollar un ecosistema de H2V, pues, a diferencia de otros países, no tendría la necesidad de convertir, primeramente, su matriz energética en una renovable para luego pensar en producir H2V.

Este sello distintivo a nivel eléctrico se suma a la marca país de

<sup>10</sup> Según datos de la Asesoría Técnica Parlamentaria ubicados en la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN), este país basa poco menos del 50 % de su energía en centrales termoeléctricas a gas natural, carbón o derivados del petróleo. (García-Bernal 2021)

<sup>11</sup> En el caso de Colombia, a pesar de que la energía hidroeléctrica ronda el 70%, la energía térmica (con fuentes energéticas basadas en gas y carbón) ocupa el segundo lugar. (Ministerio de Ambiente de Colombia s.f.)

Costa Rica, que le ha otorgado una muy buena reputación en temas de conservación ambiental y desarrollo sostenible de los que podría beneficiarse cualquier posible ecosistema de hidrógeno. Aunque este sello verde ya no brilla como en las décadas de los 70 y 80, Costa Rica ha venido fortaleciendo el tema a partir de sus políticas ambientales y los canjes de deuda por naturaleza que tiene con los Estados Unidos.

Además, cuenta con ocho empresas públicas y privadas que abastecen el servicio de energía a nivel nacional y con un alto factor de planta comparado con Chile u otros países que utilizan mayores cantidades de energías renovables variables. Esto se suma a bajos costos de energía de alta tensión, si se compara con otros países, como Islandia o Uruguay, donde si bien los factores de planta también son altos, la energía de alta tensión es más costosa.

Por otra parte, tenemos un alto potencial de sustitución de fuentes de energía en el transporte y en la industria, así como un sector agropecuario muy fuerte que se posiciona como uno de los principales consumidores de fertilizantes en el mundo y con una importación neta de amoníaco como parte de su formulación.

Otro punto a favor que destaca a Costa Rica frente a otros países es el talento humano calificado, técnico y profesional. Costa Rica cuenta con altos niveles educativos, mano de obra local calificada y una estructura académica que permite un mejoramiento en el tiempo. Además, cuenta con una excelente experiencia en la manufactura de equipos especializados, especialmente médicos, lo cual ofrece un respaldo para el desarrollo de equipos y tecnologías necesarias para consumo local de H2V o para su exportación. Debido a esto, se ha valorado a Costa Rica como centro de creación de capacidades para la región, interés que ya ha sido expresado por el Gobierno de Japón. (JICA 2022)

La ACH2, el INA y la UTN han estado desarrollando capacidades para el uso de H2V en transporte pesado mediante un convenio entre las tres instituciones. Esta alianza podría ampliarse en otros temas relacionados al H2V. La institucionalidad, especialmente académica, está comprometida con la innovación y con el desarrollo de elementos experimentales que podrían referenciarla como laboratorio y las estructuras tarifarias son conocidas por ser pensadas desde una perspectiva tridimensional (ambiental, social y económica), por lo que también podría llegar a ser referente en temas de estructura tarifaria.

El posicionamiento geográfico entre América del Sur y América del Norte, la cercanía con el canal de Panamá y el acceso a dos océanos, uno de ellos con una terminal portuaria de primer mundo (Limón en el Atlántico), aumentan las oportunidades de exportación. Lo anterior, unido al espacio territorial que puede utilizarse para la generación de proyectos de energías renovables e H2V, colocan al país como un potencial importante productor.

En el 2021, H Inicio detectó 3 posibles *hubs* de producción de H2V en Costa Rica, debido a su acceso a la infraestructura, potencial demanda, potencial de producción de energía renovable y potencial crecimiento económico.

Estos *hubs* son los siguientes:

- La región Central de San José y Alajuela
- Puerto Caldera en la provincia de Puntarenas, y
- Puerto Limón y Siquirres en la región Atlántica

Este último presenta la desventaja de estar lejos de los centros de producción de energías renovables. Caso contrario sucede en la zona noroeste del país, donde hay mucha producción de energías renovables, pero poca demanda actual. (Inicio 2021a)

En temas de inversiones, contamos además, con buenas referencias; entre ellas una larga relación con el Banco Europeo de Inversiones. Esta ventaja comparativa que Costa Rica tiene sobre otros países, sobre todo en cuanto al Sistema Bancario Nacional, puede agilizar la colocación de fondos provenientes de la Unión Europea, como los asignados para el desarrollo e implementación de proyectos de H2V.

Por último, pero no menos importante, Costa Rica cuenta con una estabilidad política y social histórica, lo cual la hace un espacio deseable en temas de inversiones.

Si bien los puntos que pueden destacar a Costa Rica en el mapa del H2V son muchos, existen también ciertos retos que es necesario valorar. Estos se describen en el siguiente apartado.

## 2.5 LOS RETOS POR ENFRENTAR

Muchos de los retos que enfrenta Costa Rica ante la posibilidad de desarrollar un ecosistema de hidrógeno verde tienen que ver con factores previos a la producción y están mayormente relacionados con la gobernanza, la normativa, los costos de implementación y las posibilidades de inversión.

Entre estos, los que más destacan se detallan a continuación:

- **Visión país:** si bien el Gobierno de Costa Rica ha indicado que la prioridad de uso del H2V es para el consumo nacional y existe una estrategia nacional con metas claras y algunos lineamientos, aún no es patente el posicionamiento de Costa Rica en el tema, ni cómo su aparato institucional podría trabajar para promoverlo. Es claro que hace falta planificar las líneas específicas de trabajo para que tanto el sector privado como el público puedan aportar hacia un mismo horizonte. A nivel institucional, se requiere aclarar cuáles serían los objetivos prioritarios que el H2V estaría atendiendo y las principales actividades a las que se podría dirigir. Consecuentemente, es necesario alinear tanto a las instituciones estatales y a la academia como al sector privado. Lo anterior, sin dejar de lado el aseguramiento de los servicios de investigación, desarrollo e innovación que podrían ofrecerse por parte de la academia en aspectos clave para la habilitación de las tecnologías del hidrógeno en los usos identificados.

Para esto, se recomienda generar proyectos piloto y demostrativos en conjunto que empiecen a construir esa visión común, al tiempo que se van tejiendo los puentes de comunicación que se requieren. En este sentido, se

vuelve necesario plantear una estrategia que aproveche el ecosistema de H2V o sus derivados como un instrumento para salir del intercambio desigual entre el norte y el sur global, en vez de perpetuarlo. La clave es emplear electricidad de fuentes renovables y limpias para impulsar un verdadero desarrollo endógeno, más que un simple mecanismo de mercado.

- **Seguimiento de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde:** esto daría credibilidad al país y brindaría mayor apoyo a proyectos piloto que pueden servir para generar experiencia. En este sentido, el seguimiento y actualización que se pueda dar al Plan de Acción de la ENHVCR, así como la capacitación del personal involucrado, son asuntos básicos, por lo que podrían aprovecharse los convenios que se han venido desarrollando entre la ACH2, la UTN y el INA.
- **Débiles capacidades de planificación en el país:** el principal reto identificado en cuanto a planificación se relaciona con las capacidades de desarrollar una estrategia nacional para la implementación del H2V que sea más robusta y que considere al H2V como un factor más en la transición energética del país, bajo una planificación a largo plazo y no como una sumatoria de proyectos aislados. Esta brecha corresponde con las capacidades de las instituciones estatales requeridas durante el proceso de transición para planificar sus roles durante el proceso, así como para promover el mercado local de H2V y desarrollar la infraestructura necesaria, entre otros, para la descarbonización del sistema nacional de combustibles. De igual forma, se requieren capacidades en el estado para conducir y articular un programa nacional con participación de instituciones, academia y sector privado. Asimismo, para planificar la consolidación de capacidades y necesidades de transferencia tecnológica e innovación y para asegurar la puesta al día con respecto al desarrollo tecnológico mundial en los diferentes segmentos de la cadena de valor del H2V y sus derivados.

Lo anterior se relaciona con las necesidades de planificar y promover la investigación, desarrollo propio de tecnologías e innovación a nivel país; tarea que debe realizarse muy estrechamente entre las instituciones gubernamentales y la academia con un claro el norte común. Un punto importante para abordar, como parte de la planificación a largo plazo, es la actualización del Plan de Expansión de la Energía. Si quisiéramos llegar a ser carbono neutral al 2050 habría que cuadruplicar las inversiones que Costa Rica ha hecho en temas de electricidad en los últimos 70 años. Esto requeriría, por una parte, un alto nivel de alineamiento del Estado costarricense y, por otro, una gran inversión, probablemente, privada o extranjera) que debe ser considerada en estos planes. Los planes de inversión asociados al Plan de Expansión de la Energía no contemplan las necesidades de inversión del H2V, debido a que el ICE no puede asumir el riesgo de construcción si no se tienen claros los requerimientos de esta y si no se tiene certeza de la demanda proyectada para la producción específica.

Por último, el país necesitaría evolucionar en las formas de evaluación del impacto de las energías renovables no gestionables (eólica y solar), las cuales pareciera que hasta ahora han tenido una mayor resistencia que la energía hidroeléctrica. Lo anterior, se demuestra por la oferta energética de los proyectos instalados en el país: alrededor de 11 por ciento de origen eólico y 0.16 por ciento de energía solar, según el Informe Ejecutivo del Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2022-2040, a pesar de que se cuenta con una radiación relativamente buena. (ICE 2023)

- **Normativa:** el reto de la creación de una normativa sólida es grande. Básicamente, se necesita desarrollar una normativa que se pueda implementar a tiempo, que sea acorde a los objetivos del país y que sea lo suficientemente flexible para que pueda evolucionar y adaptarse en el tiempo, sin que esto ponga en riesgo la calidad y la seguridad a lo largo de la cadena de valor, ni la viabilidad de los usos prioritarios determinados a nivel nacional. La aparente transición rápida hacia el uso de H2V y la necesidad de los países por «conquistar» el mercado puede poner en riesgo la estabilidad, profundidad y estrategia de las regulaciones, por lo que el desarrollo de estas debe estar basado en información técnica y científica, no solamente política. Sin embargo, la discusión política es también necesaria; especialmente cuando las prácticas propuestas en torno al H2V podrían seguir replicando el intercambio desigual entre el norte y el sur global. Además, es importante para definir los mecanismos necesarios para plantear alternativas para revertir dicha desigualdad.

La normativa es una de las piezas fundamentales para la promoción de un ecosistema específico de H2V, seguido de los incentivos que, a partir de la misma normativa, logren desarrollarse. Si sabemos que la producción de H2V puede ser limitada, debido entre otras cosas a insumos que también son limitados como las energías renovables o el uso de tierras raras para el desarrollo de equipo, es importante considerar además de las variables técnicas, las variables sociales y ambientales. En este momento, los únicos códigos vinculantes son los que aplican para cualquier proyecto a nivel municipal o a nivel de permisos ambientales. También, el Código Eléctrico Nacional (NEC, por sus siglas en inglés) y la Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo (NFPA 70, por sus siglas en inglés en su última versión), que se relaciona con las disposiciones en las instalaciones para la producción y almacenamiento.

Aparte de esta normativa vinculante, la mayoría de la normativa que Costa Rica ha estado desarrollando está relacionada al uso del H2V en la movilidad, cuestión que ha venido sucediendo en muchos países debido a la urgencia de descarbonizar este sector. Incluso, actualmente se ha llevado a cabo la adopción de algunas normas por medio del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), la gran mayoría dedicadas al sector transporte. No obstante, en este momento esas normas no son vinculantes y su



homologación se encuentra suspendida. Sobre esta, se están buscando patrocinios para reactivar dicha homologación, lo cual genera el riesgo de que pueda perder su neutralidad, según quien brinde el patrocinio.

De igual forma, aunque el Comité Técnico Nacional de Hidrógeno trabaja en la adecuación o tropicalización de normas y estándares internacionales recomendados tanto para el desarrollo de vehículos como para el establecimiento de plantas de producción y almacenamiento, el resultado de esta tropicalización no es vinculante y por el momento se queda a nivel de recomendaciones para la producción y el almacenamiento. Tal es el caso de las normas ISO y GBT. La mayor interrogante a nivel normativo es cómo se utilizaría este «nuevo combustible», el cual podría ser completamente libre para efectos de actores privados, o bien, podría estar regulado por las instituciones estatales a distintos niveles. Se habla de que el Estado podría regular la producción de H2V, encargarse totalmente de ella, regular los precios mediante la ARESEP o encargarse de la distribución. Todas estas interrogantes aún no han sido contestadas y no tienen una línea a seguir a nivel gubernamental.

Sumado a lo anterior, otros vacíos detectados son los siguientes:

1. Una normativa que permita a las empresas estatales y privadas incursionar con seguridad en esta tecnología. El gobierno debe considerar seriamente dar apoyo a esta tecnología al igual que lo hace con otras, de manera que puedan coexistir y no competir, especialmente en temas como la investigación básica y aplicada, así como el establecimiento de proyectos piloto y demostrativos. Esto está muy unido a la necesidad de contar con normativas para el desarrollo y uso de tecnologías y metodologías de producción, uso, almacenamiento y transporte de hidrógeno.
2. Una normativa asociada a otros usos del H2V, por ejemplo, la producción de amoníaco o metanol como insumo de distintas cadenas de valor no asociadas al transporte, su uso en la industria siderúrgica, entre otros.
3. Una normativa que aclare qué proporción del SEN sería utilizada para la producción de H2V o si la capacidad necesaria sería nueva y desligada al Sistema eléctrico nacional.

En conclusión, es necesario realizar estudios técnicos serios para asegurar que el marco normativo aclare, bajo supuestos de viabilidad, quiénes serán las instituciones rectoras en torno a lo relativo al H2V, qué tanta participación tendría el Estado en la producción, comercialización o distribución, cuál sería el rol del sector privado y cuál sería la participación del Estado en la habilitación de un mercado local o internacional.

### **1. Reinventar el sistema energético y asociar el Sistema eléctrico nacional con el sistema nacional**

**de combustibles:** este gran reto requiere la transformación y el mantenimiento de un ecosistema de producción de energía flexible y descentralizado como nuevo modelo de negocio. Para esto, el país necesitaría pasar de grandes centros de producción a pequeños centros de producción y distribución de electricidad proveniente de fuentes renovables, así como probablemente pequeños centros de producción de H2V o sus derivados para el sector transporte.

Además, sin que necesariamente sea dirigido a la producción de H2V, es sabido que Costa Rica –como muchos otros países del mundo– necesita renovar el sistema de transmisión eléctrica, con el reto de la obtención de fondos como limitante. Por otra parte, aunque RECOPE tiene la experiencia en sistemas de distribución de combustibles, no tiene el asidero legal para distribuir combustibles que no sean de origen fósil, por lo que esta institución debe replantear su rol y actualizar su infraestructura institucional para que pueda pasar de ser una refinería, que realmente no refina, a una institución experta en combustibles renovables. El vínculo que se logre entre el Sistema eléctrico nacional y el sistema nacional de combustibles será el que determine si el uso del H2V en transporte va a ser exitoso.

2. **Evitar la privatización de la energía:** dependiendo de la visión país acerca de los usos y formas de comercialización del H2V, la transformación que se haga del sistema energético y la gobernanza asociada (ver apartado correspondiente), podrían propiciar un ecosistema de hidrógeno verde que lleve a la privatización de la energía. Por ejemplo, en el esquema que al parecer se está fomentando en Costa Rica, mediante las conversaciones con empresas transnacionales donde grandes inversores internacionales podrían llegar a comprar importantes cuotas de la producción eléctrica nacional, se corre este riesgo.

En cambio, si lo que se fomenta son pequeños centro de producción distribuida, la generación podría ser o no privatizada, dependiendo de qué tanto las instituciones del Estado modifiquen o no su modelo de negocio. En caso de que la producción de energía renovable siga siendo liderada por el SEN, la energía tendría mayor oportunidad de seguir siendo pública, pero descentralizada. Esto, incluso, podría aumentar sus niveles de democratización. Sin embargo, si la generación de energía renovable es distribuida, pero totalmente privada, se correría el riesgo de que la energía en general –incluido el H2V que pueda ser utilizado en el transporte– sea privatizada también y monopolizada a futuro, dejando de cumplir con los principios de la transición energética.

3. **Aumentar nuestro grado de negociación:** tratar de tener una mayor participación en las cadenas de producción internacionales y lograr una mayor transferencia tecnológica y posicionamiento regional. En este sentido, podríamos fortalecer las cadenas de

producción y comercio con el sur de América y no con el norte global.

Específicamente, como parte del proceso de producción, existen otros retos que tenemos en común con algunos otros países, tales como los descritos a continuación:

- Los **altos costos iniciales y periodos del retorno de la inversión**, especialmente en la adquisición de electrolizadores, tanques de almacenamiento, estaciones de recarga y otros equipos que cumplan con los requisitos de seguridad necesarios. Si bien las personas expertas indican que el verdadero problema de los costos del H2V se debe a los gastos de capital (CAPEX por sus siglas en inglés), que representan aproximadamente un 50-60 por ciento de la inversión a nivel de proyectos de H2V, los países compiten por reducir el precio final del H2V a través de la reducción en el precio de venta de la electricidad renovable. En este sentido, vale la pena analizar entonces si esta diferencia de precio es un problema real, a qué niveles es necesario disminuirlo y si esta disminución es sostenible para el país

Para dar algunas referencias, en México, el costo actual del H2V producido en proyectos demostrativos va de 5.5 a 8.6 dólares por kilogramo, sin incluir los costos de transporte, que pueden aumentar hasta en un 50 por ciento el precio final. A pesar de esto, México proyecta producir a precios entre uno y dos dólares por kilogramo para el 2040. (Jano Ito et al. 2022) En el caso de Uruguay, se habla de costos de producción al 2030 ubicados entre los 1.2 y 1.4 dólares por kilogramo, muy similar al caso chileno, que actualmente ha ofrecido sus precios a 1.3 dólares por kilogramo (MIEM 2022; Medillina 2021).

En Costa Rica, la ENHVCR habla de una venta de hasta 2 a 3 dólares por kilogramo para el 2030, mediante la promoción de las energías eólica y fotovoltaica. (MI-NAE-SEPSE 2022) Sin embargo, un amplio sector del país espera que se pueda llegar a valores menores a los dos dólares por kilogramo, gracias al uso de dos plantas de producción del ICE, que ya han sido pagadas. Una de estas es la Planta Hidroeléctrica Jorge Manuel Dengo, que como ya se mencionó podría producir a 2 centavos de dólar el KW/h, un precio de la producción mucho menor que el que pueda ofrecer el desierto de Atacama, mediante energía fotovoltaica.

El **costo de las energías renovables** debería ser lo suficientemente **competitivo** como para promover nueva y mayor producción. Difícilmente el consumidor vaya a pagar más por una energía, aunque esta sea más sostenible, si sigue teniendo opciones de energía más barata como lo son los combustibles fósiles. Además, en este sentido desde el año 1990, la convocatoria para el concurso de proyectos de energía renovable generada por privados se da más que todo a nivel de rifa y no de competencia, por lo que cualquier proyecto de energía renovable que se encuentre en el piso de la banda, puede ser seleccionado e incluido en la rifa que otorga

el derecho a ser parte del bloque de proyectos a desarrollar, sin considerar su idoneidad. Esto con un máximo de producción energética de 20 MW para proyectos de *Built, Operate and Own* (BOO) y 50 MW para proyectos de *Built, Operate and Transfer* (BOT), lo cual ha sido ampliamente criticado por el sector desarrollador privado, argumentando que no permite desarrollar economías de escala. (Ley 7508 1995: artículos 05 y 20)

Por otra parte, la cantidad de proyectos de generación eléctrica permitidos depende de la decisión del ICE, quien se basa en las proyecciones del crecimiento vegetativo del consumo de energía eléctrica del país, sin contemplar el uso potencial en la producción de H2V o el abastecimiento de energía necesaria para transformar la flota de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos (BEV, por las siglas en inglés de *Battery Electric Vehicle*).

- Encontrar otros **usos de alto valor agregado**. Mientras que a nivel internacional los precios de los vehículos de transporte alcancen niveles más accesibles para la adquisición nacional y permitan el recambio de la flota vehicular, es necesario desarrollar el mercado interno de H2V en otros sectores, como el agropecuario, donde el uso de H2V para la producción de amoníaco podría representar una muy buena opción.
- Aumentar las **capacidades de transporte y distribución** a mediano y largo plazo. Para lo cual, sería prudente valorar la ampliación de la demanda de combustibles sintéticos, así como desarrollar de forma paralela, nuevos materiales para la compresión a altas presiones, almacenamiento criogénico, quimi-sorción o la fisisorción, entre otros.
- **Desarrollo de clústeres** que incluyan a empresas nacionales e internacionales, a instituciones gubernamentales y a la academia. Este reto requiere de la alineación del país a través de diversas instituciones gubernamentales, como lo son el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS) y el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC), junto con empresas extranjeras que trabajen en asociación igualitaria con empresas costarricenses y universidades del país. Este desarrollo conjunto debería enfocarse tanto en el incremento de capacidades locales, innovación, patentes, promoción de pequeñas y medianas empresas (PYMES) como en el posicionamiento internacional a través de la generación del valor agregado, entre otras.

Otras interrogantes por resolver, que deben ser consideradas en los retos anteriores incluyen las posibilidades de:

- negociación de los pocos excedentes que pueda generar el SEN
- autoconsumo virtual/remoto
- flexibilización de tarifas eléctricas para prosumidores
- generación distribuida
- medición del impacto potencial de la sobre instalación de eólicas y fotovoltaicas, de cara a los efectos del cambio climático.



## 2.6 LAS OPORTUNIDADES PARA EL PAÍS

Al valorar la creación de un ecosistema de H2V resaltan una serie de oportunidades que son dignas de mención, entre ellas las descritas a continuación:

- **La indudable descarbonización** del transporte o de la industria, como sectores donde se valora que se podría utilizar el H2V.

Esto implicaría lo siguiente:

- Una integración de mayor energía renovable variable en el sistema energético nacional y la flexibilización del SEN.
  - Atender la industria de difícil electrificación. Entre ellas las oportunidades relacionadas en la industria alimenticia, del tabaco, cuero, textiles, madera, papel, vidrio y químicos, según el Balance de Energía.
  - Atender el mercado local del transporte (específicamente de carga, larga distancias, transporte de personas) con recursos renovables.
  - Cumplir con el Plan Nacional de Descarbonización que menciona que Costa Rica será energéticamente renovable al 100 por ciento para el 2030.
  - Contribuir a la transformación de una matriz productiva y una economía más verde.
- **El aporte a la transición energética justa y sostenible del país.** El H2V brinda la posibilidad de reinventar el Sistema Energético Nacional y el sistema nacional de combustibles y, como parte de esta reinención, unir ambos sistemas para desarrollar un SEN más descentralizado, flexible y democratizado, así como redireccionar la energía (más allá de la eléctrica) como un bien y servicio de dominio público, no solo mercantil.
  - **Una mayor independencia del sector agro,** específicamente, en la importación de fertilizantes. El 100 por ciento del abastecimiento de fertilizantes en Costa Rica se da gracias a la importación. El conflicto de Rusia con Ucrania tuvo repercusiones inmediatas en este punto, pues generó cambios abismales de precio en cuestión de pocos días. Así, uno de los principales usos del H2V que se proyectan para Costa Rica es en la producción de fertilizantes para el mercado nacional, para lo cual se cuenta con experiencia desde las universidades y sus carreras de química. Esto, además, podía tener impactos positivos en la seguridad y soberanía alimentaria.
  - **El ahorro en el Producto Interno Bruto (PIB)** anual de aproximadamente un cuatro por ciento, que actualmente se gastan en combustibles fósiles. Sumado al presupuesto que el sistema nacional de salud invierte en las infecciones respiratorias agudas, producto del uso de combustibles fósiles y la contaminación que generan.
  - **El fortalecimiento de la mezcla energética y de la seguridad energética del país.** Esto al sumar un nuevo

y probablemente más diverso despliegue de energías renovables y sumideros energéticos.

- **La posibilidad de un nuevo posicionamiento del país en el mercado internacional,** mediante la producción y exportación de tecnología asociada a las cadenas de valor del H2V o sus derivados. La producción de componentes y tecnología para la producción de H2V se encuentra fuera del istmo centroamericano y del cono sur del continente, por lo que no aprovechar este nicho, no solo reduciría las posibilidades de participación a nivel internacional, aumentaría la dependencia tecnológica y desperdiciaría la oportunidad de crear clústeres regionales, además, generaría una dependencia de la importación de insumos básicos para la producción local de H2V. (Ver como ejemplo Gonzalez 2023) En caso de apostar por la producción de H2V, Costa Rica podría fabricar sus propios electrolizadores, que, a su vez, podrían generar encadenamientos a escalas regionales o subregionales. De igual forma, en cuanto a clústeres regionales, podríamos colaborar con Panamá, que pretende convertirse en el *hub* regional de H2V y derivados para el *bunkering* de barcos, o con Chile, donde se proyecta que la demanda de equipos será alta. (Gaceta Oficial Digital de Panamá 2022; 2023)
- **Una mayor posibilidad de desarrollo endógeno y dinamización de la economía.**

Esta incluye los siguientes aspectos:

- La posible producción de H2V, sus derivados, sus tecnologías (como electrolizadores, componentes integrados) y sus servicios asociados (diseño, consultoría, etc.).
- Mayor encadenamiento productivo: creación de una nueva industria a partir de un énfasis ya conocido (diseño, manufactura, mantenimiento de equipos), sumando a nuevos nichos, por ejemplo negocios en logística o transporte.
- Promoción de clústeres entre academia, empresa privada y gobierno para promover el desarrollo industrial y la transición energética. Por ejemplo, se habla de clústeres con participación de instituciones gubernamentales y academia, con proyectos de mejora productiva para agricultores de pequeña y mediana escala que quieran explorar en el uso de invernaderos y producción de energía solar en sus superficies.

Se considera que en este sentido Costa Rica tiene altas capacidades para alinear a la academia, las industrias locales y las instituciones y para atraer inversión extranjera que podría estar participando de este tipo de relaciones. Actualmente, el Programa Nacional de Clústeres (PNC), iniciativa apoyada por el Banco Interamericano de Desarrollo, se encuentra en el Ministerio de Trabajo y pretende, entre otras cosas, promover la reversión de la hiperconcentración económica en el Gran Área Metropolitana (GAM). Aunque parecieran estar enfocados en agroindustria (incluyendo agricul-

tura de precisión), dispositivos médicos, logística, manufactura, TIC, turismo y seguridad, podrían representar una posibilidad para el H2V. Por otra parte, se abrirían mayores posibilidades de promoción de I+D+I (Investigación, Desarrollo e Innovación), mayor oportunidad para producción de patentes, derechos de propiedad intelectual, entre otros, que tendrían efectos en el fortalecimiento de la educación y de la comunidad científica en temas de innovación, energías renovables y tecnología.

- Desarrollo o fortalecimiento de nuevas PYMES, así como diferentes alternativas para empresas que ya están en la industria relacionada a la tecnología.
  - Generación de empleos verdes: nuevas fuentes de empleo de alto nivel educativo y creación de fuentes de trabajo especializada.
  - Fortalecimiento del mercado local y posible apertura de nuevos nichos de exportación, así como una nueva fuente de ingresos
- **La creación de fuentes de trabajo especializada.** En este sentido, la ENHVCR habla de 12 000-18 000 empleos directos e indirectos, con un fuerte enfoque en empleos relacionados con los sectores del transporte y de la industria. (MINAE-SEPSE 2022) Sin embargo con una estrategia más ampliamente desarrollada, por ejemplo, hacia el sector agropecuario o de bebidas, se podrían considerar mayor cantidad de empleos, especialmente en productos derivados del amoníaco (fertilizantes) y del metanol, entre otros. Es importante considerar que, aproximadamente, el 79 por ciento de los empleos directos relacionados a la producción de H2V se dan temporalmente, durante las fases de construcción, operación y mantenimiento de proyectos de energías renovables y plantas de electrólisis (Inicio 2021a). Luego, estos disminuyen. Según datos de IRENA, durante el ciclo de vida de un proyecto solar de 50 megavatios (MW), se produce 4.1 empleos por MW, mientras que en proyectos eólicos del mismo tamaño se producen 6.3 empleos por MW. (IRENA 2021). Otros usos de mayor valor agregado del H2V, como la creación de fertilizantes y bebidas, podría generar mayores encadenamientos y, por tanto, mayor cantidad de trabajos que no sean temporales.
  - **Orientación a la justicia social y a la sostenibilidad ambiental, así como el posicionamiento de Costa Rica como país que promueve un nuevo modelo económico.** Este punto debe asegurar la evaluación de los impactos sinérgicos que pueden darse por la suma de pequeños proyectos de energías renovables, así como de producción, almacenamiento, transporte y consumo de H2V y sus derivados. Difícilmente estos se van a presentar a la Secretaría Técnica Ambiental (Setena) como un paquete de proyectos conjuntos o por etapas, sino más bien como proyectos fraccionados, por lo que su análisis deberá realizarse como ecosistema productivo.
  - **Una disminución de la vulnerabilidad.** Al aumentar la seguridad energética, disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, abastecer al país con insumos para la industria, mantener relativos bajos precios de energía, en comparación con otros países, entre otros.
  - **Colaboración con objetivos de desarrollo de otros países (en caso de exportación).** Entre ellos, disminuir las emisiones de GEI y «saldar» la deuda histórica, transformar la matriz energética a una sostenible, promover una economía sostenible, evitar el riesgo sobre el recurso hídrico en países potencialmente generadores, donde el abastecimiento es escaso, y evitar el desplazamiento del uso local de las energías renovables (*crowding out*) en países donde la producción de estas energías es baja.

## 3

## POSIBILIDADES DE USO

A la hora de analizar las principales oportunidades de desarrollar un ecosistema de H2V en Costa Rica, es necesario considerar las oportunidades más relevantes para el país en términos de transición energética justa. Opciones que, además de ser viables, generen beneficios para el país e impliquen la menor cantidad de riesgos económicos, ambientales y sociales, con el fin de promover un desarrollo económico disociado del consumo de recursos y de los impactos medio ambientales. Aunque, como parte de su estrategia nacional, Costa Rica se ha posicionado en la producción de H2V para satisfacer las necesidades del mercado local, existen también oportunidades de exportación que podrían valorarse a futuro. En este apartado, se discuten los usos asociados a ambos mercados.

### 3.1 USOS DOMÉSTICOS: EL MERCADO NACIONAL

A nivel nacional, es posible desarrollar una serie de elementos en torno a la producción y uso de H2V, tanto como vector de energía *per se*, así como insumo para otros procesos. A continuación, se enlistan las opciones que, a partir de discusiones con personas expertas, resultan ser las opciones con mayor posibilidad de desarrollo:

1. Movilidad de barcos, ferris y aviones
2. Transporte terrestre pesado o de personas a larga distancia
3. Producción de energía para usos industriales difíciles de electrificar
4. Almacenamiento energético
5. Producción de amoniaco como insumo para fertilizantes de consumo local
6. Power to X
7. Producción de otros compuestos químicos
8. Uso del H2V en procesos siderúrgicos
9. Desarrollo de tecnologías y equipo especializado de producción de H2V
10. Manufactura de equipo para el consumo, almacenamiento o transporte de H2V
11. Costa Rica como centro de creación de capacidades o laboratorio regional de integración de tecnología
12. Costa Rica como oferente de servicios de diseño y ejecución de proyectos de producción de hidrógeno verde

Como se puede ver en la Figura 1, a la hora de analizar el nivel de relevancia y potencialidad indicado por las personas expertas entrevistadas sobre estos usos, se observa que, aunque se consideran mediana y altamente posibles y relevantes, algunos destacan más claramente. Los más resaltados fueron las oportunidades de posicionarse como un centro de creación de capacidades o laboratorio regional para el desarrollo e integración de tecnología, así como la posibilidad de ofrecer servicios de diseño y ejecución de proyectos de producción, distribución y consumo de H2V (usos enumerados como 11 y 12).

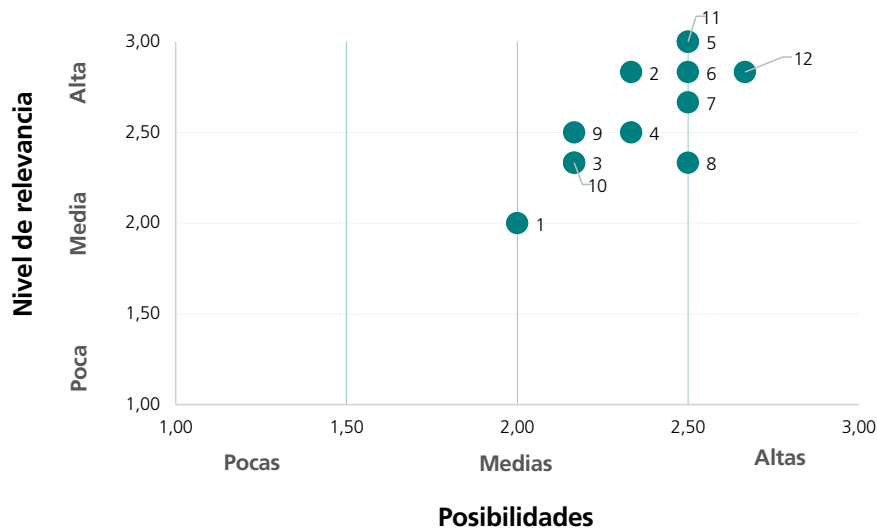
Para esto, Costa Rica cuenta con capacidades para el desarrollo de proyectos piloto y proyectos demostrativos, que tienen el potencial de partir de la alta diversidad de su matriz renovable. De cara a las grandes inversiones requeridas y al tamaño de los proyectos para producir H2V a gran escala, uno de los posibles enfoques de Costa Rica podría ser brindar apoyo en el desarrollo y ejecución de plantas piloto y plantas demostrativas. Mediante lo anterior, se puede dar a conocer la factibilidad tecnológica y financiera de ciertas tecnologías en la región, así como estudios sobre formas de producción, mejoramiento de equipos y usos potenciales.

De esta manera, Costa Rica podría posicionarse como laboratorio de sistemas integrados de H2V a escala, mediante el empleo de diferentes tipos de industrias y de energías renovables, que luego podrían ser utilizadas por otros países. Incluso, actualmente el Gobierno de Japón ya ha expresado el interés de desarrollar un laboratorio de H2V en el país a corto o mediano plazo. (JICA 2022)

Estas capacidades unidas a *know how* que actualmente tiene el país, gracias a su experiencia en proyectos demostrativos, puede posicionar a Costa Rica como oferente de servicios de diseño y ejecución de proyectos de producción de este tamaño.

Figura 1

**Nivel de relevancia y posibilidad de las principales oportunidades locales en torno a un ecosistema de hidrógeno verde (numeración basada en el texto).**



Fuente: Elaboración propia.

En un segundo lugar, las personas expertas consideran, con relativo consenso, el desarrollo de un ecosistema de producción de compuestos químicos a partir del H<sub>2</sub>V, tales como los asociados a PtX (uso potencial número 6 en la Figura 1) u otros compuestos químicos (uso potencial número 7), y específicamente a la producción local de amoníaco verde (uso potencial número 5) como insumo para fertilizantes de consumo local altamente relevantes y posibles. El PtX se refiere a la conversión de energía eléctrica en fuentes de energía química líquida o gaseosa, que pueden ser aprovechados en otros usos. Por ejemplo, el syngas, metanol u otros combustibles sintéticos que surgen al combinar el H<sub>2</sub>V con dióxido de carbono o nitrógeno.

Actualmente, el 100 por ciento de los fertilizantes utilizados en Costa Rica son importados, lo que refleja que el nivel de dependencia del amoníaco importado es realmente alto. Este uso potencial del H<sub>2</sub>V para la producción de amoníaco podría colaborar a aumentar su demanda en un inicio, permitiendo dar espacio para hacer crecer la infraestructura asociada a la producción de H<sub>2</sub>V, su distribución y almacenaje.

Así, este espacio temporal podría servir para acondicionar a mediano o más largo plazo la tecnología e infraestructura necesaria para el transporte. Lo anterior, al mismo tiempo que ofrece una ventana de tiempo para asegurar la demanda eléctrica y su respectivo crecimiento, esperar el abaratamiento de las energías renovables variables, adaptar su gobernanza y adaptar el SEN bajo el concepto de un nuevo modelo de negocio. Además, esta ventana de tiempo permite seguir desarrollando investigación en torno al almacenamiento y transporte mediante el uso de baterías, procesos de licuefacción o sustancias químicas estables como el amoníaco.

Si bien la relevancia y la posibilidad de las oportunidades relacionadas con el almacenamiento energético (uso potencial nú-

mero 4 de la Figura 1), los distintos usos industriales en procesos de altas temperaturas (>400°C) donde la electrificación o la concentración térmica solar presentan retos técnicos (uso potencial número 3), la manufactura de tecnología y equipo especializado (usos potenciales número 9 y 10) y el uso del H<sub>2</sub>V para la movilización de transporte marítimo o aéreo (uso potencial número 1), fueron catalogadas por las personas expertas como de nivel medio, no presentaron un consenso en lo que a relevancia se refiere. Esto hace pensar que aún quedan vacíos de información técnica que deben ser subsanados.

En cuanto a la movilidad de barcos y ferris, se considera difícil, ya que como gas se fuga fácilmente y solo sería viable a cortas distancias (se pierde aproximadamente uno por ciento al día) y en forma de amoníaco (líquido) requiere mucha logística (energía extra para la reconversión e insumos extras para su transformación), lo que aumenta así sus costos. A pesar de esto, se considera una opción de uso local con efectos en el comercio exterior, ya que actualmente la Unión Europea exige a los barcos abastecer su energía con las fuentes que alimentan a los puertos donde atracan y no con sus motores de combustibles fósiles, por lo que podría ser una opción de abastecimiento temporal de las naves.

Específicamente en cuanto al uso de H<sub>2</sub>V para transporte terrestre, la discusión depende de si el uso es para transporte liviano, pesado o de larga distancia. Como punto de referencia, se usa la ENHVCR. Esta tiene la inclusión de vehículos de pila de combustible (FCEV, por las siglas en inglés de *Fuel Cell Electric Vehicle*) como meta estratégica de demanda para la adopción del hidrógeno en 2030. Pretende incorporar un total de 100-250 vehículos ligeros (flotas) dedicados principalmente al transporte de pasajeros, como son los taxis, servicio público y flotas oficiales, así como 200-600 vehículos que podrían ser de transporte público o camiones de carga pesada (alineado con los ejes 1 y 3 del Plan de Descar-

bonización) y 15-20 hidrogeneras de acceso público<sup>12</sup>. (MI-NAE-SEPSE 2022)

Con respecto al uso de H2V en vehículos livianos, el consenso entre las personas expertas es bastante alto. Esto se basa en que se ha demostrado que para este tipo de uso lo mejor son los vehículos eléctricos convencionales (BEV), cuyo costo es mucho menor y su eficiencia en el uso de la energía es mayor. (Rueter 2022) Además, para estos ya se cuenta con infraestructura desarrollada. Por este motivo, consideran que promover el uso de H2V en este tipo de vehículos más bien podría retrasar la electromovilidad.

Si analizamos la eficiencia en el uso de la energía, un vehículo de hidrógeno (FCEV) ronda los 25-30 por ciento de eficiencia, mientras que uno eléctrico alcanza los 60-70 por ciento. (Jaroslav 2021) Los electrolizadores, por su parte, son eficientes entre un 60 y 90 por ciento, sin embargo al comprimir y descomprimir se pierde mucha energía. (Rodríguez Carrasco e Iranzo Patricio 2022)

Por otra parte, en cuanto a la infraestructura de abastecimiento, además de que esta ya se encuentra en desarrollo para los vehículos eléctricos de baterías convencionales (BEV), cuando se habla de hidrolíneas o hidrogeneras, la infraestructura requerida para abastecer vehículos livianos privados es muy costosa, compite con el espacio de la infraestructura ya creada para los vehículos eléctricos convencionales y es complicada de planificar ya que sus rutas no están claramente definidas. Este no sería necesariamente el caso de los taxis o flotas oficiales que podría estar valorando la ENHVCR, para lo cual se podrían crear puntos específicos de abastecimiento.

Por último, pensando en combustibles sintéticos, en el caso de vehículos livianos pareciera que el costo de estos combustibles no alcanzaría paridad sino hasta del 2050, por lo que no es un incentivo al recambio. (Hinicio 2021b)

En cuanto al uso del H2V en transporte pesado, de personas o a largas distancias, aunque su uso es considerado relevante y posible por las personas expertas y, según la consultora H Inicio, se proyecta que la paridad de costo entre el GLP y el H2V puede aproximarse al 2035, es un uso potencial altamente debatido. (Hinicio 2020) Esto debido a que se considera que, dependiendo de cómo sea el abastecimiento, también podría generar una competencia con la carga de vehículos livianos eléctricos y podría hacer al país más dependiente de tecnologías extranjeras.

Los vehículos de carga pesada y de personas suelen cargarse en horas de la noche, al igual que los vehículos livianos eléctricos de uso privado. Si bien el país cuenta con una mayor disposición de energía durante la noche, es justamente en este momento durante el cual se estaría dando la recarga de los vehículos livianos de baterías convencionales, por lo que

si esta energía se dispone para producir hidrógeno a estas horas, se corre el riesgo de que no esté disponible para electrificar el resto de la movilidad. Así, los vehículos de H2V (FCEV) podrían estar compitiendo con la carga los vehículos eléctricos de baterías convencionales (BEV), que actualmente ya están funcionando, para los cuales ya existe infraestructura asociada y cuyo uso se continúa promoviendo mediante un uso más directo de la electricidad producida a partir de fuentes renovables del SEN.

Es otras palabras, si durante la noche la energía renovable se utiliza para producir H2V y este, a su vez, se utiliza directamente para cargar los vehículos pesados o de larga distancia o para producir algún combustible sintético, no estaría disponible para utilizarse directamente en la electromovilidad. Aunque ambos tienen el mismo fin, el H2V es menos eficiente.

Por otra parte, se considera que los vehículos de H2V (FCEV) podrían ser más bien un complemento cuando el horario de carga no compite con el del grueso del país. De esta forma, se evita que el SEN tenga una carga que, con las proyecciones actuales de expansión, no podría soportar.

En cualquiera de los casos, cuando se habla transporte, se habla de la necesidad de una posible transformación de motores de combustible a motores de combustión (de hidrógeno o combinadas –hidrógeno y diésel–), en los que la celda de combustible funcione como un electrolizador, haciéndolo apto para el transporte. En cuanto a los tipos de celdas, las de combustible de membrana polimérica son las más eficientes (>60 por ciento de eficiencia) y tienen un alcance similar (aproximadamente 500 Km), así como tiempos de recarga similares a los motores de combustión interna (< 5 min.). (Jaroslav 2021) Sin embargo, aun cuando sea posible la transformación del vehículo –no necesariamente la compra de uno nuevo–, existe un costo de recambio y habría que analizar quién estaría pagando por ese *retrofit* de los vehículos que aún se encuentran en funcionamiento. En este sentido, dos de las principales cuestiones a resolver para ampliar la demanda local están relacionadas con el tema de la chatarrización y la necesidad de evitar el efecto *underclass*<sup>13</sup>. En algunos países del norte global, estas transiciones son apoyadas por los gobiernos, sin embargo en las realidades latinoamericanas, eso no ha sido posible hasta ahora.

Lo que si es cierto es que, en el caso de infraestructura para vehículos de carga pesada o en el caso de transporte de pasajeros a largas distancias, al tratarse de vehículos que transitan rutas definidas, el desarrollo de hidrolíneas e infraestructura de abastecimiento asociada es mucho menor y más fácil de planificar a nivel de país. El reto aquí se encuentra en la escala subregional a la cual transita este tipo de vehículos, especialmente el de carga, ya que una gran parte se moviliza a nivel centroamericano, por lo que para la creación de in-

<sup>12</sup> Algunos países hacen la distinción entre hidrogeneras o hidrolíneas, sin embargo en la ENHVCR la definición utilizada no se incluye en el documento. En los países donde se hace la diferencia entre ambos conceptos, la hidrogenera se refiere a la estación en la que el hidrógeno es producido, mientras que la hidrolínea es la zona de abastecimiento o dispensado de ese hidrógeno, la cual puede estar en el mismo sitio de la hidrogenera o en un sitio distinto, donde fue transportada mediante ductos o camiones.

<sup>13</sup> El efecto *underclass* se da cuando las personas con un menor nivel adquisitivo no pueden tener acceso a las tecnologías y, por tanto, quedan desfazados.

fraestructura sería necesario coordinación con los otros países que se encuentren en la ruta.

Según el *British Petroleum*, aproximadamente un cuarto de la energía utilizada para movilizar el transporte de carga pesada provendrá del H2V, lo cual hace pensar que los fabricantes de este tipo de transporte podrían estar considerándolo como una de sus principales estrategias de transición energética a mediano plazo. Esto podría afectar a Costa Rica en el sentido de que, si esta tecnología es únicamente importada y no producida en el país, corremos el riesgo de seguir dependiendo de insumos que provienen del extranjero para las movilizaciones de carga a lo interno de Costa Rica y la subregión.

Incluso, a nivel de energía, se desconoce si a futuro Costa Rica podría suplir las cantidades de H2V para una alta demanda por parte del sector de transporte pesado. Un estudio de H Inicio en el 2021 calcula que solo se necesita el 10 por ciento del potencial de producción teórica de Costa Rica (600 kton) para suplir la demanda de hidrógeno proyectada para su uso en el sector transporte, que sería aproximadamente un 377 MW de electrólisis al 2030 y 7 119 MW al 2050. (Inicio 2021a) Sin embargo, como ya se explicó antes, este potencial de producción teórica no es legalmente posible y el cálculo de la demanda realizado solo considera el uso de H2V y no toma en cuenta el transporte electrificado, cuyos avances ya se encuentran en curso y tienen un resultado más eficiente que es importante considerar.

Por otra parte, si se utiliza la actividad solar para cargar automóviles mediante hidrogenas, solo se podría realizar en cierta franja horaria y la energía eólica no asegura que lo que no se pueda captar de solar se pueda captar mediante los proyectos eólicos. Además, si se utilizan baterías, el precio variaría y sería mayor, por lo que podría haber resistencia en el recambio, especialmente en transporte público que no ha cumplido su ciclo de vida, al igual que con los automóviles individuales, los cuales normalmente son vendidos a otras personas usuarias cuando se realiza el cambio, manteniéndose así en circulación.

Esto pareciera indicar que, tal y como lo viene pensando Alemania y otros países de la Unión Europea, el uso del H2V en el sector transporte conviene más a un mediano plazo, mientras ciertas cuestiones técnicas e inversiones en infraestructura van avanzando en los países.

El tema de fondo por discutir pareciera ser la posibilidad de descarbonizar el transporte mediante otros métodos distintos al H2V, como lo es la electrificación, que se ha venido promoviendo en Costa Rica y que también es producto directo de fuentes renovables. De este modo, el H2V podría utilizarse para descarbonizar otros sectores, como el agrícola, que si bien no produce tantas emisiones como el transporte, también debe ser atendido y transformado.

Ahora, aunado a lo anterior, es importante tener en cuenta que los usos también están determinados tanto por los sitios de producción de las energías renovables como por los sitios de producción del H2V. Actualmente, su transporte como gas es complicado debido a la facilidad con que este se fuga y,

aún en estado líquido (amoníaco o metanol), presenta complicaciones a la hora de convertir y reconvertir. Para su licuefacción, requiere energía y otros insumos extras, como el litio, material que además de ser criticado por el impacto ambiental que requiere su extracción, necesita medidas de seguridad apropiadas para evitar reacciones violentas con el agua.

Indistintamente de cuál uso se desee promover en Costa Rica, es necesario alinear a la industria local, a las instituciones públicas y a la academia, para determinar las actividades que podríamos desarrollar y nos ofrecen mayores beneficios. Así como, las oportunidades que podrían escalar a niveles de exportación; tema abordado en la siguiente sección.

### 3.2 USOS PARA EXPORTACIÓN: EL MERCADO INTERNACIONAL

Es importante destacar que todas las oportunidades de uso local hasta ahora discutidas podrían ofrecer también nichos de mercado regional a mediano o a largo plazo. En este temase, se habla mayormente de exportaciones de H2V o sus derivados a Europa, sin embargo, actualmente el mercado regional, como entorno inmediato, es el segundo más relevante para el comercio exterior de Costa Rica, por tanto vale la pena considerarlo.

Este escenario posible de comercio subregional o regional no solo fortalecería a la región y ayudarían a posicionarla, sino que le ofrecería a Costa Rica un plazo de tiempo en el que podría promover la ejecución de proyectos piloto, fortalecer su normativa y concretar alianzas estratégicas a otros niveles.

Además de los usos locales anteriores, a la hora de valorar las oportunidades para la inserción de Costa Rica en el mercado internacional del H2V y cadenas de valor asociadas, destacan las siguientes oportunidades:

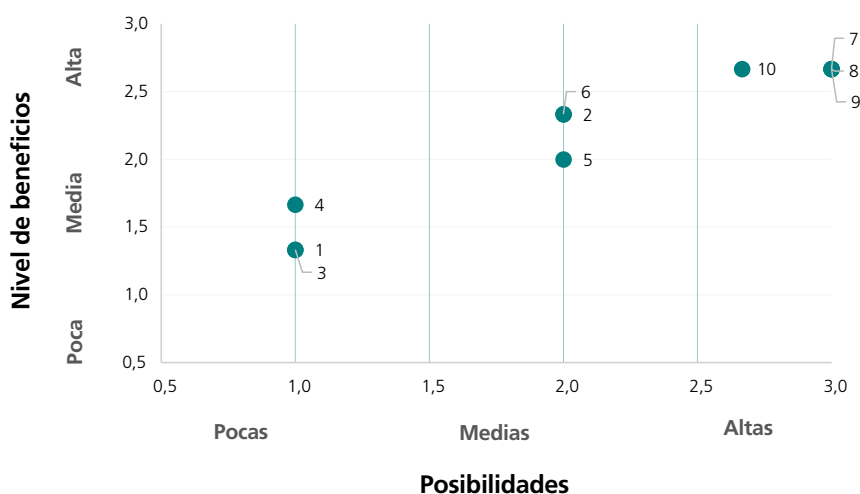
1. Exportación de electricidad producida con H2V, mediante el SIEPAC
2. Exportación de H2V en forma de amoniaco, amonio y metanol
3. Exportación de syngas
4. Exportación de grasas hidrogenadas, actualmente utilizado por la empresa NUMAR
5. Exportación de tecnologías y equipo especializado de producción de H2V
6. Manufactura de equipo para el consumo, almacenamiento o transporte
7. Servicios para la creación o fortalecimiento de capacidades
8. Servicios de investigación
9. Servicios de diseño y ejecución de proyectos de producción, almacenamiento, consumo y transporte de H2V
10. Servicios de logística y transporte

En este caso, el grupo de personas expertas entrevistadas tuvo un mayor consenso en cuanto a los beneficios y las posibilidades, sin embargo, no existe ningún consenso en cuanto a los riesgos asociados. La única excepción de estos últimos fue la manufactura de equipo especializado, para el cual existe un relativo consenso en que el riesgo es considerado bajo.



Figura 2

**Nivel de beneficios y posibilidad de las principales oportunidades de exportación asociadas al hidrógeno verde (numeración basada en el texto).**



Fuente: Elaboración propia.

En este caso, como se puede ver en la **Figura 2**, los expertos consideran que las oportunidades más posibles y que ofrecen la mayor cantidad de beneficios son las asociadas a la venta de servicios para el fortalecimiento de capacidades (uso potencial número 7 de la **Figura 2**), servicios de investigación, de diseño y ejecución de proyectos (uso potenciales número 8 y 9 de la **Figura 2**), de logística y transporte (uso potencial número 10 de la **Figura 2**), lo cual guarda relación directa con las oportunidades de uso local.

Con un menor nivel de beneficios y posibilidades, se considera a la exportación de productos químicos que utilicen al H2V como insumo; por ejemplo, el amoniaco, el amonio y el metanol (uso potencial número 2 de la **Figura 2**). Asimismo, la exportación de tecnología para la producción de H2V, su consumo, almacenamiento o transporte (usos potenciales número 5 y 6 de la **Figura 2**).

Por último, con un nivel bajo de beneficios y un alto consenso acerca de las bajas posibilidades, se ubica las oportunidades relacionadas a la exportación de energía renovable (uso potencial número 1 de la **Figura 2**) y otros productos como el syngas y las grasas hidrogenadas (usos potenciales número 3 y 4 de la **Figura 2**).

Si bien Costa Rica podría producir H2V para la exportación, actualmente no aparece en ninguno de los mapas de rutas de exportación de ningún informe, país o consultora. Esto se debe, según el grupo de expertos a tres cuestiones principales. La primera –y más importante– es que Costa Rica podría generar una producción muy pequeña, que no puede compararse con Islandia, China, Chile, Paraguay, Uruguay u otros países exportadores con mayor capacidad de producción de H2V o sus derivados (Ver como ejemplo: H2LAC 2022, Ini 2023). Asimismo, a pesar de que algunos de estos países no tienen las capacidades para descarbonizar sus sistemas eléctricos ni sustituir su matriz de carbón o gas natural y a pesar de que el factor de planta de sus energías renovables no alcanza el 25 por ciento

(este es específicamente el caso Chile específicamente, frente a Costa Rica que ronda los 50 por ciento), ya se posicionan como *hubs* de producción a gran escala.

Segundo, aunque Costa Rica cuenta con un SEN renovable que podría ofrecer la garantía de un hidrógeno realmente verde, la energía renovable del país tiene sus flaquezas durante los años afectados por el fenómeno del Niño, donde la disponibilidad de recurso hídrico disminuye y se necesita de la generación térmica para abastecer de electricidad al país.

Tercero, pareciera ser que el precio al que Costa Rica podría producir no es competitivo debido, en su mayoría, al costo que tienen las energías renovables. Si bien el CAPEX a nivel mundial es alto, el precio de la electricidad también tiende a ser alto, con esto se genera una diferencia de precio mayor que la que ofrecen otros países como Chile.

El Costo nivelado de hidrógeno (LCOH, por sus siglas en inglés) calculado en puerto de destino, en el mejor escenario y considerando el establecimiento inmediato de alianzas internacionales, es de 1.24 dólares por kg de H2V, calculado por H Inicio en el 2021, versus el 1.2 dólares por kg de H2V que, según la IEA, Chile podría lograr para el 2050. Otros cálculos de H Inicio para Costa Rica indican precios de 1.6-2 dólares por kg de H2V. Según este estudio, las menores distancias geográficas que tiene Costa Rica, en comparación con Chile u otros países productores, no logran contrarrestar los costos de producción, factor que marca la diferencia a nivel de competitividad cuando se valora el LCOH. (Inicio 2021a)

Actualmente, la exportación a largo plazo podría darse a Europa, Japón o Corea, sin embargo pareciera que la diferencia con el precio local de producción no es tanta. En el caso de Japón, el LCOH es similar al precio de producción local de 6 USD/kg. En el caso de Corea del Sur, el LCOH es menor a 5 USD/kg (menor que el local) y los costos de reacondicionamiento son menores que en Japón, situación muy similar a la europea,



donde el LCOH es menor a 5 USD/kg. Para superar esta diferencia, H Inicio calcula que el costo de la electricidad debe bajar entre un 4 y 6 por ciento. (Inicio 2021a)

A esto se suma la inexperiencia de Costa Rica en el transporte de moléculas energéticas o químicas, así como la ausencia de un tratado de libre comercio con Japón, que si tiene con Europa y Corea del Sur.

Aunado a lo anterior, preocupa que se pierda interés en la exportación de H2V ante la oportunidad de capturar y almacenar carbono, como ha pasado con el hidrógeno azul. Esta estrategia, conocida como *Carbon Capture Storage*, actualmente se discute en Europa, donde ya existen distintas empresas dedicadas a la actividad, las cuales venden sus servicios como una oportunidad de «verdificar» cualquier tipo de hidrógeno.

En cualquier caso, pareciera mejor procurar la exportación de productos de mayor valor agregado, como el amoníaco y metanol. En el caso del primero, el negocio podría ampliarse a la producción de fertilizantes, dinamizando aún más las actividades productivas en el país. Con respecto al metanol, representaría una oportunidad de desarrollo de la industria química, que utiliza a este compuesto como un precursor de diferentes materiales.

También, podría hablarse de una industria de combustibles sintéticos para los sectores de aviación, marítimo y carga pesada, en orden de relevancia. Sin embargo, los combustibles sintéticos vendrían siendo como los biocombustibles. El problema número uno sería la competencia de los recursos limitados y el uso de energía para producirlos. Además de que su proceso de producción es costoso.

Además, para producir combustibles sintéticos realmente verdes, las fuentes de carbono o nitrógeno utilizadas deben estar ya abiertas e imposibles de mitigar mediante otros métodos. Si bien estaríamos dejando de consumir fuentes fósiles, estaríamos utilizando mucha energía que podríamos utilizar de forma directa, a través de la electrificación, y continuaríamos perpetuando una red de suministro fósil que sabemos que tenemos que cambiar.

Por último, se considera que, para lograr exportar H2V, se requeriría una disposición al más alto nivel, que se traduciría en colocar en segundo plano el consumo local de la energía renovable y destinar los recursos energéticos nacionales a producir para exportar; recursos que hasta la fecha están destinados para atender las necesidades nacionales. El mercado regional no cuenta con excedentes para atender a Costa Rica en caso de una emergencia y, aunque pudiera, lo haría a precios muy altos, con lo que pondría en riesgo el negocio o el abastecimiento renovable del país.

Esta discusión está unida a la del uso intensivo del territorio y de sus recursos naturales, para la atención de la nueva demanda de energía renovable, que se necesita para exportar

H2V en cantidades sustanciales. Estos aspectos orientan a concluir que, al menos por ahora, la exportación podría no ser un buen negocio para Costa Rica.

Frente a este escenario, aunque Chile se ha posicionado rápidamente como potencial productor de electrolizadores<sup>14</sup>, Costa Rica podría posicionarse también en la exportación de equipo especializado, como electrolizadores, pilas de combustibles, celdas de combustión o distintas partes necesarias durante el proceso de producción de equipos de H2V. Por ejemplo, los electrolizadores, como los electrolizadores de membrana polimérica protónica (PEM), tienen altos niveles de demanda y cada vez se necesitan en mayor tamaño, mayor eficiencia y mayor flexibilidad para utilizar la variabilidad de las energías renovables (solar, eólica o marítima) y menores tiempos de entrega

Costa Rica no solo cuenta con centros de Investigación de alto nivel como el Centro de Investigación en Electroquímica y Energía Química (CELEQ) de la Universidad de Costa Rica, o el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC), que actualmente está adscrito al Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT). Ambos como laboratorios especializados en estos temas, que podrían enfocar sus prioridades de investigación en el desarrollo de las soluciones requeridas en hidrógeno verde. Además, Costa Rica cuenta con grandes instalaciones de producción de equipo especializado, como el equipo médico, el *know how* para utilizar estas instalaciones y su equipo de producción y una vasta y diversa cantidad de energías renovables que podría utilizar para investigaciones que pretendan mejorar los equipos de producción de H2V. Todo lo anterior sin mencionar su posición estratégica en el istmo y las ventajas que ofrece para abastecer a la región, que ya fueron comentadas.

Las compañías de electrolizadores han detenido la producción en ausencia de ciertos componentes del equipo. Durante la pandemia, llegaron a tener listas de espera de hasta 2 años y de hasta 6 meses en la actualidad. Cuando se dio el boom del H2V, los fabricantes de electrolizadores demandaron economías de escala para poder reducir el precio. Fue en ese momento cuando comenzaron a darse los memorándums de entendimiento con los países. Estas «promesas» que los gobiernos dan a los fabricantes no bastaron en ese momento y los fabricantes comenzaron a solicitar el financiamiento. Esto desinfló la burbuja y con la pandemia por COVID se acrecentaron los periodos de espera.

Actualmente hay una demanda muy alta, lo cual hace pensar que cuando Costa Rica quiera comprar pequeñas cantidades podría enfrentar complicaciones para obtener los insumos. En caso de poder producir nuestros electrolizadores, aún quedarían otras preguntas pendientes de ser atendidas, que no debemos olvidar, entre estas, qué tanta agua podríamos utilizar en el negocio y si es posible sustituir las tierras raras. Estos temas que podrían ser investigados a nivel país.

<sup>14</sup> Para julio 2023, Chile anunció el interés de nueve empresas provenientes de España, Italia, Bélgica, Estados Unidos y China, en instalar sus plantas de producción de electrolizadores alcalinos (ALK), electrolizadores de membrana polimérica protónica (PEM) y electrolizadores de óxido sólido (SOEC) en Chile, con capacidades de producción de entre 0.5 GW y 1 GW por año, y con inversiones estimadas entre 50 y 100 millones de dólares. (Ini 2023)

En esta ecuación, es importante saber que para producir un kg de H<sub>2</sub>V se necesitan como mínimo 10 L de agua dulce y 45-55 KW/h, si hablamos de los electrolizadores en general <sup>15</sup>. Lo anterior, significa que para producir 100 000 t de H<sub>2</sub>V al año, se consumirían 900 000 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) o toneladas de agua ultra purificada. (Eurowater 2022)

Por otra parte, los electrolizadores tipo PEM requieren de iridio, ubicado en Sudáfrica, Rusia y Canadá. Por las locaciones de donde se extrae este elemento, se conjetura que se encuentra en la tierra únicamente debido al choque de meteoritos. Por tanto, sustituir estas tierras raras y mejorar las relaciones de consumo de agua por unidad de energía producida podrían colocar a Costa Rica como referente a nivel de investigación.

En resumen, las principales posibilidades de uso de Costa Rica se relacionan con la investigación y desarrollo de piezas para equipos, la producción de amoníaco verde para su utilización en el desarrollo de fertilizantes y cierto potencial en transporte de carga pesada y de transporte de pasajeros a larga distancia y con rutas definidas.

A nivel subregional, se visualiza que las alianzas para la venta de electricidad renovables podrían ser más bien a nivel de SIEPAC (que ahora incluye a México), sin embargo, como es ampliamente conocido, existe un cuello de botella en Nicaragua, donde desde hace muchos años no se invierte. Esta condición, que se vive casi a nivel mundial, es un tema del que nadie habla. Las infraestructuras de transmisión son usualmente viejas y la transmisión en sí misma no genera dinero, por lo que es necesario cobrar un «peaje». Las pérdidas de Costa Rica, debido al sistema de transmisión, rondan el 10 por ciento, pero hay países en la región con pérdidas de hasta 20-22 por ciento.

Además, la transmisión no se puede privatizar porque su implementación es muy costosa. Básicamente, no conviene que cada empresa tenga su propia transmisión y, en muchos casos, los peajes no pagan realmente su inversión. Incluso,

cuando se ha privatizado la condición ha tendido a empeorarse. En este sentido, un objetivo subregional real a mediano o largo plazo sería mejorar las condiciones del SIEPAC y mejorar las relaciones centroamericanas en temas de energía.

En el caso de Panamá, las alianzas podrían ser de varios tipos, gracias a su relación con el Canal de Panamá. (Gaceta Oficial Digital de Panamá 2022; 2023) La visión de Panamá de convertirse en el *hub* regional de H<sub>2</sub>V y derivados para el *bunkering* de barcos, con la que se pretende abastecer a los barcos de energía verde que reemplace al búnker, podría representarnos una opción de producción binacional de energía renovable, H<sub>2</sub>V o derivados para el consumo subregional o para la exportación e, incluso, en temas a nivel de desarrollo de logística y transporte.

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde y Derivados de Panamá tiene, como parte de sus objetivos a muy corto plazo, fomentar la integración regional de América Latina y el Caribe en temas de hidrógeno verde y sus derivados, así como generar conocimiento y recurso humano local y regional mediante la creación de un Centro de I+D+I con foco en energías e hidrógeno renovable y sus derivados. (Gaceta Oficial Digital de Panamá 2023)

Queda claro nuevamente que es necesario conocer la estrategia que Costa Rica utilizará y si va a aprovechar oportunidades asociadas al mercado local o al de exportación, pues esto permitirá determinar a qué tipo de nichos le dedicaría más fuerza, si se va a dedicar a productos de bajo valor agregado, poca generación de empleos y baja dinamización económica, como el H<sub>2</sub>V *per se*, o bien si se va a desempeñar en productos de alto valor agregado, como el amoníaco, el metanol, sus derivados y la producción del equipo asociado, los cuales tienen cadenas de comercialización más complejas y, por tanto, tienen la capacidad de generar una mayor dinamización económica.

<sup>15</sup> Cuando se utiliza agua ultra purificada, el consumo de agua es de 9L por kg de H<sub>2</sub>V, dado que el oxígeno es 16 veces más pesado que el hidrógeno. Esto significa que representa el 89% de la masa de agua, mientras que el hidrógeno solo representa el 11%.

## 4

## POTENCIALES RIESGOS PARA COSTA RICA

Si bien existe una percepción de que el H2V no representa mayores riesgos para el país, dado que todos los usos directos o derivados ya tienen un grado de madurez suficiente para conocer sus impactos y existen aspectos regulatorios a nivel mundial que hacen que sea una tecnología segura, se destacan una serie de riesgos que podrían evitarse si se cuenta con una buena planificación y acompañamiento, por parte del Gobierno.

### 4.1 A NIVEL AMBIENTAL

- No saber evaluar los impactos ambientales sinérgicos de proyectos desarrollados en etapas o en cadena.
- No poder desarrollar a tiempo cuestiones necesarias en torno a la logística país, su reglamentación y su regencia.
- Comprometer la generación de energía renovable para la producción de H2V y aumentar la utilización de plantas térmicas para el consumo eléctrico local. La producción de energía actual y proyectada, a partir de la expansión planificada por Costa Rica, según su demanda futura, está totalmente comprometida durante los siguientes años y en lo que resta del actual Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2018–2034 del ICE, motivo por el cual los excedentes que puedan ser utilizados para la producción de H2V son pocos, concentrándose en las noches de época lluviosa.

Esto ha generado que en el verano se deba recurrir a la generación térmica, cuyo precio oscila entre los 16 y 30 centavos de dólar el kWh o a la importación de electricidad, que ronda los 30-35 centavos de dólar, mientras que las renovables rondan los 2-3 centavos de dólar.

Un riesgo de este tipo podría tener efectos sobre el precio, sobre las relaciones comerciales con generadores privados o sobre el uso de energía térmica, lo que nos lleva a pensar en un tema de competitividad del sistema nacional a nivel de una nueva gobernanza, un sistema descentralizado, flexible, modernizado (al menos en sus procesos de transmisión) y electrificado en el sector transporte.

- Invertir en la generación de energías renovables que no serán utilizadas, provocando que su producción se mantenga como excedente del sistema nacional, además del riesgo económico que representa.

- Continuar en un *business as usual*. Ser parte de un proceso de expansión energética, más que de transformación energética. Esto debido a que cuando se analizan las distintas proyecciones de consumo de energía, pareciera que el H2V viene a suplir una demanda de expansión energética, más que de transformación.
- Posicionar a Costa Rica en un proceso de privatización, comercialización y monetización de la naturaleza.
- Ocupación excesiva del territorio, debido al despliegue de las energías renovables y su necesaria sobreinstalación, más aún cuando esta se asocia a las incertidumbres que genera el cambio climático.

### 4.2 A NIVEL ECONÓMICO

- Desplazar la atención de los usos que actualmente ya están electrificados por la creación de nuevos usos y su infraestructura asociada. Como en el caso de transporte de carga liviana. Esto podría significar malas inversiones de tiempo y dinero.
- No avanzar en la atención del mercado local por suplir la demanda extranjera, pues podría tener repercusiones en la descarbonización del país.
- Generar una mayor dependencia de las exportaciones. La mayoría de patentes de exportaciones se encuentran en manos de Japón, mientras que las patentes de distribución son dominadas por Estados Unidos y las de producción, almacenamiento sumadas a otras patentes de distribución están en manos de la Unión Europea.
- Condiciones económicas poco favorables para la inversión nacional, colocando la mayor ganancia en manos extranjeras. Por ejemplo, vemos que la Estrategia Nacional habla de invertir entre 830 y 1100 millones de dólares en proyectos de producción y demanda de H2 durante el periodo 2022-2030, sin embargo los proyectos con participación del sector público son casi nulos y, como ya se mencionó, existen trabas institucionales, como en el caso de RECOPE, que hacen inviable su participación. (Decreto Ejecutivo N.º 43366)

- Invertir en una producción tardía, poco asequible para el mercado local o poco atractiva para el mercado extranjero.
- Riesgo regulatorio: si bien el proyecto de ley bajo el expediente N.º 22.392 se encuentra en corriente legislativa esperando ser analizado, no viene a regular el sector de producción de H2V, sino que más bien se enfoca en generar incentivos.
- La exportación podría significar inversiones riesgosas sin retornos atractivos. Hay países que pueden exportar a volúmenes más grandes y menor precio.
- La dependencia de las fluctuaciones en el precio del litio (proveniente de zonas actualmente vulnerables al estrés hídrico y muchas de ellas con alto nivel de conflictos socioambientales) genera mucha incertidumbre económica<sup>16</sup>.
- Presiones sobre el SEN: si sumamos la proyección de la demanda de electricidad en las próximas décadas, incluyendo la electrificación del transporte, a los impactos del cambio climático en la producción de energías renovables, las posibilidades de expansión de las renovables en el país y la posible producción de H2V a partir de estas, se corre el riesgo de que la infraestructura eléctrica de transmisión no vaya a tener la capacidad suficiente para abastecer al país y mucho menos para transportar la electricidad desde sus sitios de producción hasta los sitios de producción de H2V. Esto considerando que es más barato transportar la electricidad a los sitios de producción de H2V, que transportar la producción de hidrógeno a los sitios donde hay electricidad.
- Para producir H2V y para disminuir los costos de su producción, es necesario no solamente modernizar el sistema de transmisión, sino trascender la atención del crecimiento vegetativo y proyectar los posibles usos de las Energías Renovables en la producción de H2V y la paralela electrificación del transporte.
- Reproducir el escenario histórico donde los incentivos fiscales, el trabajo desregularizado y la tercerización, aumentan el margen de ganancia de las empresas inversoras, pueden mantener a Costa Rica en una posición de exportador de materia prima y mano de obra barata, a pesar de los subsidios a la inversión. Este escenario puede repercutir en la calidad técnica, en la sostenibilidad socioeconómica y ambiental y, por tanto, en la calidad de vida de sus habitantes.
- Con el afán de tener precios bajos, se corre el riesgo de no considerar los costos ambientales y sociales, trasladándolos al país, a su institucionalidad, a su naturaleza y a su ciudadanía. Esto está asociado al riesgo contrario de perder el apoyo internacional al desarrollar estándares de sostenibilidad ambiental y social rigurosos para las inversiones en el país.

### 4.3 A NIVEL SOCIAL

La transición acelerada podría aumentar la brecha social del país al generar lo siguiente:

- Una competencia en la disponibilidad (física) y acceso (económico) a electricidad de fuente renovable, por parte de la ciudadanía.
- Un efecto *underclass*, es decir, poco o nulo acceso por parte de personas con bajo nivel adquisitivo.
- Un efecto espiral de la muerte sobre negocios actualmente dependientes de los combustibles fósiles, que no tengan las capacidades económicas o temporales para transformarse.

**16** Según el Reporte publicado en el 2021 por la AIE y llamado *The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions*, Australia era responsable de la extracción de aproximadamente el 50% del litio, Chile de más del 25% y China de alrededor del 14%. Estas tres potencias produjeron para el 2021 el 90% de la producción mundial de litio. El precio del litio estuvo en aumento durante el periodo 2020-2022, de forma impresionante, incrementado en el 2022 un 1 200% en comparación con el 2020. Sin embargo, para diciembre del 2022, el precio bajó un 30% en el mercado chino debido a la eliminación de subvenciones para la movilidad eléctrica.

Además de liderar la extracción de litio, China lidera su refinación (entre un 50 y 70%), la producción mundial de células de baterías (donde representa aproximadamente un 77%) y otros componentes, dejando clara la concentración, no solo de la producción, sino también del procesamiento del litio.

Esta dependencia ha hecho que países como Bolivia, Argentina y Estados Unidos, que cuentan con las mayores reservas de este metal, se vean como localizaciones cotizadas. Además, Alemania, República Checa, Serbia, Portugal, Finlandia, Austria y España están pensando incursionar en su extracción, aumentando las posibilidades de producción y disminución de precios en los últimos años.

El litio es particularmente vulnerable al cambio climático debido a sus altos requerimientos de agua para la extracción y a su ubicación. Actualmente, el 50% de su producción se encuentra en un sitio con un estrés hídrico elevado. Además, su reciclaje a escala global es difícil, debido a la limitada recolección y a restricciones técnicas (por ejemplo, reactividad del litio en termodinámica). Sin embargo, el reciclaje puede disminuir la presión sobre el material virgen en el momento en que los vehículos eléctricos que actualmente están circulando lleguen al final de su vida útil.

Si el litio se analiza desde las patentes relacionadas a las pilas de combustible donde se utiliza vemos que, en orden descendente, Europa, Japón y Estados Unidos contaban al 2020 con la mayor cantidad de patentes relacionadas a las pilas de combustible, producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno. Así, Estados Unidos gobierna la distribución, mientras que Japón tiene un alto porcentaje de patentes relacionadas al almacenamiento y desarrollo de pilas. Europa, por su parte, distribuye las suyas en todos los eslabones de la cadena. (AIE 2022)

Además, en el 2020, el Banco Mundial advirtió que la extracción de ciertos minerales como el grafito, litio y cobalto podrían incrementarse en un 500 por ciento para satisfacer la demanda de energías limpias al 2050, lo cual generará graves problemas ambientales en los países donde se extraigan estos minerales. (Banco Mundial 2020)

- Una posible importación de personas profesionales especializadas o comercio transfronterizo de servicios, en lugar de generación de empleos verdes.
- Que el país no logre establecer a tiempo las pautas para comercializar de manera segura.
- La privatización de la energía renovable.
- Que los inversores obtengan las ventajas que ofrece el sistema energético nacional, pero no tengan responsabilidades sobre este.
- Que al no obtener apoyo privado nacional o internacional, la institucionalidad costarricense opte por absorber el gasto, colocando en segundo plano otro tipo de inversiones nacionales prioritarias.
- El aumento de las exportaciones genere cierta movilidad social, pero no necesariamente una mayor igualdad, sostenibilidad y seguridad económica.
- Que se carezca de información para que la sociedad acepte las nuevas fuentes de energía o el nuevo vector energético y que, por tanto, la transición sea lenta.

## 5

### GOBERNANZA

La reinención del sistema energético nacional implica una nueva gobernanza de los bienes y servicios utilizados como insumo para la producción de energía en el país, así como para la gestión de los productos que resultan de su uso.

En este momento, no existe en el país una institución que asuma la responsabilidad de una transición energética y, en el caso específico del H2V, tampoco existe una institución encargada de su gestión, incluida la regulación de su producción y distribución, así como de sus derivados.

Al no haber una gobernanza clara, no se cuenta con las herramientas para realizar una planificación adecuada de la evolución del sistema energético nacional y, por tanto, el cálculo de la inversión necesaria es imposible.

Si bien es cierto que el ICE y RECOPE pudieran considerar que esta nueva tarea no está dentro de sus roles y que va más allá de su quehacer sobre el Sistema eléctrico nacional y el sistema nacional de combustibles, pues al ICE no se le permite comercializar hidrógeno ni distribuir otras energías distintas a la eléctrica y RECOPE solo está autorizado para trabajar con hidrocarburos, pareciera que junto con MINAE, como rector, hacen la triada perfecta para la transformación necesaria.

Sumado a esto, el rol de la academia es de suma importancia en una nueva gobernanza. Tal y como ha señalado la OECD, existe la necesidad de fortalecer las capacidades de innovación a nivel nacional, ya que actualmente la mayor cantidad de innovación es producida por las universidades, pero sin que esto tenga un impacto en subsanar las necesidades del país, lo que significa más bien réditos para empresas privadas. (OCDE 2017)

La gobernanza del H2V debe ser pensada viendo al hidrógeno como una forma para dejar de depender de la energía fósil utilizada en el transporte y en la industria, pero además

debe valorarse desde el fomento del empleo verde, la dinamización económica y la seguridad y accesibilidad energética.

Ante todo, la gobernanza del H2V debe pensarse para que permita una adecuación de la institucionalidad del Estado a las nuevas necesidades y realidades energéticas mundiales. Como parte de esto, se presenta la urgente necesidad de transicionar a nuevos modelos de energía, descarbonizados, más flexibles, descentralizados y democráticos, sin que esto signifique una privatización del sistema energético o eléctrico, sino sacando provecho a la oportunidad de modernizar la infraestructura de transmisión e incentivar la electrificación del sector transporte.

Históricamente, Costa Rica ha tenido una SEN público y un sistema de abastecimiento para el sector transporte que, si bien es privado, cuenta con cierta participación pública. En este escenario, el H2V viene a repensar ambos sistemas pudiendo ser estos más o menos públicos y dando la oportunidad de inclusive convertir ambos sistemas en uno solo, dependiendo de sus usos y de su gobernanza. Se considera que, aunque la producción de energía renovable o H2V pueden tener una participación privada, los bienes y servicios naturales de los que se obtienen y el potencial de su uso deben ser de dominio público para asegurar el bien común y la atención de necesidades humanas fundamentales.

A pesar de que aún no está claro cómo debe ser este modelo de gobernanza y ni siquiera hay consenso sobre los roles básicos de las instituciones del Estado y de los entes privados sobre la producción, almacenamiento, distribución y uso del H2V o sus derivados, incluso, no queda claro cuál podría ser el nuevo arreglo para una producción de energías renovables que abastezca la producción de H2V, existen ciertas ideas claves, asociadas a actores específicos, sobre las que parece haber consenso, entre ellas las siguientes:



### MINAE como ente rector en la materia:

- Según la ENHVCR en ausencia de la antigua Secretaría de Planificación del Subsector de Energía (SEPSE), pareciera que la Secretaría de Planificación Sectorial de Ambiente y Energía (SEPLASA) es quien tomaría el rol de planificación del sector energía y, por tanto, sería la encargada de apoyar en el asesoramiento, coordinación, planificación y vigilancia del cumplimiento de la estrategia. Podría realizar lo anterior en compañía de la Dirección de Energía, para tareas más operativas del sistema.
- Debe basar sus decisiones en las necesidades de las partes interesadas, públicas y privadas, de la cadena de suministro, producción y consumo del hidrógeno, del equipo profesional y técnico participante en su desarrollo y de las comunidades asociadas a los espacios de producción y consumo. Siempre velando por la protección de los recursos naturales del país y su uso viable, justo y sostenible.
- Su labor es indispensable para generar confianza a largo plazo en las inversiones y para velar por el bien común de la población y de los bienes y servicios ecosistémicos envueltos.
- Debe ser el ente a partir del cual se desarrolle el marco legal necesario, al tiempo que valora y establece los incentivos que puedan promover una economía sostenible en torno al H2V, como uno de los pilares de la transición energética del país.
- Debe facilitar las alianzas nacionales e internacionales, así como la articulación institucional necesaria para el desarrollo de proyectos piloto y demostrativos que faciliten la introducción de las diferentes tecnologías en el país.
- Debe revalorar, en conjunto con el ICE y RECOPE, un nuevo sistema energético nacional en temas como descentralización, generación privada o distribuida, presencia de prosumidores, modernización de la infraestructura de transmisión, electrificación del transporte, costos de peaje por transmisión, formas de concurso y establecimiento de contratos con generadores privados de energías renovables, capacidades y derechos de exportación privada y, en general, una remodelación del sistema institucional y una nueva gobernanza de las fuentes energéticas renovables, para mejorar la gestión de la demanda.
- Debe revalorar con el MTSS y el sector productivo, las nuevas posibilidades de negocio e industria y las zonas aptas del país para la generación de clústeres y para un consumo energético local eficiente y sostenible.
- Tiene la tarea de profundizar en la ENHVCR, de modo que esta sea compatible con los planes de electrificación del transporte, la transición ecológica de la agricultura, la descarbonización de la industria, entre otros y

asegurar el alineamiento de todos los actores involucrados, entre los que se debe considerar instituciones públicas, academia y sector privado. Para esto, se requiere el desarrollo y ejecución de una adecuada identificación de los sectores que serán impulsados a nivel nacional en la generación de productos y servicios competitivos y en la generación de empleos verdes.

- Debe promover la planificación indicativa y con miras a largo plazo del sistema eléctrico o más bien el sistema energético, a nivel nacional.

### Instituto Costarricense de Electricidad (ICE):

- Es el actual responsable, junto con RECOPE, de temas energéticos a nivel país.
- Cuenta con amplia experiencia en energías renovables, transmisión eléctrica, desarrollo de proyectos y tiene una amplia diversidad de personas profesionales capacitadas que pueden poner a disposición para la discusión y el asesoramiento en la toma de decisiones. Además, de continuar dando el servicio que han ofrecido.
- Bajo una priorización nacional, podría asesorar al país acerca de cómo aprovechar la energía renovable para producir H2V o sus derivados.
- Podría tener intereses o prácticas históricas que deberían revalorarse de cara a la nueva realidad energética. Entre estas, la generación distribuida de la cual han sido obstructores, así como su jerarquía vertical y centralizada, propia del actual modelo de negocio que necesita evolucionar.

### Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE):

- Cuenta con la capacidad técnica y tiene la infraestructura para almacenar, transportar y distribuir combustibles sintéticos. De manera que tiene el potencial para cumplir con el rol de distribuidor. Para esto, hay que dotarlo de las facultades normativas necesarias, ya que actualmente no está habilitado para trabajar con combustibles que no sean fósiles.
- Bajo una priorización nacional y en conjunto con el ICE, podrían asesorar al país acerca de cómo aprovechar la energía renovable para producir H2V o sus derivados.

### Sectores Ambiente y Energía, Sector Agropecuario, Sector de Obras Públicas y Transportes, Sector de Ciencia, Tecnología, Innovación y Telecomunicaciones, y Sector Productivo y Desarrollo Regional:

- Podrían realizar discusiones técnicas y políticas e inversión en ciencia y técnica, contemplando tanto el interés público como el privado.

- Estarían a cargo de realizar una planificación detallada del proceso de transición energética, incluyendo a todas las partes involucradas.
- Discutirían posibilidades y vías para el desarrollo rentable y sostenible de infraestructura requerida, así como posibilidades de abastecimiento de insumos y nichos de mercado.
- Evitarían el desabastecimiento de los combustibles fósiles en los sectores que aún no hayan concretado su descarbonización.
- Velarían por la descarbonización y la transición justa.
- Podrían desarrollar, formalizar y operativizar una agenda nacional que indique las acciones que se desarrollarán para la transición energética del país, en la que se asignen las responsabilidades correspondientes a los actores requeridos y se establezcan las prioridades para el desarrollo tecnológico, industrial y comercial requerido.
- Mediante esta agenda, asegurarían una integración efectiva de los esfuerzos requeridos por parte de las instituciones de gobierno, la academia, el sector privado y la sociedad civil.
- Darían seguimiento a la ENHVCR y su consecuente actualización de Plan Nacional de Descarbonización.
- Como parte de esta agrupación de instituciones destaca el rol de las siguientes:
  - Comité Técnico Nacional de Hidrógeno, creado en el 2020.
  - ARESEP, como encargada de la parte tarifaria y técnica de los servicios públicos, así como de su correspondiente normativa.
  - Centro Nacional de Control de Energía (CENCE), Coalición Costarricense de Iniciativas de Desarrollo (CINDE), Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER) y Ministerio de Comercio Exterior (COMEX): por su potencial para establecer clústeres y alianzas comerciales.
  - MTSS, donde actualmente se ubica el programa de clústeres nacional.

### Ente representativo nacional:

En este caso se habla de la necesidad de contar con un grupo de personas expertas a nivel técnico y político, con enfoque energético, ambiental y social, desde el cual se pueda discutir para obtener insumos ante la toma de decisiones.

Este ente podría funcionar temporalmente con un especial énfasis en el desarrollo de la Hoja de Ruta, Plan de Acción del país y normativa asociada. Con la oportunidad de ser convo-

cado cuando exista la necesidad de revisar o agregar temas a la discusión.

Dentro de los actores que se podría valorar incluir están los siguientes:

- Las cámaras empresariales: Cámara de Industrias de Costa Rica (CICR), cámaras binacionales, Cámara de Empresas de Distribución (CEDET), distribuidores de vehículos, distribuidores de equipos para la producción de H2, cámaras de turismo.
- Instituto Nacional de Puertos del Pacífico (INCOP) y Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica de Costa Rica (JAPDEVA), por su relación con los puertos.
- Generadores y distribuidores públicos y privados (ICE, cooperativas, municipalidades, Ad Astra Rocket Company) y asociaciones de energía (Asociación Costarricense de Energía Solar [ACESOLAR], Asociación Costarricense de Productores de Energía [ACOPE], etc.). Podrían participar en la construcción y operación de infraestructura para la producción de energías renovables, H2V o sus derivados, bajo reglas claras de participación y mercado. Además, podrían incursionar en alianzas con la academia para el desarrollo de equipo técnico especializado.
- El Ente Costarricense de Acreditación (ECA) del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), como parte del sistema nacional de calidad.
- La academia: INA, UTN, UCR, TEC y sus laboratorios energéticos. Como parte de la libertad de cátedra que tiene la academia, su rol como semillero de pensamiento, investigación y desarrollo es trascendental para un rápido avance del país.
- Sociedad civil organizada: Alianza por el Hidrógeno, Asociación Costarricense por el Hidrógeno, Plataforma para el Desarrollo del Hidrógeno Verde en Latinoamérica y Caribe (H2LAC).
- Organismos internacionales: OLADE, AIE, BID, BM, GIZ, FES, CRUSA, Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania, representación UE.
- Representación de las comunidades afectadas por los proyectos a desarrollar, con especial énfasis en las comunidades indígenas.

### Centro de Control de Energía autónomo:

Como parte de la necesaria flexibilización y descentralización de los temas de electricidad y energía en general se habla de la necesidad de valorar un Centro de Control de Energía estatal, que sea autónomo y no necesariamente dependiente del ICE. Su propósito sería dictar las pautas, tanto al sector público como al privado sobre los siguientes aspectos:



1. Operar el mercado de generación de energías renovables, a través del establecimiento en el corto plazo de los procedimientos de predespacho, despacho y pos-despacho para optimizar el SEN y garantizar a mediano plazo la salida a mínimo costo con la participación de los diferentes sectores en licitaciones y en subasta. Para esto, se requeriría de la colaboración de la ARESEP, desde donde se exigiría a las distribuidoras sus proyecciones de demanda para establecer las formas en las que se realizan las subastas.
2. Operar el sistema: despacho del mínimo costo nacional y reglas de participación de las plantas en general. Lo anterior, sin que este centro sea parte de uno de los actores que actualmente están en el juego. De esta forma, puede tener independencia y autonomía para poder decidir cuáles proyectos de generación y distribución son los idóneos para Costa Rica.

Debido al actual trabajo segmentado de las instituciones gubernamentales con cumplimiento de roles específicos (no de trabajo integrado) y la ausencia de una institución específica encargada de las nuevas necesidades en torno a la energía, hacen que una gobernanza con tal nivel de interacción y complejidad entre actores públicos y privados solo pueda ser factible si el nivel de involucramiento del Gobierno central es alto, al punto de que la elaboración de estrategia sea articulada desde Casa Presidencial o desde el Ministerio de la Presidencia.

En ausencia de una institución específica para lograr la articulación de las instituciones vinculadas al proceso, puede acudir a instrumentos normativos como los Consejos Presidenciales, donde el Presidente de la República puede convocar a los distintos actores públicos y privados a modo de comisiones para la discusión.

## 6

### HOJA DE RUTA

En este apartado, se describen las cuestiones relacionadas a la institucionalidad, la normativa, la infraestructura, las capacidades por desarrollar, puntos a negociar y otras que son centrales en una hoja de ruta país del hidrógeno verde. Se enfoca en acciones que puedan promover un cambio en las dinámicas productivas y comerciales y que posicionen a Costa Rica en una relación socialmente más justa, ambiental-

mente más sostenible y económicamente más equitativa, materializando oportunidades para una verdadera transición energética. Para esto, se divide la información en cuatro horizontes temporales. Cada uno de ellos con los requerimientos necesarios para que el escenario descrito sea posible, así como los actores protagónicos y aliados requeridos:

Puntos para considerar	Requerimientos
<b>De inmediato</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aclarar el posicionamiento del H2V en la transición energética de Costa Rica.</li> <li>2. Actualizar el Plan de Expansión de Energía, según lo determinado en la Estrategia de Transición Energética y considerar las metas de descarbonización y adaptación climática (por ejemplo, el Plan Nacional de Descarbonización) del sector energía.</li> <li>3. Desarrollar sistemas competitivos, trazables y transparentes para la selección de proyectos de energías renovables, donde se considere no solo el precio del desarrollo del proyecto, sino la calidad y costo de su ejecución, así como las ventajas en el precio y sostenibilidad de la energía; por mencionar únicamente algunos ejemplos de idoneidad.</li> <li>4. Definir el ente rector en materia de H2V y establecer una planificación indicativa con miras a largo plazo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar un análisis de las oportunidades para una transición energética justa, que incluya al H2V, con un posicionamiento progresista que vele por los derechos humanos y los derechos de la naturaleza (<b>Actores de acción: MINAE, ICE, RECOPE. Actores de apoyo: MTSS, COMEX, MAG, MOPT, MICIIT, generadores y distribuidores públicos y privados, academia y sociedad civil organizada</b>).</li> <li>2. Desarrollar una Estrategia de Transición Energética, en la que se incluyan las actividades específicas por desarrollar para el H2V. Asimismo, donde se considere el H2V como una de las opciones en la transición y su vinculación con otras soluciones (<b>Actores de acción: MINAE, ICE, RECOPE. Actores de apoyo: MTSS, COMEX, MAG, MOPT, MICIIT, generadores y distribuidores públicos y privados, academia y sociedad civil organizada</b>).</li> <li>3. Identificar quien produce, importa y utiliza los productos derivados del H2V que se elaborarán desde Costa Rica (<b>Actores de acción: MINAE, MTSS, COMEX, MAG, MOPT. Actores de apoyo: MICIIT, ICE, RECOPE generadores y distribuidores públicos y privados, academia y empresa privada</b>).</li> </ol>

Puntos para considerar	Requerimientos
	<p>4. Desarrollar beneficios fiscales para equipos de energías renovables y de producción de H2V (<b>Actores de acción: MINAE, Ministerio de Hacienda</b>).</p> <p>5. Desarrollar mecanismos flexibles de financiamiento para la investigación y ejecución de proyectos piloto y demostrativos (<b>Actores de acción: MINAE, banca pública</b>).</p> <p>6. Valorar la conexión de plantas de producción de energía a la red para aumentar los factores de planta de los electrolizadores (<b>Actor de acción: ICE. Actores de apoyo: generadores y distribuidores públicos y privados</b>).</p> <p>7. Desarrollar alianzas internacionales para disminuir la curva de aprendizaje en la exportación de sustancias energéticas y químicas (<b>Actor de acción: MINAE. Actor de apoyo: RECOPE</b>).</p>
<b>2027</b>	
<p>1. No se visualiza exportación debido a la clara posición gubernamental y a los niveles de posibilidades y relevancia de cada uno de los posibles usos analizados.</p> <p>2. Sí se visualizan proyectos piloto demostrativos, escalables y exitosos tanto a nivel operativo como financiero, en distintas zonas del país. Específicamente en producción, almacenamiento, transporte y uso local.</p> <p>3. Se conciben proyectos e investigaciones para usos domésticos en distintas aplicaciones: entre ellas producción de fertilizantes, movilidad, PtX, usos industriales. Específicamente, se proyecta con mayor claridad los siguientes puntos ya en planificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Inicio de una ruta piloto de transporte pesado (camiones) y buses de largo recorrido, que utilicen H2V.</li> <li>– Desarrollo de un clúster industrial de H2V con participación de instituciones estatales, academia, empresas nacionales y empresas transnacionales, dentro de las cuales se valoran actividades relacionadas con amoníaco, fertilizantes, metanol, industria química. Su coordinador sería el Ministerio de Trabajo, quien actualmente dirige el Programa de Clústeres del gobierno.</li> <li>– Desarrollo de un programa nacional de I+D+ I para la implementación de soluciones requeridas a nivel nacional y para el desarrollo de soluciones de cara a la exportación de bienes y servicios relacionados con la industria del H2V. Con participación de las instituciones públicas, academia, empresas nacionales y transnacionales.</li> <li>– Inicios de uso del H2V para alcanzar el 100 por ciento de descarbonización del Sistema eléctrico nacional.</li> </ul>	<p>1. Operacionalizar, monitorear y reajustar la ENHVCR y su Plan de Acción Interinstitucional. Profundizar la estrategia y capacitar al personal institucional vinculado. Avanzar en temas de alianzas, inversiones y cooperación técnica requeridas para lograrlo, así como en la inclusión de componentes de orden regional o subregional (<b>Actor de acción: MINAE. Actores de apoyo: ICE, RECOPE, MTSS, COMEX, Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], generadores y distribuidores públicos y privados, academia y sociedad civil organizada</b>).</p> <p>2. Pasar de atender intereses puntuales del sector privado en torno al H2V a discutir cuál es el futuro energético/eléctrico del país y cómo podría funcionar sosteniblemente. Esto teniendo en cuenta la necesidad de modernizar el SEN y acoplarlo con el sistema nacional de combustible (<b>Actores de acción: MINAE-SEPLASA, ICE, RECOPE, MOPT. Actores de apoyo: ARESEP, SETENA</b>).</p> <p>3. Asegurar la coherencia de la ENHVCR y su Plan de Acción con la política energética y climática nacional (<b>Actores de acción: MINAE-SEPLASA, ICE, RECOPE. Actores de apoyo: MAG, MOPT, COMEX</b>).</p> <p>4. Valorar los requerimientos de inversiones en materia de H2V, localizar el financiamiento (entre estos fondos concesionales) e incluir lo requerido en el actual Plan de Expansión de la Energía u otros planes (<b>Actores de acción: MINAE, ICE, RECOPE</b>).</p> <p>5. Plantear alternativas para revertir el intercambio desigual entre el norte y el sur global y reposicionar al país en el intercambio económico internacional (<b>Actores de acción: MINAE, ICE, RECOPE. Actores de apoyo: MTSS y COMEX</b>).</p> <p>6. En caso de ser necesario, desarrollar estrategias que incluyan a los sectores más vulnerables del país (efecto <i>underclass</i> y de espiral de la muerte) (<b>Actores de acción: MINAE, ICE, RECOPE, MTSS, COMEX</b>).</p> <p>7. Consolidar un marco regulatorio para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– La producción, uso y comercialización en el país, acorde con la visión país a largo plazo y flexible para que pueda evolucionar y adaptarse en el tiempo.</li> </ul>

Puntos para considerar	Requerimientos
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Certificar la calidad y la seguridad a lo largo de la cadena de valor. Dentro de esta, se debe incluir la certificación de origen y la certificación de «verde», para lo cual, se debe valorar si se utilizaría una certificación ya existente o si se desarrollaría una específica para la realidad nacional <sup>17</sup>.</li> <li>– Evaluar el impacto ambiental del desarrollo de proyectos distribuidos o encadenados.</li> <li>– Aclarar las reglas de inversión para desarrolladores nacionales y extranjeros (<b>Actor de acción: MINAE-SETENA. Actores de apoyo: ICE, RECOPE, MTSS, COMEX, ECA-INTECO</b>).</li> </ul> <p>8. Iniciar de inmediato con proyectos piloto, demostrativos, exitosos y escalables tanto a nivel operativo como financiero (<b>Actores de Acción: MINAE, MTSS, MICITT, academia y sector privado. Actores de apoyo: ICE, RECOPE, COMEX</b>).</p> <p>9. Calcular los costos de la inversión y de la aplicación de normas internacionales (Actor de Acción: MINAE. Actores de apoyo: organismos internacionales, generadores y distribuidores).</p>
<b>2030</b>	
<p>1. Posiblemente, para esta fecha no haya todavía ningún tipo de exportación, pero si investigación aplicada en nuevas tecnologías.</p> <p>2. Habrá proyectos de consumo doméstico en ejecución: producción, almacenamiento, PtX, transporte, fertilizantes y otras cadenas de valor como parte del uso industrial.</p> <p>3. También, habrá planes piloto y de demostración en ejecución, relacionados con la producción de H2V y sus derivados, con miras al escalamiento.</p> <p>4. Se espera que para esta fecha el sector eléctrico se proyecte más competitivamente, flexible, modernizado y democratizado.</p> <p>5. El mercado local estará claramente definido.</p> <p>6. Se espera que para este momento las decisiones estén basadas en información generada localmente.</p> <p>7. La industria costarricense ya estará incursionando en temas de manufactura de partes para la cadena de valor del H2V.</p> <p>8. Se visualizarán los primeros encadenamientos productivos seguros de industrias y empresas locales con empresas transnacionales.</p>	<p>1. Normativa para el uso local desarrollada (<b>Actores de acción: MINAE, ICE, RECOPE. Actores de apoyo: SETENA, MAG, MOPT, MTSS, ECA-INTECO</b>).</p> <p>2. Incentivos que propicien transformaciones justas en funcionamiento (<b>Actores de acción: MINAE, ARESEP. Actores de apoyo: MTSS, COMEX</b>).</p> <p>3. Estructura de la regulación tarifaria con una mirada tridimensional incluida (<b>Actor de acción: ARESEP. Actores de apoyo: MINAE, ICE, RECOPE, MAG, MOPT</b>).</p> <p>4. Discusión y análisis de roles interinstitucionales finalizado (<b>Actor de acción: Casa Presidencial. Actores de apoyo: todos los demás</b>).</p> <p>5. Reforma educativa para el fortalecimiento de una masa crítica de cara a negociaciones con una simetría de derechos y obligaciones en curso (<b>Actores de acción: MTSS, academia</b>).</p> <p>6. Planificación de las modificaciones necesarias en el SEN y su vinculación con el sistema nacional de combustibles desarrollado (<b>Actores de Acción: MINAE, ICE, RECOPE</b>).</p>
<b>Largo Plazo</b>	
<p>1. Costa Rica considerada a nivel mundial como laboratorio de energía e insumos renovables, con resultados de interés mundial.</p> <p>2. Ecosistema de innovación alrededor del H2V con participación de la academia nacional y regional.</p>	<p>1. Reinventar el SEN de manera que se logren tres propósitos: flexibilización en la generación, descentralización de esta y reducción de costos de la energía. Para lo anterior, se debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Analizar el máximo de energía renovable que pueden generar los proyectos privados.</li> </ul>

<sup>17</sup> Si bien aún no hay consenso a nivel internacional acerca de las certificaciones de origen o de hidrógeno verde, muchos países de la Unión Europea utilizan CertifHy® como primer sistema de garantía de que el Hidrógeno es verde y bajo en emisiones. Además, el reciente «Club del Clima» del G7 apoya un mercado común con normas uniformes para el hidrógeno verde y el hidrógeno bajo en carbono.

Puntos para considerar	Requerimientos
<p>3. Economía de H2V, que responde a las demandas domésticas y reemplaza productos como los fertilizantes y combustibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– H2V como precursor para una serie de actividades industriales ubicadas en el país (amoníaco, metanol, industria química, fertilizantes).</li> <li>– El transporte del país utiliza celdas de combustible, celdas de hidrógeno, combustión de hidrógeno, combustión combinada y combustibles sintéticos como opción para los más rezagados.</li> </ul> <p>4. El H2V con presencia evidente dentro de la actualización del Plan Nacional de Descarbonización y contemplado mediante una mezcla de distintas tecnologías.</p> <p>5. El H2V reemplaza el respaldo de energía térmica en periodos de sequía en el país. Así como un 100 por ciento de descarbonización del Sistema eléctrico nacional.</p> <p>6. Exportación de productos de valor agregado basados en hidrógeno verde.</p> <p>7. Consolidación de uno o varios clústeres industriales relacionados con el hidrógeno verde.</p> <p>8. Costa Rica como referente de una transición energética justa y sostenible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adaptar la institucionalidad a la descentralización de la producción de energía.</li> <li>– Avanzar en la planificación de la renovación del sistema de transmisión eléctrico (<b>Actores de Acción: MINAE, ICE. Actores de apoyo: RECOPE, academia, organismos internacionales</b>).</li> </ul> <p>2. Acoplar el SEN y el sistema nacional de combustibles (<b>Actores de Acción: MINAE, ICE, RECOPE y secretarías de planificación. Actores de apoyo: Generadores y distribuidores públicos y privados, academia, sociedad civil organizada, organismos internacionales</b>).</p> <p>3. Condiciones habilitantes para la transformación de los sectores productivos en marcha: subsidios o incentivos para la sustitución o <i>retrofit</i>, sustitución de fertilizantes exportados por fertilizantes hechos en el país, con participación de empresas nacionales (<b>Actores de Acción: MINAE, MOPT, MAG, ICE y RECOPE</b>).</p>

## 7

## CONCLUSIONES

“Este documento ofrece un análisis del conocimiento multiactor que sirve de base para la discusión de cómo Costa Rica podría insertarse en el mercado del hidrógeno verde, considerando que actualmente nos encontramos en un mundo muy conectado y de relaciones comerciales altamente complejas, donde tomar riesgos pareciera dejar de ser una opción.

Aunque la fuerte demanda internacional de este vector puede deberse a la necesidad de descarbonizar las economías, existe un fuerte componente de expansión energética y transición «corporativa» que es indispensable considerar en la discusión sobre el rol que podría ocupar Costa Rica en el mercado internacional de la energía.

Si bien Costa Rica posee una matriz energética cuya capacidad de producción podría utilizarse en el desarrollo de un ecosistema de H2V, ya cuenta con cierta normativa básica asociada al tema, así como una estrategia nacional, e incluso cuenta con experiencia y reconocimiento internacional para poder posicionarse en el mercado, lo cierto es que el tamaño del territorio nacional y la priorización del uso de su espacio no permite una producción a gran escala, como la que podrían alcanzar otros países de la región como Chile o Uruguay.

Esto no significa que Costa Rica no pueda producir H2V para exportación a largo plazo o incluso para un consumo local a corto plazo. De hecho las posibilidades de desarrollo en torno a este tipo de ecosistemas, van más allá de la simple producción del vector y de sus derivados, y abarcan componentes de investigación, desarrollo de tecnología, fortalecimiento de capacidades, venta de servicios, producción de insumos industriales y

usos en el transporte de carga de largas distancias y con rutas muy definidas. Opciones que podrían ubicar a Costa Rica como un país autosuficiente en su producción de H2V, con posibles miras a alianzas subregionales.

El mercado local puede potenciar la transición energética del país mediante la descarbonización de sectores como el agrícola, industrial y de transporte, al tiempo que fomenta el desarrollo endógeno y disminuye la dependencia de importaciones asociadas a los combustibles fósiles y fertilizantes. En el caso de exportación de bienes, pareciera que sería mejor enfocarse en equipo para la producción, almacenaje y distribución de H2V.

La exportación de H2V y sus derivados como única estrategia de negocio podría posicionar a Costa Rica, una vez más, como exportador de materia prima barata, colocándola nuevamente en una posición de dependencia económica y vulnerabilidad.

Para que el ecosistema de H2V sea exitoso en Costa Rica, esta debe enfocarse en subsanar una serie de retos y evitar ciertos riesgos potenciales que están muy ligados a la determinación de alianzas comerciales y al fortalecimiento de la normativa, gobernanza y hoja de ruta. El rol de la institucionalidad y las “reglas del juego” aún no están claros y la estrategia nacional necesita ser afinada, antes de comenzar a establecer acuerdos comerciales. Costa Rica debe enfocarse en estas temáticas utilizando una base técnica y científica, sin olvidar que la perspectiva geopolítica juega también un rol importante. El MINAE, ICE y RECOPE pueden tener un rol importante en el establecimiento de un sistema de producción sostenible, acompañado de otras instituciones y actores sociales.”

## REFERENCIAS

- Agencia Francesa para el desarrollo** (2023): Costa Rica: apoyar la lucha contra el cambio climático, en: Agencia Francesa de Desarrollo (24.7.2023); disponible en: <https://www.afd.fr/es/actualites/costa-rica-apoyar-lucha-contra-cambio-climatico>
- Agencia Internacional de Energía** (2022): World Energy Outlook Special Report: The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions. Revised version; disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>
- Alvarado, Josué** (2023<sup>a</sup>): ICE recurre a generadores privados de electricidad para enfrentar efectos de la disminución de lluvias por fenómeno de El Niño, en: El Observador (11.7.2023); disponible en: <https://observador.cr/ice-recurre-a-generadores-privados-de-electricidad-para-enfrentar-afectos-de-la-disminucion-de-lluvias-por-fenomeno-de-el-nino/>
- (2023b). ICE ya tiene acuerdos con 22 de las 26 plantas privadas de generación eléctrica de Costa Rica, en: El Observador (10.9.2023); disponible en: <https://observador.cr/ice-ya-tiene-acuerdos-con-22-de-las-26-plantas-privadas-de-generacion-electrica-de-costa-rica/>
- Arce, Sergio** (2023): Empresa australiana Kadelco anuncia plan de inversión por \$12.400 millones en Costa Rica en hidrógeno verde, en: El Observador (13.4.2023); disponible en: <https://observador.cr/empresa-australiana-kadelco-anuncia-plan-de-inversion-por-12-400-millones-en-costa-rica-en-hidrogeno-verde/>
- Banco Mundial** (2020): Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. Washington: Banco Mundial; disponible en: <https://pubdocs.worldbank.org/en/961711588875536384/Minerals-for-Climate-Action-The-Mineral-Intensity-of-the-Clean-Energy-Transition.pdf>
- BBVA** (2021): BBVA apuesta por el hidrógeno verde y limpio en Europa, en: BBVA (19.4.2021); disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/bbva-se-suma-a-la-alianza-europea-del-hidrogeno-limpio-verde/>
- Banco Centroamericano de Integración Económica** (2023): El BCIE y la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) promueven el establecimiento de Marcos de Referencia para la colocación de Bonos Ambientales, Sociales y de Gobernanza (ASG) en el Mercado Local Costarricense, en: BCIE (31.5.2023); disponible en: <https://www.bcie.org/novedades/noticias/articulo/el-bcie-y-la-agencia-francesa-de-desarrollo-afd-promueven-el-establecimiento-de-marcos-de-referencia-para-la-colocacion-de-bonos-ambientales-sociales-y-de-gobernanza-asg-en-el-mercado-local-costarricense>
- BMWK-Alemania** (2023): Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Berlin: BMWK; disponible en: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- Bringel, Breno y Svampa, Maristella** (2023): Del «Consenso de los Commodities» al «Consenso de la Descarbonización», en: NUSO; disponible en: <https://www.nuso.org/articulo/306-del-consenso-de-los-commodities-al-consenso-de-la-descarbonizacion/>
- Clean Hydrogen Partnership** (2022): Strategic Research and Innovation Agenda 2021-2027; disponible en: [https://www.clean-hydrogen.europa.eu/about-us/key-documents/strategic-research-and-innovation-agenda\\_en](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/about-us/key-documents/strategic-research-and-innovation-agenda_en)
- Comisión de Hidrógeno** (2018): Plan de acción interinstitucional para propiciar el uso del hidrógeno en el sector transporte. Costa Rica: Asociación Costarricense de Hidrógeno; disponible en: <http://ach2.org/documentos>
- Comisión Europea** (2019): El Pacto Verde Europeo. Bruselas: Comisión Europea; disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019D0640&from=EN>
- Comisión Europea** (2020): Preguntas y respuestas: una estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra, en: Comisión Europea (8.7.2023); disponible en: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/qanda\\_20\\_1257](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/qanda_20_1257)
- Comisión Europea** (2023<sup>a</sup>): Commission Delegated Regulation (EU). Supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin. Bruselas: Comisión Europea; disponible en: [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-02/C\\_2023\\_1087\\_1\\_EN\\_ACT\\_part1\\_v8.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-02/C_2023_1087_1_EN_ACT_part1_v8.pdf)
- Comisión Europea** (2023b): Proposal for a Regulation: European Critical Raw Materials Act. Bruselas: Comisión Europea; disponible en: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act_en)
- Decreto Ejecutivo N.º 43366-MINAE**. Oficialización de la Política para el aprovechamiento de los recursos excedentes en el Sistema eléctrico nacional para el desarrollo de una economía de. 06 de enero del 2022. Gaceta N.º 2.
- Decreto Ejecutivo N.º 43095-MINAE-H**. 11 de noviembre del 2021. Gaceta N.º 218
- Del Valle, Juan Ignacio** (2015). Los estudios de Ad Astra Rocket Company Costa Rica en tecnologías de hidrógeno para el transporte, en: Ambientalico (254): 28-38.
- Directriz MINAE-002-2018**. 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. 08 de mayo 2018. MINAE
- Directriz Ministerial DM-525-2023**. Estrategia Nacional de Hidrógeno verde en Costa Rica. 06 de Julio del 2023. MINAE
- Eurowater** (2022): Water treatment for green hydrogen: what you need to know; disponible en: [https://www.eurowater.com/Admin/Public/Download.aspx?file=Files%2FFiles%2Fcountry%2Finternational%2Fleaflets%2Fbasics\\_water-treatment-for-hydrogen\\_mini-leaflet\\_EUROWATER.pdf](https://www.eurowater.com/Admin/Public/Download.aspx?file=Files%2FFiles%2Fcountry%2Finternational%2Fleaflets%2Fbasics_water-treatment-for-hydrogen_mini-leaflet_EUROWATER.pdf)
- Gaceta Oficial Digital de Panamá**. (2023, abril 28). Resolución N.º MIPRE-2023-0015577: Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde y Derivados de Panamá: Versión para consulta pública; disponible en: [https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29771\\_B/98196.pdf](https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29771_B/98196.pdf)
- (2022, enero 24). Resolución N.º MIPRE-2022-0002354: Hub Transformacional de Hidrógeno Verde de Panamá: Fase 1 de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Panamá; disponible en: [https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29461\\_A/GacetaNo\\_29461a\\_20220124.pdf](https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29461_A/GacetaNo_29461a_20220124.pdf)
- García-Bernal, Nicolás**: (2021): Matriz energética y eléctrica en Chile. Chile: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN)-Asesoría Técnica Parlamentaria; disponible en: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN\\_Matriz\\_energetica\\_electrica\\_en\\_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,%20gas%20natural%20\(16%25\)](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf#:~:text=En%20la%20matriz%20energ%C3%A9tica%20primaria,%20gas%20natural%20(16%25))
- Gobierno de Costa Rica** (2018): Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030; disponible en: <https://sepse.go.cr/documentos/PlanTranspE-lect.pdf>
- (2019): Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050; disponible en: <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/02/PLAN.pdf>
- Gonzalez, Francisco** (2023): Espectacular crecimiento en la industria de electrolizadores, en: Es Hidrógeno (16.3.2023); disponible en: [https://eshidrogeno.com/industria-electrolizadores/#:~:text=Fabricantes%20en%20la%20industria%20de%20electrolizadores&text=ITM%20Power%20\(5GW%2C%20Reino%20Unido,Alemania%2C%20previsiones%20para%20varios%20GW\)](https://eshidrogeno.com/industria-electrolizadores/#:~:text=Fabricantes%20en%20la%20industria%20de%20electrolizadores&text=ITM%20Power%20(5GW%2C%20Reino%20Unido,Alemania%2C%20previsiones%20para%20varios%20GW))
- Hinicio** (2020): Entregable 2: Informe del análisis de Costo Total de Posesión (CTP) de los vehículos eléctricos y escenarios de penetración. Creación de condiciones habilitadoras del ecosistema hidrógeno en aplicaciones de movilidad eléctrica. Bogotá: Hinicio; disponible en: <https://energia.minae.go.cr/wp-content/uploads/2022/01/Informe-de-analisis-de-costo-total-de-posesion-CTP-de-los-vehiculos-electricos-y-escenarios-de-penetracion.pdf>
- Hinicio** (2021a): Análisis del mercado global de hidrógeno verde (H2V) y el potencial de participación de Costa Rica en dicho mercado y estimaciones asociadas a su impacto macroeconómico: Informe extendido. Bogotá: Hinicio; disponible en: [https://alianzaporelhidrogeno.cr/wp-content/uploads/2021/12/211008\\_HINICIO\\_Estudio-Mercado-H2\\_Informe-Extendido.pdf](https://alianzaporelhidrogeno.cr/wp-content/uploads/2021/12/211008_HINICIO_Estudio-Mercado-H2_Informe-Extendido.pdf)

**Hinico** (2021b): Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación. Tomo III: Oportunidades para las empresas productivas del estado PEMEX y CFE. Alemania: GIZ; disponible en: [https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user\\_upload/mexico/media\\_elements/reports/Hidro%CC%81geno\\_AE\\_Tomo\\_III.pdf](https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81geno_AE_Tomo_III.pdf)

**H2LAC** (2022): Tambor Green Hydrogen Hub: el nuevo proyecto uruguayo de hidrógeno verde, en: H2LAC (31.5.2023); disponible en: <https://h2lac.org/noticias/tambor-green-hydrogen-hub-el-nuevo-proyecto-uruguayo-de-hidrogeno-verde/>

**H2LAC Chile** (2023): Atome y Cavendish crean la National Ammonia Corporation en Costa Rica para desarrollar amoniaco verde, en: H2LAC (21.2.2023); disponible en: <https://h2lac.org/noticias/atome-y-cavendish-crean-la-national-ammonia-corporation-en-costa-rica-para-desarrollar-amoniaco-verde/>

**H2LAC** (2023). El futuro verde con hidrógeno tico: Se invertirán 25 millones de euros en hidrógeno verde, en: H2LAC (21.2.2023); disponible en: <https://h2lac.org/noticias/el-futuro-verde-con-hidrogeno-tico-se-invertiran-25-millones-de-euros-en-hidrogeno-verde/>

**Instituto Costarricense de Electricidad** (2017): Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2016–2035. San José: ICE; disponible en: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/beb21101-9c67-4acf-964e-c7a00f682040/PEG+2016-2035.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IpcDy1N>

— (2022): Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2018-2034. San José: ICE; disponible en: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/d91d-6f4f-6619-4a2f-834f-6f5890eebb64/PLAN+DE+EXPANSION+DE+LA+GENERACION+2018-2034.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mleNZKV>

— (2023): Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2022–2040. San José: ICE; disponible en: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/741c8397-09f0-4109-a444-bed598cb7440/Plan+de+Expansio%CC%81n+de+la+Generacio%CC%81n+2022-2040.pdf?MOD=AJPERES&CVID=osLqnZB>

**IRENA** (2021): Perspectivas de la Transición Energética Mundial: Camino hacia 1.5°C. Abu Dhabi: IRENA; disponible en: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA\\_WETO\\_Summary\\_2021\\_ES.pdf?rev=beaa790b637d47ed878e25378899d227](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_WETO_Summary_2021_ES.pdf?rev=beaa790b637d47ed878e25378899d227)

**Ini, Luis** (2023): En Chile, el Gobierno recibe nueve propuestas para fábricas de electrolizadores, en: PV Magazine (18.7.2023); disponible en: <https://www.pv-magazine-latam.com/2023/07/18/en-chile-el-gobierno-recibe-nueve-propuestas-para-fabricas-de-electrolizadores/>

**Jano Ito, Marco Aurelio; Neri Villerda, Carmen Alejandra; Tzec Quiñones, Irving Ubaldo y Girón Cruz, Juana Isabel** (2022): Evaluación del potencial de mitigación de gases de efecto invernadero del hidrógeno verde. Una hoja de ruta de implementación para México. México: Centro Mario Molina; disponible en: <https://centromariomolina.org/evaluacion-del-potencial-de-mitigacion-de-gases-de-efecto-invernadero-del-hidrogeno-verde/>

**Jaroslav, Kmet** (2021): Comparison of the energy requirements of FCEVs and BEVs when powered by an off-grid energy system; disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/comparison-energy-requirements-fcevs-bevs-when-powered-jaroslav-kme%C5%A5/>

**JICA** (2022): Estudio de Recopilación de Datos sobre las Necesidades y Potenciales de Desarrollo para la Introducción de Tecnologías y Cadena de Valor del Hidrógeno en América Latina: Informe Final; disponible en: <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12369633.pdf>

**Chamizo, Héctor** (2022): La ley de protección del clima de Biden: un impulso a la inversión verde en bolsa, en: La información (24.9.2022); disponible en: <https://www.lainformacion.com/mercados-y-bolsas/ley-biden-proteccion-clima-impulso-inversion-verde-bolsa/2874057/>

**Ley N.º 10.209.** Ley de incentivos al transporte verde, reforma la Ley N.º 9518. 03 de junio 2022. Gaceta N.º 103.

**Ley N.º 7200.** Ley que Autoriza la Generación Eléctrica Autónoma o Paralela. 18 de octubre de 1990. Gaceta N.º 197.

**Ley N.º 7508.** Reforma de la Ley que Autoriza la Generación Eléctrica Autónoma o Paralela N.º 7200. 31 de mayo de 1995. Gaceta N.º 104.

**Medillina, Matías** (2021): Chile planea bajar precio a USD \$1,3 y alcanzar 25 GW de hidrógeno verde para 2030, en: Energía Estratégica (19.5.2021); disponible en: <https://www.energiaestrategica.com/chile-planea-bajar-precio-a-usd-13-y-alcanzar-25-gw-de-hidrogeno-verde-para-2030/>

**MEIC, Universidad EARTH, Ad Astra Rocket Company y Sistema Banca para el Desarrollo** (2016): Convenio Marco de Cooperación entre la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH), Ad Astra Rocket Company Costa Rica Limitada y el Sistema de Banca para el Desarrollo.

**MIEM** (2022): Hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay; disponible en: [https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/noticias/H2\\_final\\_14jul22\\_digital.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/noticias/H2_final_14jul22_digital.pdf)

**MINAE.** (2015): VII Plan Nacional de Energía 2015–2030 [archivo PDF]. Recuperado de: [https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2018/08/VII\\_Plan\\_Nacional\\_de\\_Energia\\_2015-2030.pdf](https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2018/08/VII_Plan_Nacional_de_Energia_2015-2030.pdf)

**MINAE-SEPSE** (2022) Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Costa Rica. San José: MINAE; disponible en: <https://energia.minae.go.cr/wp-content/uploads/2020/04/Estrategia-Nacional-de-H2-Verde-Costa-Rica.pdf>

Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues of Japan (2017): Basic Hydrogen Strategy; disponible en: [https://climate-laws.org/documents/basic-hydrogen-strategy-2017\\_7bd7?id=2017-basic-hydrogen-strategy\\_68dc](https://climate-laws.org/documents/basic-hydrogen-strategy-2017_7bd7?id=2017-basic-hydrogen-strategy_68dc)

**Ministerio de Ambiente de Colombia** (s.f.). Energía Eléctrica. Bogotá: Gobierno de Colombia; disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/>

**Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico** (2017): Análisis de la OCDE acerca de las políticas nacionales para educación: La educación en Costa Rica; disponible en: <https://www.oecd.org/education/school/La-Educacion-en-Costa-Rica-Resumen-Ejecutivo.pdf>

**Oficio N.º IN-0021-IE-2021.** (2021, febrero 21). Sistema eléctrico nacional (SEN): costos por planta de generación, públicas y privadas, para el 2019. ARESEP.

**Rodríguez Carrasco, Elvis e Irazo Patricio, José Alfredo** (2002): Electrolizadores: Análisis, Perspectivas de Mercado y Comparación. [Tesis de grado]. Sevilla: Universidad de Sevilla; disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/141109>

**Rueter, Gero** (2022): Batteries versus e-fuels: Which is better?, en: Deutsche Welle (25.5.2022); disponible en: <https://www.dw.com/en/batteries-versus-e-fuels-which-is-better/a-61921402#:~:text=E%2Dfuels%20struggle%20to%20contend&text=But%20while%20e%2Dfuels%20might,are%20also%20significantly%20more%20expensive.>

**Sala Constitucional de la Corte Suprema de Justicia, Costa Rica** (2022, octubre 21) Proyecto de Ley N.º 23.414. Ley de Armonización de la Ley de Energía [archivo PDF]. Recuperado de: [http://www.asamblea.go.cr/Centro\\_de\\_informacion/Consultas\\_SIL/SitePages/ConsultaProyectos.aspx](http://www.asamblea.go.cr/Centro_de_informacion/Consultas_SIL/SitePages/ConsultaProyectos.aspx)

**Sala Constitucional de la Corte Suprema de Justicia, Costa Rica** (2022, octubre 25) Res. N.º 2022025307 del Proyecto de Ley N.º 22.392: Ley para la promoción e implementación de una economía de Hidrógeno Verde en Costa Rica [archivo PDF]. Recuperado de: [http://www.asamblea.go.cr/Centro\\_de\\_informacion/Consultas\\_SIL/SitePages/ConsultaProyectos.aspx](http://www.asamblea.go.cr/Centro_de_informacion/Consultas_SIL/SitePages/ConsultaProyectos.aspx)

**Segura-Vargas, Ambar** (2023): Empresa australiana pretende invertir \$3.300 millones en planta de hidrógeno verde, en: Ojo al clima (25.2.2022); disponible en: <https://ojoalclima.com/empresa-australiana-pretende-invertir-3-300-millones-en-planta-de-hidrogeno-verde/#:~:text=La%20empresa%20australiana%20Kadelco%20decidi%C3%B3,por%20generar%202.600%20empleos%20directos.>



## SOBRE EL(A) AUTOR(A)

**Carolina Álvarez Vergnani** es bióloga y cuenta con una licenciatura en Ecología de Bosques Tropicales de la Universidad de Costa Rica. Posteriormente, obtuvo un magíster del Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad Complutense de Madrid en Eficiencia Energética y Cambio Climático: Tecnologías y Medidas. En el ámbito educativo universitario, ha desarrollado su actividad docente y de investigación en el tema de cambio climático como eje del desarrollo sostenible. Actualmente, se desempeña como consultora en asuntos socioambientales relacionados al cambio climático, uso de los bienes y servicios ecosistémicos y procesos participativos dentro de la gestión socioambiental.

**Contacto:** [caroav@gmail.com](mailto:caroav@gmail.com)

## IMPRESIÓN

Friedrich-Ebert-Stiftung (FES)  
Costa Rica  
[costarica@fesamericacentral.org](mailto:costarica@fesamericacentral.org)  
<https://americacentral.fes.de/>

Responsable:  
Ingrid Ross  
Representante Fundación Friedrich Ebert para Costa Rica,  
Guatemala y Honduras

Coordinador:  
Marco Zamora  
[m.zamora@fesamericacentral.org](mailto:m.zamora@fesamericacentral.org)

San José, octubre, 2023

## SOBRE ESTE PROYECTO

En 1965 la Friedrich-Ebert-Stiftung (FES, Fundación Friedrich Ebert) abre en Costa Rica su primera oficina en la región centroamericana. El 23 de julio de 1965 se firma el Convenio de Cooperación entre el Gobierno de Alemania y el Gobierno de Costa Rica. El 1° de setiembre de 1980 se aprueba la Ley No.6454 que lo ratifica. Por más de 55 años la Fundación en Costa Rica ha desarrollado sus actividades como plataforma de diálogo, análisis político y de asesoría política. La participación de múltiples actores y el fortalecimiento de la democracia social son bases de la cooperación realizada con instituciones sociales y políticas costarricenses.

En la actualidad, la Fundación Friedrich Ebert, a través de su oficina en Costa Rica, desarrolla los dos proyectos de trabajo regional de la FES en América Central. Por un lado, El Proyecto Transformación Social Ecológica, que busca contribuir al fortalecimiento de las capacidades de gobierno democrático y social, aportar contenidos y apoyar diálogos hacia una eco-

nomía social y ecológicamente sostenible, elaborar propuestas de modelos de desarrollo alternativo, y una política fiscal como instrumento de justicia social y de igualdad de género. Por otro lado, el Proyecto Juventudes Progresistas, que ofrece espacios de formación y fortalecimiento de liderazgos en las juventudes, e impulsar estos liderazgos para participar de manera más efectiva en proceso de defensa de la democracia y los Derechos Humanos.

El concepto de planificación y las actividades de la FES en red de las seis oficinas centroamericanas consiste en la coordinación, el intercambio y la articulación regional con implementación nacional.

Para más información, consulte  
<https://americacentral.fes.de/>

# OPORTUNIDADES PARA EL HIDRÓGENO VERDE EN COSTA RICA

## Hacia una transformación de la matriz energética



Costa Rica es una opción viable para la promoción de un ecosistema de hidrógeno verde (H2V), como una alternativa en el proceso de transición energética nacional e incluso internacional. Sin embargo, no todos los ecosistemas de H2V son viables para Costa Rica, ya que algunos de ellos podrían retrasar esta transición y estancarla en un simple proceso mercantil, que poco tenga que ver con la descarbonización.

Estas opciones incluyen la producción de H2V o sus derivados para ser utilizados en ciertos sectores del transporte –no en todos–; pero, además, la posibilidad de posicionar al país como un centro de creación de capacidades o laboratorio regional para el desarrollo e integración de tecnología, ofrecer



servicios de diseño y ejecución de proyectos y, por supuesto, utilizar el H2V o sus derivados en otros sectores como el agrícola.

En la actualidad, la ejecución de proyectos piloto e inversión para la activación de la demanda ya ha comenzado y se cuenta con política pública básica para su promoción, así como varias ofertas de inversores internacionales.

Los retos por resolver son tan variados como las opciones de producción y uso. Parte de estos abarcan la modernización del Sistema eléctrico nacional, la determinación de un modelo de gobernanza apto para los usos y, por supuesto, las formas para atraer a los aliados correctos a la implementación de proyectos.



Los riesgos, por su parte, están fuertemente asociados a los modelos económicos internacionales hegemónicos. La geopolítica del H2V replica patrones en las dinámicas de poder en las que Latinoamérica no ha tenido mayores ventajas y ha cumplido el rol de proveedor de materias primas de poco valor agregado e importador de tecnologías costosas de alto valor agregado. Para evitar que esto suceda, Costa Rica debe analizar los posibles espacios de desarrollo en torno al H2V tanto bajo una mirada técnica y científica, como bajo una perspectiva geopolítica y de transformación social y ecológica.

Más información sobre el tema aquí:  
<https://americacentral.fes.de/>