

INFORME DEL ENCUENTRO REGIONAL SOBRE HIDRÓGENO VERDE: SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS, CAPACIDADES, DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

Informe del Encuentro Regional sobre Hidrógeno Verde:

Sistematización de Experiencias, Capacidades, Desafíos y Oportunidades

Autora: Lorena Reinoso

Agosto, 2025.



Listado de Siglas y Acrónimos

ACV/ACL - Análisis de Ciclo de Vida
AeH2 - Asociación Española del Hidrógeno
AECID - Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
AGM - Área Global de Materia
AGS - Área Global de Sociedad
AGV - Área Global de Vida
AUME - Asociación Uruguaya de Mujeres en la Energía
BID - Banco Interamericano de Desarrollo
BMWK - Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania
CAF - Corporación Andina de Fomento
CELAC - Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños
CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe
ChileValora - Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales de Chile
CIEMAT - Centro de Investigación Avanzada en Materiales
CO2-eq - Dióxido de Carbono Equivalente
CONOCER - Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (México)
CORFO - Corporación de Fomento de la Producción
CSIC - Consejo Superior de Investigaciones Científicas
EHEC - European Hydrogen Energy Conference
FENOGÉ - Fondo de Energías Renovables
GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GW - Gigavatios
H2LAC - Plataforma de Hidrógeno para América Latina y el Caribe
H2PORTS - Proyecto de Hidrógeno en Puertos
H2U - Programa Hidrógeno Uruguay
H2V - Hidrógeno Verde
I+D+i - Investigación, Desarrollo e Innovación
ICEX - Instituto Español de Comercio Exterior
ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas
IEA - International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
ILA - Organización Italo Latinoamericana

ISA - Interconexión Eléctrica S.A.
KPI - Key Performance Indicators (Indicadores Clave de Rendimiento)
MCTP - Marco de Cualificaciones Técnico-Profesional
Mt - Millones de Toneladas
MW - Megavatios
OIT - Organización Internacional del Trabajo
OLADE - Organización Latinoamericana de Energía
ONU - Organización de las Naciones Unidas
PEM - Proton Exchange Membrane (Membrana de Intercambio Protónico)
PERTE ERHA - Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económico del Hidrógeno Renovable
PTeH2 - Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno
PyMES - Pequeñas y Medianas Empresas
REPIC - Red de Cooperación Comunas Energéticas
RIMDH - Red de Instituciones Nacionales de Derechos Humanos
RSE - Responsabilidad Social Empresarial
SENA - Servicio Nacional de Aprendizaje
SICA - Sistema de la Integración Centroamericana
SOEC - Solid Oxide Electrolysis Cell (Celda de Electrólisis de Óxido Sólido)
SOFC - Solid Oxide Fuel Cell (Celda de Combustible de Óxido Sólido)
SPOC - Single Point of Contact (Punto Único de Contacto)
SROI - Social Return on Investment (Retorno Social de la Inversión)
TEI RH2 - Team Europe Initiative para el Desarrollo del Hidrógeno Renovable
TRL - Technology Readiness Level (Nivel de Madurez Tecnológica)
UCSC - Universidad Católica de la Santísima Concepción
USD - Dólar estadounidense
USD/Kg - Dólar estadounidense por Kilogramo
UTEC-UDELAR - Universidad Tecnológica - Universidad de la República
WiGH - Women in Green Hydrogen

Índice

Resumen ejecutivo	6
1. Introducción	10
2. Aspectos Metodológicos	13
CAPÍTULO I	15
3. Estado Actual del Hidrógeno Verde en América Latina	16
<i>Panorama del Desarrollo del H2V en América Latina y el Caribe</i>	<i>20</i>
CAPÍTULO II	22
4. Experiencias en I+D+i	29
4.1. Fortalecimiento del Ecosistema de Investigación, Desarrollo e Innovación y Formación en H2V en Chile	29
4.2. El Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Asociación Española del Hidrógeno (AeH2)	30
4.3. Conversatorio: Discusión sobre avances tecnológicos , casos de éxito y desafíos en la producción, almacenamiento y aplicaciones de H2V, con énfasis en proyectos piloto y políticas públicas.	31
4.4. Conversatorio sobre el estado de desarrollo e implementación regional de políticas públicas en la región para la industria de H2V y derivados	35
4.5. Herramientas para Interacción y Relacionamiento de Actores de la Cadena de Valor: Plataforma OrientaH2 Chile	37
4.6. Taller: Identificación regional de oportunidades en I+D+i del Ecosistema de H2V	38
5. Desarrollo territorial y participación comunitaria	43
5.1. Derechos Humanos y Transición Energética: Desafíos y Oportunidades del H2V	43

5.2. <i>Conversatorio: Rol de la industria en el desarrollo territorial y participación en los beneficios</i>	45
5.3. <i>Taller: Levantamiento de elementos para la construcción de un estándar de reconversión con participación ciudadana</i>	48
6. Capital Humano y Formación de Capacidades	54
6.1. <i>Programa de Capital Humano en el Sector Energía: Impulsando el Futuro de Chile</i>	54
6.2. <i>Estudio de Fuerza Laboral y Empleos Verdes en el Sector Energético Chileno</i>	55
6.3. <i>Proyección de Perfiles y Competencias Laborales Verdes en la Alianza Pacífico - Colectivos Vulnerables</i>	57
6.4. <i>Conversatorio: Construcción de Estándares y Marco de Cualificación para la Formación Técnico Profesional del Sector Energía, en la Industria del H2V y su implementación</i>	58
6.5. <i>Participación de Mujeres en la Industria de H2V</i>	61
CAPÍTULO III	65
7. Prospectiva del Hidrógeno en la Región	69
7.1. <i>Investigación, Desarrollo e Innovación en Hidrógeno</i>	69
7.2 <i>Capital Humano</i>	73
7.3 <i>Desarrollo territorial</i>	77
8. Reflexiones Finales	82
9. Recomendaciones Estratégicas para la Acción Regional	88
10. Referencias Bibliográficas	90

Resumen ejecutivo

El Encuentro Regional de Hidrógeno Verde "Intercambio de experiencias sobre capital humano, innovación y territorio", celebrado entre el 22 y 24 de julio de 2025 en Montevideo, congregó a 36 especialistas provenientes de instituciones gubernamentales, academia, sector privado y organismos internacionales de ocho países iberoamericanos. El evento, organizado conjuntamente por la AECID y el Ministerio de Energía de Chile en el marco del proyecto TEI RH2, constituyó un ejercicio de sistematización y análisis crítico que reveló tanto las oportunidades significativas como las limitaciones estructurales que enfrenta América Latina en su transición hacia la economía del H2V.

Respecto a los aspectos metodológicos, se destaca la metodología participativa implementada, que combinó análisis documental, inteligencia colectiva y técnicas de Design Thinking para la construcción colaborativa de conocimiento entre los representantes regionales.

El **Capítulo I** inicia desarrollando el contexto del sector, mediante un análisis cuantitativo del panorama regional que evidenció una paradoja fundamental en la posición actual de América Latina. Mientras la región representa apenas el 2% de la capacidad global instalada de electrolizadores (0,1 GW de un total de 5,0 GW), dominada ampliamente por China con el 70% de la capacidad mundial, las proyecciones para 2030 indican un potencial del 13% de la capacidad mundial anunciada, equivalente a 70 GW de un total de 520 GW. Esta disparidad ilustra tanto la ambición regional como la brecha crítica entre expectativas políticas y realidad operativa, considerando que solo el 4% de la capacidad anunciada globalmente ha alcanzado decisión final de inversión.

Los costos actuales de producción, que oscilan entre 5 y 8 USD/Kg, contrastan marcadamente con las proyecciones iniciales optimistas de 1 a 1.5 USD/Kg para 2030. Los participantes identificaron tres factores críticos que impiden la competitividad: el costo capital de los electrolizadores que no disminuye según las proyecciones tecnológicas, los costos energéticos que no se reducen pese a una mayor penetración renovable debido a costos sistémicos de transición, y el impacto del riesgo país en el costo del crédito que penaliza significativamente los proyectos intensivos en capital.

El desarrollo institucional presenta diferentes grados de madurez según el análisis comparativo realizado. Chile estableció el precedente regional con su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en 2020, complementada por el Plan de Acción 2023-2030 que define 81 acciones específicas en 18 líneas de trabajo. Colombia publicó su Hoja de Ruta en 2021, estableciendo incentivos tributarios específicos. Uruguay y Costa Rica desarrollaron estrategias durante 2022-2023, mientras que

Brasil avanza con el Programa Nacional de Hidrógeno. Sin embargo, la IEA señala que estos planes requieren actualización considerando la incertidumbre sobre el tamaño del mercado global y la ausencia de crecimiento en proyectos vinculados al comercio internacional.

El Capítulo II constituye el núcleo analítico del documento, sistematizando las experiencias compartidas en tres ejes temáticos fundamentales. En I+D+i se identificaron disparidades significativas en la madurez tecnológica regional que van más allá de las diferencias de recursos financieros. Mientras España cuenta con un ecosistema consolidado representado por el CSIC con 35 grupos de investigación especializados distribuidos en 14 institutos y la AeH2 con aproximadamente 400 socios, países como Chile reconocen limitaciones críticas con apenas siete electrolizadores identificados en territorio nacional, donde solo tres de ellos han sido autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, además de la ausencia de bancos de prueba y equipamiento básico para formación técnica.

Los debates técnicos evidenciaron consenso respecto a que los avances tecnológicos actuales no están permitiendo el escalamiento industrial esperado hacia aplicaciones comerciales. Los participantes convergieron en identificar que el transporte y distribución del hidrógeno representa la dimensión menos desarrollada de la cadena de valor. El taller de identificación regional priorizó cinco tecnologías críticas: la integración del hidrógeno en infraestructura de almacenamiento y transporte, I+D+i para descarbonizar el sector agrícola mediante fertilizantes verdes y transporte cero emisiones, fabricación de electrolizadores de gran capacidad, uso del hidrógeno para descarbonizar sectores estratégicos como minería y transporte forestal, y desarrollo de hubs tecnológicos de metanol verde. Los elementos transversales revelaron desafíos estructurales comunes: la insuficiente vinculación entre academia, industria y gobierno, la ausencia de fondos de investigación orientados a problemáticas productivas concretas, las limitaciones en capital humano especializado y las brechas regulatorias que dificultan el escalamiento comercial.

La dimensión de desarrollo territorial emergió como aspecto crítico para garantizar la legitimidad social y sostenibilidad de largo plazo de los proyectos. Se estableció que los derechos humanos constituyen el "piso" de la transición energética, requiriendo aplicación sistemática de los Principios Rectores de la ONU sobre Empresas y Derechos Humanos. Los conversatorios revelaron una coincidencia problemática: aproximadamente el 50% de los territorios con mayor potencial para energías renovables coinciden con áreas de intensa actividad minera histórica que heredan conflictos sociales no resueltos. Las experiencias exitosas presentadas, como proyectos solares en Colombia que otorgan tierras a comunidades indígenas para cultivo destinado tanto a autoconsumo como a exportación internacional, demuestran que las comunidades pueden ser socias en el desarrollo y no sólo

receptoras pasivas de beneficios. El taller sobre estándares de reconversión identificó que la transformación de infraestructura trasciende dimensiones puramente técnicas para requerir un enfoque integral que articula seguridad operativa, economía circular, participación temprana permanente, gobernanza multiactor y mecanismos de financiamiento innovadores.

La formación de capital humano constituyó el eje que reveló las brechas estructurales más críticas para la viabilidad sectorial. Las presentaciones evidenciaron sistemas formativos heterogéneos con diferentes grados de desarrollo institucional. Chile ha desarrollado un Programa de Capital Humano que involucra más de 150 actores con metas de 18.000 capacitaciones y 9.000 certificaciones anuales para 2030, proyectando una demanda de entre 30.000 y 56.000 nuevos trabajadores para 2035. La iniciativa regional de la Alianza Pacífico reveló un contexto desafiante donde el 31.3% de trabajadores están subcualificados y existe 49% de informalidad laboral, desarrollando un catálogo con 118 competencias y 62 perfiles distribuidos en 11 sectores verdes. La dimensión de género emergió como factor diferenciador crítico: mientras que el 65% de empresas implementan políticas de contratación inclusiva, el 80% de trabajadoras considera que quienes usan políticas de conciliación enfrentan obstáculos para promociones laborales.

El **Capítulo III** presenta la visión prospectiva regional, construida colectivamente, estableciendo recomendaciones estructuradas en tres dimensiones estratégicas fundamentales. En I+D+i, las propuestas contemplan aprovechar la diversidad de mecanismos nacionales exitosos existentes, incluyendo el sistema de CORFO en Chile, programas mexicanos para PyMES en renovables, y el mecanismo de "obras por impuestos" propuesto por Perú y Colombia para financiar I+D+i en infraestructura del H2V. Las iniciativas regionales más ambiciosas incluyen pilotos colaborativos entre países para generar estudios de gran alcance, la creación del "Banco de Hidrógeno Latinoamericano" con módulo instrumental y subsedes distribuidas estratégicamente siguiendo modelos exitosos de H2 Global o el Banco Europeo de Hidrógeno pero adaptados a realidades regionales, y coordinación regional de planificación energética de largo plazo.

En capital humano, las propuestas se estructuran mediante el desarrollo de sistemas integrales de medición y proyección de demanda laboral especializada, estrategias diferenciadas para eliminar sesgos sistemáticos relacionados con género, edad y discapacidad, y servicios de conciliación familiar innovadores que incluyen guarderías móviles para proyectos ubicados en zonas remotas. Las recomendaciones regionales priorizan el establecimiento de redes especializadas de intercambio de conocimiento que faciliten transferencia efectiva de mejores prácticas entre países, sistemas estandarizados de certificación de competencias y programas de micro-acreditaciones diseñados para promover movilidad profesional transfronteriza y reconocimiento mutuo de calificaciones.

En desarrollo territorial, las recomendaciones priorizan la incorporación efectiva de recursos locales mediante acuerdos Estado-privado que establezcan porcentajes mínimos obligatorios de contratación de recursos locales y participación de mujeres en la cadena de valor, complementados con participación comunitaria estructurada que trascienda consultas formales para incorporar líderes territoriales en procesos decisorios genuinos. Las propuestas incluyen marcos regulatorios con incentivos fiscales vinculados a objetivos territoriales mensurables y sistemas de cooperación regional que aprovechen organismos existentes como OLADE y el Foro Regional sobre Empresas y Derechos Humanos de la ONU para facilitar intercambio de metodologías y experiencias territoriales exitosas.

Las recomendaciones formuladas constituyen una hoja de ruta fundamentada para la acción coordinada regional, aunque su implementación efectiva dependerá críticamente de la capacidad para estructurar modelos de vinculación público-privada sostenibles que faciliten la transferencia efectiva de conocimiento y tecnología. El éxito regional requerirá mantener una continuidad política que trascienda ciclos gubernamentales nacionales, desarrollar marcos regulatorios armonizados que faciliten la integración comercial y tecnológica, y crear una institucionalidad regional especializada con independencia política suficiente para facilitar una coordinación supranacional efectiva. La materialización del potencial regional dependerá fundamentalmente de la capacidad para transformar consensos técnicos en acciones coordinadas sostenidas que aborden simultáneamente las dimensiones tecnológicas, formativas y territoriales identificadas como críticas para el desarrollo sectorial inclusivo y sostenible.

Además, de las recomendaciones que surgieron en el encuentro se presenta la propuesta de un esquema de división regional de la cadena de valor para aprovechar sinergias y economía de escala en la región; como también el desarrollo de un observatorio de vigilancia tecnológica que permitiría a la región anticiparse a los desarrollos tecnológicos emergentes, identificar ventanas de oportunidad y orientar las decisiones de inversión en investigación y desarrollo hacia las tecnologías más prometedoras.

1. Introducción ■

La transición hacia una economía global descarbonizada ha posicionado al H2V como uno de los vectores energéticos más prometedores del siglo XXI. En este contexto de urgencia climática y transformación productiva, América Latina emerge con ventajas comparativas que la sitúan en el centro de la nueva geopolítica energética mundial. La abundancia de recursos renovables, particularmente solar y eólico, sumada a la disponibilidad de agua y vastos territorios, configura un escenario único para el desarrollo de una industria del H2V competitiva y sostenible en la región.

Con dicha orientación surge el proyecto TEI RH2, financiado con fondos aportados por la Unión Europea a través del programa EUROCLIMA LAC y el Ministerio Federal de Economía y el BMWK, que representa un esfuerzo sustancial de la cooperación internacional para el desarrollo del H2V en la región. La implementación del proyecto, a cargo de la GIZ y la AECID, se estructura en cinco componentes estratégicos que abordan desde el fortalecimiento del entorno habilitante hasta el desarrollo de mercados y la cooperación.

En este contexto, el componente B del proyecto, ejecutado por AECID y enfocado en el desarrollo de capacidades y transferencia de conocimientos, identificó la necesidad crítica de generar espacios de intercambio técnico que permitieran acelerar el aprendizaje colectivo y fortalecer las capacidades regionales. El encuentro regional surge como una respuesta concreta a esta necesidad, configurándose como un espacio relevante para el diálogo técnico, el intercambio de experiencias y la construcción de redes de colaboración entre los países participantes.

El Encuentro Regional de Hidrógeno Verde "Intercambio de experiencias sobre capital humano, innovación y territorio", celebrado entre el 22 y 24 de julio de 2025, constituyó un hito fundamental en la articulación de esfuerzos regionales para el desarrollo coordinado de esta industria emergente. Este evento, organizado en el marco del proyecto TEI RH2, congregó a representantes de instituciones gubernamentales, organismos internacionales, academia, centros de formación técnica y sector privado de Chile, Uruguay, Colombia, México, España y otros países de América Latina.

El desarrollo del encuentro responde a la necesidad imperante de abordar los desafíos multidimensionales que enfrenta la región en su camino hacia el liderazgo en la producción de H2V. Entre estos desafíos destacan la escasez de capacidades técnicas especializadas, las dificultades de articulación entre actores clave, las desigualdades territoriales y brechas sociales, y la baja apropiación social de esta tecnología emergente. Estas limitaciones estructurales restringen la capacidad de los países latinoamericanos para avanzar en sus estrategias nacionales de H2V y alcanzar una transición energética verdaderamente justa, equitativa y sostenible.

El encuentro regional se estructuró con el objetivo general de favorecer el intercambio de conocimientos, buenas prácticas y desafíos comunes entre instituciones de América Latina y Europa involucradas en la transición energética basada en H2V. Este propósito se materializó a través de objetivos específicos orientados a intercambiar experiencias regionales sobre I+D+i, capital humano y desarrollo territorial; promover el intercambio de experiencias; conocer el estado actual de avance de las estrategias nacionales; identificar oportunidades de trabajo conjunto; y conectar a los diferentes actores para crear nuevas colaboraciones y alianzas.

La agenda se organizó en torno a tres bloques temáticos fundamentales que reflejan las prioridades estratégicas identificadas por los países participantes. El primer bloque abordó la innovación en la cadena de valor y su estado actual de desarrollo, incluyendo presentaciones sobre tendencias internacionales, estudios de I+D+i y oportunidades regionales en el ecosistema del H2V. El segundo bloque se centró en el rol de la industria en el desarrollo territorial y comunitario, con énfasis en los enfoques de derechos humanos, modelos de participación de beneficios y estándares de reconversión con participación ciudadana. El tercer bloque examinó las prioridades en la formación de capital humano, abarcando políticas nacionales, estudios sobre demanda laboral, inclusión y equidad de género, y marcos de cualificación.

La metodología privilegió un enfoque participativo que combinó paneles de presentación conceptual por parte de expertos internacionales, espacios de diálogo estructurado entre especialistas y participantes, y talleres de identificación de desafíos y generación de hojas de ruta. Esta aproximación metodológica permitió no solo la transferencia unidireccional de conocimientos, sino la construcción colectiva de soluciones adaptadas a las realidades específicas de cada país y territorio.

La participación de especialistas de organismos nacionales e internacionales, y una diversidad de actores enriqueció los debates con perspectivas diversas y complementarias. Esta combinación de enfoques resultó fundamental para abordar la complejidad multidimensional del desarrollo del H2V, que trasciende los aspectos puramente tecnológicos para involucrar dimensiones sociales, ambientales, económicas y políticas.

El presente informe sistematiza los principales resultados, aprendizajes y recomendaciones que surgen del Encuentro Regional de Hidrógeno Verde, constituyéndose en un documento de referencia para los actores involucrados en el desarrollo de esta industria en América Latina. Más allá de la documentación de las presentaciones y debates realizados, este informe busca generar valor agregado a través del análisis crítico de las experiencias compartidas, la identificación de patrones y tendencias regionales, y la formulación de recomendaciones concretas para acelerar el desarrollo sostenible e inclusivo del H2V en la región.

La estructura del informe se organiza en tres partes principales que permiten una comprensión integral de los temas abordados y sus implicaciones para el desarrollo regional. El capítulo I establece el contexto con un panorama regional del hidrógeno que examina el estado de desarrollo en los países participantes y las tendencias internacionales presentadas. El capítulo II¹ constituye el núcleo analítico del documento, sistematizando las experiencias compartidas en los tres ejes temáticos del encuentro: experiencias en I+D+i con resultados de estudios y casos regionales de innovación; desarrollo territorial y participación comunitaria incluyendo enfoques de derechos humanos, modelos de participación en beneficios y estándares de reconversión; capital humano y formación de capacidades abarcando políticas nacionales, estudios sobre demanda laboral, inclusión y equidad de género, y marcos de cualificación; y un análisis de las políticas públicas regionales identificando avances por país y desafíos comunes.

El capítulo III presenta una visión prospectiva del hidrógeno en la región, estructurada en tres dimensiones estratégicas. En I+D+i se analizan prospectivamente las líneas de investigación prioritarias, políticas públicas de apoyo a la ciencia y la innovación, mecanismos de financiamiento público-privado y oportunidades de cooperación internacional. En capital humano se analizan tendencias y proyecciones del sector, medidas para satisfacer la demanda, vinculación con el mercado de trabajo y mecanismos de cooperación. En desarrollo territorial se examinan estrategias para la incorporación de recursos locales a la cadena de valor, procesos para estándares sociales y ambientales, marcos normativos y oportunidades de cooperación regional. El informe culmina con las reflexiones finales del evento y recomendaciones concretas surgidas del mismo, orientadas a fortalecer la colaboración regional y acelerar el desarrollo sostenible de la industria.

¹ El Capítulo II presenta un análisis integral basado en el contenido desarrollado durante el evento, e incluye la síntesis estructurada de las presentaciones magistrales, conversatorios técnicos y talleres colaborativos realizados.

2. Aspectos Metodológicos

El presente informe constituye un ejercicio analítico integral que sistematiza, procesa y genera valor agregado a partir de la información recopilada durante el Taller Regional de Hidrógeno Renovable y el análisis de fuentes secundarias especializadas. Este documento trasciende la mera compilación de datos para ofrecer una interpretación comprensiva del estado actual del ecosistema de H2V en América Latina, el Caribe y España, así como un análisis prospectivo de sus trayectorias potenciales de desarrollo.

La metodología adoptada se estructuró en tres fases complementarias e interrelacionadas. La primera fase consistió en una revisión exhaustiva de fuentes secundarias, incluyendo documentos técnicos, informes institucionales, marcos regulatorios nacionales y publicaciones académicas sobre el desarrollo del H2V en la región. Esta revisión documental permitió establecer una línea base de conocimiento sobre las capacidades instaladas, proyectos en desarrollo y marcos institucionales existentes en cada país.

La segunda fase se centró en la obtención de datos primarios mediante la implementación del Taller Regional de H2V, celebrado en Montevideo del 22 al 24 de julio de 2025. Este evento reunió a 36 representantes de alto nivel provenientes de organismos públicos, instituciones académicas, centros de investigación y actores estratégicos del sector energético de 8 países de Iberoamérica. Organizado conjuntamente por la AECID, el Ministerio de Energía de Chile y con el apoyo de organismos multilaterales como OLADE, el taller empleó metodologías participativas basadas en técnicas de Design Thinking² y facilitación colaborativa.

El diseño metodológico del taller se articuló en torno a tres ejes temáticos fundamentales que estructuran el análisis del presente informe. El eje de I+D+i permitió mapear las capacidades tecnológicas regionales, identificar brechas críticas y priorizar áreas de colaboración científica. El eje de Capital Humano facilitó el diagnóstico de necesidades formativas, la identificación de mejores prácticas en desarrollo de competencias y la definición de estándares regionales de cualificación. El eje de Desarrollo Territorial posibilitó el análisis de modelos de integración comunitaria, mecanismos de distribución de beneficios y estrategias de reconversión justa de infraestructuras energéticas.

La tercera fase metodológica, que constituye el valor agregado central de este informe, consistió en el procesamiento analítico e integración de la información recopilada. Este proceso de sistematización involucró la triangulación de datos provenientes de las fuentes documentales con los insumos generados durante el taller, la identificación de patrones y tendencias emergentes, y la construcción de un marco interpretativo que permite comprender las dinámicas actuales y proyectar escenarios futuros del desarrollo del H2V en la región.

² Metodología de innovación que combina pensamiento de diseño centrado en el usuario con técnicas de facilitación grupal para promover la colaboración multidisciplinaria.



Un componente metodológico distintivo fue la incorporación de ejercicios de prospectiva estratégica durante la fase final del taller. Los participantes trabajaron en la construcción prospectiva del H2V en la región, con un horizonte al 2030-2035. Estos ejercicios, combinados con el análisis de tendencias globales y capacidades regionales, permiten al presente informe ofrecer no solo un diagnóstico del estado actual, sino también una visión estratégica de las oportunidades y desafíos futuros.

El procesamiento de la información siguió principios de rigurosidad analítica y validación cruzada. Las discusiones plenarias fueron documentadas y codificadas temáticamente, las plantillas de trabajo colaborativo fueron sistematizadas mediante análisis de contenido, y las propuestas emergentes fueron categorizadas según su viabilidad, impacto potencial y requerimientos de implementación. Este proceso analítico permitió identificar consensos y divergencias regionales, y oportunidades de complementariedad entre países.

El resultado de esta aproximación metodológica integral es un informe que ofrece tanto un mapeo comprensivo del estado actual del ecosistema de H2V en América Latina y el Caribe, como un escenario prospectivo y recomendaciones estratégicas para acelerar su desarrollo sostenible. La combinación de análisis documental, inteligencia colectiva generada participativamente y procesamiento analítico permite ofrecer a los tomadores de decisión, instituciones de cooperación y actores del sector privado una hoja de ruta fundamentada para la acción coordinada regional.

SITUACIÓN DEL
HIDRÓGENO
VERDE EN
AMÉRICA
LATINA

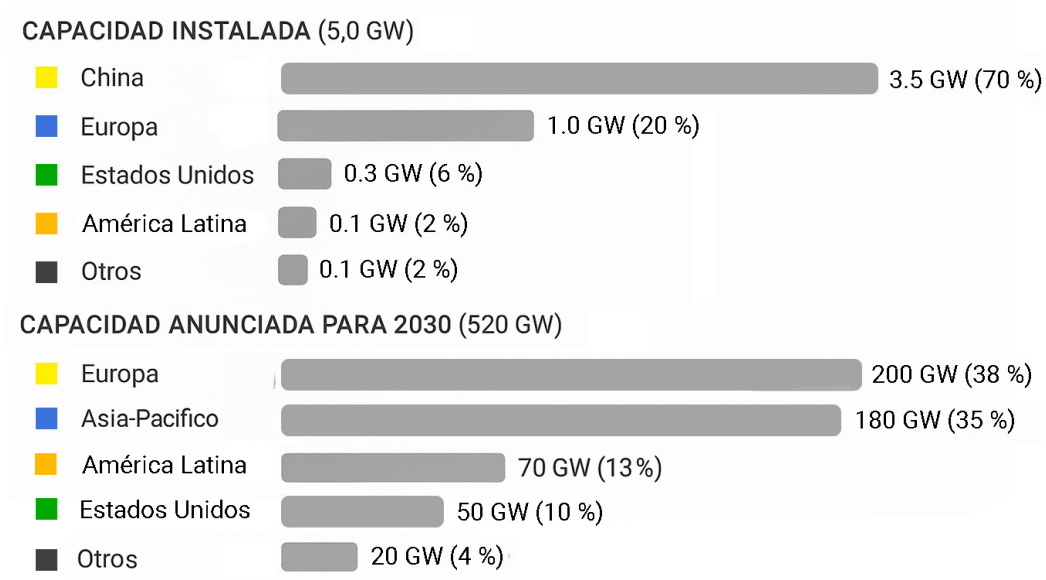
CAPITULO I

3. Estado Actual del Hidrógeno Verde en América Latina

América Latina y el Caribe se posicionan estratégicamente en el desarrollo global del H2V, sustentado en ventajas comparativas derivadas de sus recursos renovables y una matriz eléctrica parcialmente descarbonizada. Según OLADE (2025), la industria del hidrógeno bajo en emisiones podría movilizar inversiones por valor de hasta 300.000 millones de USD hacia 2050, con una generación estimada de 350.000 empleos en la región.

La posición actual de América Latina en el contexto global del H2V revela tanto el estado incipiente del desarrollo como el potencial significativo de crecimiento. Como se observa en el Gráfico 1, la región representa actualmente sólo el 2% de la capacidad global instalada de electrolizadores (0,1 GW de un total de 5,0 GW), dominada ampliamente por China con el 70% de la capacidad mundial. Sin embargo, el panorama futuro muestra una transformación sustancial: América Latina representa el 13% de la capacidad anunciada para 2030 (70 GW de 520 GW totales), posicionándose como la tercera región con mayor capacidad proyectada después de Europa (38%) y Asia-Pacífico (35%). Esta disparidad entre la capacidad actual y la proyectada evidencia el momentum creciente del sector en la región, aunque también señala el desafío crítico de materialización, considerando que solo el 4% de la capacidad anunciada globalmente ha alcanzado decisión final de inversión.

Gráfico 1: Capacidad Global de Electrolizadores - Instalada vs. Anunciada (2025)



⚠ BRECHA CRÍTICA: Solo 4% de la capacidad anunciada globalmente ha alcanzado decisión final de inversión.

Fuente: IEA Global Hydrogen Review 2024

Según la IEA (2024a) la región cuenta con condiciones favorables para la producción de hidrógeno bajo en emisiones, considerando que el 60% de su matriz eléctrica proviene de fuentes renovables. La demanda actual de hidrógeno en la región alcanza 4 millones de toneladas anuales, concentrada principalmente en refinación de petróleo y manufactura química, con aproximadamente 90% producido mediante gas natural.

Basándose en proyectos anunciados, la región podría producir más de 7 millones de toneladas anuales de hidrógeno bajo en emisiones para 2030, con una intensidad de carbono inferior a 3 kg CO₂-eq/kg H₂, alineándose con los requerimientos de regulaciones internacionales como la Taxonomía de la UE y el Clean Hydrogen Production Standard de Estados Unidos (IEA, 2024a). Sin embargo, solo el 0,1% de estos proyectos ha alcanzado operación, construcción o decisión final de inversión.

El desarrollo institucional del H₂V en América Latina presenta diferentes grados de madurez según el análisis comparativo de estrategias nacionales realizado por OLADE (2025). Chile estableció el precedente regional con su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en 2020, complementada por el Plan de Acción 2023-2030 que define 81 acciones específicas en 18 líneas de trabajo (Ministerio de Energía de Chile, 2020, 2023).

Colombia publicó su Hoja de Ruta del Hidrógeno en 2021, estableciendo un marco regulatorio que incluye incentivos tributarios para proyectos de hidrógeno verde y azul, posicionando esta tecnología como elemento central para alcanzar sus compromisos de reducción de emisiones del 51% para 2030 (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2021). Uruguay y Costa Rica desarrollaron sus estrategias durante 2022-2023, mientras que Brasil avanza con el Programa Nacional de Hidrógeno establecido por resolución del Conselho Nacional de Política Energética.

La IEA (2024a) señala que, aunque muchos países latinoamericanos han desarrollado estrategias de hidrógeno con fuerte enfoque en oportunidades de exportación, estos planes requieren actualización considerando la incertidumbre sobre el tamaño del mercado global y la ausencia de crecimiento en proyectos vinculados al comercio internacional de hidrógeno en el último año.

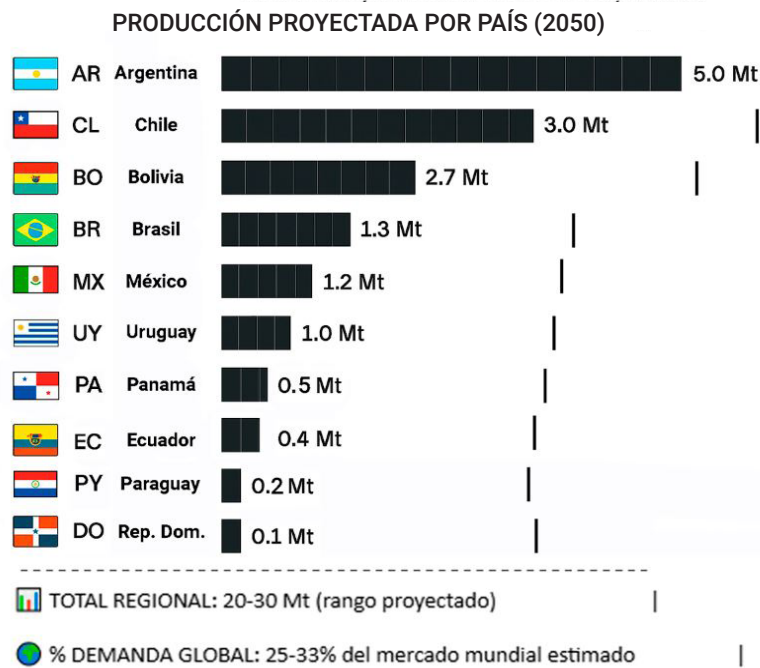
El desarrollo del sector requiere superar barreras financieras significativas. Según el World Energy Investment Report (IEA, 2024b), la inversión energética en América Latina alcanzará 185.000 millones de USD en 2024, con el sector eléctrico representando más del 35%. El alto costo de capital en la región, entre 10-12% en países como Brasil y México comparado con 4-5% en Europa Occidental, constituye una barrera fundamental para proyectos intensivos en capital como el H₂V.

El Banco Mundial (2024) aprobó un proyecto de 150 millones de USD para promover el desarrollo de hidrógeno limpio en Chile, el primero de este tipo en la región, proporcionando financiamiento combinado e instrumentos de mitigación de riesgos. Este modelo busca facilitar el financiamiento durante la etapa inicial del desarrollo industrial y movilizar capital del sector privado.

La cooperación internacional desempeña un papel catalizador. La iniciativa TEI RH2 en Chile, con 8 millones de euros cofinanciados por la Unión Europea, es implementada por GIZ y AECID, enfocándose en el fortalecimiento del entorno habilitante, desarrollo de capacidades y apoyo al desarrollo tecnológico (AECID, 2025).

Para el año 2050, OLADE (2025) proyecta que la capacidad instalada de electrólisis podría alcanzar 200 GW, requiriendo una potencia de generación eléctrica superior a 400 GW. Las exportaciones podrían superar las 11 millones de toneladas anuales, equivalentes a más de 13.000 millones de USD. La distribución geográfica de esta producción proyectada muestra una concentración significativa en los países del Cono Sur, como se ilustra en el Gráfico 2. Argentina lidera las proyecciones con 5,0 Mt anuales hacia 2050, seguida por Chile con 3,0 Mt y Bolivia con 2,7 Mt. Brasil y México mantienen proyecciones más conservadoras de 1,3 Mt y 1,2 Mt respectivamente, mientras que países como Uruguay (1,0 Mt) y Panamá (0,5 Mt) desarrollan nichos específicos orientados principalmente a la exportación. El total regional proyectado de 20-30 Mt representaría entre el 25% y 33% del mercado mundial estimado, posicionando a América Latina como un proveedor clave en el comercio global de H2V.

Gráfico 2: Proyecciones de Producción de H2V en América Latina (Mt)



Fuente: OLADE Nota Técnica N° 9, 2025

Sin embargo, materializar este potencial requeriría un incremento significativo en capacidad de generación eléctrica, equivalente al 20% de la producción actual de energía de la región, además de inversiones sustanciales en infraestructura habilitante como líneas de transmisión (IEA, 2024a). Estas proyecciones de producción están estrechamente vinculadas con las capacidades específicas de cada país y sus ventajas comparativas naturales.

Las oportunidades de aplicación varían por país según el análisis de la IEA (2024a). México y Colombia podrían aprovechar la demanda existente de hidrógeno en refinerías. El sector minero de Chile podría utilizar hidrógeno bajo en emisiones para la producción de nitrato de amonio para explosivos industriales y maquinaria pesada. Brasil, que representa el 90% del comercio de mineral de hierro de la región, está posicionado para desarrollar hierro de reducción directa con hidrógeno para la producción de acero. Panamá podría convertirse en un hub para combustibles marítimos bajos en emisiones, apuntando al 5% del bunkering proveniente de derivados del hidrógeno para 2030.

La implementación del H2V enfrenta desafíos multidimensionales según el análisis integral de la IEA en su reporte "Hydrogen in Latin America" (IEA, 2023). El desarrollo depende de tecnologías que aún no han alcanzado madurez comercial completa, requiriendo reducciones significativas de costos para habilitar aplicaciones competitivas en sectores no aptos para electrificación directa.

La región enfrenta el desafío de balancear la demanda doméstica con las ambiciones de exportación. La IEA (2024a) recomienda medidas de creación de demanda que puedan cerrar la brecha de costos, mejorar la seguridad energética reduciendo importaciones de gas natural y amoníaco, y crear oportunidades de exportación de mayor valor agregado. Los hubs de hidrógeno pueden impulsar economías de escala e integrar cadenas de suministro mientras aceleran el aprendizaje tecnológico.

Un aspecto crítico identificado por OLADE (2025) es la dependencia actual de importaciones de fertilizantes nitrogenados en la región, con un déficit comercial equivalente hasta el 0,4% del PIB. La producción doméstica de amoníaco bajo en emisiones podría reducir este déficit y mejorar la estabilidad de precios, considerando que actualmente el 80% de la demanda de fertilizantes nitrogenados se satisface mediante importaciones.

La plataforma H2LAC, establecida con apoyo de organismos multilaterales, facilita el intercambio de conocimiento y mejores prácticas entre países de la región. El webinar conjunto con la IEA sobre el Global Hydrogen Review 2024 convocó cerca de 200 participantes, evidenciando el interés regional en el desarrollo coordinado del sector (H2LAC, 2024).

La IEA (2023) enfatiza la importancia del diálogo y coordinación internacional para posicionar a la región en el futuro panorama del hidrógeno bajo en carbono, recomendando la participación activa en iniciativas globales como la Clean Energy Ministerial Hydrogen Initiative, la International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy, y el IEA Hydrogen Technology Collaboration Programme.

Panorama del Desarrollo del H2V en América Latina y el Caribe

Presentador: Fitzgerald Cantero

En el marco del evento, como primera presentación se analizó la visión regional del mercado del hidrógeno bajo en emisiones en América Latina y el Caribe y estuvo a cargo de OLADE. En la misma se destaca el potencial de la región como actor clave mundial. Actualmente, cerca del 90% del hidrógeno se produce mediante reformado de vapor de gas natural, lo cual genera más de 30 Mt de CO₂ emitidas al ambiente. La demanda actual de 4 Mt se concentra principalmente en amoníaco, refinación, metanol y acero, liderada por Trinidad y Tobago, México y Brasil.

La región posee ventajas competitivas excepcionales con alto potencial de generación eléctrica renovable y abundantes recursos hídricos. El potencial incluye 676 GW en hidroenergía, 4,800 GW en solar fotovoltaica y 420 GW en energía eólica. Sin embargo, existen barreras significativas identificadas en las estrategias nacionales, siendo la falta de incentivos para consumo y proyectos la más crítica, seguida por riesgo a la inversión, falta de capital humano, regulación normativa y volatilidad de precios.

Las proyecciones al 2030 estiman costos de producción entre 1.1 y 1.6 USD/kg de hidrógeno. Para 2050, la región podría alcanzar una producción de 20-30 Mt de hidrógeno bajo en emisiones, con capacidad instalada de electrólisis de 200 GW y generación renovable superior a 400 GW. Las exportaciones podrían superar las 11 Mt, generando ingresos de más de 13,000 millones USD, requiriendo inversiones acumuladas entre 200.000-300,000 millones USD y creando aproximadamente 350.000 empleos.

Un desafío crítico es que cerca del 50% de los proyectos de electrólisis anunciados se ubican en áreas con estrés hídrico, destacando la importancia de desarrollar plantas de desalinización.

La presentación dio lugar a un debate posterior entre los participantes, de lo cual se expone a continuación una síntesis de las discusiones.

Un aspecto que se destacó fue la existencia del repositorio de legislación comparada que posee OLADE, permitiendo a los países analizar regulaciones de manera comparativa para desarrollar cadenas de valor integradas. En este sentido, se resalta la importancia del licenciamiento, con el cual se abarcan múltiples

dimensiones: territorial, uso del suelo, ambiental y social. De acuerdo al país, se requiere coordinación entre ministerios de energía y ambiente, así como con gobiernos subnacionales, siendo crucial el liderazgo de los ministerios de energía para facilitar los procesos.

Por otro lado, se expone que OLADE desarrolla un proyecto conjunto con la Unión Europea y AECID enfocado en brechas y requisitos de exportación. La Unión Europea es miembro observador permanente de OLADE, facilitando el diálogo. El proyecto concluirá en diciembre con un mapeo de requisitos necesarios para exportación.

Se reconoce la necesidad de licencias de seguridad operacional debido a la alta volatilidad del hidrógeno. Las buenas prácticas europeas, incluidos reportes de accidentes y bases de datos, son referencias importantes. Esta licencia contribuye al licenciamiento social al garantizar el desarrollo seguro de proyectos.

Por último, se destaca que el consumo nacional se limita principalmente a industria pesada, transporte y derivados. La mayoría de proyectos se orientan hacia exportación, sugiriendo la necesidad de desarrollar más aplicaciones regionales para aprovechar el valor agregado tecnológico localmente.

**DIMENSIONES
SISTÉMICAS DEL
DESARROLLO DEL
HIDRÓGENO VERDE**

CAPITULO II

Resumen

El presente capítulo documenta y analiza los resultados sustantivos del encuentro, estructurados en torno a tres ejes temáticos fundamentales que configuran los pilares del desarrollo de esta industria emergente en América Latina: capacidades y desafíos en I+D+i; desarrollo territorial y capital humano. La sistematización de estos contenidos responde a la metodología participativa implementada durante el evento, que combinó presentaciones magistrales, conversatorios técnicos y talleres colaborativos, generando un espacio de construcción colectiva de conocimiento entre los representantes de ocho países participantes.

La **dimensión de I+D+i** constituyó el primer eje de análisis del encuentro, en el marco del cual se revelaron tanto las capacidades existentes como las brechas críticas en el ecosistema tecnológico regional. Las presentaciones iniciales abordaron dos perspectivas complementarias sobre el estado del desarrollo tecnológico. El estudio presentado por el Ministerio de Energía de Chile sobre fortalecimiento del ecosistema de I+D+i reveló las limitaciones del país, con solo siete electrolizadores identificados en el territorio nacional, tres de ellos autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, además de la falta de bancos de prueba y equipamiento básico para formación técnica. Por su parte, en la presentación del CSIC de España se expuso sobre su ecosistema de I+D+i, que abarca toda la cadena de valor desde electrolizadores hasta aplicaciones finales. Complementariamente, fueron identificadas las barreras más relevantes para el sector, vinculadas a: offtakers, financiación pública, marcos normativos, electricidad, agua, suelo y suministro de equipos. Estas presentaciones ilustraron diferentes estadios de madurez tecnológica y modelos organizacionales que enriquecieron el debate sobre las trayectorias posibles para el desarrollo regional.

Los debates en torno a los conversatorios generaron reflexiones fundamentales sobre la viabilidad del escalamiento industrial. Los participantes convergieron en señalar que los avances tecnológicos actuales no están permitiendo el escalamiento esperado hacia aplicaciones industriales, identificándose tres factores críticos que impiden la competitividad: el costo de los electrolizadores, el costo de la generación de energía que no disminuye como se proyectaba, pese a la mayor penetración de energías renovables debido a costos sistémicos de transición, y el costo del crédito relacionado con el riesgo país. Se reconoció que las proyecciones iniciales de precios entre 1 y 1.5 USD/Kg están distantes de la realidad actual de 5 a 8 USD/Kg. Los debates evidenciaron que los proyectos piloto trascienden su función de validación tecnológica, constituyéndose en espacios de aprendizaje multidimensional que facilitan la comprensión operativa, el desarrollo de competencias locales y la actualización de marcos regulatorios. Se destacó particularmente que el transporte y distribución del hidrógeno representa

la dimensión menos desarrollada de la cadena de valor, requiriendo soluciones tecnológicas específicas dada la complejidad logística del hidrógeno.

El taller de identificación regional de oportunidades en I+D+i, organizado en cinco mesas temáticas, permitió priorizar las tecnologías críticas para el desarrollo sectorial. **La primera tecnología** priorizada fue la integración del hidrógeno en la infraestructura de almacenamiento y transporte, identificándose la necesidad de desarrollar modelos de infraestructura compartida entre actores público-privados y establecer marcos regulatorios apropiados para su implementación efectiva. **La segunda área** tecnológica se centró en I+D+i para descarbonizar el sector agrícola mediante fertilizantes verdes y transporte cero emisiones, reconociendo la oportunidad de transformar el modelo económico regional desde la exportación de materias primas hacia la producción de bienes con alto valor agregado. **La tercera prioridad tecnológica** abordó la fabricación de electrolizadores de gran capacidad, donde los participantes enfatizaron la necesidad de innovación en modelos financieros y la creación de mecanismos regionales similares al Banco Europeo de Hidrógeno para facilitar el desarrollo industrial. **La cuarta tecnología priorizada** fue el uso del hidrógeno para descarbonizar sectores estratégicos, particularmente la industria minera y el transporte forestal de carga pesada, donde los requerimientos de autonomía y capacidad de carga favorecen la viabilidad técnica y económica del hidrógeno. Finalmente, **la quinta área tecnológica** se enfocó en el desarrollo de I+D+i para crear un hub tecnológico de metanol verde, requiriendo la articulación de múltiples sectores industriales incluyendo las industrias energética, forestal, química y marítima.

El **desarrollo territorial** y la participación comunitaria emergieron como dimensiones fundamentales para garantizar la legitimidad social y sostenibilidad de los proyectos de H2V. La presentación del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos estableció el marco conceptual fundamental al contextualizar la industria del H2V dentro de la triple crisis planetaria de cambio climático, pérdida de biodiversidad y contaminación. Se enfatizó que los derechos humanos constituyen el "piso" de la transición energética, no su techo, requiriendo la aplicación de los Principios Rectores de la ONU sobre Empresas y Derechos Humanos con sus tres pilares: el deber estatal de proteger, la responsabilidad empresarial de respetar mediante diligencia debida, y el acceso a reparación para personas afectadas. La presentación identificó impactos críticos a lo largo de toda la cadena de valor, desde la extracción de minerales críticos con sus conflictos sociales asociados, hasta las tensiones generadas por infraestructura eólica y solar en territorios indígenas, subrayando la obligatoriedad del Consentimiento Libre, Previo e Informado bajo el Convenio 169 de la OIT.

El conversatorio sobre el rol de la industria en el desarrollo territorial y la participación en los beneficios profundizó en modelos concretos de gobernanza colaborativa

entre industria, Estado y comunidades. Los participantes compartieron experiencias que trascienden los esquemas tradicionales de compensación hacia modelos de participación activa en la creación de valor. Se destacó el caso de un proyecto solar en Colombia, donde se desarrolló un plan de seguridad alimentaria otorgando 600 hectáreas a comunidades indígenas para cultivo destinado tanto al autoconsumo como a exportación internacional, demostrando que las comunidades pueden ser socias en el desarrollo más que receptoras pasivas de beneficios. El debate sobre los principales desafíos y aprendizajes en la inserción territorial de proyectos reveló que aproximadamente el 50% de los territorios con mayor potencial para energías renovables coinciden con áreas de intensa actividad minera histórica, heredando conflictos sociales no resueltos que las comunidades asocian con experiencias negativas de desplazamiento e impactos sanitarios. Los mecanismos concretos de participación discutidos incluyeron desde el intercambio de información hasta la autoridad y cogestión; como etapas intermedias fueron señaladas las actividades, recursos y responsabilidades. Los participantes enfatizaron que el relacionamiento anticipado con comunidades, la articulación territorial sistemática y la construcción de espacios permanentes de diálogo constituyen condiciones esenciales para el éxito de los proyectos.

El taller sobre levantamiento de elementos para la construcción de un estándar de reconversión con participación ciudadana analizó cinco tipos de infraestructura crítica (para la identificación de las mismas se pensaron en infraestructuras existentes que presentan la posibilidad de ser reconvertidas), identificando variables prioritarias y acciones específicas para cada caso. Para las **terminales marítimas**, se estableció que la seguridad laboral y ambiental constituye una variable no negociable, requiriendo adopción de mejores prácticas internacionales, programas de capacitación especializados y planes integrales de oportunidades laborales que incluyan relocalización, reconversión y alternativas de empleo. En el caso de **refinerías con H2V**, las variables prioritarias incluyeron la adaptación de infraestructura a estándares específicos del hidrógeno, el diagnóstico integral de capacidades actuales versus requerimientos futuros, y el análisis exhaustivo de factibilidad técnica y financiera, con acciones orientadas al manejo integral de residuos bajo principios de economía circular. Para los **gasoductos**, se priorizó el aprovechamiento de infraestructura existente para minimizar impactos sociales y ambientales, destacándose que las comunidades ya familiarizadas con este tipo de instalaciones facilitan la aceptación social, requiriendo planes de desmantelamiento con fondos financieros garantizados desde el inicio del proyecto. Las **tuberías de gas** demandaron especial atención en seguridad comunitaria mediante instalación de sensores de fuga dada la alta volatilidad del hidrógeno, complementado con planes de reutilización de aguas grises para optimizar el consumo hídrico en la producción. Los **corredores marítimos** verdes requirieron un enfoque integral que articula capital humano con competencias

específicas, diálogo social mediante comités de gobernanza interinstitucional, y protección ambiental a través de monitoreo de indicadores y formación de promotores ambientales locales.

Los elementos transversales identificados en el taller revelaron que la reconversión de infraestructura trasciende las dimensiones puramente técnicas, requiriendo un enfoque integral que articula cinco componentes fundamentales. La seguridad operativa emerge como fundamento técnico innegociable en todas las tipologías de infraestructura analizadas. La economía circular se establece como principio rector para la sostenibilidad ambiental, con énfasis en valorización de residuos y planes de cierre acordes a estándares vigentes. La participación temprana y permanente constituye el mecanismo para construir legitimidad social, requiriendo identificación sistemática de actores territoriales clave y dimensionamiento realista de expectativas. La gobernanza multiactor facilita la coordinación efectiva entre comunidad, empresas y Estado, fundamental para destrabar procesos de permisos ambientales y evitar demoras costosas. Los mecanismos de financiamiento innovadores, incluyendo fondos de reconversión laboral y aprovechamiento de créditos de carbono con salvaguardas de género, resultan esenciales para la viabilidad económica de los procesos de transformación. Los participantes coincidieron en que estos estándares de reconversión deben incorporar medidas específicas de protección y restauración ambiental, incluyendo bancos de hábitats para especies afectadas, estudios de viabilidad integral que trascienden lo económico, y sistemas de monitoreo que combinen tecnología satelital con vigilancia comunitaria participativa.

La **formación de capital humano** constituyó el tercer eje temático del encuentro, revelando brechas estructurales críticas que condicionan la viabilidad del desarrollo sectorial en América Latina. Las presentaciones magistrales abordaron múltiples dimensiones del desafío formativo desde perspectivas complementarias. El Programa de Capital Humano del Ministerio de Energía de Chile expuso un sistema articulado que involucra más de 150 actores entre sectores público, industrial y formativo, con metas estratégicas ambiciosas de 18.000 capacitaciones y 9.000 certificaciones anuales al 2030. El estudio de fuerza laboral presentado para el sector energético chileno proyectó una demanda de entre 30.000 y 56.000 nuevos trabajadores para 2035, identificando déficits particularmente agudos en educación media técnico-profesional con brechas que van de 9.000 a más de 15.000 personas, dependiendo del tipo de escenario analizado. Por otra parte, la iniciativa de la Alianza Pacífico³ sobre proyección de perfiles y competencias laborales verdes reveló un contexto regional desafiante, donde el 31.3% de trabajadores están subcualificados y existe 49% de informalidad laboral. Ellos han desarrollado un catálogo con 180 competencias y 62 perfiles distribuidos en 11 sectores verdes. Las presentaciones sobre participación de género expusieron datos críticos sobre la representación femenina en la industria, con apenas 13.8% de participación general que aumenta

³ Iniciativa de integración regional conformada por Chile, Colombia, México y Perú, establecida en abril de 2011.

paradójicamente a 47% cuando se excluyen operarios, evidenciando una distribución jerárquica con la siguiente información: 2% operarios, 23% puestos de liderazgo, 51% puestos medios y 54% auxiliares.

La mesa de trabajo sobre formación de capital humano en energía evidenció un panorama heterogéneo de políticas gubernamentales a nivel regional: Colombia reconoció la ausencia de políticas específicas de formación en energía; Uruguay ha desarrollado trabajo en energías renovables desde 2010; España cuenta con investigación avanzada pero carece de formación técnica especializada a nivel curricular universitario; y, Costa Rica que cuenta con una estrategia nacional de H2V que incorpora explícitamente la formación de capital humano y la descentralización como eje fundamental para crear hubs de conocimiento en zonas deprimidas.

Las limitaciones identificadas abarcaron múltiples dimensiones estructurales: el financiamiento emerge como restricción crítica, evidenciado en Chile donde el desarrollo de estudios dependió del apoyo internacional; los déficits educacionales estructurales con millones de personas analfabetas funcionales en Chile y formación docente técnico-profesional insuficiente; la gobernanza institucional caracterizada por la lentitud de los ministerios de educación para adaptar perfiles y estructuras curriculares al ritmo requerido por los cambios tecnológicos; y la temporalidad para formar personas y su inserción laboral efectiva, que genera tensiones entre expectativas creadas y oportunidades reales de empleo.

El conversatorio sobre construcción de estándares y marcos de cualificación para la formación técnico profesional profundizó en instrumentos fundamentales para articular educación y trabajo. Los participantes explicaron que los marcos de cualificaciones constituyen instrumentos para el desarrollo y clasificación de cualificaciones que facilitan la comprensión y comparación entre países, permitiendo articular educación formal, no formal e informal e integrando todas las credenciales formativas. Se presentaron experiencias internacionales ilustrativas. El debate sobre estudios necesarios para diagnosticar oferta formativa pertinente identificó las mediciones de brechas de capital humano como instrumento principal, analizando cantidad de personas requeridas, calidad de competencias necesarias y pertinencia de capacidades existentes mediante diálogo directo con el sector productivo. La estandarización de competencias emergió como fase previa fundamental antes de iniciar programas de capacitación o reconversión laboral, requiriendo mesas o comités donde se reúnan el sector productivo, la academia y el sector público para definir desempeños óptimos requeridos. La certificación de competencias adquiere particular importancia en América Latina, donde más del 50% ingresa al mercado laboral sin formación terciaria, aprendiendo en el puesto de trabajo.

Las experiencias compartidas sobre desarrollo de perfiles específicos para H2V revelaron procesos metodológicos innovadores y desafíos comunes. El proyecto Power to X, financiado por el gobierno alemán en Chile, trabajó con fuerte anclaje

territorial en Antofagasta, Biobío, Santiago y Punta Arenas, involucrando más de 350 actores del entramado socio-institucional y adoptando un enfoque prospectivo para comprender una industria incipiente con seis plantas piloto en el país. El proceso identificó 15 perfiles ocupacionales focalizados en dos macroprocesos: instalación y construcción de plantas, y operación y mantenimiento, reconociendo competencias técnicas transversales que constituyen el nuevo “ABC” del sector. La receptividad industrial a estos procesos resultó significativamente alta, con empresas participando activamente en estudios y mesas técnicas, percibiendo el proceso como un trabajo técnico propio, que genera sentido de propiedad sobre resultados que le son útiles para sus procesos internos de selección y reclutamiento.

La dimensión de género emergió como factor diferenciador crítico que trasciende consideraciones de equidad para impactar directamente en la calidad y efectividad de las intervenciones formativas. El estudio pionero sobre brechas de género en la cadena de valor del H2V reveló paradojas significativas: mientras que el 65% de empresas implementan políticas de contratación inclusiva y el 76% mantienen protocolos contra acoso sexual, resulta relevante que el 80% de trabajadoras considera que quienes usan políticas de conciliación enfrentan obstáculos para promociones laborales y el 70% de estas percibe mayores exigencias comparado con colegas masculinos. Las barreras estructurales identificadas incluyen faenas remotas con turnos incompatibles con responsabilidades familiares, baja matrícula femenina en carreras técnicas con solo 10% en construcción, y una cultura masculinizada con ausencia de referentes. Las estrategias propuestas incluyen soluciones innovadoras como guarderías móviles en faenas, selección sin sesgos mediante procesos ciegos, y contratación local con cláusulas específicas de género. El proyecto "Más fuertes que el Hidrógeno" implementado en la región del Biobío demostró empíricamente que la incorporación de estrategias robustas de género, estructuradas en seis ejes que incluyen derribar mitos y estereotipos, fortalecer autoestima y liderazgo, y destacar referentes femeninas en cada módulo formativo, incrementa sustancialmente la calidad del proyecto y la participación estudiantil en eventos del sector energético.

4. Experiencias en I+D+i

4.1. Fortalecimiento del Ecosistema de Investigación, Desarrollo e Innovación y Formación en H2V en Chile

Presentador: Matías García (Chile)

La presentación abordó un estudio integral para establecer las bases que fortalezcan el sistema científico, tecnológico y técnico en Chile, creando una red nacional para I+D+i y formación en H2V. El estudio utilizó un enfoque mixto que incluyó investigación documental, entrevistas con actores nacionales e internacionales, encuestas, visitas a terreno y talleres participativos.

Chile enfrenta severas limitaciones con solo 7 electrolizadores identificados, falta de bancos de prueba y equipamiento básico para formación técnica, baja adopción de software especializado y concentración geográfica en la zona central. Por otro lado, los centros internacionales se destacan por sus redes colaborativas, plataformas digitales avanzadas, modelos de sostenibilidad robustos y mayor descentralización territorial con uso intensivo de bancos de prueba.

Como estrategia se propuso un esquema de priorización temporal: corto plazo (hasta 2027) enfocado en equipamiento básico para I+D+i; mediano plazo (hasta 2030) incorporando infraestructura intermedia como reactores de síntesis; y largo plazo (2030+) desarrollando capacidades avanzadas con laboratorios modulares distribuidos.

Se definieron dos categorías principales: científico-tecnológico organizadas a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno (10 tipologías principales), y técnico-formativo dirigidos a entrenamiento práctico en operación, mantenimiento y seguridad.

Entre las recomendaciones clave se encuentra dotar a los laboratorios con equipamiento básico y electrolizadores autorizados, crear bancos de prueba para formación técnica, priorizar financiamiento para reactores de derivados, descentralizar infraestructura con laboratorios regionales e implementar una red nacional de colaboración para maximizar recursos y evitar que Chile quede rezagado en el desarrollo del H2V.

4.2. El Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Asociación Española del Hidrógeno (AeH2)

Presentador: Miguel Antonio Peña (España)

Capacidades de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas

El CSIC se posiciona como la 7ª institución pública de investigación mundial y Top 5 europea en acciones del programa Horizonte-2020. Con 16.000 personas, 121 institutos de investigación, 14.000 artículos publicados anualmente y 50.11% de publicaciones con colaboración internacional. A su vez, el CSIC cuenta con 35 grupos de investigación especializados en tecnologías del hidrógeno distribuidos en 14 institutos y organizado en tres Áreas Globales: AGM, AGV y AGS.

Las investigaciones abarcan toda la cadena de valor: electrolizadores alcalinos, PEM, AME y SOFC, producción mediante reformado de combustibles, fotocátalisis, biomasa y biogas, almacenamiento en hidruros y materiales carbonosos, y reacciones secundarias. Destacan proyectos como la hidrogenera de 60 kg H₂/día con gestión avanzada de energía renovable, el desarrollo de electrolizadores SOEC comerciales con tecnología propia, y el proyecto INVECPRO para sistemas híbridos inteligentes de propulsión vehicular con reducción de carga de platino en componentes PEM.

El CSIC opera mediante plataformas temáticas interdisciplinarias como Mobility 2030 y TransEner+, enfocadas en movilidad urbana intermodal, suministro de energía sostenible, y desarrollo de tecnologías limpias incluyendo generación renovable, almacenamiento eficiente, descarbonización industrial, tecnologías del hidrógeno y electrificación.

Asociación Española del Hidrógeno (AeH2)

Fundada en 2002, la AeH2 agrupa aproximadamente 400 socios con un 37% de crecimiento desde 2021 y 20 años apoyando al sector. Sus objetivos incluyen agrupación sectorial, fomento de I+D+i a través de la PTēH₂, desarrollo tecnológico, educación profesional, promoción legislativa y difusión del H₂V como vector energético clave para la neutralidad climática en 2050.

España cuenta con la Hoja de Ruta del H₂V (2020) con objetivos ambiciosos: 4 GW de electrolizadores, 25% de H₂V en consumo industrial, 150-200 autobuses y 5.000-7.500 vehículos ligeros para 2030. El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (2024) actualiza estas metas: 12GW de capacidad de electrólisis instalada y 74% de H₂V en consumo industrial.

El Censo de Proyectos AeH2 registra 361 proyectos (noviembre 2024) presentados por 83 socios con presupuesto superior a 36.000 millones de euros, clasificados según niveles TRL 3-9. La colaboración incluye múltiples ministerios, organismos

públicos como IDAE, CDTI, IDEX, y entidades privadas, con presencia internacional en más de 20 países incluyendo Chile, Argentina, Colombia y México.

Se desarrollan webinars con Mission Innovation enfocados en Latinoamérica, aprovechando el papel estratégico regional en transición energética global. La European Hydrogen Energy Conference (EHEC) se celebrará en Sevilla en marzo 2026 con más de 1300 asistentes de más de 35 países, consolidando a España como referente europeo.

Se identifican barreras críticas: offtakers, financiación pública, marcos normativos, electricidad, el uso del agua, suelo y suministro de equipos. Como respuesta, fue creado el Banco Europeo del Hidrógeno con cuatro pilares y mecanismos como H2Global para facilitar el desarrollo comercial mediante compensación de diferencias de precio.

4.3. Conversatorio: discusión sobre avances tecnológicos , casos de éxito y desafíos en la producción, almacenamiento y aplicaciones de H2V, con énfasis en proyectos piloto y políticas públicas.

Participantes: Paula González (Chile), Marcela Angulo (Chile), Mónica Gasca (Colombia), Noelia Medina (Uruguay), Enrique Saborit (España)

¿Cuáles son los principales avances tecnológicos en producción y almacenamiento de H2V que permiten escalar a aplicaciones industriales?

La perspectiva académica y empresarial chilena adoptó una posición pragmática señalando que los avances tecnológicos actuales no están permitiendo el escalamiento esperado. Se identificaron tres factores críticos que impiden la competitividad: el costo capital de los electrolizadores, el costo de la energía que no disminuye como se esperaba pese a la penetración renovable debido a costos sistémicos de transición, y el costo del crédito relacionado con el riesgo país y los actores involucrados. La región latinoamericana carece de capacidad para subsidios masivos, requiriendo un enfoque más pragmático. Las proyecciones iniciales de precios entre uno y 1.5 USD/K están "lejísimos" de la realidad actual de 5-8 USD/K.

Se identificaron avances tecnológicos significativos en mercados líderes, particularmente China, con relaciones calidad-precio sorprendentes. Respecto a sistemas off-grid para cumplir estándares europeos de certificación, se mencionó el desarrollo universitario de sistemas de acondicionamiento de corriente continua para conectar electricidad off-grid con electrólisis, optimizando efectividad y vida útil de equipamientos.

A su vez, se contextualiza la situación y experiencia colombiana donde, pese a investigación universitaria en nuevas tecnologías de almacenamiento, crear industria en Latinoamérica presenta cuellos de botella significativos. La migración estratégica colombiana ha evolucionado desde exportar hidrógeno o derivados hacia crear productos verdes aprovechando ventajas competitivas locales, especialmente hidroelectricidad a gran y pequeña escala. Los proyectos off-grid con baterías presentan costos inviables para almacenamiento constante, mientras que la conexión a red plantea desafíos de cumplimiento con estándares europeos.

El factor social emerge como crítico en La Guajira, donde el recurso renovable solar-eólico coexiste con problemáticas históricas de socialización y relacionamiento comunitario heredadas de otras industrias, requiriendo creatividad para generar confianza y nuevos modelos de desarrollo territorial.

Por otro lado, la perspectiva española detalló que los proyectos de mejora en producción de hidrógeno se centran en incrementar eficiencia de electrólisis, mayor integración con renovables y escalamiento de procesos. Se confirmó la ventaja china con costos específicos 3-4 veces inferiores a Estados Unidos o Europa.

La investigación actual busca nuevas arquitecturas en electrolizadores, especialmente reemplazando materiales nobles como platino por alternativas económicas. Diferentes tipos de electrolizadores requieren distintos enfoques de integración renovable según capacidades de arranque en frío y comportamiento con intermitencia.

Se identificó el transporte y distribución como "hermana pobre" de la cadena de valor. El hidrógeno presenta dificultades comerciales de transporte, requiriendo depósitos de gas comprimido tipo 4 con materiales poliméricos y fibras de carbono para minimizar peso. El hidrógeno líquido opera a -253°C comparado con -140°C del gas natural, creando complejidad logística significativa.

El amoníaco emerge como alternativa viable con logística centenaria establecida, aunque el proceso de craqueo para extraer hidrógeno requiere desarrollo para escalamiento y eficiencia energética.

La experiencia uruguaya reconoció el escalamiento "tímido" en eslabones diferentes a electrólisis, donde sí ha habido aumentos en las tasas de producción. La producción mundial de electrolizadores se duplicó en 2023 alcanzando 23 GW anuales, proyectándose 40 GW para 2024, aunque se cuestiona si la tasa se alinea con compromisos climáticos.

El 60% de la capacidad provino de China, planteando discusiones sobre su posicionamiento en vectores energéticos de descarbonización. Las mejoras en capex de electrólisis se ven parcialmente contrarrestadas por inflación internacional, impidiendo efectos completos del escalamiento.

¿Cuál es el rol de los proyectos piloto tanto desde política pública como despliegue industrial?

Los proyectos piloto fueron conceptualizados como componentes de un "puzzle complejo" de múltiples piezas convergentes, distinguiendo que hay proyectos que no aplican para producción masiva, sobre todo los que requieren una escala mínima, pero sí para aplicaciones innovadoras con menor conocimiento.

Se ejemplificó, con el proyecto HIF en Magallanes produciendo gasolina sintética, considerándolo más que un proyecto piloto, una primera etapa con proceso 70% conocido basado en producción de metanol. El desafío principal radica en fuentes de carbono biogénico, donde la captura directa aérea no alcanza resultados competitivos esperados.

La complejidad geográfica entre recursos renovables y fuentes de carbono biogénico crea eslabones territoriales. En algunas regiones poseen fuentes de carbono biogénico de industria forestal (celulosa y papel) pero carecen de recurso renovable suficiente, planteando dilemas logísticos de transporte.

Se destacó el desarrollo universitario de nueva tecnología para procesamiento de concentrados de cobre mediante oxidación seguida de reducción con hidrógeno, eliminando emisiones de CO₂ y residuos sólidos. Este proceso permite la separación de metales nobles (cobre, oro, plata) y la transformación de molibdeno y hierro en magnetita verde que podría ser utilizado para la producción de acero sostenible.

La experiencia colombiana enfatizó la importancia del aprendizaje bidireccional en proyectos piloto. Del lado de la oferta, el primer electrolizador en refinería reveló desconocimiento operativo inicial, funcionando solo 20% del tiempo hasta desarrollar competencias de manejo.

Los proyectos piloto facilitaron que entidades como SENA e ICONTEC desarrollaran capacitaciones para operarios y procesos de homologación de normas ISO necesarias para hidrógeno y derivados limpios en empresas.

Del lado de la demanda, los proyectos acercan a la industria al concepto de hidrógeno, respondiendo "¿eso qué es?" mediante demostraciones prácticas. Proyectos de camiones diesel híbridos permitieron que empresas de distribución comprendan la tecnología y sus implicaciones. Los pilotos de blending revelaron límites prácticos en redes de distribución de gas natural y complejidades regulatorias tarifarias. El Estado participa financieramente a través del FENOG, generando aprendizaje institucional para actualizar hojas de ruta y definir enfoques nacionales realistas.

La perspectiva española destacó que los proyectos piloto proporcionan aprendizaje esencial y demuestran la necesidad de integrar toda la cadena de valor, evitando

producciones sin demanda establecida. Se ejemplificó con H2PORTS en el Puerto de Valencia, descarbonizando maquinaria logística portuaria mediante pilas de combustible, requiriendo coordinación entre fabricantes de pilas, maquinaria, estibadores reticentes al hidrógeno y proveedores de H2V. La innovación incluyó desarrollo de estación de hidrógeno móvil debido a restricciones de seguridad de la maquinaria.

En el sector ferroviario, España también está desarrollando aplicaciones de pilas de combustible para las líneas que no están electrificadas. Además, existe un proyecto de Airbus enfocado en el uso de pilas de combustible como unidad de potencia auxiliar para aeronaves. Estos proyectos son valiosos porque no solo contribuyen al aprendizaje tecnológico, sino que también facilitan la integración con las empresas del sector, ya que involucran a numerosos profesionales y especialistas.

Los proyectos enseñan que el hidrógeno no constituye panacea universal. Existe riesgo de contradicción climática si se dedican excesivas renovables a hidrógeno cuando la electrificación directa puede ser más eficiente en transporte carretero o calefacción residencial mediante bombas de calor.

La experiencia uruguaya contextualizó que el país carece de proyectos operativos de escala pero posee varios anuncios y un proyecto con decisión final de inversión para hidrógeno en camiones de celda de combustible para transporte de carga forestal. El enfoque explora sinergias entre la nueva industria del hidrógeno y sectores establecidos como plantas de procesamiento de celulosa, principales actores económicos nacionales. Estas plantas constituyen también los principales proveedores de CO2 biogénico del país.

Los pilotos resultan fundamentales para aspectos regulatorios, materializando mapeos de brechas normativas y definiendo regulaciones necesarias para el desarrollo industrial deseado. También identifican necesidades de infraestructura en rutas, condiciones portuarias y logística nacional.

Se destacó la importancia de los pilotos para establecer diálogos comunitarios, comprendiendo necesidades territoriales y evitando modelos extractivistas. Los proyectos no se instalarán en capitales sino en el interior, requiriendo aceptación social genuina para un impacto nacional significativo.

A su vez, los pilotos facilitan el proceso de certificación para productos de exportación, especialmente hacia Europa con estándares elevados, ayudando a comprender requerimientos de escalamiento y condiciones para comercialización a precios premium.

4.4. Conversatorio sobre el estado de desarrollo e implementación regional de políticas públicas en la región para la industria de H2V y derivados

Participantes: Matías García (Chile), Paula Gonzalez (Chile), Federico Reherrmann (Uruguay), Mercedes Ballesteros (España), Tony Méndez (Costa Rica), Ariela Jessurun (México)

¿Cuál ha sido la política o regulación más efectiva en su país para dar viabilidad al H2V?

La experiencia indica que las hojas de ruta nacionales han constituido las políticas públicas más efectivas en la región. En Chile, el Plan de Acción de H2V con decenas de acciones específicas se ha establecido como el instrumento más efectivo del país, donde se modificaron las leyes para definir el hidrógeno como vector energético, mientras que CORFO comprometió recursos significativos para apalancar la inversión privada.

En Uruguay, la Hoja de Ruta del H2V establece metas concretas de producción a largo plazo y crea el Programa H2U con componentes integrales. En el caso de México, el país se encuentra en una fase de construcción institucional. Si bien aún no cuenta con una estrategia nacional definida, se encuentra en desarrollo una hoja de ruta sectorial. Paralelamente, se está diseñando un esquema de incentivos fiscales para la cadena de valor del hidrógeno, y ha destinado recursos para el financiamiento de 28 proyectos vinculados a esta tecnología, lo cual refleja un interés político emergente, aunque todavía en etapas tempranas de maduración.

La experiencia española destaca el incremento sustancial de la meta nacional y el Real Decreto sobre garantías de origen han sido fundamentales, subrayando que el programa PERTE ERHA combina recursos públicos con inversión privada de manera efectiva. En cuanto a las líneas de trabajo en curso, se identifican iniciativas orientadas al desarrollo de corredores de hidrógeno —tanto a nivel nacional como transfronterizo—, esfuerzos de articulación regional, la realización de webinarios de divulgación técnica y la exploración de marcos de certificación para garantizar trazabilidad y estándares de producción.

¿Qué papel juega la cooperación internacional en el diseño de sus marcos regulatorios?

Se destaca la función facilitadora de la cooperación internacional en múltiples dimensiones: transferencia de mejores prácticas regulatorias, fortalecimiento de la coordinación público-privada, diseño de instrumentos de incentivo a la demanda, formación de capital humano especializado, definición de criterios de escalabilidad, planificación territorial y generación de capacidades locales. Estas acciones buscan

evitar dependencias tecnológicas de largo plazo, aunque persisten interrogantes sobre la coherencia entre iniciativas dispersas y la transferencia tecnológica real versus la simple inserción comercial.

Se enfatiza que la cooperación con la Unión Europea resulta crucial para el desarrollo de su sector de H2V. A su vez, se explicó que el financiamiento europeo permite alinear el marco regulatorio uruguayo con estándares internacionales y desarrollar las capacidades técnicas necesarias para la implementación efectiva de políticas públicas.

A su vez, se destaca que la Iniciativa TEI RH2 constituye un elemento determinante en el diseño del marco regulatorio chileno. Señala que esta colaboración facilita especialmente la compatibilidad con sistemas de certificación internacionales, aspecto fundamental para la futura exportación de H2V chileno a mercados globales.

La integración de España con las directivas europeas proporciona el marco institucional necesario para el desarrollo del sector. España forma parte integral del sistema europeo de hidrógeno, diferenciándose de otros países que simplemente adaptan estándares externos, lo que le otorga ventajas competitivas en términos de acceso a mercados y financiamiento europeo.

¿Cuál considera que es la mayor limitación para avanzar más rápido hacia la implementación de proyectos concretos?

Se identifica a la infraestructura de transmisión eléctrica como la mayor limitación, explicando que necesitan expandir significativamente la capacidad actual para alcanzar las metas establecidas. Adicionalmente, mencionó que el proyecto HIF Global enfrenta resistencia comunitaria por el incremento sustancial en el consumo hídrico local.

¿Qué acciones concretas se están tomando para abordar esas brechas?

Desde la mirada chilena se explica que se están implementando procesos de diálogo social más robustos y desarrollando estándares ambientales específicos para megaproyectos, incluyendo evaluaciones de impacto en biodiversidad. Con respecto a España se resalta la creación del programa IPCEI Hy2Use para tecnologías industriales y el establecimiento de centros de formación especializados.

¿Qué podemos hacer juntos a nivel regional para acelerar la industria y evitar duplicar esfuerzos?

Se destacaron aportes sustantivos para aportar valor y evitar la duplicación de esfuerzos, identificando líneas estratégicas de acción:

- En el plano institucional, se propone la creación de una instancia de encuentro regional permanente que opere como espacio de articulación entre gobiernos,

sector privado y academia, facilitando la integración de plataformas existentes y consolidando una presencia regional coordinada en mesas internacionales de negociación.

- En materia normativa y técnica, se destaca la importancia de avanzar hacia un esquema de certificación regional que homologue estándares de producción y trazabilidad, respaldado por una gobernanza colaborativa que equilibre autonomías nacionales con objetivos comunes y sean compatibles con regulaciones europeas.
- Se enfatiza la necesidad de desarrollar programas formativos regionales que permitan formar capital humano especializado mediante currículas armonizadas, movilidad académica, certificaciones profesionales compartidas y centros de excelencia binacionales.
- En el ámbito financiero, se subrayó la importancia de estructurar mecanismos de financiamiento verde de largo plazo canalizados a través de bancos de desarrollo regionales, reduciendo riesgos de inversión y movilizándolo capital privado.
- También se resalta la importancia de crear infraestructura portuaria compartida para el manejo del hidrógeno, y establecer programas conjuntos de I+D en aplicaciones marítimas.

4.5. Herramientas para Interacción y Relacionamento de Actores de la Cadena de Valor: Plataforma OrientaH2 Chile

Presentadora: Paula González Cáceres (Chile)

La presentación ilustró cómo Chile estructura su desarrollo del H2V desde lo macro a lo micro. En el nivel superior se ubica la política energética nacional, seguida por la Estrategia Nacional de Hidrógeno, de la cual se deriva el Plan de Acción de H2V. Este plan genera instrumentos específicos como guías sectoriales, hojas de ruta regionales y planes de trabajo especializados, que finalmente se materializan en herramientas regionales concretas como mapas de potenciales energéticos y plataformas digitales.

Chile enfrenta múltiples desafíos en el desarrollo del H2V: incertidumbre sobre la operatividad de proyectos y aseguramiento de demanda, cuestionamientos sobre viabilidad económica por altos costos de producción, efectos de la contingencia mundial e inestabilidad política, y necesidad de mayor confianza y transparencia entre actores del sector.

La Plataforma OrientaH2

La plataforma ejemplifica la transición "de lo estratégico a lo táctico", convirtiendo políticas nacionales en herramientas prácticas regionales.

Como materialización de esta cascada de políticas, el Ministerio de Energía y la Agencia de Sostenibilidad Energética desarrollaron OrientaH2 (www.orientah2.org),

una herramienta digital creada por Clio Consulting que operacionaliza la estrategia nacional mediante un enfoque colaborativo basado en evidencia. La plataforma se enfoca en cinco regiones estratégicas: Antofagasta, Valparaíso, Metropolitana, Biobío y Magallanes, funcionando como punto central de conexión para información y actores relevantes del sector.

OrientaH2 ofrece cuatro servicios clave:

1. Directorio de proveedores a lo largo de toda la cadena de valor
2. Opciones de financiamiento para impulsar proyectos
3. Diagnósticos regionales específicos con oportunidades y desafíos
4. Mapa interactivo de proyectos con iniciativas actuales y futuras

4.6. Taller: identificación regional de oportunidades en I+D+i del Ecosistema de H2V

Este taller se centró en identificar oportunidades de cooperación regional en I+D+i para el ecosistema del H2V. Se organizaron cinco mesas de trabajo temáticas que abordaron diferentes aspectos de la cadena de valor del hidrógeno, desde la infraestructura hasta aplicaciones específicas.

Conforme a la metodología establecida y considerando las discusiones desarrolladas durante el taller, los participantes realizaron un proceso de priorización que resultó en la identificación de áreas tecnológicas estratégicas para el desarrollo regional del H2V. Esta selección se basó en criterios de viabilidad técnica, potencial de impacto económico y capacidades regionales existentes, estableciendo así un marco de referencia para las iniciativas de cooperación futura en el sector.

Profundizando en los resultados del taller, se puede observar que en todas las áreas temáticas donde se desarrollaron actividades existen elementos en común, para ser tenidos en cuenta, como aspectos vinculados a regulaciones e infraestructura, insuficiente capital humano y limitaciones respecto a la vinculación entre el Estado, sector académico y empresarial. A continuación, se enuncian las tecnologías priorizadas.

1. Integración del hidrógeno en la infraestructura de almacenamiento y transporte

Los participantes enfatizaron que el concepto de infraestructura compartida es "muy amigable" pero presenta desafíos prácticos significativos. Se requiere claridad sobre cómo dos empresas o un actor público y uno privado pueden usar efectivamente

infraestructura compartida, incluyendo tipos de contratos, cumplimiento normativo y garantías. La transferencia de conocimiento debe abordar cómo estructurar buenos contratos para esta infraestructura, lo que puede impactar incluso en aranceles tarifarios para blending regional.

Buenas Prácticas y Vinculación

- Infraestructura compartida: Desarrollo de modelos de infraestructura compartida entre actores público-privados
- Colaboración público-privada: Tanto en aspectos técnicos como en transferencia de conocimiento
- Estándares regionales de certificación: Como buena práctica para armonizar procesos
- Planeación integral de infraestructura: Planificación prospectiva a largo plazo para el despliegue eficiente de la industria

Desafíos y Barreras

- Infraestructuras escaladas: desarrollo y expansión de los sistemas necesarios para producir, transportar, almacenar y distribuir hidrógeno a gran escala, especialmente como vector energético.
- Regulación habilitante: Ausencia de marcos regulatorios apropiados para infraestructura compartida
- Riesgo de sobredimensionamiento: Falta de planificación coordinada puede llevar a inversiones ineficientes
- Ordenamiento territorial: Instrumentos de planificación territorial poco dinámicos (vigencias de 5-10 años vs. necesidades de la industria)
- Estandarización vial: Necesidad de compatibilidad de estándares entre países para integración regional

Transferencia de Conocimiento

- Programas train-the-trainers⁴: Desarrollo de programas de capacitación de capacitadores
- Alianza academia-industria-Estado: Fortalecimiento de esta triple hélice
- Aspectos de seguridad y capacitación: Crucial para el manejo seguro del hidrógeno
- Contratos y modelos de financiamiento compartido: Necesidad de aprender entre países sobre estructuración de contratos para infraestructura compartida

2. Investigación, Desarrollo e Innovación para descarbonizar sector de agricultura: fertilizantes verdes y transporte cero emisiones

Se destacó la necesidad de transformar el modelo económico regional, transitando desde la exportación de materias primas hacia la producción de bienes con alto valor agregado.

⁴ Los programas "train-the-trainers" (entrenar a los entrenadores) son metodologías de capacitación en cascada diseñadas para multiplicar el impacto de la transferencia de conocimientos y el desarrollo de capacidades técnicas.

En términos de articulación institucional, se identificó una deficiencia en la vinculación entre sector académico y productivo. Las universidades realizan gestiones individualizadas para conectar capacidades industriales con oportunidades de financiamiento, evidenciando la ausencia de un ecosistema estructurado. Este debería contar con un portafolio definido de empresas con desafíos específicos y mecanismos de financiamiento orientados a resolver problemáticas concretas del sector.

Buenas Prácticas y Vinculación

- Intercambio de capital humano regional: Movilidad de profesionales entre países para trabajos de inserción
- Modelo dual educativo: Implementación de sistemas similares al modelo alemán, adaptado a las realidades regionales

Desafíos y Barreras

- Falta de fondos de investigación: Insuficiente financiamiento para promover vinculación universidad-industria
- Infraestructura habilitante: Necesidad de infraestructura competitiva para implementación de amoníaco verde a gran escala
- Regulación del uso del suelo: Sistemas de seguridad que otorguen garantías territoriales para el desarrollo de proyectos
- Falta de mecanismos legales articulados: Ausencia de marcos de gobernanza para regular hubs de hidrógeno
- Falta de política pública de I+D+i: Necesidad de visión país con ámbitos de acción y agendas actualizadas

Transferencia de Conocimiento

- Actualización de habilidades en sector agrícola: Capacitación en manejo de fertilizantes verdes y sus propiedades
- Vinculación actual academia-industria-gobierno: Aunque avanza, requiere gobernanza y liderazgo claro para evitar duplicación de iniciativas

3. Fabricación de electrolizadores de gran capacidad

Los participantes enfatizaron que la innovación en modelos financieros es vital para el desarrollo de la industria. Se propuso la creación de un "Banco Latinoamericano de Hidrógeno" como entidad facilitadora de financiamientos con costos financieros módicos y que canalice cooperación no reembolsable.

Buenas Prácticas y Vinculación

Experiencias Europeas:

- Banco de Hidrógeno Europeo: Creación de mecanismos de subastas que financian CAPEX y OPEX

- Modelo de financiamiento: El banco paga la diferencia entre precio máximo de salida y precio ofertado
- Limitación de componentes chinos: Máximo 25% de componentes chinos como requisito

Experiencias Regionales:

- Costa Rica: Financiamiento condicionado a demanda definida para garantizar colocación del hidrógeno
- Mecanismo H2 Global⁵: Establecimiento similar al europeo para incentivar demanda y conectar oferta

Desafíos y Barreras

- Implementación de modelos financieros: Necesidad de innovación en modelos de negocio para trasladar subsidios al CAPEX
- Barrera institucional: Falta de entidades como el Banco Europeo de Hidrógeno a nivel regional
- Desafío de crear industria regional: Necesidad de desarrollar fabricación de electrolizadores en Latinoamérica
- Propuesta de colaboración regional: Agenda de cooperación entre países latinoamericanos para liderar hub de fabricación y transferencia de conocimiento

Transferencia de Conocimiento

- Poca vinculación actual: Falta de financiamiento y mesas de coordinación entre sectores
- Estrategia de formación integral: Necesidad de fortalecer capital humano en corto, mediano y largo plazo
- Dependencia de energías renovables: Sin renovables no habrá H2V, requiere desarrollo aparejado

4. Uso del hidrógeno para descarbonizar sectores estratégicos

Los participantes analizaron las limitaciones competitivas del hidrógeno en el sector de transporte liviano. Considerando las crecientes autonomías de los vehículos eléctricos y las características geográficas de países como Uruguay, con extensiones territoriales de aproximadamente 500 kilómetros, el hidrógeno presenta desventajas económicas para aplicaciones en vehículos convencionales. Sin embargo, se identificaron oportunidades comerciales significativas en segmentos específicos del transporte pesado. Las aplicaciones más prometedoras se concentran en la industria minera y el transporte forestal de carga pesada, sectores donde los requerimientos de autonomía, capacidad de carga y condiciones operativas favorecen la viabilidad técnica y económica del hidrógeno como vector energético.

⁵ Es una iniciativa del gobierno alemán diseñada para acelerar el desarrollo del mercado global de H2V a través de un mecanismo de financiamiento y comercialización.

Buenas Prácticas y Vinculación

- Sector minería: Implementación de camiones de hidrógeno (experiencias en Chile)
- Transporte pesado forestal: Uso en transporte de carga pesada para sector forestal
- Lección clave: El hidrógeno nunca será rentable para transporte de pasajeros porque los vehículos eléctricos son más eficientes
- Aplicación específica: El hidrógeno está destinado para transporte de carga pesada, no para pasajeros
- Proyectos piloto: Proyecto Walmart en Chile, camiones mineros presentados en Sudáfrica por Anglo American

Desafíos y Barreras

- Costos finales: Inversiones significativamente mayores comparadas con alternativas
- Eficiencia energética: Menor eficiencia comparada con soluciones eléctricas directas
- Financiamiento: Búsqueda de modelos de financiamiento para inversiones grandes
- Formación en seguridad: Capacitación especializada para recarga de H2V

5. Investigación, Desarrollo e Innovación para crear un Hub Tecnológico de metanol verde

Los participantes destacaron la necesidad regional de articular múltiples sectores industriales, incluyendo las industrias energética, de hidrógeno, forestal, química, de combustibles y marítima. Esta integración sectorial representa un desafío estratégico para el desarrollo coordinado de la cadena de valor del H2V.

Se identificó que la limitada demanda empresarial de I+D+i obedece al enfoque tradicional de las compañías en estrategias competitivas basadas en optimización de costos y productividad. Este modelo operativo ha relegado las inversiones en transformaciones sectoriales profundas, limitando así las capacidades regionales para liderar cambios tecnológicos disruptivos en la transición energética.

Buenas Prácticas y Vinculación

- Políticas de transferencia tecnológica: Implementación en universidades
- Centros tecnológicos para innovación empresarial: Desarrollo de infraestructura común para servicios de asistencia técnica y prototipado
- Red regional de centros de I+D+i: Para la transición energética
- Consorcios tecnológicos: Empresas múltiples con universidades y financiamiento público

- Incentivos tributarios: Para I+D empresarial en alianza con universidades
- Programas de transformación educativa: Ejemplos como Ingeniería 2030, Ciencia Innovación 2030, IP-CFT 2030 en Chile

Desafíos y Barreras

- Brechas regulatorias: Para asegurar éxito de iniciativas I+D+i (seguridad, nuevos usos energéticos)
- Financiamiento insuficiente: Tanto público como privado comparado con Europa, Australia, EEUU y Asia
- Capacidades humanas limitadas: Para I+D+i alineadas con estudios realizados
- Armonización regulatoria regional: Necesidad de marcos compatibles entre países
- Modelo de negocio complejo: Habilitar participación de diversas empresas en cadena de valor larga
- Cadena de valor extensa: Desde captura de CO2 hasta producción de olefinas

Transferencia de Conocimiento

- Articulación insuficiente: Entre sectores académico, productivo y gubernamental
- Baja demanda I+D+i industrial: Explica baja vinculación empresa-academia en la región
- Baja colaboración inter-empresarial: Para compartir programas y resultados I+D+i entre industrias (forestal, química, combustibles, plásticos, energética, H2V)
- Enfoque universitario en publicaciones: Mecanismos incipientes para investigación aplicada e innovación con industria

5. Desarrollo Territorial y Participación Ciudadana

5.1. Derechos Humanos y Transición Energética: Desafíos y Oportunidades del H2V

Presentador: Sebastián del Pino, Oficina para América del Sur, Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos

La presentación abordó la integración del enfoque de derechos humanos en el diseño y gobernanza de la industria del H2V, contextualizada en la triple crisis planetaria (cambio climático, pérdida de biodiversidad, contaminación). Se enfatizó que la acción climática no debe generar nuevas desigualdades, siendo los derechos humanos el "piso" de la transición energética.

Se presentaron los Principios Rectores de la ONU (2011) con tres pilares: deber estatal de proteger, responsabilidad empresarial de respetar (diligencia debida, evaluación de impactos, transparencia) y acceso a reparación para personas afectadas. Este marco aplica a toda la cadena de valor del H2V.

Entre los impactos identificados se destacó la extracción de minerales críticos (conflictos sociales, desplazamiento, trabajo infantil), infraestructura eólica/solar (acceso a tierra, consultas inadecuadas, tensiones con pueblos indígenas), desigualdad en distribución de beneficios y brechas de género.

Respecto al consentimiento libre, previo e informado, para pueblos indígenas es obligatorio bajo el Convenio 169 OIT. Los principios clave incluyen: libre (sin coerción), previo (antes de decisiones), informado (información accesible y culturalmente adecuada) y consentimiento explícito colectivo.

Se propone generar un marco normativo claro, debida diligencia obligatoria, mecanismos participativos institucionalizados, equidad territorial, protección de defensores ambientales, enfoque interseccional y acceso a reparación.

Se concluye que el H2V no es neutro; puede reproducir desigualdades o convertirse en palanca de transformación si incorpora la perspectiva de derechos humanos desde el inicio, requiriendo un nuevo contrato social energético con participación real y justicia distributiva.

Debate sobre Derechos Humanos

Se planteó la necesidad de coordinación entre el Alto Comisionado y los institutos nacionales de Derechos Humanos para trabajo territorial, dado que las comunidades siguen asociando los derechos humanos únicamente con represión y dictaduras. La respuesta indicó que existe gran disparidad entre instituciones nacionales: algunas son poderosas con presupuestos robustos, otras facilitan que las personas no accedan a remedios. Se mencionó la existencia de la red RIMDH y contacto permanente, aunque los esfuerzos se quedan cortos debido a contracción presupuestaria.

Sobre la protección de personas defensoras, se identificó que México, Colombia y Guatemala representan mayor riesgo regional. Chile publicó un protocolo para agilizar investigaciones judiciales cuando las víctimas son defensoras, aunque tiene limitaciones de acceso. Se están impulsando campañas para que las personas defensoras se reconozcan como tales.

Se cuestionó cómo balancear requerimientos de derechos humanos en tecnologías de transición energética versus combustibles fósiles sin estos estándares. La respuesta enfatizó que el marco de empresas y derechos humanos busca problematizar "cómo se produce la ganancia" versus "qué hacer con las ganancias" del modelo de RSE tradicional.

5.2. Conversatorio: rol de la industria en el desarrollo territorial y participación en los beneficios

Participantes: Matilde Spoerer (Chile), Alicia Williner (CEPAL), Margarita Nieves (Colombia), María Adelaida Correa (Colombia)

El panel abordó el modelo de gobernanza colaborativa entre industria, Estado y comunidades para proyectos energéticos territoriales. Se identificaron desafíos organizacionales clave: lograr impacto sostenible, no delegar el relacionamiento comunitario y generar sinergias entre actores. En los territorios, destacan las expectativas crecientes de las comunidades, conflictos por uso del suelo y falta de infraestructura básica rural.

Se propuso un enfoque de largo plazo con participación activa comunitaria, adaptado al contexto local y que no sustituye obligaciones. Los mecanismos incluyen participación en ingresos, fondos comunitarios, copropiedad accionaria, empleo local e inversión en infraestructura priorizada por la comunidad.

Caso ISA: Presentó su modelo de gestión social con resultados destacables: 83,7% de comunidades críticas con programas sociales, 713.000 personas beneficiarias y cero eventos de violación de derechos humanos. Su proyecto "Conexión Jaguar" abarca conservación de 400.000 hectáreas con 320 familias beneficiadas.

Respecto a las lecciones aprendidas se resaltó el relacionamiento anticipado con comunidades, articulación territorial, visión de vecinos de largo plazo, espacios permanentes de diálogo, contribución decidida al desarrollo comunitario en lógica de co-responsabilidad, incentivos regulatorios para empresas y reconocimiento del rol clave de la mujer. Se enfatizó que la participación en beneficios debe entenderse como trabajo conjunto para generar bienestar territorial de forma sistemática y pertinente.

¿Cuáles han sido los principales desafíos y aprendizajes en la inserción territorial de proyectos de energía?

Se estableció el marco conceptual enfatizando que el desarrollo territorial surge de la potencialidad interna del territorio combinada con oportunidades externas. La gobernanza real emerge como elemento central, requiriendo equilibrio entre tres actores: industria, Estado regulador y comunidades. Cuando existe gobernanza espuria, no hay gobernabilidad; cuando es auténtica, se genera legitimidad y éxito.

Se identificaron cuatro condiciones esenciales para el desarrollo territorial: marcos normativos claros (reconociendo la corresponsabilidad entre Estados y empresas), participación activa sustantiva (no instrumental), programas de capacitación y sensibilización, y estrategias comunicacionales efectivas.

Por otro lado, se destacó el riesgo de que industrias como el H2V se desarrollen como enclaves desconectados de las realidades locales, especialmente considerando que no generan regalías como los recursos del subsuelo.

Se presentaron dos casos exitosos de Colombia: el primero sobre una primera ronda de energía eólica marina, donde se adaptó el modelo de planes de beneficio comunitario del sector hidrocarburos, incorporando diagnóstico comunitario, conexión con cadenas de suministro local y mecanismos de atención de quejas. El segundo caso fue un parque solar de gran escala (750 MW), donde se desarrolló un plan de seguridad alimentaria otorgando 600 hectáreas a comunidades indígenas para cultivo destinado tanto al autoconsumo como a exportación internacional.

Por último, desde la perspectiva de una empresa multilatina presente en siete países de la región, se identificaron desafíos internos y externos. Los desafíos organizacionales incluyen desarrollar un modelo que atienda múltiples realidades territoriales sin dispersar recursos, generar impacto sostenible medible (incluyendo el SROI), mantener relacionamiento directo sin delegarlo completamente a terceros, y crear sinergias entre múltiples actores territoriales.

Los desafíos territoriales comprenden expectativas crecientes y más exigentes de comunidades empoderadas, conflictos por uso del suelo y problemas de saneamiento predial, carencias de infraestructura básica, y la necesidad de construcción de confianza mediante relacionamiento anticipado.

¿Qué mecanismos concretos de participación han desarrollado?

Como modelo teórico, se han propuesto cuatro capacidades fundamentales: técnicas, operativas, prospectivas (anticipatorias) y de capacidad política (diálogo y construcción de acuerdos). Dentro de las capacidades políticas se distinguen tres tipos: colaborativas (capacidad de colaborar además de competir), interactivas y estratégicas (pensar en lo posible en función de lo necesario).

Se estableció un modelo progresivo de participación: compartir información requiere comunicar, compartir actividades y recursos demanda coordinación, compartir poder exige colaboración, y compartir autoridad necesita fusión y cogestión.

Se presentaron dos casos donde las comunidades no solo reciben compensaciones por impactos negativos, sino que participan en la creación de valor. Las comunidades desarrollan relaciones horizontales asociativas donde aportan territorio mientras las empresas contribuyen con financiación y tecnología.

Al respecto, en Colombia se implementó una Ley de Transferencias Eléctricas estableciendo que proyectos de energías renovables deben aportar del 3 al 6% de las ventas de electricidad, destinando el 60% de esto a comunidades étnicas

donde existan. Otro ejemplo, es un proyecto de explotación de sal marina, donde comunidades indígenas poseen 33% de propiedad a través de asociaciones, aunque con desafíos de rentabilidad y modernización.

Como ejemplo específico de una empresa se mencionó el desarrollo de un enfoque de participación temprana que identifica líderes comunitarios, necesidades específicas, expectativas y evita incumplimientos de cronogramas. El fortalecimiento de capacidades parte del reconocimiento de capacidades existentes, buscando que los proyectos perduren tras la salida de la empresa.

Continuando con el ejemplo, se explicita un programa integral de conservación, integrando temas ambientales, cambio climático, protección de biodiversidad, trabajo comunitario y transformación cultural con mirada sistémica que supera enfoques sectoriales tradicionales.

¿Cuáles son los principales desafíos y lecciones para proyectos de hidrógeno?

El gran reto identificado es poner en valor los recursos de la comunidad, reconociendo que los territorios poseen conocimiento significativo. Se categorizaron seis tipos de recursos ciudadanos: políticos, sociales, económicos, humanos, físicos y naturales, que deben cohesionarse (no simplemente incluirse) con los proyectos. En este sentido, se propuso el modelo teórico sobre el círculo de capitales, donde el capital social fomenta el económico, cultural, simbólico e institucional, generando círculos virtuosos o viciosos según el manejo.

Se identificó una coincidencia problemática: las zonas con mayor potencial para energías renovables son históricamente áreas de intensa actividad minera con heridas abiertas sin resolver. Las comunidades relacionan nuevas industrias con experiencias negativas conocidas (minería de carbón, desplazamientos, impactos sanitarios no investigados). Se trataron las asimetrías existentes entre la necesidad empresarial de avanzar rápidamente y los tiempos comunitarios para construcción de confianza. El rol del Estado es crucial en este punto: debe socializar antes de la llegada empresarial, comunicar con autoridades locales y comunidades sobre planes gubernamentales, superando el temor estatal de que las comunidades paren los proyectos.

Las lecciones aprendidas desde el ámbito empresarial incluyen: el relacionamiento anticipado, la articulación con otros actores territoriales, la conciencia de vecindad a largo plazo con presupuestos anuales para mantenimiento relacional, los espacios permanentes de diálogo, y contribución decidida al desarrollo comunitario con lógica de pares.

Se destacó la corresponsabilidad no asistencialista, enfocándose en generar capacidades sostenibles a largo plazo. Para empresas privadas se requieren

incentivos gubernamentales como obras por impuestos, mecanismos de incentivos a la formación, y reconocimiento del rol clave de las mujeres como mediadoras y movilizadoras en procesos comunitarios.

En el debate se reforzó la importancia de la comunicación: las comunidades requieren información gubernamental imparcial además de la empresarial, y las empresas deben mejorar la descripción de impactos sociales en sus líneas de base. Un caso específico mencionado fue el de una región austral de la patagonia chilena, donde las propias comunidades solicitaron que el Estado socialice los proyectos de manera independiente, basado en la desconfianza a la empresa. La coordinación entre comunidad, empresas y Estado es fundamental para destrabar procesos de permisos ambientales y evitar demoras costosas, especialmente cuando los sistemas de evaluación de impacto ambiental identifican deficiencias en la caracterización de impactos sociales.

5.3. Taller: levantamiento de elementos para la construcción de un estándar de reconversión con participación ciudadana

El análisis se basa en los talleres participativos desarrollados durante el encuentro. Se conformaron 5 grupos de trabajo que abordaron diferentes tipos de infraestructura, identificando variables críticas y acciones específicas para cada caso.

1. Terminal Marítima

Las deliberaciones sobre infraestructura portuaria subrayaron dos aspectos fundamentales para el desarrollo del sector de H2V. En primer lugar, se estableció que la seguridad operativa constituye un requisito fundamental para las instalaciones portuarias que manejen este vector energético, dadas las características específicas de almacenamiento y manipulación que requiere el hidrógeno. En segundo lugar, se determinó que las certificaciones especializadas para el manejo de H2V representan un elemento crítico para garantizar tanto el cumplimiento normativo como la viabilidad comercial de las operaciones portuarias en el contexto de la cadena de suministro internacional.

Variables Prioritarias Identificadas

Seguridad (Laboral y Ambiental)

- Adopción de mejores prácticas internacionales
- Información accesible y transparente para todas las partes interesadas
- Programas de capacitación a actores clave
- Implementación de normas de seguridad equitativa

Reconversión y Oportunidades Laborales

- Plan integral de oportunidades para trabajadores afectados con tres niveles: relocalización, reconversión y otras oportunidades alternativas
- Enfoque específico en formación técnica
- Estrategias de contratación local

Diálogo Social Temprano

- Proceso multisector incluyendo comunidad, trabajadores, sector público y privado
- Carácter continuo y permanente del diálogo

2. Refinería con hidrógeno verde

Se destacó la relevancia estratégica de implementar prácticas de manejo de residuos, reciclaje y reutilización bajo principios de economía circular. Los participantes enfatizaron que la reconversión industrial hacia el H2V demanda no solamente adaptación tecnológica, sino también transformaciones organizacionales profundas que permitan integrar estos nuevos modelos operativos de manera efectiva y sostenible.

Variables Prioritarias Identificadas***Seguridad Industrial***

- Adaptación de infraestructura a requerimientos y estándares específicos del hidrógeno y derivados
- Desarrollo de nuevos procedimientos operativos
- Capacitación especializada del personal en protocolos de seguridad

Afectación Laboral

- Diagnóstico integral de capacidades actuales y requerimientos futuros
- Plan de transición laboral con componentes de reconversión
- Programas de formación y certificación especializados
- Reorganización estructural
- Enfoque de género

Viabilidad Económica

- Análisis exhaustivo de factibilidad técnica y financiera
- Acceso a beneficios tributarios y subsidios

Respecto a la pregunta: *¿Qué medidas específicas de protección y restauración ambiental (en caso de cierre o reconversión con nuevas tecnologías) podrían desarrollarse para que los proyectos contribuyan a la conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos territoriales?*

Los participantes identificaron tres medidas fundamentales para garantizar la sostenibilidad ambiental de los proyectos de H2V:

- Manejo integral de residuos: Desarrollo de protocolos específicos para el tratamiento adecuado de subproductos y materiales de infraestructura, minimizando el impacto sobre ecosistemas locales.
- Reciclaje y reutilización: Implementación de programas que maximicen el aprovechamiento de materiales y componentes al final de su vida útil, reduciendo la presión sobre recursos naturales.
- Economía circular: Adopción de este principio como marco rector para el diseño, operación y cierre de proyectos.

3. Gasoductos

Se resaltó la importancia de utilizar la infraestructura existente para minimizar impactos sociales y ambientales. Destacando que las comunidades ya están acostumbradas a este tipo de infraestructura, lo que facilita la aceptación social. El plan de desmantelamiento debe incluir fondos financieros desde el inicio del proyecto y armonización regulatoria regional.

Variables Prioritarias Identificadas

Dimensión Social

- Implementación de debida diligencia y consultas previas
- Desarrollo de diálogo ciudadano con análisis y estudios participativos
- Relacionamiento temprano con visitas explicativas al proyecto
- Evaluación económico-social con estimación de generación de empleos

Dimensión Ambiental

- Protección integral de biodiversidad
- Estudios de Impacto Ambiental y licencias correspondientes
- Monitoreo social/comunitario
- Incorporación de tecnología satelital para monitoreo

Capacitación de Personal con Enfoque de Género

- Formación especializada en seguridad y mantenimiento

Respecto a la pregunta: *¿Qué medidas específicas de protección y restauración ambiental (en caso de cierre o reconversión con nuevas tecnologías) podrían desarrollarse para que los proyectos contribuyan a la conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos territoriales?*

Los participantes identificaron cinco medidas estratégicas para la sostenibilidad ambiental de los proyectos de H2V:

- Plan de desmantelamiento: Protocolos estructurados para el desmontaje ordenado de infraestructura y minimización de impactos ambientales durante el cierre.
- Economía circular y reciclaje: Programas para maximizar el aprovechamiento de materiales y componentes, reduciendo la demanda de recursos naturales.
- Fondo financiero: Mecanismos de garantía económica que aseguren recursos disponibles para actividades de restauración ambiental.
- Restauración del territorio: Rehabilitación activa de áreas afectadas, enfocada en recuperación de hábitats y servicios ecosistémicos.
- Armonización regulatoria: Marcos normativos coherentes que faciliten estándares ambientales uniformes y mejores prácticas de conservación.

4. Tuberías de gas

En el taller el equipo desarrolló un plan específico para reutilización de aguas grises en la producción de hidrógeno. Por otro lado, se destacó la importancia de la instalación de sensores de fuga debido a la alta volatilidad del hidrógeno, resaltando la importancia de la seguridad comunitaria y la prevención de riesgos de explosión.

Variables Prioritarias Identificadas

Diálogo Social

- Información y educación sobre ventajas, impactos positivos/negativos y dificultades
- Identificación de actores territoriales clave (sindicales, profesionales, academia, industria)

Seguridad Social y Ambiental

- Estándares y certificación de seguridad para técnicos y equipos
- Plan de seguridad comprensible para toda la comunidad
- Estudios y revisiones periódicas de infraestructura

Capital Humano

- Upskilling para nuevas tecnologías
- Formación técnica con equidad e igualdad (mujeres, jóvenes, personas vulnerables)
- Establecimiento de porcentajes mínimos de incorporación de mujeres

Respecto a la pregunta: *¿Qué medidas específicas de protección y restauración ambiental (en caso de cierre o reconversión con nuevas tecnologías) podrían desarrollarse para que los proyectos contribuyan a la conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos territoriales?*

Los participantes identificaron tres medidas operativas para optimizar recursos y seguridad en proyectos de H2V:

- Reutilización de aguas grises: Implementación de sistemas para reutilizar aguas grises en la producción de hidrógeno, optimizando el consumo hídrico.
- Sistemas de detección de fugas: Instalación de sensores para monitoreo continuo y detección temprana de fugas, garantizando seguridad operativa.
- Plan de gestión específico: Desarrollo de protocolos que integren reutilización hídrica y monitoreo de seguridad en un marco operativo coherente.

5. Corredores marítimos verdes

Se destacó la necesidad de estudios de factibilidad ambiental, financiamiento enfocado en pasivos ambientales para restauración, y la importancia crucial del diálogo social con comunidades. También se enfatizó el potencial de los créditos de carbono como mecanismo de financiamiento sostenible.

Variables Prioritarias Identificadas

Capital Humano, Competencias y Seguridad Operativa

- Identificación de brechas
- Estrategia de formación de capital humano
- Implementación de programas según territorio
- Reconversión / Train the Trainers
- Elaborar perfiles ocupacionales
- Tomar recomendaciones en infraestructura para abordar nudos críticos de género:
- Cuidados (e.g. lavandería móvil, mejora baños, cambiadores)

Diálogo Social y Gobernanza Multiactor

- Identificación de actores sociales relevantes
- Dimensionamiento de expectativas en la participación
- Comités de gobernanza interinstitucional
- Consideración de evidencias sobre brechas de género y participación de pueblos indígenas

Protección Ambiental y Climática

- Monitoreo de indicadores ambientales
- Formación de promotores ambientales
- Mecanismos de distribución justa de pasivos ambientales
- Créditos de carbono con salvaguarda de género
- Estudio y elaboración de una ACV/ACL

Mecanismos de Financiamiento y Formación

Financiamiento

- Fondos de reconversión laboral
- Incentivos a empresas con sello verde RSE
- Mecanismos público-privados

Reconversión Laboral

- Certificación y programas de re-entrenamiento
- Creación de programas formativos locales/regionales con interseccionalidad y género
- Mapeo de perfiles y brechas

Formación de Capital Humano

- Certificación de competencias
- Programas formativos integrales con enfoque de género, indígena y afrodescendiente
- Campañas de sensibilización de género
- Marco de cualificación humana

Respecto a la pregunta: *¿Qué medidas específicas de protección y restauración ambiental (en caso de cierre o reconversión con nuevas tecnologías) podrían desarrollarse para que los proyectos contribuyan a la conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos territoriales?*

Durante el análisis, los participantes determinaron los siguientes elementos críticos para la implementación de un plan de cierre sostenible.

Estrategia de financiamiento para la remediación ambiental

- Identificación y cuantificación de pasivos ambientales existentes
- Desarrollo de mecanismos de financiamiento específicos para actividades de restauración y rehabilitación
- Evaluación de costos asociados con la mitigación de impactos ambientales

Participación ciudadana y diálogo social

- Implementación de procesos de consulta con comunidades locales e indígenas
- Establecimiento de canales de comunicación permanentes con stakeholders
- Incorporación de perspectivas comunitarias en la toma de decisiones del proyecto

Generación y comercialización de créditos de carbono

- Evaluación del potencial de captura y reducción de emisiones de carbono
- Análisis de viabilidad para el desarrollo de proyectos elegibles para mercados de carbono
- Estimación de ingresos adicionales por la venta de créditos ambientales

6. Capital Humano y Formación de Capacidades

6.1. Programa de Capital Humano en el Sector Energía: Impulsando el Futuro de Chile

Presentador: Alejandra Hidalgo (Chile)

La presentación expuso el Programa de Capital Humano del Ministerio de Energía de Chile, diseñado para fortalecer el talento humano en niveles operario, técnico y profesional necesarios para el desarrollo sostenible del sector energético. Chile registra 36.778 MW de capacidad instalada (+7%), 70% de generación renovable y más de 87.000 empleados en el sector (2022), mostrando crecimiento sostenido desde 2018. La Política Energética 2050 establece objetivos ambiciosos: 18.000 capacitaciones y 9.000 certificaciones anuales al 2030, con 75% de subsectores e instituciones formativas cumpliendo estándares de cualificación. Involucra más de 150 actores entre sectores público, industrial y formativo, desarrollando 140 mesas regionales. Los ámbitos incluyen construcción de estándares sectoriales, capacitación y certificación, estudios de brechas laborales, atracción de talento joven e inclusión sectorial.

Se proyecta demanda de 30.000 a 56.000 nuevos trabajadores para 2035, con un déficit significativo requiriendo de 12.000 a 27.000 ocupados adicionales según diferentes escenarios de crecimiento. Se desarrollaron perfiles laborales específicos (Operador, Supervisor, Mantenedor de Planta de Hidrógeno) con 15 nuevos perfiles en construcción. Las profesiones futuras incluirán especialistas en energías limpias, digitalización, ciberseguridad y técnicos en baterías renovables.

Como resultados se presentaron las siguientes cifras: 14.000 trabajadores en programas de capacitación, con 1.310 personas capacitadas en el año 2025, cubriendo 60% del país, generando empleos especializados con remuneraciones atractivas y reduciendo brechas de capital humano sectorial.

Mesa de Trabajo sobre Formación de Capital Humano en Energía

Luego de la presentación se lleva a cabo una dinámica donde los participantes reciben una planilla con dos preguntas para responder por país:

¿Existen políticas o estrategias específicas vinculadas al sector en tu país?

¿Existen limitaciones o problemáticas asociadas al desarrollo de estas políticas y estrategias?

La mesa de trabajo evidenció un panorama diverso en materia de políticas gubernamentales para la formación de capital humano en el sector energético a nivel regional. En Colombia se reconoció la ausencia de políticas específicas de formación en energía, mientras que Uruguay ha desarrollado trabajo en energías renovables desde 2010. España cuenta con investigación avanzada pero carece de formación técnica especializada a nivel curricular universitario.

Chile presenta un ecosistema más robusto con múltiples iniciativas incluyendo CORFO, ChileValora y otros programas que abordan el sector productivo desde una perspectiva general.

Costa Rica destacó por contar con una estrategia nacional de H2V que incorpora explícitamente la formación de capital humano y la descentralización como eje fundamental para crear hubs de conocimiento en zonas deprimidas, aprovechando el potencial de energías renovables distribuido a lo largo del país.

Las limitaciones identificadas abarcaron múltiples dimensiones. El financiamiento emerge como restricción crítica, evidenciado en Chile donde el desarrollo de estudios de fuerza laboral y marcos de cualificación dependió del apoyo internacional. Los déficits educacionales estructurales representan otro desafío, con 4 millones de analfabetos en Chile y formación docente técnico-profesional insuficiente.

La gobernanza institucional constituye una barrera significativa, particularmente la lentitud de los ministerios de educación para adaptar perfiles y mallas curriculares al ritmo requerido por los cambios tecnológicos. La temporalidad para formar personas y su inserción laboral efectiva genera tensiones entre expectativas creadas y oportunidades reales de empleo.

Se destacaron iniciativas innovadoras como "Tener Futuro" en Colombia, programa con enfoque de género para formar mujeres lineras, y la experimentación en hidrógeno en Guanacaste-Liberia desde 2011 en Costa Rica. La mesa enfatizó la importancia crítica de estrategias de comunicación y divulgación para garantizar que las personas conozcan las oportunidades existentes.

6.2. Estudio de Fuerza Laboral y Empleos Verdes en el Sector Energético Chileno

Presentadora: Belén Ferrer (Chile)

Se presenta un estudio donde se analizó la fuerza laboral en los subsectores de electricidad e hidrocarburos en Chile, proyectando demanda y brechas de capital humano hasta 2035. La investigación incluyó encuestas a 49 empresas, 17 entrevistas institucionales y 3 grupos focales, complementados con datos de fuentes nacionales oficiales.

Se identificaron perfiles críticos como ingenieros eléctricos, electricistas de obras, técnicos en electricidad, operadores de instalaciones energéticas e ingenieros industriales. Las competencias transversales más demandadas incluyen colaboración, liderazgo, adaptación al cambio, comunicación en idiomas extranjeros e innovación.

Respecto a la proyección de la demanda para los próximos 12 meses se prevén contrataciones principalmente en perfiles técnicos (ingenieros electricistas, operadores de instalaciones, mecánicos electricistas) y transversales (administración, TI, comercial).

Según los resultados del estudio, el sector energético chileno necesitará entre 30.000 y 56.000 nuevos trabajadores para 2035, con brechas significativas en todas las macrozonas excepto el Sur. El escenario intermedio proyecta 12.000 ocupados adicionales, mientras que el alto supera los 27.000.

Respecto a las brechas críticas se identifican déficits especialmente en educación media técnico-profesional: 9.000 personas en escenario medio y más de 15.000 en escenario alto. Emergen nuevas profesiones como especialistas en energías limpias, programadores de digitalización, técnicos en ciberseguridad y especialistas en H2V.

Este análisis permite planificar estratégicamente las necesidades formativas regionales para la transición energética verde. El debate inició con una pregunta clave sobre los hallazgos del estudio que indican un exceso de profesionales en la zona sur y austral, lo cual parecía contradictorio considerando los 30 billones de USD en proyectos de H2V en evaluación ambiental en Magallanes. El cuestionamiento planteaba por qué no existía una brecha sino un exceso, cuando intuitivamente la materialización de estos proyectos generaría una importante demanda de profesionales especializados.

Los expertos explicaron que el estudio se concentró en sectores tradicionales (hidrocarburos y electricidad) sin hacer énfasis específico en H2V. La metodología utilizó datos del Ministerio de Educación y consultas a empresas con proyectos aprobados hasta 2035, excluyendo aquellos considerados especulativos.

Se identificaron obstáculos significativos para obtener datos precisos del sector H2V: las empresas no proporcionan información clara sobre sus requerimientos de personal, y actualmente solo existen proyectos piloto. Además, se mencionó que estudios previos de GIZ habían subestimado las necesidades (hablaban de 100.000 empleos), siendo posteriormente ajustadas al distinguir entre contratación directa y cadena de valor productivo.

Un hallazgo importante fue la desmitificación sobre la necesidad de perfiles altamente especializados inexistentes en Chile. Se determinó que se requieren profesionales tradicionales (ingenieros eléctricos, químicos) con especialización adicional. Se destacó que Chile cuenta con personal experimentado en Magallanes, donde empresas como ENAP y Methanex han trabajado con hidrógeno gris durante más de 30 años. El debate concluyó enfatizando la importancia de desarrollar perfiles transversales que comprendan integralmente toda la cadena de valor del H2V, más allá de especialistas en componentes específicos.

6.3. Proyección de Perfiles y Competencias Laborales Verdes en la Alianza Pacífico - Colectivos Vulnerables

Presentadora: Gloria Redondo (España)

La transición energética ocurre en un contexto de desigualdad donde el 31.3% de trabajadores están subcualificados y existe 49% de informalidad laboral en la región (OIT, 2023). El riesgo radica en que si se mantienen las prácticas actuales, los sectores emergentes como el H2V, al no ser intensivos en mano de obra y requerir perfiles de alta cualificación, incrementarán las brechas de desigualdad existentes, excluyendo a mujeres, jóvenes sin certificados formales, trabajadores informales, migrantes y mujeres cuidadoras.

La iniciativa se desarrolla a través del programa EuroSocial+, liderada por ChileValora con participación de organismos nacionales: SENA de Colombia, Ministerio de Trabajo-Dirección de Normalización de Competencias de Perú y CONOCER de México. El objetivo es hacer efectiva la cooperación entre socios, permitiendo que cada país aproveche los perfiles desarrollados por sus partners.

El estudio, realizado hace año y medio y actualmente en proceso de actualización, desarrolló un catálogo con 118 competencias y 62 perfiles distribuidos en 11 sectores verdes. Chile lidera el desarrollo de perfiles en H2V, mientras Colombia y Uruguay adoptan estos estándares. El catálogo está disponible en la página de la Alianza Pacífico y en las webs de cada sistema nacional.

Se identificaron perfiles técnicos enfocados en distribución, planta y almacenamiento para facilitar inserción de colectivos vulnerables: técnicos de fabricación, instalación y mantenimiento de tuberías H2, operarios en plantas de manufactura, técnicos de laboratorio y mecánicos de celdas de H2. Las competencias transversales incluyen: mantenimiento preventivo-correctivo de paneles solares, montaje de elementos fotovoltaicos y control de calidad para equipos importados (crítico porque la mayoría de tecnología viene de China, Europa y Estados Unidos).

Siguiendo la definición de la OIT, se consideran empleos verdes aquellos que transforman patrones productivos en eficiencia energética, agua y consumo de recursos naturales, interviniendo favorablemente en el control del cambio climático. Sin embargo, se incorpora el principio de precaución tecnológica: reconociendo que ninguna tecnología salvará por sí sola los desafíos globales de 8.000 millones de personas.

La propuesta incluye una visión que considera:

- Cadena de valor del H2V
- Infraestructura habilitante (carreteras, puertos, construcción de asentamientos)

- Economía indirecta territorial generada por la instalación de industrias
- Áreas de capacidades emergentes: materiales críticos, comunidades energéticas, laboratorios de eficiencia energética

Se enfatiza que más que perfiles transversales, son las competencias las que generan transversalidad, permitiendo que una misma competencia se aplique en diferentes perfiles y fases de la cadena de valor, facilitando la trazabilidad laboral.

Es fundamental desarrollar formación profesional ágil y flexible con:

- Módulos cortos y microcredenciales
- Pasarelas entre validación de experiencia y formación formal
- Certificación en tiempos reducidos (año y medio máximo)
- Competencias digitales transversales
- Coordinación con sistemas de orientación profesional y bolsas de empleo

La dimensión social sigue siendo "la hermana menor" en políticas, inversiones y licitaciones energéticas. Para lograr transiciones justas, no se puede confiar en la "lógica del derrame" económico. Las políticas productivas deben incorporar objetivos explícitos de empleo, cuotas de contratación para colectivos vulnerables y mayor representación femenina. Se requieren modelos de gestión basados en el nexo agua-energía-comida para garantizar sostenibilidad integral y una transición energética verdaderamente justa e inclusiva.

6.4. Conversatorio: construcción de estándares y marco de cualificación para la formación técnico profesional del sector energía, en la industria del h2v y su implementación

Participantes: Alejandra Hidalgo (Chile), Sebastián Espinoza (Chile), Nadiejda Quintana (Perú), Lady Moreno (Colombia), Milagros Giménez (Alemania)

¿Qué son y para qué sirven los Marcos de Cualificaciones?

En la primera parte del conversatorio se trabajó sobre el desconocimiento generalizado que existe sobre los marcos de cualificaciones. Este abordaje partió de la consulta al público, donde muy pocas personas estaban familiarizadas con el concepto. A partir de esta situación, se explicó que constituyen instrumentos para el desarrollo y clasificación de cualificaciones que facilitan la comprensión y comparación entre países.

La estructura de niveles representa el elemento central, tomando como ejemplo el marco europeo, que cuenta con 8 niveles, desde la educación inicial hasta el

doctorado. Lo más relevante radica en su capacidad para articular educación formal, no formal e informal, integrando todas las credenciales formativas. El aspecto más innovador consiste en generar comunicación fluida entre educación y trabajo, sectores históricamente descoordinados.

Complementariamente, se presentaron cuatro experiencias internacionales: Australia (1995) con la creación de Skills Councils sectoriales y paquetes de entrenamiento anuales; Escocia (2001) enfocada en planificación del aprendizaje y rutas de progresión; Sudáfrica (1991) como herramienta de justicia social post-apartheid; y Chile con su marco técnico profesional de cinco niveles implementado en 2017.

¿Qué estudios son necesarios realizar para diagnosticar una oferta formativa pertinente a los desafíos del H2V a nivel regional?

Se abordaron los estudios necesarios para diagnosticar oferta formativa pertinente al H2V. Se identificaron las mediciones de brechas de capital humano como instrumento principal, analizando cantidad de personas requeridas, calidad de competencias necesarias y pertinencia de capacidades existentes mediante diálogo directo con el sector productivo.

Se ejemplifica a partir del Sistema Nacional de Cualificaciones de Colombia, que organiza y clasifica la formación en diferentes niveles, desde técnicos hasta especializaciones universitarias. La articulación gubernamental entre los ministerios de educación, trabajo y energía resulta fundamental, y se expone la importancia de complementar dicha articulación a través de observatorios laborales, que proporcionan un análisis tanto retrospectivos como prospectivos del comportamiento del capital humano. Esta información se complementa con estudios de tendencias globales, que aportan perspectiva sobre el rumbo de la transición energética.

¿Qué estrategias se despliegan para promover el aprendizaje permanente de la fuerza laboral para la industria del H2V en la región?

En este sentido, se enfatizó sobre la importancia de la estandarización de competencias como fase previa fundamental, antes de iniciar programas de capacitación o de reconversión laboral. Este proceso requiere mesas o comités de competencias donde se reúnan el sector productivo, la academia y el sector público para definir desempeños óptimos requeridos.

Los estándares desarrollados contienen criterios de desempeño y desgloses de conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes, permitiendo elaborar programas formativos y procesos de certificación. Estas últimas adquieren particular importancia en América Latina, donde más del 50% ingresa al mercado laboral sin formación terciaria, aprendiendo en el puesto de trabajo.

Esta estrategia se traslada efectivamente al H2V, considerando que múltiples infraestructuras requerirán reconversión, donde muchas personas ya poseen competencias útiles o podrán aplicar técnicas durante el proceso y ser certificadas posteriormente.

¿Cómo desarrollaron los perfiles de H2V y cuáles fueron los principales aprendizajes en el proceso?

Para responder a esta pregunta se presentó el proyecto del gobierno de Chile llamado Power to X que es financiado por el Gobierno alemán, con diez paquetes de trabajo donde nueve son tecnológicos y uno dedicado a la construcción de capacidades. El proceso tuvo fuerte anclaje territorial trabajando en Antofagasta, Biobío, Santiago y Punta Arenas, involucrando más de 350 actores del entramado socio institucional.

El equipo adoptó un enfoque prospectivo, conversando con instituciones educativas, proyectos de hidrógeno y empresas potenciales, enfrentando el desafío de comprender una industria incipiente con solo seis plantas piloto en Chile. Se focalizaron en dos macroprocesos: instalación y construcción de plantas, y operación y mantenimiento.

Trabajando con la Cámara Chilena Alemana, identificaron quince perfiles ocupacionales: ocho en operación y mantenimiento y siete en construcción e instalación. Las conclusiones identificaron competencias técnicas transversales, reconociendo que múltiples perfiles requieren una base común constituyendo el "nuevo ABC" del sector. El proyecto desarrollará un curso de seguridad industrial en Antofagasta incorporando elementos de formación dual.

¿Cómo puede un marco de cualificaciones orientar la formación técnica y profesional para responder de manera ágil y pertinente a las demandas de los perfiles de H2V?

Se parte de la identificación de que, aproximadamente, 150 países poseen marcos de cualificaciones como instrumento de política pública vinculando educación y trabajo. Funciona como punto de encuentro entre información del mercado laboral y educación, donde reside la oportunidad para un sector en desarrollo.

El marco permite generar comunicación, facilitar formación docente, habilitar vinculación con el medio y proporcionar rutas de desarrollo estudiantil. En H2V, por ejemplo, permitiría identificar competencias demandadas por la industria, articulando cómo la formación debe desarrollarlas.

La necesidad de acordar esta conversación resulta crítica, considerando que las empresas demandan perfiles no presentes en los países, recurriendo frecuentemente

a reconversión laboral o importación de profesionales. Corresponde al territorio formar estas capacidades localmente.

Se mencionó el trabajo conjunto con el Ministerio de Energía de Chile y una consultora española en poblamiento de H2V financiado por el BID, reuniendo academia, empresas y sectores productivos en diálogo social identificando necesidades actuales y prospectivas. La prospección resulta fundamental considerando horizontes mínimos de diez años para actualización curricular, formación e inserción laboral.

¿Cuán receptiva está la industria en los distintos países?

Este debate se inicia a partir del problema de coordinación sistémica entre oferta formativa y demanda laboral, donde llegar muy temprano frustra a los estudiantes que no pueden conseguir empleo, mientras llegar tarde encuentra demanda revelada sin capacidad de respuesta institucional oportuna.

La experiencia chilena evidencia alta receptividad industrial, participando activamente en estudios y mesas técnicas con especialistas. Las empresas perciben como altamente relevante la oportunidad de acceder a información útil para procesos internos de selección, reclutamiento y ajustes productivos.

Complementariamente, se manifestó que las industrias perciben al proceso como trabajo técnico propio, generando sentido de propiedad sobre resultados útiles. Se produce, de esta manera, un efecto multiplicador donde las empresas se recomiendan mutuamente para participar, compartiendo información con otras empresas antes de las publicaciones oficiales.

Por último, se explicitó que Colombia está próximo a publicar su catálogo del sector energético, integrando al sector empresarial. El reto actual se concentra en lograr una implementación académica efectiva de niveles de competencia y cualificación. Sobre esto se menciona un estudio reciente que examina subsectores energéticos, incluyendo el H2V, aunque de manera incipiente.

6.5. Participación de Mujeres en la Industria de H2V

Presentadores: M. Francisca Valenzuela (Chile), Nuria Hartmann (Chile), Noelia Maciera (Uruguay) y Ricardo Lizana (Chile)

Estudio Pionero sobre Brechas de Género

El equipo presentó el primer estudio cuantitativo y cualitativo sobre participación femenina en la cadena de valor del H2V, dirigido a subsanar un vacío crítico de información en esta industria emergente. La investigación se enmarca en la

Estrategia Nacional de H2V de Chile. El estudio incluyó encuestas a 94 empresas (22 respuestas efectivas, 24% tasa de respuesta) y 76 trabajadoras, complementado con entrevistas cualitativas que generaron diez mensajes clave con índices de relevancia según actores del sector.

Entre los hallazgos principales de la encuesta surgió que las empresas participan principalmente en producción y acondicionamiento (67%), desarrollo (57%) y aplicaciones-consumo (57%). La participación femenina general es del 13.8%, pero aumenta a 47% excluyendo operarios. La distribución jerárquica revela: 2% operarios, 23% puestos de liderazgo, 51% puestos medios y 54% auxiliares. El 65% de empresas implementan políticas de contratación inclusiva, 76% mantienen protocolos contra acoso sexual y 53% tienen políticas de igualdad salarial. Paradójicamente, 80% de trabajadoras considera que quienes usan políticas de conciliación enfrentan obstáculos para promociones, 70% percibe mayores exigencias comparado con colegas masculinos, y 63% siente que su remuneración no refleja adecuadamente su experiencia.

Entre las barreras estructurales críticas se identificaron obstáculos sistémicos: faenas remotas en Magallanes y Atacama con turnos 14x14 horas, incompatibles con responsabilidades familiares, baja matrícula femenina en carreras técnicas (10% en construcción), cultura masculinizada y falta de referentes. Las empresas proyectan mejor inserción femenina en aplicaciones-consumo (76%) y desarrollo (57%).

Los expertos propusieron una pirámide de intervención con tres niveles: políticas públicas (marco regulatorio, KPIs obligatorios, transparencia 100%), acciones corporativas (incentivos económicos, cuotas flexibles 40%, bonos de capacitación) y capacitación especializada (programas STEM, mentoría, campaña "Pioneras del Hidrógeno Verde").

Las recomendaciones incluyen guarderías móviles en faenas, selección sin sesgos, observatorios de datos abiertos y contratación local con cláusulas de género. La implementación de estas medidas posibilitarían la transformación significativamente la participación femenina en esta industria estratégica para la transición energética regional.

Asociación Uruguaya de Mujeres en la Energía

La AUME presentó su modelo organizacional y estrategia para abordar las brechas de género en el sector energético. Fundada en 2023, la organización agrupa más de 180 profesionales del ámbito público, privado y académico, con el objetivo de visibilizar, empoderar y conectar mujeres del sector.

Se evidenciaron datos preocupantes sobre la representación femenina: en Uruguay, las mujeres ocupan solo el 16,6% de cargos directivos en empresas públicas y

11% en el sector privado. En H2V específicamente, representan apenas el 20% de panelistas en eventos internacionales y 24% del personal técnico en generación renovable.

AUME propone la asociatividad como herramienta clave, permitiendo crear comunidad, compartir conocimientos, apoyar trayectorias e influir en políticas. Su enfoque incluye establecimiento de redes internacionales con organizaciones como REIF, Latam Renewables y ONU Mujeres. La organización destaca casos de éxito como la primera planta de H2V para electromovilidad con fines académicos desarrollada por UTEC-UDELAR, enfatizando que una transición energética justa requiere inclusión de todas las voces.

Presentación de Women in Green Hydrogen (WiGH)

WiGH Women in Green Hydrogen se presentó como una red global fundada en 2020 para promover la participación femenina en la industria del H2V, formalizada como ONG en Alemania en octubre 2023. La organización cuenta con una estructura central que opera a través de capítulos regionales en Europa, Norteamérica, África, Latinoamérica y Asia, además de capítulos nacionales emergentes.

La representante destacó que la diversidad resulta esencial en un sector que se nutre de la innovación, buscando aumentar la visibilidad del conocimiento femenino y crear comunidades sólidas para el intercambio de conocimientos y apoyo mutuo. WiGH opera mediante cuatro herramientas principales: una base de datos con más de 1.200 expertas en más de 75 países, un programa de mentoría que ha realizado cuatro ediciones beneficiando a más de 500 participantes en más de 50 países, eventos virtuales y presenciales, y más de 20 asociaciones estratégicas establecidas.

En Latinoamérica, la red cuenta con siete coordinadoras nacionales (SPOC) en Argentina, Chile, Uruguay, Perú, Colombia, México y Brasil. Las oportunidades de colaboración incluyen apoyo a capítulos nacionales, organización de actividades educativas, participación como panelistas en conferencias, apoyo a comités centrales y patrocinio monetario. La presentación concluyó enfatizando que las conexiones empoderan para evitar duplicar esfuerzos, articular necesidades, ofrecer soluciones y lograr objetivos comunes.

Presentación "Más fuertes que el Hidrógeno"

La presentación abordó la experiencia del proyecto "Reducción de brechas en formación técnica para habilitación de la industria de H2V en el Biobío", una iniciativa piloto implementada en Chile para desarrollar capital humano técnico especializado en H2V. El programa se dirigió a estudiantes de liceos técnico profesionales y técnicos ya incorporados al mercado laboral regional, con el propósito de sustentar la estrategia nacional de H2V desde una perspectiva regional.



El proyecto trabajó con cinco liceos en especialidades diversas: técnico en administración, electricista, administración con mención en logística y recursos humanos, mecánico industrial y mecánico automotriz. Esta diversidad demostró que la formación en H2V trasciende las áreas industriales tradicionales, validando la capacidad de articular diferentes programas curriculares con las temáticas del H2V.

Se desarrollaron diez módulos pedagógicos completos que abarcaron desde introducción al H2V hasta aplicaciones prácticas, complementados con videos cátedra, material docente, kits experimentales y guías de trabajo. La metodología incluyó formación de "train of trainers" mediante cuatro jornadas de 150 minutos cada una.

Un elemento distintivo fue la robusta estrategia de género estructurada en seis ejes: derribando mitos y estereotipos, abordando efectos del sexismo, fortaleciendo autoestima y liderazgo, formando mujeres líderes, sumando más mujeres a las ciencias, y destacando ciencia con nombre de mujer. Cada video cátedra presentaba dos mujeres referentes en la temática correspondiente.

Los resultados evidenciaron alta participación estudiantil en concursos nacionales y eventos energéticos, desarrollo de jornadas de capacitación para monitoras de visitas a la planta de H2V de la UCSC, y testimonios positivos de participantes. La presentación concluyó enfatizando que la inclusión de la perspectiva de género incrementó sustancialmente la calidad del proyecto y destacó la importancia del concepto Power-to-X para el manejo adecuado de expectativas en la industria del hidrógeno.

**PROSPECTIVA
DEL HIDRÓGENO
VERDE EN LA
REGIÓN**

CAPITULO III

Resumen

El presente capítulo sistematiza los resultados orientados a la prospectiva del sector, que surgieron del trabajo colaborativo desarrollado por los participantes, tanto en el transcurso del evento como durante los talleres desarrollados específicamente para relevar información sobre la temática que se implementaron a lo largo de los tres días del Encuentro Regional de Hidrógeno Verde. Las propuestas, recomendaciones y líneas estratégicas que se presentan a continuación surgieron de sesiones de trabajo participativo donde representantes de instituciones gubernamentales, organismos internacionales, academia, centros de formación técnica y del sector privado construyeron colectivamente una visión regional para el desarrollo del H2V.

La metodología participativa implementada durante el evento permitió que los asistentes identificaran oportunidades, desafíos y propuestas concretas en tres dimensiones estratégicas fundamentales: I+D+i; capital humano y formación de capacidades; y desarrollo territorial con participación comunitaria. Los insumos generados en estos talleres colaborativos constituyen la base empírica de las recomendaciones prospectivas que se desarrollan en las siguientes secciones, reflejando así el consenso técnico regional sobre las acciones prioritarias necesarias para acelerar el desarrollo sostenible e inclusivo de la industria del H2V en América Latina.

A continuación se presenta una síntesis estilizada que destaca los hitos más relevantes del capítulo.

En el ámbito de I+D+i, a partir de las cinco líneas priorizadas y presentadas en el capítulo II, que abarcan desde la integración de infraestructura de almacenamiento y transporte hasta la creación de hubs tecnológicos de metanol verde, destacando aplicaciones específicas como la descarbonización del sector agrícola mediante fertilizantes verdes y el uso estratégico del hidrógeno en industria minera y transporte forestal de carga pesada donde presenta ventajas competitivas claras.

Los elementos transversales identificados en todas las áreas tecnológicas revelaron desafíos estructurales comunes que deben abordarse: el fortalecimiento de la vinculación y transferencia de conocimiento, y de la interacción entre la academia-industria-Estado, a partir de alianzas específicas y desarrollando liderazgos claros junto con una gobernanza apropiada; el desarrollo de instrumentos específicos para proyectos de investigación orientados a resolver problemáticas concretas del sector; la necesidad de superar las brechas existentes en capital humano especializado y la de generar programas de formación que integren el modelo educativo dual⁶; y las restricciones regulatorias que dificultan el escalamiento de iniciativas piloto hacia aplicaciones comerciales. Surge el desafío de desarrollar estándares regionales de certificación, compatibles con regulaciones internacionales como requisito

⁶ Sistema que combina la formación teórica en un centro educativo con la experiencia práctica en una empresa o entorno laboral.

fundamental para facilitar tanto la integración regional como el acceso a mercados globales de exportación.

El financiamiento y las políticas públicas específicas para el sector también fue un tópico abordado donde se menciona la necesidad de aprovechar la diversidad de mecanismos nacionales existentes, junto con esquemas regionales que integren al sector privado y fondos de actores multilaterales. Por último, en el ámbito específico de la cooperación internacional, emergen como desafíos el desarrollo de alianzas académicas y profesionales estratégicas, el desarrollo de infraestructura cooperativa y la necesidad de contar con centros de formación especializados en eslabones específicos de la cadena de valor.

En materia de capital humano, las propuestas se estructuran en torno al desarrollo de sistemas integrales para medir y proyectar la demanda de talento especializado en el sector. La estrategia contempla la implementación de iniciativas diferenciadas para eliminar sesgos sistemáticos relacionados con género, edad y discapacidad, incorporando soluciones innovadoras de conciliación familiar que incluyen servicios como guarderías móviles en proyectos ubicados en zonas remotas.

Las recomendaciones regionales priorizan el establecimiento de redes especializadas de intercambio de conocimiento que faciliten la transferencia efectiva de mejores prácticas entre países. Estas redes operarían en conjunto con sistemas estandarizados de certificación de competencias y programas de micro-acreditaciones, diseñados para promover la movilidad profesional transfronteriza y el reconocimiento mutuo de calificaciones.

Se enfatiza en la necesidad de fortalecer la arquitectura institucional público-privada, propuesta que se complementa con estrategias comunicacionales segmentadas para abordar las necesidades específicas de tres audiencias clave: estudiantes en formación, trabajadores en procesos de reconversión laboral y comunidades territoriales donde se desarrollan los proyectos.

En desarrollo territorial, las recomendaciones priorizan la incorporación efectiva de recursos locales mediante acuerdos Estado-Privado que establezcan porcentajes mínimos obligatorios de contratación de recursos locales, así como la participación de mujeres en la cadena de valor, complementados con participación comunitaria estructurada que trascienda consultas formales para incorporar líderes territoriales en procesos decisorios genuinos. Las propuestas también sugieren marcos regulatorios con incentivos fiscales vinculados a objetivos territoriales mensurables y sistemas de cooperación regional que aprovechen organismos existentes para facilitar intercambio de metodologías y experiencias territoriales exitosas.

Los planes y certificaciones vinculados a la seguridad constituyen componentes fundamentales de los estándares operativos integrales. Estos marcos de seguridad

deben abarcar tanto los aspectos técnicos del personal como la certificación de equipos e infraestructura especializada, garantizando el cumplimiento de protocolos rigurosos en todas las dimensiones operativas. La implementación efectiva de estos estándares requiere la realización de estudios técnicos especializados y revisiones periódicas sistemáticas que aseguren el mantenimiento de las condiciones de seguridad a lo largo del ciclo de vida de los proyectos.

7. Prospectiva del Hidrógeno Verde en la Región

7.1. Investigación, Desarrollo e Innovación en Hidrógeno

7.1.1 Líneas de Investigación o trabajos a desarrollar

Según las cinco líneas prioritarias en el taller de identificación regional de oportunidades en I+D+i del ecosistema de H2V, y presentadas oportunamente en el Capítulo II, a continuación se toman como punto de partida para profundizarlas bajo un análisis prospectivo.

Integración del hidrógeno en la infraestructura de almacenamiento y transporte

Esta línea de investigación prioritaria se enfoca en el desarrollo de modelos de infraestructura compartida entre actores público-privados, reconociendo que aunque el concepto es estratégicamente valioso, presenta desafíos prácticos significativos en su implementación. Los requerimientos de infraestructura comprenden sistemas escalados para producir, transportar, almacenar y distribuir hidrógeno a gran escala como vector energético, demandando claridad sobre estructuración contractual, cumplimiento normativo y establecimiento de garantías operativas que pueden impactar incluso en aranceles tarifarios para blending regional.

La transferencia de conocimiento en esta área resulta crítica y puede estructurarse mediante programas train-the-trainers para desarrollo de capacitadores especializados, fortalecimiento de la alianza academia-industria-Estado como triple hélice fundamental, y capacitación especializada en aspectos de seguridad para el manejo seguro del hidrógeno. Se destaca el aprendizaje entre países sobre la estructuración de contratos y modelos de financiamiento compartido para infraestructura, área donde la experiencia regional es aún incipiente pero fundamental para el escalamiento sectorial.

Investigación, desarrollo e innovación para descarbonizar el sector agrícola: fertilizantes verdes y transporte cero emisiones

Esta área estratégica busca transformar el modelo económico regional, facilitando la transición desde la exportación tradicional de materias primas hacia la producción de bienes con alto valor agregado. Los requerimientos de infraestructura incluyen sistemas competitivos para implementación de amoníaco verde a gran escala, regulación del uso del suelo con garantías territoriales, y desarrollo de mecanismos legales articulados para regular hubs de hidrógeno especializados.

La transferencia de conocimiento podría priorizar la actualización de habilidades en el sector agrícola mediante capacitación especializada en manejo de fertilizantes verdes y sus propiedades específicas. Aunque la vinculación academia-industria-

gobierno muestra avances, requiere gobernanza y liderazgo claro para evitar duplicación de iniciativas y maximizar sinergias.

Fabricación de electrolizadores de gran capacidad

Esta línea prioriza la innovación en modelos financieros como elemento vital para el desarrollo industrial regional. La propuesta central contempla la creación de un "Banco Latinoamericano de Hidrógeno" que funcione como entidad facilitadora de financiamientos con costos módicos y canalice cooperación no reembolsable, siguiendo experiencias europeas exitosas pero adaptadas al contexto regional.

La transferencia de conocimiento enfrenta desafíos significativos debido a la poca vinculación actual entre sectores, caracterizada por la falta de financiamiento y la ausencia de mesas de coordinación efectivas. Se requiere una estrategia de formación integral que fortalezca el capital humano en horizontes de corto, mediano y largo plazo, reconociendo la dependencia crítica de energías renovables como requisito fundamental.

Uso del hidrógeno para descarbonizar sectores estratégicos

Los participantes identificaron aplicaciones específicas donde el H2V presenta ventajas competitivas claras, particularmente en industria minera y transporte forestal de carga pesada, sectores donde los requerimientos de autonomía, capacidad de carga y condiciones operativas extremas favorecen la viabilidad técnico-económica del H2V como vector energético. Los requerimientos de infraestructura incluyen sistemas especializados para estas aplicaciones industriales específicas, mientras que el financiamiento debe abordar inversiones significativamente mayores comparadas con alternativas convencionales.

En esta área, la transferencia de conocimiento se concentra en el desarrollo de competencias altamente especializadas para formación en seguridad para recarga de H2V y operación de equipos pesados en condiciones industriales extremas. La experiencia de proyectos piloto como los desarrollados en Chile para camiones mineros y el proyecto Walmart constituye una base valuable para replicación y adaptación regional.

Investigación, desarrollo e innovación para crear un hub tecnológico de metanol verde

Esta área demanda la articulación compleja de múltiples sectores industriales, incluyendo las industrias energética, de hidrógeno, forestal, química, de combustibles y marítima, representando un desafío estratégico para el desarrollo coordinado de cadenas de valor extendidas. Los requerimientos de infraestructura abarcan desde sistemas de captura de CO2 hasta producción de olefinas, requiriendo modelos

complejos que habiliten participación de diversas empresas en cadenas de valor extensas.

La transferencia de conocimiento revela limitaciones estructurales críticas, incluyendo articulación insuficiente entre sectores académico, productivo y gubernamental que impide sinergias efectivas. La baja demanda de I+D+i industrial explica la limitada vinculación empresa-academia regional, mientras que la escasa colaboración inter-empresarial para compartir programas y resultados entre industrias (forestal, química, combustibles, plásticos, energética, H2V) limita el desarrollo integral.

7.1.2 Políticas públicas de apoyo a la Investigación, desarrollo e innovación

Instrumentos

Los participantes del taller identificaron un conjunto diverso de mecanismos nacionales que han demostrado efectividad en sus respectivos contextos. Chile ha establecido un sistema integral que combina mecanismos de financiamiento de CORFO con la cooperación internacional, complementados por el Plan de Acción de H2V articulado con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Adicionalmente, el país ha implementado incentivos tributarios específicos para la I+D empresarial a través de su marco legal especializado. Por su parte, México ha desarrollado programas focalizados para PyMES en energías renovables, especialmente en paneles fotovoltaicos, respaldados por una hoja de ruta que estructura el desarrollo sectorial. Una propuesta particularmente innovadora surge de la experiencia de Perú y Colombia, quienes proponen replicar el mecanismo de "obras por impuestos" para financiar I+D+i en infraestructura e información para H2V, demostrando creatividad en la adaptación de instrumentos fiscales existentes.

El análisis prospectivo reveló la necesidad de desarrollar iniciativas regionales que trasciendan las fronteras nacionales. Se propone iniciar con pilotos colaborativos entre varios países para generar estudios de gran alcance, creando una masa crítica de conocimiento que beneficie a toda la región.

7.1.3 Marco regulatorio

En términos de armonización normativa, los participantes enfatizaron que los esfuerzos de normativización desarrollados por países pioneros deben ser capitalizados por otras naciones, promoviendo la homogeneización de estándares técnicos y regulatorios que facilite la integración regional. Las nuevas herramientas de política identificadas abarcan desde la simplificación de permisos y el establecimiento de directrices claras en habilitación ambiental, hasta la implementación de subvenciones e incentivos fiscales específicos para el H2V. Para hacer operativos estos instrumentos, se propone tanto el desarrollo de pilotos

colaborativos entre varios países, que permitan generar estudios de gran alcance, como la creación de organismos regionales con independencia política y de ciclos de gobierno, utilizando organizaciones como AECID y OLADE como puntos de partida para esta nueva institucionalidad especializada.

La regulación habilitante abordaría la infraestructura compartida, el riesgo de sobredimensionamiento mediante planificación coordinada, y el ordenamiento territorial con instrumentos dinámicos que respondan a las necesidades industriales en relación a las vigencias tradicionales de 5-10 años.

7.1.4 Financiamiento público-privado para el desarrollo de ideas y prototipos

Una propuesta innovadora que surgió contempla la creación de un "Banco de H2 LATAM" estructurado con módulo instrumental y subsedes distribuidas estratégicamente, inspirado en los modelos exitosos de H2 Global y el Banco Europeo de Hidrógeno pero adaptado a las realidades y necesidades específicas de América Latina. Este mecanismo regional funcionaría como banco de desarrollo especializado para el financiamiento integral del H2V, con capacidad de articulación directa con líneas de financiamiento existentes de la CAF, maximizando así las sinergias institucionales y la eficiencia en el despliegue de recursos.

La arquitectura financiera complementaria debe aprovechar instrumentos y articulaciones regionales consolidadas, desarrollando líneas de financiamiento especializadas a través de organizaciones como OLADE, que ya cuenta con experiencia sectorial y vínculos establecidos con los ministerios de energía de la región. Simultáneamente, la promoción estratégica del H2V en instituciones de integración regional como MERCOSUR, CELAC y SICA permitiría incorporar estas prioridades en agendas políticas de alto nivel y facilitar acuerdos de cooperación financiera entre bloques. Este sistema presenta la oportunidad de complementarse con el desarrollo de bienes públicos regionales a través del BID, particularmente enfocados en la creación de redes especializadas de investigadores en H2V y derivados, facilitando el acceso coordinado y eficiente a recursos internacionales de cooperación técnica y financiera para el desarrollo sectorial sostenible.

7.1.5 Cooperación internacional/regional

La cooperación regional se puede estructurar mediante alianzas estratégicas entre instituciones académicas y organizaciones profesionales, facilitando el intercambio de conocimientos y la formación de recursos humanos especializados. La creación de una alianza universitaria interregional permitiría potenciar la transferencia de conocimiento entre instituciones, mientras que el desarrollo de plataformas especializadas para el mercado laboral del H2V facilitaría la movilidad profesional y el aprovechamiento óptimo del talento regional. La integración con redes globales

se materializa a través de la participación en programas como Horizon Europe, aprovechando socios estratégicos europeos consolidados como CIEMAT y CSIC para acceder a ecosistemas de investigación de frontera.

El desarrollo de infraestructura cooperativa constituye el segundo pilar fundamental, contemplando la promoción coordinada de Hubs y Valleys especializados que optimicen recursos y generen sinergias territoriales. Esta estrategia debe complementarse con la creación de centros de formación especializados en eslabones específicos de la cadena de valor, distribuyendo capacidades técnicas según las ventajas comparativas de cada país. La capitalización sistemática de experiencias y proyectos piloto desarrollados a lo largo de la región permitiría acelerar curvas de aprendizaje y evitar duplicación de esfuerzos en el desarrollo tecnológico.

La integración sistémica de estas iniciativas requiere facilitar la movilidad fluida de investigadores y profesionales entre países, creando un mercado laboral regional dinámico que potencie el intercambio de mejores prácticas. Simultáneamente, el fortalecimiento de las interconexiones energéticas entre naciones facilitaría no solo el comercio de H2V, sino también la planificación coordinada de infraestructura a escala continental. Esta visión integral busca consolidar un ecosistema robusto de cooperación científico-tecnológica que posicione a América Latina como actor relevante en la economía global del H2V, maximizando las ventajas competitivas naturales de la región a través de la colaboración estratégica sostenida.

7.2 Capital Humano

7.2.1 Tendencias y proyecciones del sector y potenciales puntos de conflicto

El análisis prospectivo evidenció la necesidad crítica de desarrollar sistemas integrales de medición y proyección del capital humano sectorial. Los participantes identificaron como instrumento fundamental la estimación sistemática de demanda de capital humano enfocada tanto en el sector energético como en toda la cadena de valor del H2V, complementada necesariamente con la estimación de necesidades para servicios adyacentes del territorio que soportarán el desarrollo industrial. Esta aproximación integral requiere el desarrollo de estudios de demanda laboral sectoriales especializados y la implementación de mapeo detallado de perfiles y brechas competenciales.

Los potenciales puntos de conflicto identificados trascienden la simple competencia por talento, abarcando dimensiones estructurales más complejas que demandan intervenciones específicas. La atracción de talento joven y de mujeres para el sector energético requiere estrategias innovadoras que incluyan incentivos tributarios diferenciados para formación especializada, programas de mentoría y

transferencia de conocimiento que faciliten trayectorias profesionales en un sector emergente, y estrategias de difusión y promoción sectorial que posicionan al H2V como oportunidad profesional atractiva.

El desafío central radica en la eliminación sistemática de sesgos y estereotipos relacionados con género, edad y discapacidad, lo que emerge como factor crítico para ampliar la base de talento disponible. Esta transformación cultural requiere servicios de conciliación familiar especializados que incluyan guarderías móviles para proyectos en ubicaciones remotas, sistemas de transporte adaptados a las necesidades de trabajadores con responsabilidades familiares, y programas educativos flexibles que permitan combinar desarrollo profesional con obligaciones personales. Estas medidas resultan especialmente críticas en un sector que tradicionalmente ha estado masculinizado y que se desarrolla frecuentemente en territorios apartados de centros urbanos.

7.2.2 Medidas para satisfacer la demanda

La respuesta a las necesidades sectoriales demanda un enfoque integral de formación que trascienda las aproximaciones tradicionales. Los participantes priorizaron el desarrollo de programas de capacitación regionales con certificación homologada que permita movilidad profesional entre países, complementados con formaciones integrales que superen el enfoque exclusivo en H2V para asegurar futuras oportunidades de reinserción laboral. Los programas formativos deben incorporar desde el nivel de educación secundaria hasta superior un enfoque explícito de género, indígena y afrodescendiente, reconociendo las especificidades territoriales y culturales de América Latina.

Se sugiere estructurar la planificación curricular en torno a instrumentos de certificación flexibles y escalables. La certificación de competencias y micro acreditaciones constituyen mecanismos fundamentales para reconocer aprendizajes informales y facilitar trayectorias profesionales diversificadas. El marco de cualificación regional debería funcionar como estándar armonizado que facilite el reconocimiento mutuo entre países. Complementariamente, los programas de mentoría y transferencia de conocimiento deben catalizar la flexibilización curricular basada en nuevas demandas sectoriales, promoviendo metodologías de aprendizaje entre pares que aprovechen la experiencia regional.

7.2.3 Vinculación con el mercado de trabajo

La articulación efectiva entre oferta formativa y demanda laboral requiere institucionalidad especializada que facilite el diálogo permanente entre industria, academia y Estado. Se recomienda que las redes de capacitación y catálogos de profesionales e investigadores se complementen con el establecimiento de comités especializados de Capital Humano en Cámaras de Comercio, creando espacios

institucionalizados para la coordinación sectorial específica y la identificación temprana de necesidades emergentes. Esta vinculación presenta la oportunidad de materializarse a través de bolsas de trabajo conjuntas que articulen eficientemente oferta y demanda, integradas con modelos de aprendizaje con la industria que incluyan modalidades duales, programas de formadores especializados y sistemas de mentoring estructurado. La infraestructura compartida entre instituciones educativas y empresas optimiza inversiones en equipamiento costoso, mientras que los programas de pasantías especializados proporcionan experiencia práctica en condiciones reales. La identificación y desarrollo de competencias transversales al hidrógeno dentro del sector energético permitiría implementar competencias de fácil realización que generen resultados visibles en el corto plazo, construyendo confianza y momentum sectorial.

7.2.4 Convenios y acuerdos de cooperación

Los mecanismos de cooperación regional pueden estructurarse como sistema integrado que incluya asistencia técnica bilateral entre países, programas de intercambio de investigadores a nivel regional, y la creación de redes profesionales que faciliten movilidad interregional efectiva. La transferencia de capacidades especializadas y la facilitación de movilidad del capital humano requieren recursos específicos destinados a investigación y formación regional, respaldados por fondos coordinados que incentiven la cooperación sobre la competencia.

El fortalecimiento de la arquitectura institucional debe contemplar tanto el robustecimiento de organizaciones regionales existentes como la creación de nuevas estructuras especializadas. Se requiere un articulador regional con mirada global específicamente enfocado en H2V, operando como red regional neutral que articule propósitos comunes entre asociaciones existentes sin duplicar esfuerzos. Esta estructura debe funcionar como organismo robusto con visión colectiva de largo plazo, complementando y fortaleciendo planes de trabajo con organismos internacionales establecidos.

7.2.5 Cooperación internacional/regional y políticas públicas

Respecto a la gestión del conocimiento regional se recomienda estructurarse mediante sistemas que faciliten el intercambio sistemático de buenas prácticas a través de bancos especializados de experiencias exitosas. El desarrollo de redes de intercambio de conocimiento constituye elemento fundamental para crear comunidades de práctica que trasciendan eventos puntuales y se conviertan en plataformas permanentes de colaboración técnica especializada. La incorporación estratégica de mano de obra entre industrias diferentes constituye una aproximación de economía circular de personas que optimiza el aprovechamiento del capital humano existente, mientras que la formación de delegaciones especializadas para transferir conocimiento entre países debe complementarse con estas redes que faciliten el intercambio.

Los sistemas de calificación armonizados requieren la definición de catálogos regionales de cualificaciones basados en experiencia comparada, estableciendo marcos de referencia común que faciliten el reconocimiento mutuo de competencias entre países. Esta armonización debe incluir mecanismos ágiles de homologación de títulos y certificación de competencias que permitan movilidad profesional efectiva, evitando tanto la fuga de cerebros como el desperdicio de capacidades especializadas. La coordinación de sistemas de contratación entre diferentes países debe facilitar el aprovechamiento óptimo del talento regional mediante estándares técnicos compartidos y procedimientos expeditos de reconocimiento profesional.

La consolidación sectorial demanda una estrategia comunicacional integral de posicionamiento dirigida específicamente a estudiantes, trabajadores en transición y comunidad general, construyendo narrativas atractivas sobre las oportunidades profesionales en la economía del H2V. Se sugiere que este esquema se diferencie según audiencias: para estudiantes, enfatizando oportunidades de carrera y desarrollo profesional innovador; para trabajadores, destacando programas de reconversión y mejora salarial; para la comunidad general, comunicando beneficios territoriales y oportunidades de desarrollo local.

El fortalecimiento de espacios de articulación entre academia y sector productivo requiere institucionalidad permanente que facilite colaboración sistemática, más allá de consultorías puntuales. Estos espacios ofrecen la posibilidad de promover investigaciones conjuntas para actualizar programas de estudios y capacitación, asegurando que los contenidos formativos evolucionen al ritmo de las transformaciones tecnológicas sectoriales. La implementación de sistemas de estancias profesionales para intercambio de investigaciones aplicadas debe facilitar que académicos y profesionales de la industria compartan experiencias prácticas, enriqueciendo tanto la investigación universitaria como la innovación empresarial.

Se plantean estrategias de promoción sectorial que incluyan incentivos tributarios específicos para formación en H2V, programas de investigaciones conjuntas que mantengan la actualización permanente de contenidos formativos, y sistemas estructurados de estancias profesionales que faciliten intercambio bidireccional de conocimientos aplicados. La estrategia comunicacional de posicionamiento regional debe crear espacios permanentes de articulación entre academia y sector productivo, facilitando la evolución desde modelos educativos tradicionales hacia sistemas de competencias especializadas que respondan dinámicamente a las necesidades emergentes de la economía del H2V.

7.3 Desarrollo Territorial

7.3.1 Incorporación de recursos locales a la cadena de valor del Hidrógeno

La integración efectiva en cadenas de suministro puede priorizarse a través de la incorporación de recursos territoriales a cadenas de suministros existentes, aprovechando capacidades industriales y de servicios ya consolidadas en los territorios. Los pactos Estado-Privado (ejemplificados en el Pacto Magallanes) se recomiendan como instrumentos fundamentales para promover sistemáticamente oportunidades para proveedores locales mediante marcos regulatorios específicos. Esta estrategia convendría operacionalizar mediante el establecimiento de porcentajes mínimos obligatorios de servicios de proveedores locales en proyectos de H2V, complementados con porcentajes específicos para proveedoras mujeres, promoviendo emprendimientos territoriales que fortalecerán el tejido económico local y contribuirían a la equidad de género sectorial.

El desarrollo de capital humano territorial se sugiere como pilar fundamental para evitar modelos extractivos que generen enclaves industriales desconectados de realidades locales. La formación especializada de habitantes locales para participar en diferentes etapas del proyecto (construcción, operación, mantenimiento, servicios conexos) convendría complementarse con el establecimiento de porcentajes y cuotas efectivas de contratación local respaldadas por compromisos contractuales verificables. Se recomienda que las empresas asuman responsabilidad directa en capacitaciones de trabajadores y profesionales locales, mientras que el re-skilling de capacidades existentes permitiría alinear la experiencia territorial acumulada con requerimientos industriales específicos del H2V, optimizando el aprovechamiento del conocimiento local.

Se sugiere que la participación estructurada incorpore líderes comunitarios en procesos decisorios genuinos, trascendiendo consultas formales para establecer co-responsabilidad en el desarrollo territorial. Los beneficios directos a comunidades locales, como la utilización de H2V en sistemas energéticos aislados, demostrarían valor tangible de la industria para el territorio. El levantamiento de capacidades locales se sugiere basarse en necesidades informadas identificadas a través de diagnósticos participativos que reconozcan y valoren el conocimiento territorial existente, evitando imposición de modelos externos descontextualizados.

Los incentivos y regulación territorial podrían incluir incentivos fiscales o de seguridad social específicamente vinculados a cumplimiento de objetivos territoriales mensurables, complementados con incentivos fiscales condicionados al cumplimiento de porcentajes mínimos de contratación local. Las políticas de capacitación local obligatorias para empresas del sector asegurarían transferencia efectiva de conocimiento y desarrollo de competencias territoriales.

Respecto a la gobernanza y planificación territorial se recomienda estructurar mediante modelos de gobernanza que eviten dilución de responsabilidades entre niveles de gobierno, estableciendo líneas claras de autoridad y coordinación. La rendición de cuentas convendría incorporar explícitamente perspectivas de derechos humanos, género y otros aspectos sociales críticos. La incorporación en instrumentos de planificación gubernamental presenta la oportunidad de ser acompañados de planes de información gubernamental sistemática a comunidades sobre proyectos H2V en desarrollo, complementados con programas de economía circular y reciclado de residuos que integrarían sostenibilidad ambiental en la estrategia de desarrollo industrial territorial.

7.3.2 Procesos para estándares sociales y ambientales en proyectos

Se sugiere implementar mecanismos de consulta pública efectivos mediante aproximaciones integrales que incluyan información y educación sistemática sobre ventajas, impactos positivos y negativos, y desafíos asociados al desarrollo del H2V. La identificación rigurosa de actores territoriales clave - incluyendo representantes sindicales, profesionales, académicos e industriales - facilitaría procesos de validación social genuinos que construyan legitimidad duradera para los proyectos.

La institucionalización del diálogo territorial ofrece la posibilidad de materializarse a través de encuentros regionales especializados entre comunidades indígenas y afrodescendientes, aprovechando plataformas existentes como el Foro Regional sobre Empresas y Derechos Humanos de Naciones Unidas para intercambiar experiencias territoriales. Las herramientas digitales especializadas, incluyendo plataformas gratuitas de buenas prácticas de desarrollo territorial a nivel regional, facilitaría el aprendizaje mutuo y la replicación de experiencias exitosas entre territorios con características similares.

Respecto a los estándares operativos integrales, se recomienda que incorporen certificación rigurosa de seguridad para técnicos y equipos, complementada con planes de seguridad comprensibles y accesibles para toda la comunidad. Los estudios y revisiones periódicas de infraestructura garantizarían monitoreo permanente de condiciones operativas. A su vez, en el upskilling especializado para nuevas tecnologías convendría incluir la formación técnica con criterios explícitos de equidad e igualdad, estableciendo porcentajes mínimos de incorporación de mujeres, jóvenes y personas en situación de vulnerabilidad.

7.3.3 Marco normativo/regulatorio

Se sugiere que el marco regulatorio territorial facilite la instauración de incentivos fiscales diferenciados o beneficios de seguridad social específicamente vinculados al cumplimiento de objetivos territoriales mensurables. Los incentivos

fiscales con exigencia de porcentajes mínimos de contratación local convendría complementarse con políticas de capacitación local obligatorias para empresas del sector, asegurando transferencia efectiva de conocimiento y desarrollo de competencias territoriales.

La institucionalidad regulatoria se sugiere que incluya mecanismos específicos de prevención del no-pago a proveedores locales mediante normativas especializadas (siguiendo experiencias como la normativa chilena), implementación de modelos de gobernanza que eviten dilución de responsabilidades entre niveles de gobierno, y sistemas de rendición de cuentas que incorporen explícitamente perspectivas de derechos humanos, género y otros aspectos sociales críticos.

La planificación gubernamental integrada se recomienda incorpore explícitamente objetivos territoriales en instrumentos de planificación sectorial, complementada con planes de información gubernamental sistemática a comunidades sobre proyectos de H2V en desarrollo. Los programas de economía circular y reciclado de residuos territoriales convendría integrarlos como componentes fundamentales de la estrategia de desarrollo industrial sostenible.

7.3.4 Cooperación internacional/regional

La utilización estratégica de organismos y redes existentes permitiría aprovechar plataformas consolidadas como OLADE y el Consejo Empresarial para facilitar el intercambio sistemático de experiencias territoriales y mejores prácticas regionales, complementándolas con redes especializadas como REPIC que ya cuentan con experiencia en articulación territorial. Las mesas de trabajo multiactor regionales y el intercambio sistemático de experiencias entre gobiernos facilitarían aprendizaje mutuo sobre mejores prácticas de desarrollo territorial sostenible. Los encuentros especializados podrían incluir encuentros regionales entre comunidades indígenas y afrodescendientes para intercambiar experiencias específicas de participación en proyectos energéticos, aprovechamiento del Foro Regional sobre Empresas y Derechos Humanos de Naciones Unidas como plataforma consolidada, y encuentros territoriales para intercambiar experiencias operativas entre territorios con proyectos en diferentes fases de desarrollo.

Las herramientas digitales especializadas se sugiere contemplen el desarrollo de plataformas digitales gratuitas de buenas prácticas de desarrollo territorial a nivel regional, complementadas con sistemas de benchmark internacional que permitirían basar políticas territoriales en mejores prácticas existentes y facilitarían acceso a experiencias globales relevantes para contextos latinoamericanos específicos.

En las estrategias de reactivación territorial convendría posicionar al H2V como herramienta efectiva de reactivación económica de territorios en transición, respaldadas por comités especializados de desarrollo territorial que podrían contar

con apoyo técnico y financiero de cooperación internacional. La definición de sistemas de gobernanza regional para anclaje territorial efectivo se recomienda estructurar mediante institucionalidad que trascienda ciclos políticos nacionales y facilite continuidad en estrategias de largo plazo.

El intercambio metodológico sistematizado facilitaría el intercambio de enfoques y estrategias específicas de acercamiento a comunidades, documentando rigurosamente tanto experiencias exitosas como fracasos para facilitar aprendizaje regional. La identificación explícita de qué funcionó y qué no funcionó en experiencias previas, complementada con estrategias probadas de mitigación de impactos negativos durante fases de construcción, constituiría conocimiento público regional valioso. La asignación transparente y clara de presupuestos para todas las iniciativas territoriales garantizaría la predictibilidad y sustentabilidad de los compromisos gubernamentales y empresariales con el desarrollo territorial sostenible.

Conclusiones del Encuentro Regional de Hidrógeno Verde

- Los resultados del encuentro evidencian la madurez creciente del ecosistema regional de H2V, donde países como Chile, Uruguay, Colombia y México han avanzado significativamente en el desarrollo de marcos regulatorios específicos, mientras que la región en conjunto se posiciona como actor estratégico global con un potencial de producción estimado de entre 20-30 millones de toneladas para 2050.
- Líneas prioritarias identificadas: Integración de infraestructura de almacenamiento y transporte; Descarbonización del sector agrícola; Fabricación de electrolizadores de gran capacidad; Descarbonización de sectores estratégicos; Hub tecnológico de metanol verde.

Desafíos estructurales transversales

- Vinculación academia-industria-Estado deficiente: Insuficiencia de alianzas estratégicas que requieren liderazgos claros y gobernanza apropiada para evitar la duplicación de iniciativas.
- Brechas críticas en capital humano: Falta de especialización técnica que demanda programas formativos integrales con un modelo educativo dual en horizontes de corto, mediano y largo plazo.
- Limitaciones en financiamiento especializado: Ausencia de fondos de investigación orientados a problemáticas productivas concretas del sector.
- Restricciones regulatorias: Marcos normativos inadecuados que dificultan el escalamiento de iniciativas piloto hacia aplicaciones comerciales.

Conclusiones críticas

- Transporte y distribución como eslabón débil: Los participantes convergieron en identificar esta dimensión como la menos desarrollada de la cadena de valor del hidrógeno.
- Escalamiento industrial limitado: Los avances tecnológicos actuales no están permitiendo la transición esperada hacia aplicaciones comerciales masivas.
- Necesidad de transferencia de conocimiento estructurada: Desarrollo de programas de capacitación de capacitadores y capacitación especializada en seguridad resultan críticos para el desarrollo sectorial.
- Experiencia regional incipiente: Particular debilidad en estructuración de contratos y modelos de financiamiento compartido para infraestructura, área fundamental para el escalamiento.

El encuentro reveló que los principales obstáculos para la materialización del potencial regional en I+D+i de hidrógeno verde no son tecnológicos sino institucionales. La insuficiente vinculación academia-industria-gobierno y las brechas en capital humano especializado emergen como cuellos de botella más críticos que las limitaciones técnicas. El desarrollo sectorial requiere abordar simultáneamente deficiencias sistémicas en vinculación institucional, formación especializada y marcos regulatorios habilitantes, priorizando enfoques integrales sobre soluciones tecnológicas fragmentadas.

8. Reflexiones Finales

El Encuentro Regional de Hidrógeno Verde "Intercambio de experiencias sobre capital humano, innovación y territorio", celebrado entre el 22 y 24 de julio de 2025, constituyó un hito fundamental en la articulación de esfuerzos regionales para el desarrollo coordinado de la industria del H2V en América Latina. La participación de representantes de instituciones gubernamentales, organismos internacionales, academia, centros de formación técnica y sector privado de ocho países, generó un espacio de construcción colectiva de conocimiento que trasciende la mera transferencia de información para consolidar una visión estratégica compartida sobre el futuro del sector.

La metodología participativa implementada durante el encuentro demostró ser fundamental para construir consensos regionales e identificar prioridades compartidas. La combinación de análisis documental, inteligencia colectiva generada participativamente y procesamiento analítico permitió trascender diagnósticos superficiales para generar una comprensión integral de las dinámicas sectoriales y sus implicaciones para el desarrollo regional coordinado.

Los resultados del encuentro evidencian la madurez creciente del ecosistema regional de H2V, donde países como Chile, Uruguay, Colombia y México han avanzado significativamente en el desarrollo de marcos regulatorios específicos, mientras que la región en conjunto se posiciona como actor estratégico global con un potencial de producción estimado de entre 20-30 millones de toneladas para 2050. Sin embargo, el evento también reveló brechas críticas estructurales que requieren atención inmediata, particularmente en las dimensiones de capital humano especializado, articulación entre actores clave y desarrollo de capacidades tecnológicas propias.

El análisis del estado actual del H2V en América Latina revela una región posicionada estratégicamente para liderar la transición energética global, pero enfrentando desafíos significativos para materializar su potencial. El panorama cuantitativo regional muestra una brecha significativa entre capacidad instalada actual y proyecciones futuras. Mientras que América Latina representa apenas el 2% de la capacidad global instalada de electrolizadores, las proyecciones para 2030 indican un potencial del 13% de la capacidad mundial anunciada, equivalente a 70 GW. Esta disparidad ilustra tanto la oportunidad como el desafío que enfrenta la región para materializar sus ambiciones en el sector. Los costos de producción proyectados de entre 1.1-1.6 USD/Kg para 2030 contrastan con la realidad actual de 5-8 USD/Kg, evidenciando una brecha entre expectativas iniciales y condiciones operativas reales. Esta discrepancia subraya la necesidad de enfoques más pragmáticos, que consideren factores sistémicos como el costo capital de los electrolizadores, costos energéticos que no disminuyen como se proyectaba, y el impacto del riesgo país en el costo del crédito.

Capítulo II: Experiencias Sectoriales Centrales

Investigación, Desarrollo e Innovación: Brechas y Oportunidades Tecnológicas

Las experiencias compartidas en materia de I+D+i revelan disparidades significativas en la madurez tecnológica regional, donde países como España cuentan con ecosistemas consolidados que abarcan toda la cadena de valor, mientras que Chile identifica limitaciones críticas con pocos electrolizadores en territorio nacional y falta de bancos de prueba para formación técnica. Esta heterogeneidad representa tanto un desafío de nivelación como una oportunidad de cooperación, mediante la transferencia de conocimiento y especialización complementaria entre países.

Los debates técnicos evidenciaron que los avances tecnológicos actuales no están permitiendo el escalamiento industrial esperado, identificándose tres factores críticos que impiden incrementar la competitividad: el costo capital de los electrolizadores; el costo energético que no disminuye, pese a la mayor penetración de energías renovables, debido a costos sistémicos de transición; y el costo del crédito relacionado con el riesgo país. Esta realidad contrasta marcadamente con las proyecciones iniciales, mucho más optimistas y demanda una recalibración de las expectativas sectoriales.

El taller de identificación regional priorizó cinco tecnologías críticas para el desarrollo sectorial, que incluyen: la integración del hidrógeno en infraestructuras de almacenamiento y transporte; aplicaciones específicas en descarbonización agrícola mediante fertilizantes verdes; fabricación de electrolizadores de gran capacidad; descarbonización de sectores estratégicos como minería y transporte forestal; y desarrollo de hubs tecnológicos de metanol verde. Esta priorización refleja un enfoque pragmático que busca aprovechar las ventajas competitivas regionales.

Desarrollo Territorial: Hacia una Transición Energética Justa

La dimensión territorial emergió como un factor crítico para garantizar la legitimidad social y sostenibilidad de largo plazo de los proyectos de H2V. La presentación sobre empresas y derechos humanos estableció que los derechos humanos constituyen el "piso" de la transición energética, no su techo, requiriendo aplicación sistemática de los Principios Rectores de la ONU con sus tres pilares: deber estatal de proteger; responsabilidad empresarial de respetar mediante diligencia debida; y acceso a la reparación para personas afectadas.

Los conversatorios revelaron que aproximadamente el 50% de los territorios con mayor potencial para las energías renovables coinciden con áreas de histórica actividad minera, heredando conflictos sociales no resueltos que las comunidades asocian con experiencias negativas de desplazamiento e impactos ambientales. Esta problemática coincidencia geográfica demanda estrategias específicas de

relacionamiento que trasciendan los modelos tradicionales de compensación hacia esquemas genuinos de participación en la creación de valor. Las experiencias exitosas presentadas, como proyectos de energía solar que otorgan tierras a comunidades indígenas para cultivo destinado a autoconsumo y exportación, plantean que las comunidades pueden ser consideradas como socias en el desarrollo y no solamente receptoras pasivas de beneficios.

El taller sobre estándares de reconversión con participación ciudadana analizó cinco tipos de infraestructura con potencial para su reconversión, identificando que la misma trasciende las dimensiones técnicas y requiere de un enfoque integral que articula seguridad operativa, economía circular, participación temprana permanente, gobernanza multiactor, y mecanismos de financiamiento innovadores. Esta aproximación integral resulta fundamental para transformar infraestructuras existentes en activos compatibles con la economía del H2V.

Capital Humano: El Desafío Formativo Regional

La formación de capital humano constituyó el eje temático que reveló las brechas estructurales más críticas para la viabilidad sectorial. Las presentaciones evidenciaron sistemas formativos heterogéneos, mientras que algunos países reconocieron la ausencia de políticas específicas en formación energética especializada.

Los estudios de demanda laboral proyectan requerimientos significativos. Por ejemplo, en Chile, se han identificado déficits particularmente elevados en educación media técnico-profesional con brechas que van desde 9.000 hasta más de 15.000 personas según diferentes escenarios de crecimiento. Esta demanda contrasta con las limitadas capacidades formativas actuales y revela la urgencia de desarrollar programas especializados que respondan a requerimientos sectoriales específicos.

La iniciativa regional de la Alianza Pacífico sobre proyección de perfiles y competencias laborales verdes reveló un contexto desafiante donde el 31.3% de trabajadores están subcalificados y existe un 49% de informalidad laboral. El desarrollo de un catálogo con competencias y perfiles distribuidos en sectores verdes demuestra importantes avances en la estandarización, aunque su implementación efectiva requiere una articulación más robusta entre sistemas educativos y demandas industriales.

Los conversatorios sobre construcción de estándares y marcos de cualificación identificaron instrumentos fundamentales para articular educación y trabajo, incluyendo medición de brechas de capital humano, estandarización de competencias como fase previa a la capacitación, y certificación de competencias para reconocer los aprendizajes informales. La alta receptividad industrial

evidenciada en experiencias como el proyecto Power to X en Chile sugiere oportunidades significativas para la colaboración efectiva entre la academia y el sector productivo.

La dimensión de género emergió como un factor diferenciador crítico, que trasciende la equidad para impactar directamente en la calidad y la efectividad de las intervenciones formativas. El estudio pionero presentado sobre brechas de género reveló paradojas significativas: mientras el 65% de empresas implementan políticas de contratación inclusiva, el 80% de las trabajadoras considera que quienes usan políticas de conciliación enfrentan obstáculos para las promociones. Las barreras estructurales identificadas, incluyendo las faenas remotas –incompatibles con responsabilidades familiares– y la cultura masculinizada, demandan soluciones innovadoras como guarderías móviles y sistemas de selección sin sesgos.

Capítulo III: Prospectiva Regional: Hacia una Estrategia Integrada

La visión prospectiva construida colectivamente durante el encuentro establece tres dimensiones estratégicas fundamentales para el desarrollo regional coordinado del H2V. En I+D+i, se profundizó sobre las líneas de investigación priorizadas por los participantes y presentadas en el Capítulo II, que van desde la integración de infraestructuras de almacenamiento y transporte hasta la creación de hubs tecnológicos de metanol verde.

Los elementos transversales identificados en todas las áreas tecnológicas revelaron desafíos estructurales comunes que deben abordarse: el fortalecimiento de la vinculación y transferencia de conocimiento, y de la interacción entre la academia-industria-Estado; el desarrollo de instrumentos específicos para proyectos de investigación orientados a resolver problemáticas concretas del sector; la necesidad de superar las brechas existentes en capital humano especializado; y las restricciones regulatorias que dificultan el escalamiento de iniciativas piloto hacia aplicaciones comerciales. La convergencia regional en estos desafíos sugiere oportunidades significativas para soluciones colaborativas que optimicen recursos y aceleren el desarrollo conjunto.

Las iniciativas regionales contemplan el desarrollo de pilotos colaborativos entre países para estudios de gran alcance, la creación del "Banco de Hidrógeno Latinoamericano" con subsedes distribuidas estratégicamente, y la coordinación regional de la planificación energética de largo plazo. La armonización normativa incluye tanto el aprovechamiento de los esfuerzos ya realizados por parte de los países pioneros, como la simplificación regulatoria mediante directrices claras en habilitación ambiental.

La cooperación regional se estructura como un sistema integrado que incluye las alianzas académicas estratégicas, la creación de una alianza universitaria

interregional, el desarrollo de plataformas especializadas para el mercado laboral del H2V, y la integración con redes globales a través de programas como Horizonte Europa.

El desarrollo de infraestructura cooperativa contempla la promoción coordinada de Hubs y de economías de aglomeración especializadas, la creación de centros de formación distribuidos según las ventajas comparativas de cada país, y la capitalización sistemática de experiencias y proyectos piloto regionales para acelerar las curvas de aprendizaje colectivo.

Las ideas incorporan lecciones fundamentales de la experiencia europea adaptadas a las realidades latinoamericanas específicas. Los elementos diferenciadores incluyen la integración de clusters industriales mediante co-localización estratégica, desarrollo de estructuras de asociación público-privada, simplificación regulatoria mediante ventanillas únicas, creación de mercados garantizados a través de mandatos industriales, y la alineación temprana con estándares internacionales.

La experiencia europea demuestra que la cooperación sistemática acelera el desarrollo sectorial y reduce significativamente los costos. Al pensar en la adaptación regional, debería contemplarse complementariamente las limitaciones financieras y técnicas específicas de América Latina.

Las propuestas de capital humano se estructuran mediante sistemas integrales de medición y proyección de demanda laboral especializada, estrategias para eliminar sesgos de género y edad, y servicios innovadores de conciliación familiar. Las recomendaciones incluyen redes regionales de intercambio de conocimiento, sistemas de certificación de competencias y micro-acreditaciones que faciliten la movilidad profesional regional efectiva.

Respecto al desarrollo territorial, las acciones priorizan la incorporación de recursos locales mediante acuerdos Estado-Privado con porcentajes mínimos obligatorios de contratación local y participación de mujeres en la cadena de valor. Los marcos regulatorios contemplan incentivos fiscales vinculados a objetivos territoriales mensurables y sistemas de cooperación regional que aprovechen a los organismos existentes, como OLADE y el Foro Regional sobre Empresas y Derechos Humanos, para facilitar intercambio de metodologías territoriales exitosas.

Los logros efectivos en el sector a nivel regional dependerán, fundamentalmente, de la capacidad para estructurar modelos sólidos de vinculación público-privada que faciliten la transferencia efectiva de conocimiento y tecnología. Esto requiere desarrollar enfoques pragmáticos que maximicen el impacto de los recursos disponibles y generen valor tangible para todos los actores involucrados. La armonización normativa y la simplificación regulatoria constituyen condiciones habilitantes esenciales para atraer inversión privada de manera sostenida.



Paralelamente, la creación de marcos inclusivos que incorporen de manera efectiva la participación local permite fortalecer la legitimidad y viabilidad de las iniciativas. En este contexto, la cooperación sistemática entre actores públicos y privados emerge como el factor diferenciador fundamental que puede determinar el éxito de las iniciativas. La integración efectiva de estas dimensiones complementarias será determinante para que la región pueda materializar su potencial competitivo en la economía global del H2V, posicionándose como un actor relevante en esta transición energética.

9. Recomendaciones Estratégicas para la Acción Regional

El Encuentro Regional de H2V logró construir una visión estratégica compartida que reconoce tanto las oportunidades como los desafíos estructurales que enfrenta América Latina en su transición hacia la economía del H2V. Los consensos alcanzados y las recomendaciones formuladas constituyen una hoja de ruta fundamentada para la acción coordinada regional, que requiere implementación decidida y sostenida para materializar el potencial transformador de esta industria emergente en beneficio del desarrollo sostenible e inclusivo de la región.

Uno de los aspectos identificados versa sobre la necesidad de crear un esquema de institucionalidad regional especializada que trascienda ciclos políticos nacionales y facilite continuidad en estrategias de largo plazo. La propuesta de organismos regionales con independencia política, utilizando plataformas existentes como puntos de partida, refleja consenso sobre la importancia de coordinación supranacional para optimizar recursos y evitar duplicación de esfuerzos.

La armonización normativa regional emerge como prerequisite fundamental para el desarrollo sectorial integrado, requiriendo capitalización de esfuerzos de normativización entre países pioneros y desarrollo de estándares técnicos compartidos que faciliten la integración comercial y tecnológica. Esta armonización debería acompañarse de una simplificación regulatoria mediante directrices claras en habilitación ambiental y permisos estructurados que aceleren la implementación de proyectos.

Adicionalmente, la cooperación internacional se estructuraría como un sistema integrado que incluya asistencia técnica bilateral, programas de intercambio de investigadores, y creación de redes profesionales que faciliten la movilidad interregional. El fortalecimiento de interconexiones energéticas regionales debe complementar esta cooperación técnica para facilitar comercio de H2V y la planificación coordinada de infraestructura.

Además de las recomendaciones que surgieron en el taller, se aconsejan los siguientes esquemas de cooperación regional:

Se sugiere propiciar la expansión de la cadena de valor del hidrógeno con el desarrollo de un sistema regional integrado, que se asemeje al modelo de la industria autopartista, donde cada país se especialice en los segmentos donde potencie sus ventajas competitivas. Esta especialización inteligente, permitiría a los países enfocarse en la producción primaria de H2V, el desarrollo de componentes críticos como electrolizadores avanzados o sistemas de almacenamiento, hubs de distribución y logística internacional, y/o aplicaciones de valor agregado como acero verde, amoniaco o metanol. Las orientaciones son interdependientes y su complementariedad regional puede exponenciar las eficiencias locales,

reduciendo los costos de desarrollo, acelerando la curva de aprendizaje colectiva y el fortalecimiento de la integración regional. La coordinación de políticas, estándares técnicos y marcos regulatorios serían fundamentales para asegurar la interoperabilidad del sistema y generar las economías de escala necesarias.

A su vez, se recomienda el desarrollo de un Observatorio Regional de Prospectiva Tecnológica del H2V que funcione como una antena de vigilancia tecnológica y análisis de tendencias globales, lo que facilitaría el monitoreo sistemático de patentes, publicaciones científicas, proyectos piloto y desarrollos comerciales a nivel mundial, creando mapas de ruta tecnológicos que guíen las decisiones de política pública e inversión privada. Esta instancia técnica especializada permitiría a la región anticiparse a los desarrollos tecnológicos emergentes, identificar ventanas de oportunidad y orientar las decisiones de inversión en investigación y desarrollo hacia las tecnologías más prometedoras. Funcionaría como plataforma de análisis prospectivo para evaluar el impacto de tecnologías disruptivas en la cadena de valor del H2V, facilitando la planificación estratégica a largo plazo y la coordinación de esfuerzos regionales de I+D+i.

10. Referencias Bibliográficas

- AECID. (2025). Encuentro regional de hidrógeno verde: Intercambio de experiencias sobre capital humano, innovación y territorio. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Banco Mundial. (2024). Chile Hydrogen Development Finance Facility Project (Report No. P180736). World Bank Group.
- H2LAC. (2024). IEA Global Hydrogen Review 2024: Regional Outlook for Latin America and the Caribbean. H2LAC Platform. <https://h2lac.org/en/industry/iea-global-hydrogen-review-2024-regional-outlook-for-latin-america-and-the-caribbean/>
- International Energy Agency. (2023). Hydrogen in Latin America: From near-term opportunities to large-scale deployment. OECD/IEA. <https://www.iea.org/reports/hydrogen-in-latin-america>
- International Energy Agency. (2024a). Global Hydrogen Review 2024. OECD/IEA. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>
- International Energy Agency. (2024b). World Energy Investment 2024. OECD/IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2024>
- Ministerio de Energía de Chile. (2020). Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Gobierno de Chile.
- Ministerio de Energía de Chile. (2023). Plan de Acción Nacional de Hidrógeno Verde 2023-2030. Gobierno de Chile. <https://www.planhidrogenoverde.cl/>
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2021). Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia. Gobierno de Colombia.
- Organización Latinoamericana de Energía. (2025). Nota Técnica N° 9: Perspectivas del hidrógeno bajo en emisiones en América Latina y el Caribe. OLADE. <https://www.olade.org/publicaciones/nota-tecnica-n-9-perspectivas-del-hidrogeno-bajo-en-emisiones-en-america-latina-y-el-caribe/>