

Estándares de Sostenibilidad para la regulación del Mercado de Hidrógeno

Estudio de Certificación de Hidrógeno

Autores:

Ana Ángel

Juan Sebastián Márquez

Editores:

Cecilia Correa Poseiro

Eric Fernando Boeck Daza

Federico Goldenberg López

Michelle Hallack

División de Energía

NOTA TÉCNICA N°

IDB-TN-02522

Agosto 2022

Estándares de Sostenibilidad para la regulación del Mercado de Hidrógeno

Estudio de Certificación de Hidrógeno

Autores:

Ana Ángel

Juan Sebastián Márquez

Editores:

Cecilia Correa Poseiro

Eric Fernando Boeck Daza

Federico Goldenberg López

Michelle Hallack

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Ángel, Ana.

Estándares de sostenibilidad para la regulación del mercado de hidrógeno: estudio de certificación de hidrógeno / Ana Ángel, Juan Sebastián Márquez; editores, Cecilia Correa Poseiro, Eric Fernando Boeck Daza, Federico Goldenberg Lopez, Michelle Hallack.

p. cm. — (IDB Technical Notes; 2522)

1. Hydrogen as fuel-Certification. 2. Renewable energy sources-Certification-Latin America. 3. Sustainable development-Economic aspects-Latin America. 4. Clean energy industries-Latin America. I. Márquez, Juan. II. Correa, Cecilia, editora. III. Boeck, Eric, editor. IV. Goldenberg, Federico, editor. V. Hallack, Michelle, 1983-, editor. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. VII. Título. VIII. Serie. IDB-TN-2522

Resumen

Este estudio tiene el objetivo de discutir los principales sistemas de certificación de origen para hidrógeno y sus derivados reconocidos en el mundo que, a la fecha de esta publicación, se encuentran operativos o en fases desarrollo. Considerando que los sistemas de certificación contienen un conjunto de reglas y procedimientos para estandarizar sus procesos y atributos asociados, en este trabajo se realiza una identificación de las principales características que un esquema de certificación de hidrógeno puede tener.

JEL Codes: N76, Q42, O54, Q40, Q55

Palabras clave: Certificación, descarbonización, energía renovable, hidrógeno, hidrógeno verde, regulación, transición energética

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2022] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



BOGOTÁ • BUENOS AIRES • BRUSSELS • PARIS • SANTIAGO • BEIJING



Estándares de Sostenibilidad para la regulación del Mercado de Hidrógeno

Estudio de Certificación de Hidrógeno

Autores:
Ana Angel
Juan Sebastián Marquez

Editores:
Cecilia Correa Poseiro
Eric Fernando Boeck Daza
Federico Goldenberg Lopez
Michelle Hallack

Preparado para:



Julio 2022

CONTENIDO

Definiciones importantes	6
Resumen ejecutivo.....	8
1. Relevancia de la certificación del hidrógeno.....	12
2. Características principales de los esquemas de certificación de hidrógeno ..	14
Atributos.....	15
Manejo de los atributos.....	16
Verificación de cumplimiento	20
Etiquetas	21
3. Esquemas de certificación de hidrógeno a nivel internacional.....	22
3.1 Esquemas de certificación de carácter voluntario/privados	26
3.1.1 CertifHy®	26
3.1.2 TÜV SÜD Estándar CMS 70.....	32
3.1.3 TÜV Rheinland Estándar H2.21: Hidrógeno Carbono Neutro.....	35
3.1.4 Zero Carbon Certification Scheme de Australia	37
3.1.5 Green Hydrogen Standard (GH2).....	38
3.1.6 ISCC.....	40
3.2 Esquemas de certificación oficiales / gubernamentales.....	41
3.2.1 Unión Europea (en desarrollo)	42
3.2.2 Estados Unidos (en desarrollo)	42
3.2.3 Australia (en desarrollo)	43
3.2.4 Prefectura de Aichi (Japón): Sistema de Certificación de Hidrógeno Libre de CO ₂	45
3.3 Esfuerzos de armonización internacional.....	46
3.3.1 International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE)	46
4. Regulaciones que impulsarán la certificación de hidrógeno.....	49
5. Perspectivas para la adopción de certificación de hidrógeno en LAC	55
5.1 Habilitar exportaciones de hidrógeno	55
5.2 Facilitar la divulgación en los mercados locales voluntarios	58
5.3 Verificar cumplimiento en los mercados locales regulados	59
6. Conclusiones.....	62
7. Anexos.....	68

Anexo 1. Regulaciones Internacionales que crean la necesidad de certificar el hidrógeno	68
7.1.1 Unión Europea	70
7.1.1.1 RED II y su propuesta de revisión (RED III)	70
7.1.1.2 RCDE UE y propuesta de revisión	73
7.1.1.3 FuelEU Maritime.....	74
7.1.1.4 Mecanismo de Ajuste de las Emisiones de Carbono en las Fronteras (CBAM)	75
7.1.2 Estados Unidos	76
7.1.2.1 Clean Hydrogen Production tax credit	76
7.1.2.2 Low Carbon Fuel Standard (LCFS) de California	77
7.1.2.3 Oregon Clean Fuels Program	80
7.1.2.4 Washington Clean Fuel Standard (en desarrollo)	82
Anexo 2. Sistemas de Certificación de Energía Renovable	82
Green Power Certificates (Japón)	83
I-REC	83
Esquema EcoGox de XM, Colombia	84
Sistema de certificación de energías renovables en Uruguay	84
7. Referencias	86

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Principales componentes de un sistema de certificación de hidrógeno.	15
Figura 2. Clasificación de los límites de contabilidad de emisiones de GEI.	17
Figura 3. Diagrama explicativo del esquema de identidad preservada.	17
Figura 4. Diagrama explicativo del esquema de segregación.	18
Figura 5. Diagrama explicativo del esquema de balance de masa.	19
Figura 6. Diagrama explicativo del esquema de Book and Claim.	20
Figura 7. Escala de calificación del Etiquetado de Eficiencia Energética Europeo.	22
Figura 8. Ejemplos de sellos de sostenibilidad de otros productos	26
Figura 9. Clasificación del hidrógeno del esquema CertifHy®.	27
Figura 10. Fases de Desarrollo de CertifHy®.	29
Figura 11. Esquema de GO de CertifHy® e interrelación con la Directiva RED II.	32
Figura 12. Proceso de certificación de hidrógeno bajo el estándar TÜV SÜD.	33
Figura 13. Procedimiento de la certificación y acreditación Green Hydrogen Standard	39
Figura 14. Actividades principales del proyecto H2PA Task Force del IPHE.	48
Figura 15. CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism.	53
Figura 16. Rangos de intensidad de carbono de diferentes combustibles incluidos en el LCFS y objetivos del LCFS para 2020 y 2030.	79
Figura 17. Estándares de Intensidad de Carbono para sustitutos de la gasolina (línea verde) y del diésel (línea gris) para el Oregon Clean Fuels Program.	81

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Esquemas de certificación de hidrógeno a nivel internacional (a noviembre de 2021). Fuente: elaboración propia. CFP	25
Tabla 2. Plataforma de Partes Interesadas de CertifHy®.	29
Tabla 3. Límites de emisiones permisibles para las certificaciones de hidrógeno electrolítico y no electrolítico bajo el esquema TÜV SÜD.	34
Tabla 4. Requerimientos de reducción de emisiones de GEI para la certificación para hidrógeno conforme con RED II para el estándar TÜV Rheinland.	37
Tabla 5. Equipos de trabajo para el desarrollo de metodología de contabilidad de emisiones de GEI.	48
Tabla 6. Implicaciones para el hidrógeno y sus derivados en la Unión Europea	51
Tabla 7. Gobernanza para adopción de esquema de certificación de hidrógeno destinado a la exportación.	57
Tabla 8. Posibles roles del gobierno nacional dentro de un esquema de certificación nacional de hidrógeno con fines de verificación de cumplimiento con regulaciones	62

Tabla 9. Requerimientos regulatorios internacionales para la certificación de hidrógeno (a noviembre de 2021)..... 69

Tabla 10. Principales características de RED II y su propuesta de revisión (RED III). 71

GLOSARIO

CARB: *California Air Resources Board*

CBAM: *Carbon Border Adjustment Mechanism*, o Mecanismo de Ajuste de Emisiones de Carbono en las Fronteras

CE: Comisión Europea

CCS: *Carbon Capture and Storage*, o Captura y Almacenamiento de Carbono

CCU: *Carbon Capture and Utilization*, o Captura y Uso de Carbono

CCUS: *Carbon Capture Use and Storage*, o Captura, Uso y Almacenamiento de Carbono

CFP: *Clean Fuels Program* del estado de Washington

CH₄: Gas Metano.

CO₂: Dióxido de Carbono

DEQ: *Department of Environmental Quality* del estado de Washington.

ER: Energía Renovable

ETS: *Emissions Trading System*, o Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea

ESG: *Environmental, Social and Governance Criteria*, o Criterios Ambientales, Sociales y de Gobernanza

EUA: *European Union Carbon Allowances*, o Derechos de Emisión de la Unión Europea

GLP: Gas licuado de petróleo

GNC: Gas natural comprimido

GNL: Gas natural líquido

GEI: Gases de Efecto Invernadero

IC: Intensidad de Carbono

ISCC: *International Sustainability and Carbon Certification*, o Certificación Internacional de Sostenibilidad y Carbono.

LAC: Latinoamérica y el Caribe

LCFS: *Low Carbon Fuel Standard* de California

N₂O: Dióxido de Nitrógeno

PCF: *Product Carbon Footprint*, o Huella de Carbono del Producto

PPA: *Power Purchase Agreement*, o Acuerdo de Compra de Energía

RCDE: Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea

REC: *Renewable Energy Certificate*, o Certificado de Energía Renovable

RED: *Renewable Energy Directive*, o Directiva de Energía Renovable

RFNBO: *Renewable Fuels of Non-Biological Origin*, o combustibles renovables de origen no biológico)

RSC: Responsabilidad Social Corporativa

TI: Tecnología de Información

UE: Unión Europea

DEFINICIONES IMPORTANTES

Adicionalidad: Se refiere a garantizar que la electricidad renovable usada para producir hidrógeno provenga de una instalación de energía nueva. La adicionalidad se establece con el objetivo de evitar que los productores de combustibles, como por ejemplo el hidrógeno, desplacen la energía renovable de otros sectores; aumentando las emisiones de combustibles fósiles, en lugar de incentivar la producción adicional de energía renovable. En otras palabras, se busca que la producción de combustibles renovables no compita con la generación de electricidad para la red, sino que se haga a partir de nuevas plantas nuevas (adicionales).

Correlación temporal: Es un criterio que establece que la electricidad que se usa para la producción de hidrógeno se consuma en el mismo marco temporal durante la cual se genera en virtud del contrato de compra de energía renovable (PPA). Los marcos de tiempo se pueden establecer como días, horas o minutos.

Correlación geográfica: Es un criterio que establece que la electricidad utilizada para la producción de hidrógeno tenga que producirse a cierta proximidad de la planta productora de hidrógeno. Su intención principal es limitar la medida en que la producción de hidrógeno contribuye a la necesidad de capacidad adicional de la red, para así evitar la exacerbación de los cuellos de botella existentes en las redes de transmisión, distribución y transporte a causa de la producción de hidrógeno.

Derivado: A lo largo de este reporte se hace referencia a los derivados del hidrógeno los cuales se consideran como productos producidos a partir de hidrógeno tales como el amoníaco, el metanol o los electrocombustibles.

Electrocombustibles: O *e-fuels*, son combustibles sintéticos fabricados con hidrógeno producido por electrólisis del agua usando fuentes renovables de energía eléctrica y dióxido de carbono capturado, generalmente, u otras fuentes de carbono.

Garantía de Origen (GO): Es un documento comercializable que etiqueta el origen de un producto y proporciona información a los clientes sobre la fuente origen de sus productos. Las GO funcionan como un sistema de seguimiento que garantiza la calidad de un producto como por ejemplo el hidrógeno o la electricidad. Un esquema GO desacopla el atributo “verde” del flujo físico del producto.

Hidrógeno de bajo carbono: Si bien no hay una definición consensuada a nivel internacional de lo que es el hidrógeno de bajo carbono, a lo largo de este reporte se hace referencia al hidrógeno de bajo carbono como aquel producido a partir de fuentes de energía no renovable, pero de bajo carbono (como energía nuclear), a través de combustibles fósiles con un acoplamiento a sistemas de CCUS, o de cualquier otro proceso que resulte en emisiones significativamente menores a

las del hidrógeno producido por métodos convencionales (reformado de metano a vapor).

Hidrógeno gris: A lo largo de este reporte se hace referencia al hidrógeno gris como aquel producido a partir de combustibles fósiles sin sistemas de CCUS.

Hidrógeno verde: A lo largo de este reporte se hace referencia al hidrógeno verde como aquel producido a partir de fuentes de energía renovable.

Off-taker: Comprador o cliente para el hidrógeno o la energía eléctrica.

PPA: *Power Purchase Agreement*, o Acuerdo de Compra de Energía. Es un acuerdo de suministro de electricidad a largo plazo entre dos partes, generalmente entre un productor de energía y un cliente; el cual puede ser un consumidor final o comerciante de electricidad. El PPA define las condiciones del acuerdo, como lo es la cantidad de electricidad que se suministrará, los precios negociados, la contabilidad y las sanciones por incumplimiento. Dado que se trata de un acuerdo bilateral, un PPA puede adoptar muchas formas y generalmente se adapta a la aplicación específica.

RFNBO: Siglas en inglés de *Renewable Fuels of Non-Biological Origin*. Según la Directiva de la Unión Europea 98/70/EC, son combustibles líquidos o gaseosos, distintos de los biocombustibles cuyo contenido energético procede de fuentes de energía renovables distintas de la biomasa. Incluyen el hidrógeno renovable, los electrocombustibles que contienen carbono y productos industriales como los productos químicos sintéticos.

Sistema TIC: Es un sistema de comunicación que permite compartir recursos e intercambiar y compartir información.

RESUMEN EJECUTIVO

La transición energética global nos ha embarcado en un cambio de paradigma. Ya no es solo la molécula en sí misma la que define el producto comercializable como antes ocurría en los mercados de gas, petróleo y petroquímicos. Ahora son los atributos ambientales asociados a esta molécula (por ejemplo, el tipo de materia prima, la intensidad de emisiones de GEI, el carácter renovable o no, entre otros) los que definen el producto.

El hidrógeno se puede producir de diversas maneras, usando tecnologías e insumos diferentes (renovables y no renovables), lo que resulta en niveles de emisiones y costos de producción que varían considerablemente. Por esta razón, se hace necesario contar con sistemas de certificación que permitan rastrear y certificar de dónde y cómo se produce el hidrógeno, identificando sus atributos ambientales asociados.

El desarrollo de esquemas de certificación de hidrógeno se encuentra aún en sus fases tempranas. Estos esquemas buscan, por un lado, proporcionar divulgación confiable de las características del producto al consumidor final, por ejemplo, para fines de responsabilidad social corporativa (RSC). Por otro lado, las certificaciones de hidrógeno se pueden utilizar como una herramienta de reporte y verificación para demostrar el cumplimiento de objetivos de energías renovables y/o reducción de emisiones. Adicionalmente, las certificaciones de hidrógeno habilitan la fijación de precios basada en la segmentación del mercado según sus atributos ambientales. Así cuanto más estrictos son los criterios impuestos por el marco regulatorio, o fijados voluntariamente en los mercados, mayor será el precio de la molécula.

Los sistemas de certificación del hidrógeno contienen un conjunto de reglas y procedimientos para estandarizar procesos de rastreo de certificación de sus atributos ambientales. El capítulo 3 presenta las principales características de un esquema de certificación de hidrógeno.

El capítulo 4 presenta diferentes esquemas de certificación de hidrógeno reconocidos en el mundo que, a la fecha redacción de este reporte (mayo de 2022), se encuentran operativos o en fases desarrollo. Se presentan tanto esquemas desarrollados por iniciativas privadas que operan en los mercados voluntarios, así como los avances a nivel de diseño y adopción de esquemas de certificación por parte de los gobiernos de algunos países para operar en los mercados regulados.

En este último caso, el impulsor para la adopción de esquemas de certificación de hidrógeno son evidentemente las políticas y las regulaciones climáticas y energéticas. Algunos ejemplos de estas regulaciones se presentan en el capítulo 5.

Finalmente, el reporte culmina (capítulo 6) con un análisis sobre las perspectivas de adopción de sistemas de certificación en la región de América Latina y el Caribe (LAC).

Los sistemas de certificación existentes en la actualidad difieren en elementos como su gobernanza (pública o privada), alcance geográfico, umbrales de emisiones de GEI, vías de producción elegibles y posibilidad de usar mecanismos de compensación.

Las definiciones de “hidrógeno verde” o “hidrógeno de bajo carbono” son diversas y no existe una definición armonizada a nivel global sobre la intensidad máxima de emisiones (umbral máximo) u otros atributos ambientales asignados a cada “tipo de hidrógeno”. Algunos gobiernos están definiendo esos umbrales máximos y otros criterios de sostenibilidad en sus políticas públicas y regulaciones, mientras que algunas iniciativas privadas han empezado a crear sus propias definiciones para el hidrógeno que se produce con ciertas características de sostenibilidad. De esta manera, el producto final (el hidrógeno) tiene ciertos atributos ambientales, los cuales son reconocidos por el sistema de certificación asociado.

Vale la pena destacar igualmente que, a la fecha de emisión de este reporte, no existe un estándar reconocido internacionalmente por parte de una organización de estandarización internacional para contabilizar las emisiones (u otros atributos ambientales) del hidrógeno. Un primer paso lo ha dado la organización internacional el *International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy* (IPHE), quien en 2021 desarrolló un marco analítico que armoniza las metodologías para calcular la huella de carbono de la producción del hidrógeno a nivel internacional, sin embargo, algunos aspectos como la asignación de emisiones en procesos con múltiples entradas y múltiples salidas aún están por ser definidas.

Si bien la metodología del IPHE podrá servir de base para la creación de nuevos esquemas de certificación, cabe destacar que este marco analítico no pretende dar orientación sobre los umbrales máximos de intensidad de las emisiones de GEI u otros parámetros de sostenibilidad, ya que esto seguirá siendo responsabilidad de cada país, según sus prioridades de política pública (IPHE, 2021).

Los certificados de origen de hidrógeno se introdujeron en 2019 en Europa a través de la implementación de CertifHy® bajo una coalición público-privada. Actualmente existen varios otros esquemas de certificación del hidrógeno desarrollados por iniciativas privadas que operan en los mercados voluntarios, tales como TÜV SÜD, TÜV Rheinland, GH2 y el Zero Carbon Certification Scheme. Estos esquemas han definido sus propias “etiquetas” para el hidrógeno, según sus propias

definiciones, tales como “hidrógeno verde”, “hidrógeno de carbono”, “hidrógeno carbono-neutro”, entre otras.

Estos esquemas de certificación que operan en los mercados voluntarios y sirven como herramienta de divulgación al consumidor pueden operar en varios países, ya que no dependen de ninguna regulación en particular (un ejemplo en el mundo de la electricidad renovable serían los certificados de I-REC). Si bien estos esquemas voluntarios generalmente son desarrollados y operados por entidades privadas, los gobiernos de los países de LAC pueden ser proactivos en su implementación mediante el desarrollo de mecanismos de creación de mercado, tales como el establecimiento de obligaciones de divulgación del origen de la producción del hidrógeno y la implementación de metas claras de penetración de hidrógeno verde o de bajo carbono en sectores específicos.

Ahora bien, para verificar cumplimiento con regulaciones y validar el acceso a incentivos o financiamiento público para el hidrógeno, los gobiernos de LAC podrán requerir el desarrollo o la adopción de esquemas de certificación de hidrógeno que sean reconocidos oficialmente (que tengan un aval de los gobiernos para demostrar cumplimiento con regulaciones). Estos deberán ser sistemas desarrollados u operados, o al menos avalados, por los gobiernos nacionales. El papel que puede desempeñar el gobierno nacional dentro de la gobernanza de estos esquemas es flexible: el gobierno podrá ser el dueño y operar el sistema, o podrá designar entidades públicas o privadas para diferentes roles.

Hoy en día no hay, todavía, ningún país en el mundo que tenga un esquema de certificación de hidrógeno con estas características (i.e. desarrollado, operado o avalado por el gobierno). La Unión Europea estableció un mandato que hará obligatoria la adopción de sistemas nacionales de garantía de origen para el hidrógeno en cada estado miembro.

En otros países también se han identificado ciertos avances. Australia es uno de los países que se encuentra más avanzado en la definición de su esquema oficial de certificación de hidrógeno. El gobierno australiano está trabajando de la mano con el IPHE (*Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*) para desarrollar las metodologías de contabilización de emisiones, y a la fecha de publicación de este reporte, se encuentra realizando pruebas piloto. Estados Unidos ha definido un umbral máximo de emisiones para lo que ellos denominan “Hidrógeno Limpio”, y a la fecha de emisión de este reporte se encuentra definiendo los requisitos, metodologías de contabilización de emisiones de GEI y procedimientos para la verificación de cumplimiento. Japón y Corea del Sur han manifestado sus intenciones de contar con sistemas de certificación de hidrógeno propios, pero aún no se han reportado avances significativos.

Latinoamérica todavía no cuenta con sistemas de certificación de hidrógeno propios de la región. Sin embargo, en varios países como Brasil, Chile, Colombia y Uruguay ya se ha comenzado a reflexionar al respecto.

Los esquemas de certificación de hidrógeno en LAC servirán 3 propósitos principales: habilitar las exportaciones de hidrógeno, facilitar divulgación en los mercados locales voluntarios, y verificar el cumplimiento con las regulaciones en los mercados regulados.

Para habilitar las exportaciones de hidrógeno, los países de LAC necesitan asegurarse de cumplir con los criterios establecidos por los consumidores en los países importadores en cuanto a los atributos del hidrógeno que estarán consumiendo. Para ello deberán: 1) Entender los requerimientos del mercado de exportación objetivo, 2) Seleccionar el esquema de certificación apropiado para adopción (uno que sea reconocido oficialmente por el país importador), 3) Establecer acuerdos bilaterales con el país importador, y 4) Asignar responsabilidades a actores públicos y privados localmente.

Para facilitar la divulgación en los mercados locales voluntarios, es posible que iniciativas privadas locales o internacionales se instalen en los países de LAC ofreciendo certificaciones de hidrógeno que operan en los mercados voluntarios, de la misma manera que hoy en día ocurre con algunas iniciativas de certificación de energías renovables.

Finalmente, para verificar cumplimiento con las regulaciones, otorgar acceso a incentivos, programas de financiamiento público u otros, los gobiernos de LAC deberán diseñar, adoptar, o por lo menos avalar esquemas de certificación de hidrógeno, que permitan dar trazabilidad y verificar el cumplimiento con los requisitos que hayan establecido en sus políticas públicas a nivel de las características que debe tener el hidrógeno para ser admisible.

1. RELEVANCIA DE LA CERTIFICACIÓN DEL HIDRÓGENO

América Latina ha comenzado su carrera para construir una industria del hidrógeno. Con una cartera de más de 25 proyectos en etapas de desarrollo (incluyendo varios en la escala de gigavatios para la exportación más allá de la región), estrategias de hidrógeno publicadas en 2 países (Chile y Colombia) y otras en desarrollo, como Argentina, Barbados, Bolivia, Brasil, Costa Rica, El Salvador, Panamá, Paraguay, Trinidad y Tobago y Uruguay, así como un interés creciente por parte del sector público y privado. Así, se considera que la región tiene un alto potencial de convertirse en un líder a nivel mundial en la producción y exportación de hidrógeno y ser un actor clave dentro de esta economía (IEA, 2021).

Un aspecto importante que determinará el éxito de la región para acceder a los mercados internacionales del hidrógeno está relacionado con el cumplimiento de los requerimientos a nivel de estándares de sostenibilidad que exigen los potenciales consumidores, quienes están estableciendo objetivos de reducción de emisiones cada vez más ambiciosos y esperan transparencia sobre la huella de carbono del hidrógeno que pueden comprar.

Las moléculas de hidrógeno son idénticas en sí, sin importar cuál sea su método de producción. Sin embargo, los costos y las emisiones de GEI asociadas a sus diferentes métodos de producción varían considerablemente entre uno u otro. Dicha variación se ve reflejada en una segmentación de los mercados del hidrógeno y en los diferentes precios que el consumidor está dispuesto a pagar: algunos compradores están dispuestos a pagar una prima sustancial por el hidrógeno que tenga un menor impacto ambiental, bien sea para cumplir con obligaciones impuestas por la regulación en sus territorios, o con sus propios objetivos a nivel de responsabilidad social corporativa dentro de un mercado voluntario.

De esta manera, es importante contar con esquemas de certificación que permitan rastrear y certificar de dónde y cómo se produce el hidrógeno, identificando sus atributos ambientales asociados (por ejemplo, las emisiones de GEI). La Agencia Internacional de la Energía en su reporte anual de hidrógeno de 2021 (IEA, 2021) recomienda establecer regímenes adecuados de certificación, normalización y regulación para el hidrógeno.

El desarrollo de esquemas de certificación de hidrógeno se encuentra aún en sus fases tempranas. Este reporte presenta diferentes esquemas de certificación de hidrógeno reconocidos en el mundo que se encuentran tanto en etapas de operación como en fases desarrollo a la fecha de emisión de este reporte (mayo de 2022). De igual forma, se describen varios ejemplos de regulaciones

internacionales que crean la necesidad de contar con esquemas de certificación de hidrógeno.

Hay dos **razones por las cuales se busca certificar el hidrógeno**, como también sus derivados, estas son:

- **Divulgación:** los certificados de hidrógeno se pueden utilizar en los mercados voluntarios para la divulgación confiable de las características del producto al consumidor final, por ejemplo, para fines de responsabilidad social corporativa (RSC), reputación u otras razones estratégicas. La sección 3.1 describe varios esquemas de certificación que sirven a este propósito.
- **Cumplimiento:** las certificaciones de hidrógeno se pueden utilizar como una herramienta de reporte y verificación para demostrar el cumplimiento de objetivos de energías renovables y/o reducción de emisiones GEI. Así, los sistemas de certificación deben respetar las normas y condiciones establecidas en las regulaciones pertinentes. En la sección 3.2 se presentan los avances en la adopción de este tipo de esquemas y en la sección 4 se explica cómo existen varias regulaciones a nivel internacional que impulsan la necesidad de contar con sistemas de certificación de sostenibilidad del hidrógeno para demostrar cumplimiento.

¿Qué beneficios aporta la certificación del hidrógeno?

Certificar el hidrógeno puede aportar diversos beneficios, tanto al productor como al consumidor. A continuación, se resumen algunos de ellos.

Formación de precios:

- Las certificaciones de hidrógeno permiten construir un indicador suficientemente armonizado y simple que permite la formación de mercados líquidos. De esta forma, las certificaciones **habilitan la fijación de precios basada en la segmentación del mercado** del hidrógeno según sus diferentes atributos ambientales como, por ejemplo, una prima de precio por la reducción de la huella de carbono.

Financieros:

- Acceso a incentivos tributarios como exenciones, deducciones, bonificaciones o reducciones fiscales.
- Reducción en el número de derechos de emisión que debe comprar una empresa en virtud de un régimen de comercio de derechos de emisión

aplicable (como ejemplo , ver [numeral 7.1.1.2 del Anexo 1](#) sobre el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea).

- Acceso a subsidios o programas especiales de financiamiento climático nacional e internacional.

Cumplimiento:

- Contribución con el cumplimiento de obligaciones de comprar, usar o vender un cierto porcentaje de combustibles o energéticos de fuentes renovables o de bajas emisiones de carbono.
- Contribución con el cumplimiento de obligaciones de reducir las emisiones agregadas de GEI por debajo de un umbral especificado.

Acceso a mercados:

- La posibilidad de vender en ciertos y/o nuevos mercados o jurisdicciones sostenibles (en los que no es permitido vender hidrógeno gris o combustibles fósiles).

Reputacionales:

- Contribución con criterios Ambientales, Sociales y de Gobernanza (ESG, por sus siglas en inglés) y de RSC.
- Trazabilidad, transparencia y confianza para el consumidor final

2. Características principales de los esquemas de certificación de hidrógeno

Los esquemas de certificación del hidrógeno contienen un conjunto de reglas y procedimientos para estandarizar procesos para el rastreo y la certificación de sus atributos ambientales (por ejemplo, el tipo de materia prima, la intensidad de GEI, el carácter renovable o no, entre otros). La Figura 1 presenta, de manera general, los principales componentes involucrados en un esquema de certificación de hidrógeno, los cuales se describen subsecuentemente.

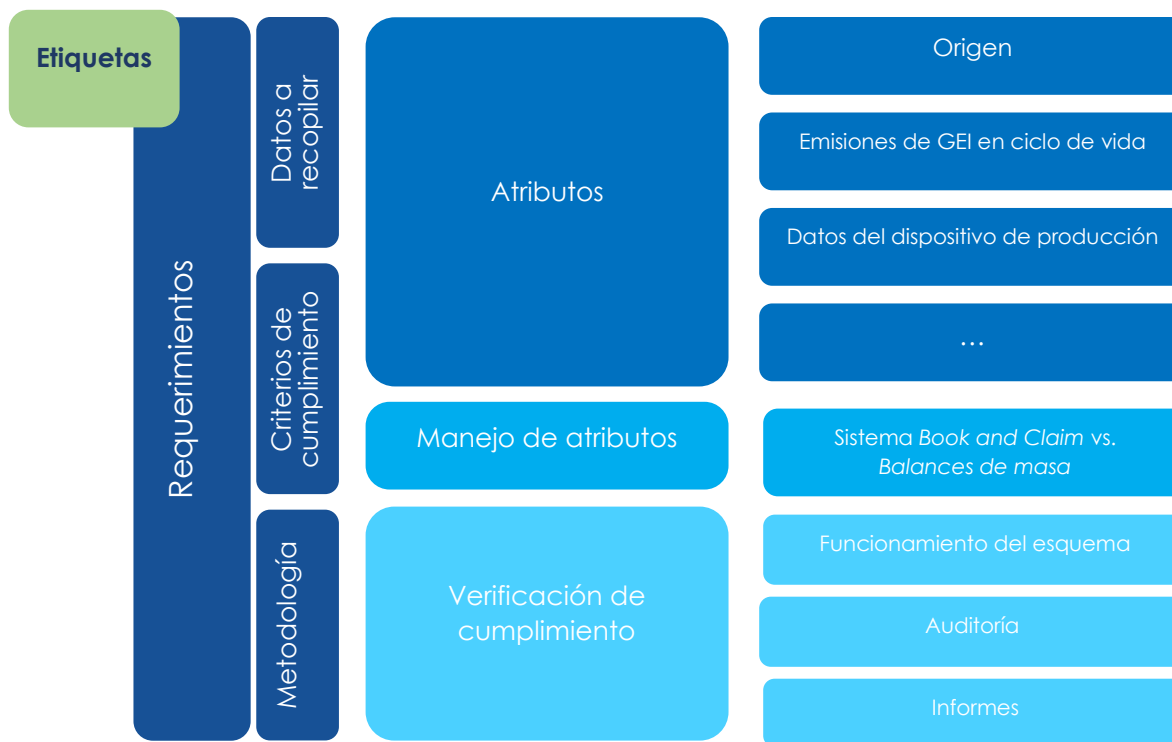


Figura 1. Principales componentes de un sistema de certificación de hidrógeno.
Fuente: Elaboración propia

Atributos

Se trata de las características del hidrógeno que se desea certificar. Estos podrían incluir:

Origen: Insumo utilizado para producir el hidrógeno. Por ejemplo: energía eléctrica renovable, gas natural, carbón, energía nuclear, residuos, entre otros.

Huella de carbono: Intensidad de emisiones de GEI asociadas a la producción de hidrógeno. Por ejemplo: kilogramos de CO₂ generados por kilogramo de hidrógeno producido, o en kilogramos de CO₂ por Mega Joule.

Datos del dispositivo de producción: Incluyen la tecnología de producción (por ejemplo, tipo de electrolizador, reformador de metano a vapor, gasificador, etc.), la ubicación geográfica de la planta, entre otros aspectos.

Renovabilidad de la energía: Condiciones para considerar la energía eléctrica de la red como renovable, emulando una trazabilidad física del electrón. Estas pueden incluir, por ejemplo:

- **Garantías de origen:** Exigencia de posesión de un certificado de garantía de origen (documento comercializable) que demuestre que la electricidad usada para la producción del hidrógeno procede de una fuente renovable.
- **Adicionalidad.** Garantizar que la electricidad renovable comprada provenga de una nueva instalación de energía renovable. La adicionalidad se establece con el objetivo de garantizar que la electricidad utilizada por el electrolizador que produce hidrógeno sea renovable y que no desvíe la producción actual de electricidad renovable de otros usos.
- **Correlación temporal.** Que la electricidad utilizada para la producción de hidrógeno se consuma en el mismo marco temporal durante el cual se genera la electricidad renovable suministrada, en virtud de un contrato de compra de energía renovable (PPA). Los marcos de tiempo se pueden establecer como días, horas o minutos.
- **Correlación geográfica.** Que la electricidad renovable utilizada para la producción de hidrógeno tenga que generarse a una cierta proximidad de la planta de producción de hidrógeno. La intención principal es limitar la medida en que la producción de hidrógeno contribuye a la necesidad de capacidad adicional de la red, y así evitar la exacerbación de los cuellos de botella existentes en las redes de transmisión, distribución y transporte por causa de la producción de hidrógeno.

Otros atributos: otros criterios de sostenibilidad podrían ser monitoreados, tales como el consumo de agua, el uso de ciertas materias primas, así como potenciales impactos sociales.

Manejo de los atributos

Define la forma de rastrear los atributos del hidrógeno. Por ejemplo, los límites de contabilidad de emisiones y la cadena de custodia. A continuación, abordaremos cada uno de estos conceptos para un mayor entendimiento.

Límites de contabilidad de emisiones: Son los límites del sistema en el que se evalúan las emisiones generadas y se contabilizan en los diferentes esquemas de certificación del hidrógeno (ver Figura 2). Los esquemas de certificación de hidrógeno generalmente tienen en cuenta las emisiones bien sea hasta el punto de producción o hasta el punto de uso.

- **Hasta el punto de producción:** considera las emisiones hasta la producción del hidrógeno. Es decir, aquellas generadas desde la etapa inicial para la obtención de la materia prima, así como cualquier cambio en el uso de la tierra; seguido por los insumos de energía para la producción de la molécula, en donde se tiene en cuenta la intensidad de emisiones del energético

utilizado, y finalizando con las emisiones generadas por las tecnologías de producción y acondicionamiento, es decir, antes de que el hidrógeno sea transportado hacia el usuario final.

- **Hasta el punto de uso:** le agrega a aquellas emisiones hasta el punto de producción, todas las emisiones generadas durante las etapas de almacenamiento, transporte, distribución y uso del hidrógeno.

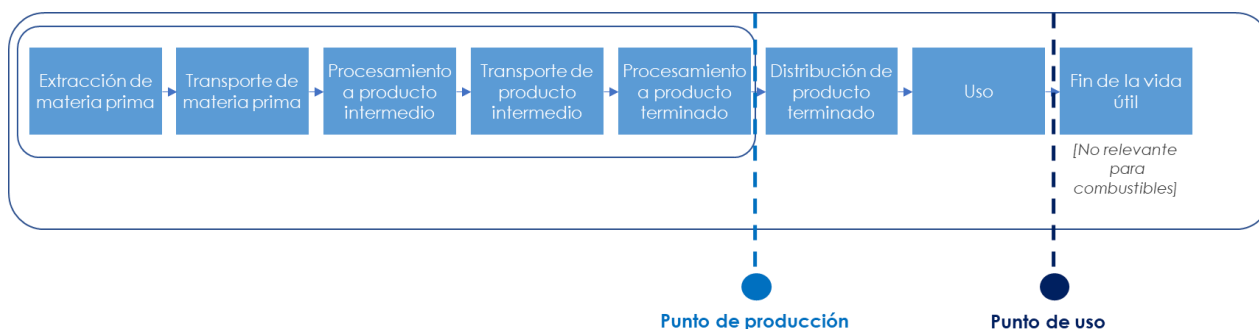


Figura 2. Clasificación de los límites de contabilidad de emisiones de GEI.

Fuente: Adaptado de Norma ISO14067.

Cadena de custodia: es la documentación cronológica o rastro en papel que registra la secuencia de custodia, control, transferencia, análisis y disposición del hidrógeno, en donde se incluye una evidencia física o electrónica. Los principales métodos que existen para ello son:

- **Identidad preservada:** Es un enfoque en el cual los productos certificados se separan físicamente de los no certificados a lo largo de la cadena de suministro, ya sea en tiempo o en lugar. Además, se puede trazar el origen a un productor determinado.

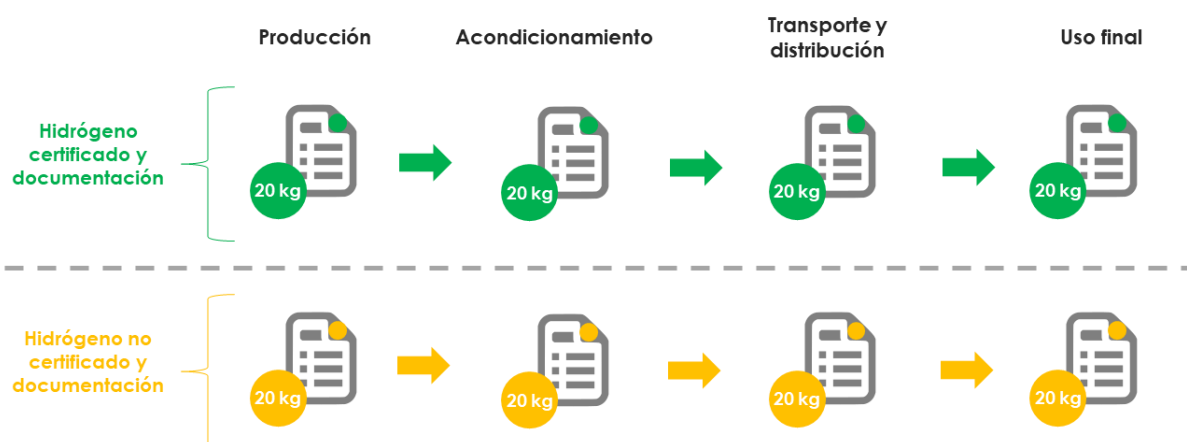


Figura 3. Diagrama explicativo del esquema de identidad preservada.

Fuente: elaboración propia con base en (Iseal Alliance, 2016)

- **Segregación:** Es un enfoque similar al de identidad preservada, en el cual los productos certificados se separan físicamente de los no certificados. Sin embargo, la diferencia radica en que no se tiene como objetivo proporcionar una trazabilidad del origen del producto, por lo que este puede provenir de diferentes productores.

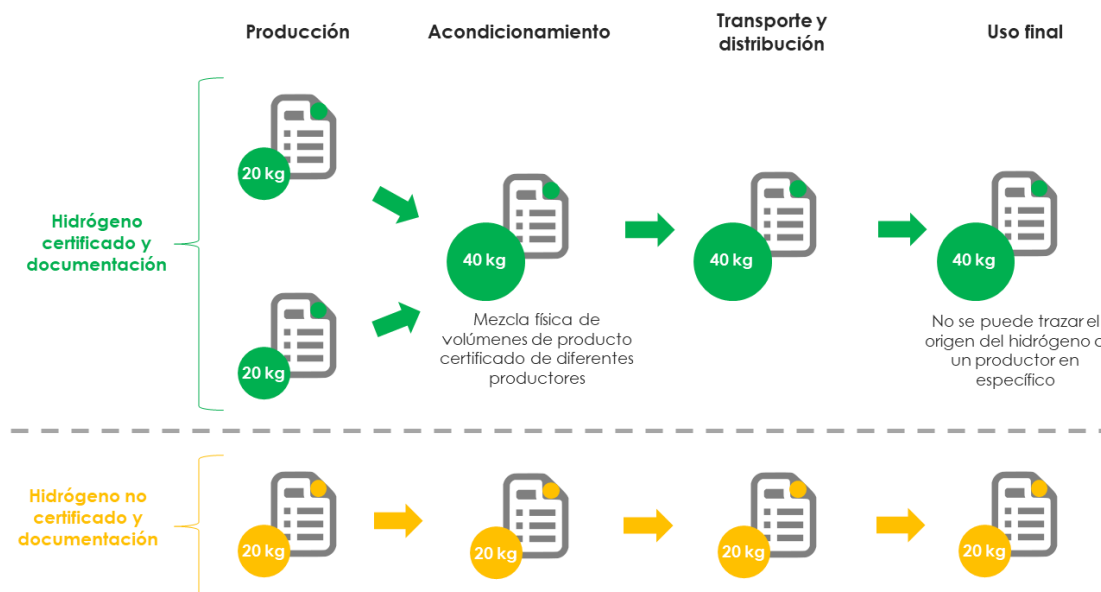


Figura 4. Diagrama explicativo del esquema de segregación.
Fuente: elaboración propia con base en (Iseal Alliance, 2016)

- **Balance de masa:** Permite mezclar "partidas de materias primas o combustibles con diferentes características de sostenibilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero" (Unión Europea, 2018). En este caso, el hidrógeno renovable se mezcla con hidrógeno producido a partir de otras fuentes. Dentro de este enfoque, el hidrógeno debe ser rastreado en cada una de las etapas de la cadena de suministro, sin la necesidad de que los compradores y los vendedores estén conectados a la misma red. Además, bajo este esquema, se permite la inyección de hidrógeno verde a las redes de gas natural si y solo si se asegura que la masa de hidrógeno verde certificado que ingresa a la red es equivalente a la masa que sale de ella.

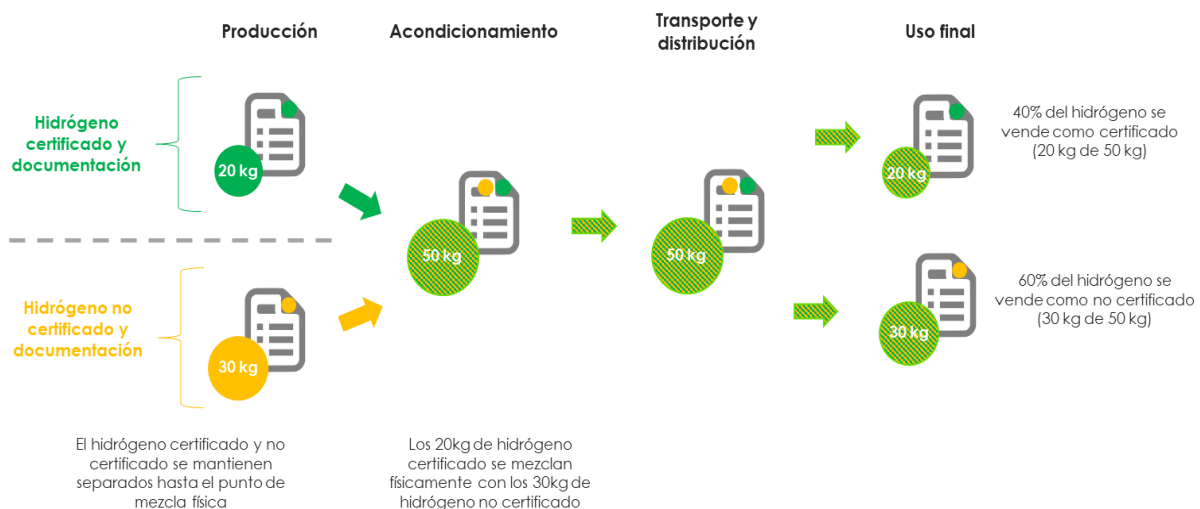


Figura 5. Diagrama explicativo del esquema de balance de masa.
Fuente: elaboración propia con base en (Iseal Alliance, 2016)

- **“Book and Claim”:** Permite asignar los atributos relacionados con una unidad de producto a cualquier otra unidad de producto dentro de un perímetro geográfico (por ejemplo, país, UE, o el mundo). Bajo este esquema, el hidrógeno proviene de productores ya certificados y se permite que estos asignen las características del hidrógeno certificado a cualquier bache de producto, sin la necesidad de supervisar la cadena de valor. En consecuencia, las moléculas de hidrógeno verde y las garantías de origen o los certificados se pueden comercializar de forma independiente, sin la necesidad de realizar una trazabilidad física entre ellas.

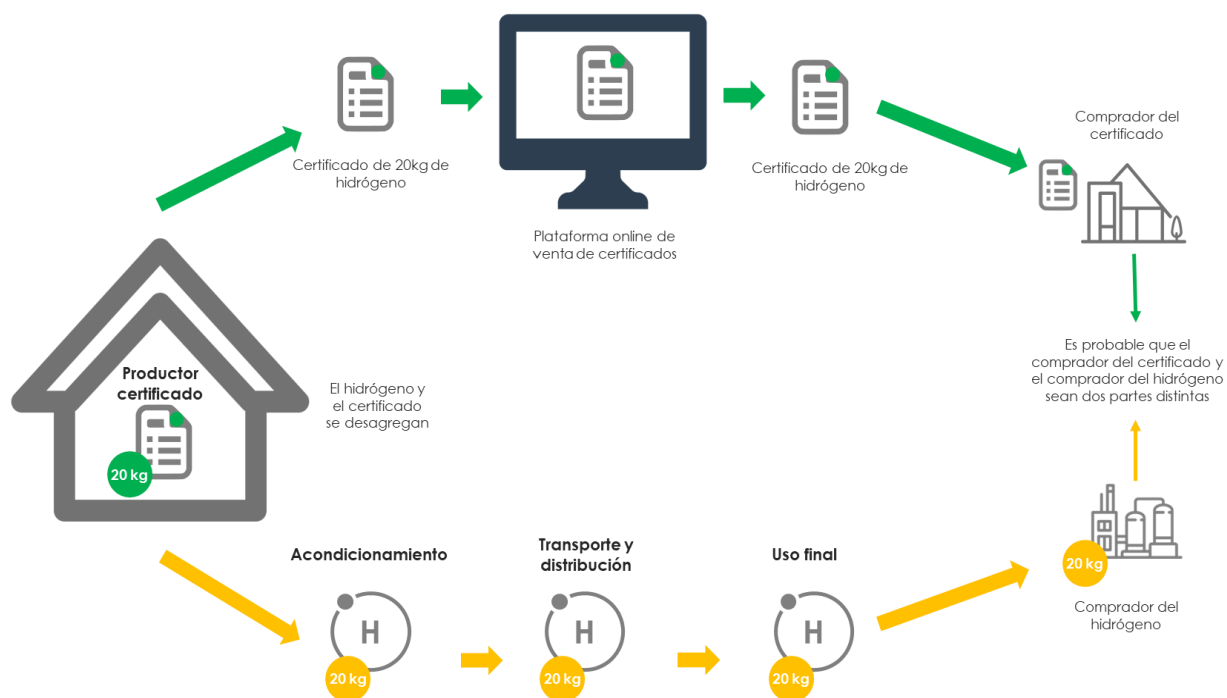


Figura 6. Diagrama explicativo del esquema de Book and Claim.
Fuente: elaboración propia con base en (Iseal Alliance, 2016)

En la práctica, los enfoques Book and Claim y de Balance de Masa son los que se utilizan con mayor frecuencia en la comercialización de commodities, dado que los esquemas de Identidad Preservada y Segregación suponen un gran esfuerzo, en términos de tiempo y dinero, para mantener la separación física entre los productos certificados y no certificados, así como asegurar la entrega de productos certificados al comprador y llevar la trazabilidad necesaria a lo largo de toda la cadena.

El esquema Book and Claim resulta más conveniente para los mercados internacionales, dado que permite que los compradores reciban los productos de manera más conveniente (por ejemplo, de un proveedor con mayor cercanía geográfica), pero sin dejar de asegurar la certificación de su compra. Esto reduce los costos y las complejidades en la organización de la cadena de suministro y permite un fácil comercio de mayores volúmenes de productos sostenibles. Para que estos sistemas funcionen correctamente, es necesario un sistema de monitoreo, un mercado de certificaciones y un registro centralizado. Al mismo tiempo, este sistema es más vulnerable al fraude, especialmente cuanto mayor es el alcance geográfico y el número de compradores y vendedores.

Verificación de cumplimiento

Un organismo de certificación debe realizar la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos en el sistema de certificación. Un organismo de auditoría

cualificado con experiencia relevante puede verificar el cálculo de las emisiones de GEI. El proceso de verificación consta de dos partes; la verificación de los documentos y la verificación en el lugar de producción. Todos los documentos deben estar disponibles antes de la auditoría para garantizar un proceso de verificación sólido.

- **Verificación de la documentación:**

Los productores de hidrógeno deberán facilitar toda la información y los documentos pertinentes antes de la auditoría de la planta. Esto incluye y no se limita a los datos de entrada, los factores de conversión, los cálculos de las emisiones de GEI, los valores estándar, cualquier información sobre la aplicación de créditos de ahorro de emisiones de GEI y cualquier evidencia de toda la información proporcionada. La auditoría puede ser realizada por una agencia de verificación de terceros.

- **Verificación del sitio de producción:**

El auditor externo informará in situ de las emisiones de GEI observadas y verificará los documentos presentados anteriormente. Esta auditoría incluye la verificación in situ de los parámetros de producción hidrógeno como la pureza y la presión del hidrógeno. Los proyectos de producción de hidrógeno deben tener equipos para medir estos parámetros y tener un certificado de calibración dentro del período de validez.

Dicha auditoría deberá realizarse al menos después de cualquier cambio en el proceso de producción o cambios en la materia prima utilizada.

Etiquetas

Además de la hoja de datos (*data sheet*), las certificaciones de hidrógeno generalmente entregan etiquetas tales como “hidrógeno verde”, “hidrógeno cero-carbono”, “hidrógeno bajo carbono”, entre otras. Cada esquema de certificación define sus etiquetas en función de los criterios que considere pertinentes. La manera de establecer estas etiquetas puede ser:

- **Aprobado/Reprobado.** El etiquetado es binario, es decir, o se obtiene la etiqueta o no se obtiene. Por ejemplo, CertifHy® etiqueta el hidrógeno como “hidrógeno verde” e “hidrógeno bajo carbono” solo si la intensidad de carbono de su producción es menor a 36.4 g CO₂ eq. / MJ H₂. De lo contrario no se obtiene ninguna etiqueta (ver Figura 9).

- **Escala de calificación:** Se otorga la etiqueta en función de una escala de calificación. Por ejemplo, las etiquetas de eficiencia energética en Europa califican los equipos en términos de un conjunto de clases de eficiencia energética de la A a la G en la etiqueta, siendo A la más eficiente desde el punto de vista energético y G la menos eficiente (ver Figura 7). Para el caso del hidrógeno, no existe hoy ningún esquema de certificación que utilice este sistema de escala de calificación. Este podría plantearse como una escala de umbrales de emisiones donde la mejor etiqueta fuera el menor umbral (por ejemplo, A: $>0.45 \text{ kg CO}_2\text{e /kg H}_2$), y las etiquetas subsecuentes fueran umbrales un poco mayores (por ejemplo, B: $0.45\text{-}1.5 \text{ kg CO}_2\text{e /kg H}_2$, C: $1.5\text{-}2.5 \text{ kg CO}_2\text{e /kg H}_2$, etc.)

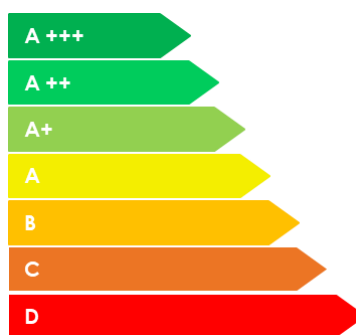


Figura 7. Escala de calificación del Etiquetado de Eficiencia Energética Europeo.

3. Esquemas de certificación de hidrógeno a nivel internacional

Esta sección describe los diferentes esquemas de certificación de hidrógeno conocidos en el mundo, tanto en operación como en desarrollo, a la fecha de emisión de este reporte (junio 2022). Estos esquemas cubren diferentes ámbitos y utilizan diferentes referencias y umbrales. Esto implica, por ejemplo, que la definición de hidrógeno verde no esté unificada y que el producto final, el hidrógeno verde, tenga diferentes atributos ambientales dependiendo del esquema de certificación asociado.

El desarrollo de esquemas de certificación de hidrógeno se encuentra aún en sus fases tempranas. Los certificados de hidrógeno se introdujeron en 2019 en Europa a través de la implementación de CertifHy®, una coalición público-privada que entrega certificados de hidrógeno denominados “garantías de origen”.

Entre los esquemas identificados, se encontraron algunas iniciativas privadas que buscan certificar hidrógeno con propósito de divulgación, para productores y consumidores que deseen contar con certificaciones de manera voluntaria. Los

esquemas de TÜV SÜD¹, TÜV Rheinland², el Zero Carbon Certification Scheme³ y el GH2⁴ que se presentan en esta sección tienen este propósito.

Otros esquemas son de carácter público. Estos buscan actuar como sistemas oficiales de certificación de hidrógeno para mantener registros nacionales de emisiones derivadas de la producción de hidrógeno. Un ejemplo de ello es el sistema de garantías de origen del Gobierno Australiano, actualmente en desarrollo, que se presenta en esta sección. Japón y Corea del Sur han manifestado sus intenciones de contar con sistemas de certificación de hidrógeno propios, pero aún no se han reportado avances significativos. Por su parte, la Directiva de Energía Renovable RED II de la Unión Europea⁵ estableció un mandato que hará obligatoria la adopción de sistemas nacionales de garantía de origen para el hidrógeno en cada estado miembro. Algunos estados miembros están trabajando con CertifHy® para la adopción de su estándar para la contabilización de emisiones, sus reglas y procedimientos, o inclusive para adoptar CertifHy® como organismo emisor de los certificados.

Por su parte, la Comisión Europea se está preparando para lanzar una base de datos a escala de la UE para certificar la huella de carbono del hidrógeno y otros combustibles bajos en carbono de forma armonizada (Euractiv, 2021).

Si bien **no se cuenta con un esquema global de certificación de hidrógeno**, la organización internacional el *International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*, **IPHE desarrolló una propuesta metodológica y un marco analítico armonizados para determinar las emisiones de GEI relacionadas con una unidad de hidrógeno producido** (IPHE, 2021), **la cual podrá servir de base para un sistema de certificación a nivel internacional**. Sin embargo, este marco analítico no proporciona orientación sobre los valores umbral de intensidad de las emisiones de GEI, ya que esto seguirá siendo responsabilidad de cada país (IPHE, 2021). Es claro que **contar con terminologías y umbrales de emisiones comunes facilitaría el comercio internacional de hidrógeno**.

¹ <https://www.tuvsud.com/en/press-and-media/2020/february/tuev-sued-provides-greenhydrogen-certification>

² <https://www.tuv.com/landingpage/en/hydrogen-technology/main-navigation/certification-%E2%80%9Cgreen-hydrogen%E2%80%9D/>

³ <https://smartenergy.org.au/zero-carbon-certification-scheme/>

⁴ <https://gh2.org/our-initiatives/gh2-green-hydrogen-standard>

⁵ https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules_en

La Tabla 1 presenta un análisis de las principales características de los esquemas de certificación de hidrógeno identificados en este estudio.

Tabla 1. Esquemas de certificación de hidrógeno a nivel internacional (a noviembre de 2021). Fuente: elaboración propia. CFP

Nombre del esquema (Estado de avance)	País de origen Alcance Geográfico	Carácter Ente administrador	Etiqueta	Umbral máximo de emisiones de GEI	Alcance de la contabilidad de emisiones	Métodos de producción de hidrógeno elegibles		
						Energía Renovable	Electricidad de la red	Combustibles fósiles + CCS
Certifhy (Finalizado)	Unión Europea	Público-Privado Certifhy	Certifhy H₂ Verde	Reducciones del 60% contra el H ₂ gris: 36,4 g de CO ₂ eq/MJ _{H2}	Punto de producción	Sí	Con Garantía de Origen (GO) de ER	No
			Certifhy H₂ Bajo Carbono	Reducciones del 60% contra el H ₂ gris: 36,4 g de CO ₂ eq/MJ _{H2}		Sí	Sí	Sí
FitÜV SÜD (Finalizado)	Alemania Global (aunque mayormente enfocado en Alemania y la UE)	Privado TÜV SÜD	TÜV SÜD Hidrógeno verde no electrolítico	Reducciones del 60% (balance de masa) y 80% (Book and Claim) contra el H ₂ gris	Punto de uso	No	No	No
			TÜV SÜD Hidrógeno verde electrolítico	Reducciones del 75% (balance de masa) y 90% (Book and Claim) contra el H ₂ gris		Sí	GO de ER en Alemania o equivalente	No
TÜV Rheinland (Finalizado)	Alemania Global (aunque mayormente enfocado en Alemania y la UE)	Privado TÜV Rheinland	TÜV Rheinland H₂ neutro en carbono	CFP ≤ 0 (mecanismos de compensación permitidos)	Límites definidos por el cliente, pero máximo hasta punto de uso	Sí	Sí	Sí
			TÜV Rheinland H₂ Verde	Huella de carbono (PCF) ≤ 0		Sí	Con GO de ER en Alemania o equivalente	No
			TÜV Rheinland H₂ Azul	PCF ≤ 0 (al menos 50% del CO ₂ secuestrado)		No	No	Sí
			TÜV Rheinland H₂ Turquesa	PCF ≤ 0 (solo energía renovable para el reactor de alta temperatura)		No	No	No
			TÜV Rheinland H₂ Conforme con RED II	PCF ≤ 0 (reducciones del 70% u 80% contra H ₂ gris dependiendo de la aplicación)		Sí	Con GO de ER en Alemania o equivalente	No
Japón: Prefectura de Aichi (Finalizado)	Japón Prefectura de Aichi	Público-privado Prefectura de Aichi	Hidrógeno Libre de CO₂	No especificado	Punto de producción	Sí	Con Certificado de Energía Verde (Certificado de Energía Verde)	No
Gobierno de Australia (En desarrollo)	Australia Australia	Público Department of Industry, Science, Energy and Resources	No definido aún	No especificado aún	Punto de producción	Sí	Con LGC (Large-scale Generation Certificate)	Sí
Zero Carbon Certification Scheme (En desarrollo)	Australia Australia	Privado Smart Energy Council	Hidrógeno Verde	No especificado	Punto de producción	Sí	Con LGC (Large-scale Generation Certificate)	No

3.1 Esquemas de certificación de carácter voluntario/privados

Esta sección describe las iniciativas de certificación de hidrógeno desarrolladas por empresas privadas y que operan en los mercados voluntarios. Estas iniciativas buscan certificar el hidrógeno con la finalidad de contar con una divulgación confiable de las características del producto al consumidor final, por ejemplo, para fines de responsabilidad social corporativa. Funcionan de manera similar a otros sellos de productos sostenibles, tales como los sellos de productos orgánicos, de comercio justo o de producción sostenible (ver Figura 8)



Figura 8. Ejemplos de sellos de sostenibilidad de otros productos

Los certificados de hidrógeno emitidos bajo estos esquemas tienen propósitos únicamente de divulgación, es decir, estos certificados no se pueden usar para demostrar cumplimiento con regulaciones ni acceder a incentivos, a menos que los gobiernos estipulen lo contrario.

Estos esquemas de certificación generalmente son desarrollados y operados en su totalidad por entidades privadas y funcionan de manera similar a las certificaciones de energías renovables como I-REC⁶

3.1.1 CertifHy®

CertifHy® es el esquema de certificación de hidrógeno más ampliamente reconocido a nivel mundial. Es un esquema de garantías de origen (GO) de que hoy en día opera en la Unión Europea. Una GO de CertifHy® demuestra a los usuarios finales que el hidrógeno es verde o bajo en carbono y proporciona información sobre sus atributos, tales como la intensidad de los GEI que se emitieron y el lugar de producción de la planta.

Dentro de CertifHy®, la contabilidad de emisiones se calcula hasta el punto de producción, incluyendo aquellas emisiones generadas aguas arriba, que abarca contaminantes liberados desde la materia prima e insumos energéticos, hasta el punto de generación del hidrógeno y su acondicionamiento.

⁶ <https://www.irecstandard.org/#/>

Para que el hidrógeno sea elegible para CertifHy®, las emisiones de GEI en su proceso de producción deben ser 60% menores a las emisiones de la producción de hidrógeno a partir de reformado de metano a vapor (SMR) de última generación en grandes instalaciones (91g CO₂/MJH₂). Es decir, la huella de carbono del hidrógeno producido debe ser igual o inferior a 36,4 g de CO₂/ MJH₂. Cabe destacar que este umbral máximo de emisiones se definió en consenso entre varias empresas y entidades que conforman la plataforma de partes de CertifHy® (ver Tabla 2) es decir, no se trata de un umbral impuesto por alguna autoridad gubernamental.

CertifHy® ha declarado que este umbral podría ser revisado a futuro, sin embargo no se tiene confirmación de que alguna revisión esté siendo planeada por el momento.

CertifHy® definió dos etiquetas para el hidrógeno que cumplen con este umbral máximo de emisiones, cuya diferencia se encuentra en la fuente de energía usada para la producción del hidrógeno. Así, CertifHy® clasifica el hidrógeno como:

- **Hidrógeno verde**, que provienen de energías renovables definidas por la Directiva RED II (Parlamento Europeo y del Consejo, 2018) "la energía procedente de fuentes renovables no fósiles, a saber, la energía eólica, solar (solar térmica y solar fotovoltaica) y geotérmica, la energía ambiental, la energía de mareas, las olas y otras energías oceánicas, la energía hidroeléctrica, la biomasa, el gas de vertedero, el gas de las plantas de tratamiento de aguas residuales y el biogás".
- **Hidrógeno bajo en carbono**, que es aquel producido por fuentes de energía no renovables (por ejemplo, nuclear o fuentes fósiles con CCS).

La Figura 9 presenta la clasificación y umbrales de emisión del hidrógeno definidos en el esquema CertifHy®

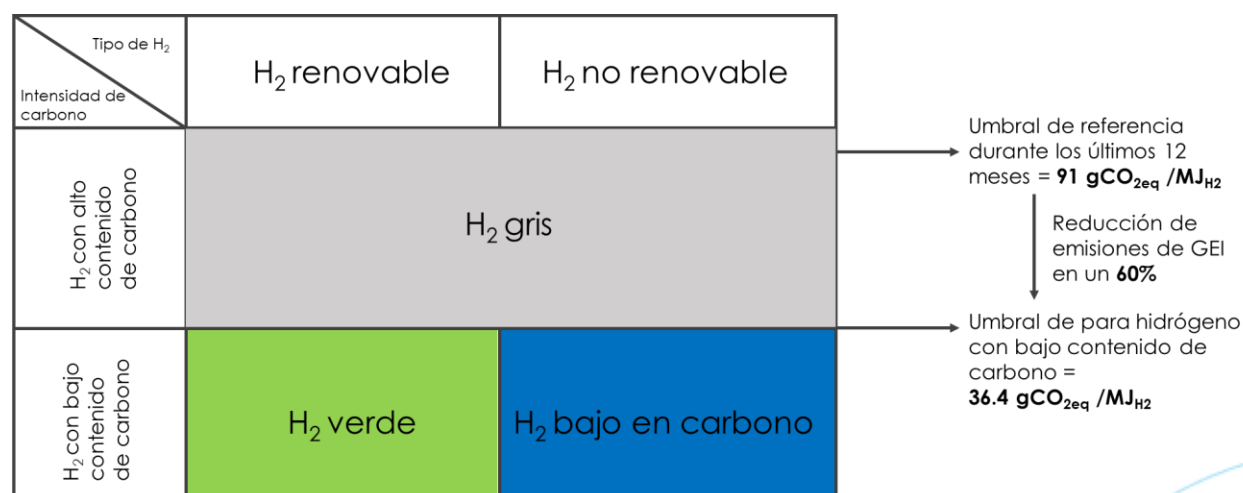


Figura 9. Clasificación del hidrógeno del esquema CertifHy®.
Fuente: Adaptado de CertifHy®.

Las GO de CertifHy® permiten el consumo de hidrógeno verde y bajo en carbono en toda la UE, independientemente de la ubicación. Mediante el uso de un GO, la cantidad correspondiente de hidrógeno que se consume adquiere las propiedades del hidrógeno cubiertas por la GO, mediante un sistema *Book and Claim*, lo cual permite el desacoplamiento entre el suministro físico del hidrógeno y sus atributos ambientales (Figura 11). El esquema CertifHy® GO se gestiona y opera desde un registro central que se encarga de la emisión, transferencia y cancelación de una GO. La GO se cancela al ser usada, por lo que solo se puede utilizar una vez para reclamar hidrógeno consumido como hidrógeno verde o bajo en carbono.

Los principales atributos que se incluyen en una GO de CertifHy® son:

1. Fuente de energía primaria para la producción del hidrógeno
2. Información sobre la planta que produjo el hidrógeno (ubicación, tipo de tecnología de producción, fecha de inicio de operación, operador...)
3. Tiempo de producción del hidrógeno
4. Intensidad de gases de efecto invernadero (cantidad de CO₂ equivalente por unidad de energía) del hidrógeno
5. Fecha de emisión del GO

CertifHy® se fundó en el año 2014 mediante una alianza público-privada del Clean Hydrogen Partnership para implementar un **esquema de garantías de origen** de hidrógeno en Europa para **fines de divulgación** a los usuarios finales sobre el origen del hidrógeno verde y bajo en carbono. CertifHy® comenzó a emitir certificaciones voluntarias desde el 2019. Durante sus comienzos, este esquema emitió cerca de 77 000 GO tanto para hidrógeno verde como para hidrógeno bajo en carbono equivalentes a cerca de 2298 toneladas de H₂, de las cuales solo el 4% de las GO se generaron a partir de energías renovables procedente de eólica, solar y biogás (IRENA, 2020).

La Figura 10 presenta la evolución que ha tenido CertifHy® desde sus inicios en 2014 hasta hoy, en sus 3 fases de desarrollo.



Fase 1 - CertifHy®: Proyecto de investigación de 2014 a 2016. Financiación de FCH JU (€ 551 609) y UE (€ 432 552).



Fase 2 - CertifHy®: Lanzamiento de la plataforma de GO del 2017 al 2019. Presupuesto de € 598 879



Fase 3 - CertifHy®: En proceso de desarrollo. Extender a CertifHy® a nivel internacional cubriendo tanto garantías de origen como certificados de suministro. Presupuesto de 1.5 millones EUR durante 3 años

Figura 10. Fases de Desarrollo de CertifHy®.

Fuente: Hinicio

La estructura de gobernanza de CertifHy® se basa en una *Plataforma de Partes Interesadas* que incluye empresas privadas y varias entidades como muestra la Tabla 2. Todos los documentos se aprueban en la plataforma, siempre y cuando se logre garantizar que las disposiciones dan cumplimiento con los términos legales para la Unión Europea.

Tabla 2. Plataforma de Partes Interesadas de CertifHy®.

Fuente: (Certifhy, n.d.)

Aberdeen City Council	FCH JU	OMV
AGCS AG	FLD Technologies GmbH	PersEE
AIR LIQUIDE	Fluxys (TSO gas)	PitPoint
Air Products	FM Consult	Q8
Akzo Nobel Industrial Chemicals	GERG Groupe Européen de	RECS International
Association of Issuing bodies (AIB)	recherche gazières	Renault
Bilbao Faculty of Engineering	Groep Machiels	Salzgitter Mannesmann Forschung
Bischoff & Ditzel Energy GmbH	H&R GmbH & Co. KGaA	GmbH
BMW	Hinicio	SEK Consulting for Vattenfall
CEN-CENELEC	Hydrogen Europe	Shell International Petroleum
CNR	Hydrogen technologies D.O.O	Company
Colruyt	Hydrogenics	Solenco Power
Conker	HYER European Association on	Statkraft Markets B.V.
Daimler	Hydrogen and Electromobility	Toyota
Deloitte Tohmatsu Consulting LLC	HYGRO	TÜV SÜD
E&M powernews	HYOP	Uniper Energy Storage GmbH
Ecofys, a Navigant company	ICSI/ RM Valcea	University College London
EDF	ITM Power	University of Valladolid
EMEC (European Marine Energy	Japan petroleum energy center	VERBUND AG
Centre) Ltd	Keith Patch	Vertogas
Energinet	Linde AG Gas Division	VLAAMSE VERVOERMAATSCHAPPIJ
Energy Experts Intl	Linde Group	VVM DE LIJN
Enertrag	Mitsubishi Hitachi Power Systems	VREG
Engie	Mizuho information and research	WaterstofNet
Engie Electrabel	institute	Wind Europe
ENOVOS	Nationaal Waterstof Platform	Wind to Gas Südermarsch GmbH &
European Biogas Association	National Organisation Hydrogen	Co. KG
European Commission - DG CLIMA	and Fuel Cell Technology (NOW)	Yara
European Commission - DG-Move	NEN Dutch standardisation body	Yélé Consulting
European Hydrogen Association	NGVA Europe	ZHIJIAN.TIAN
EHA	NREL National Renewable Energy	
	Laboratory	

CertifHy® cuenta con 3 órganos principales, los cuales son: El grupo directivo, cuatro grupos de trabajo y la secretaría.

- **Grupo directivo:** A cargo de la toma de decisiones junto con aquellas dificultades y resolución de conflictos de la plataforma.
- **Grupos de trabajo:** Lideran el desarrollo técnico, económico y regulatorio para la elaboración de los esquemas de GO de hidrógeno.
- **Secretaría:** lleva a cabo las actividades de coordinación, comunicación y logística.

Los roles y las responsabilidades en la operación de CertifHy® se describen a continuación (Certifhy Final Report of Phase 2, 2019):

Autoridad competente: La *Plataforma de Partes Interesadas* de CertifHy® asume el papel de la autoridad competente hasta el momento en que se defina una autoridad o autoridades competentes. Así, es el papel de la *Plataforma de Partes Interesadas* de CertifHy® o un organismo designado por ella para:

- Aprobar el documento del esquema CertifHy® y todos los documentos subsidiarios al mismo
- Decidir sobre la aprobación de los Organismos de Certificación
- Nombrar órganos emisores

Organismos de certificación: Es función de los Organismos de certificación:

- Verificar la elegibilidad de los *Dispositivos de Producción* a través de una Auditoría de *Dispositivos de Producción* en el marco de un contrato con el Registrante
- Verificar los atributos de los Lotes de Producción a través de una Auditoría de Lotes de Producción en el marco de un contrato con el Titular de la Cuenta

Organismo emisor: Un organismo emisor supervisará la emisión, transferencia y cancelación de las GO de CertifHy®. Es responsabilidad de un Organismo Emisor garantizar que se cumplan todos los aspectos del esquema CertifHy®, tal y como están definidos, así como todos los documentos subsidiarios que estén relacionados con la emisión, transferencia y cancelación de las GO de CertifHy®. Esto incluye la supervisión del funcionamiento del Registro CertifHy®. Es el papel de un Organismo Emisor:

- Decidir sobre el registro de los titulares de cuenta
- Decidir sobre el registro de los dispositivos de producción
- Decidir sobre la emisión de la GO
- Verificar y asegurarse de que las solicitudes de transferencia de GO por parte de los titulares de cuenta sean válidas y toda la información en el formulario en línea para transferencias de GO sea precisa
- Decidir sobre la cancelación de GO

Registro CertifHy®: El Registro CertifHy® es un sistema TIC que lleva a cabo un seguimiento de las GO emitidas, negociadas y canceladas. El Registro es operado actualmente por GREXEL.

Registrante / Titular de la cuenta: Los Registrantes o Titulares de Cuenta tienen en sus Cuentas Dispositivos de Producción y/o Garantías de Origen CertifHy®. Es responsabilidad del Titular de la Cuenta cancelar un GO solo contra el consumo físico de hidrógeno que pueda determinar que pertenece al alcance especificado del sistema GO.

- Registrar cuentas con el Organismo Emisor en el Registro CertifHy®
- Registrar los dispositivos de producción con el Organismo Emisor en el Registro CertifHy®
- Seleccionar y contratar un Organismo de Certificación para la verificación de los atributos de los Lotes de Producción
- Solicitar la emisión de GO al organismo emisor
- Solicitar transferencias de GO de una Cuenta a otra al Organismo Emisor
- Solicitar la cancelación de GO al Organismo Emisor

Es importante aclarar que, en la actualidad, **CertifHy® no permite certificar el hidrógeno para demostrar el cumplimiento con regulaciones, ya que CertifHy® es una iniciativa desarrollada a nivel privado para operar en los mercados voluntarios**. Sin embargo, a la fecha de emisión de este reporte, se encuentra en curso la fase 3 de CertifHy®, bajo la cual se está desarrollando un **esquema de certificados de suministro para demostrar cumplimiento con la regulación europea RED II**. De esta manera CertifHy® será un esquema de doble propósito: GO/Certificados (ver Figura 11), donde:

- Las GO permiten divulgar el origen del producto a los usuarios finales en los mercados voluntarios, clasificando al hidrógeno como verde o de bajo carbono, siempre que cumplan con el umbral de 36,4 g de CO₂/ MJH₂.
- Los certificados de suministro facilitarán demostrar el cumplimiento de los requisitos nacionales y de la UE en relación con obligaciones regulatorias para la producción de hidrógeno, y certificarán el hidrógeno que cumpla con la clasificación como Combustible Renovable de Origen no Biológico - RFNBO (ver sección 4. Regulaciones que impulsarán la certificación de hidrógeno)

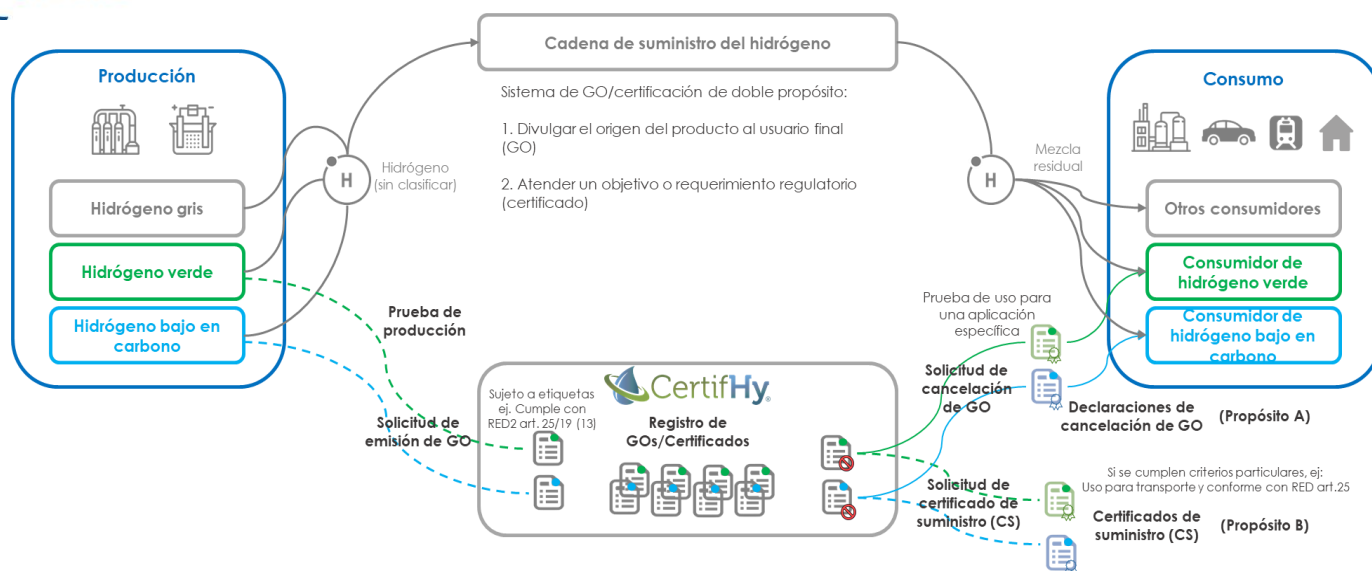


Figura 11. Esquema de GO de CertifHy® e interrelación con la Directiva RED II.

Fuente: Adaptado de (Vanhoudt & Veum, 2019).

Esta tercera fase también pretende abordar la internacionalización de CertifHy® para que el esquema pueda operar más allá de la Unión Europea.

3.1.2 TÜV SÜD Estándar CMS 70

Es un estándar privado de hidrógeno verde diseñado y administrado por la compañía TÜV SÜD, empresa alemana especializada en certificaciones, ensayos, auditorías y formación. Dicho estándar es la base de un sistema de certificación que puede otorgar TÜV SÜD u otros entes acreditados, según lo estipulado por las normas DIN EN 45011:1998, ISO/EIC 17065: 2012, o el reconocimiento como Organismo de Certificación en el marco de la regulación europea Directiva de Energías Renovables RED. En principio, el esquema se puede aplicar en cualquier parte del mundo, aunque está mayormente enfocado en Alemania y Europa, ya que contiene referencias directas a la legislación alemana y europea, pero también a estándares internacionales. La primera versión del estándar fue establecida en 2011 y la versión actual, resultado de un proceso de consulta con partes interesadas, así como de una revisión interna de la compañía, fue publicada y entró en vigor en enero de 2020 (TÜV SÜD, 2020).

El estándar solamente cubre al hidrógeno producido a partir de la electrólisis del agua usando energías renovables, el reformado de biogás, el piro-reformado de glicerina y la electrólisis de soluciones de ácido clorhídrico o soluciones acuosas de cloruro alcalino. El hidrógeno bajo en carbono producido a partir de fuentes no renovables no puede ser certificado (TÜV SÜD, 2020).

El TÜV SÜD CMS 70 define requisitos relacionados con los insumos y las fuentes de energía, así como la intensidad de GEI de la producción. Ofrece certificados tanto bajo el esquema Book

and Claim, como bajo el esquema de balance de masa, exigiendo intensidades de carbono más bajas en el caso del primero.

Los límites de contabilidad de emisiones de GEI abarcan su cuantificación desde la generación de los insumos, la energía utilizada para la producción del hidrógeno, y su transporte y distribución a los consumidores (punto de uso), permitiendo diferentes umbrales de emisiones para distintos usos del hidrógeno (TÜV SÜD, 2020). Además, ofrece alternativas para cumplir con requisitos de adicionalidad. Esto es, para garantizar que el hidrógeno verde se produzca con nuevas instalaciones de producción de energía y no compita con el consumo de electricidad tradicional (TÜV SÜD, 2020).

El proceso de certificación se divide en auditorías de certificación y auditorías de vigilancia, tal como se ilustra en la Figura 12 presentada a continuación:

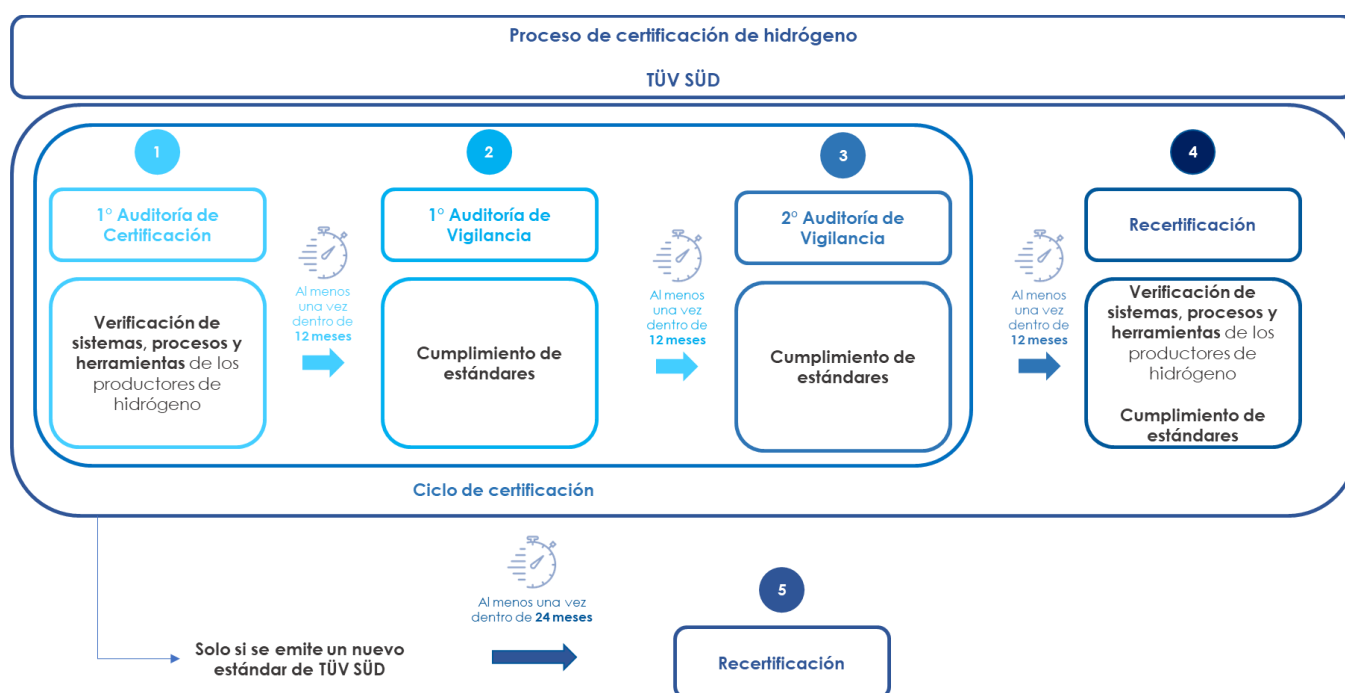


Figura 12. Proceso de certificación de hidrógeno bajo el estándar TÜV SÜD.

Fuente: elaboración propia con base en (TÜV SÜD, 2020).

Los sistemas, procesos y herramientas de los productores de hidrógeno se verifican principalmente en la auditoría de certificación, mientras que el cumplimiento de los estándares se verifica en la auditoría de vigilancia. Un ciclo de certificación consta de una auditoría de certificación, una primera auditoría de vigilancia (al menos una vez dentro de los 12 meses posteriores a la auditoría de certificación) y una segunda auditoría de vigilancia (al menos una vez dentro de los 12 meses posteriores a la primera auditoría de vigilancia). Después de la segunda auditoría de vigilancia, se lleva a cabo un proceso de recertificación, a más tardar 12 meses después de la segunda auditoría de vigilancia, con lo que se cierra el proceso completo de certificación. En ese punto, las empresas certificadas solo deberán hacer un proceso de recertificación si se expide una nueva revisión del estándar. Sin embargo, dicho

proceso deberá comenzar en un periodo no superior a los 24 meses posteriores a la publicación del nuevo estándar (TÜV SÜD, 2020).

El estándar aplica al consumo de hidrógeno como materia prima, para el transporte o para el almacenamiento de energía eléctrica, incluida la inyección de hidrógeno en la red de gas natural. Además, los titulares de los certificados deben contar con un sistema de monitoreo robusto para garantizar que se cumplan los compromisos certificados de calidad y suministro (TÜV SÜD, 2020).

El estándar puede emitir dos certificados:

- **Hidrógeno verde no electrolítico:** se emite si el hidrógeno producido tiene un potencial de reducción de gases de efecto invernadero de al menos 60% en comparación con la producción de hidrógeno convencional por reformado de gas natural para la certificación de balance de masa, y de al menos 80% para la certificación Book and Claim.
- **Hidrógeno verde electrolítico:** para el cual el hidrógeno debe tener un potencial de reducción de GEI de al menos 75% en comparación con la producción de hidrógeno convencional por reformado de gas natural para la certificación de balance de masa, y de al menos 90% para la certificación Book and Claim.

En cuanto al uso de electricidad, **se debe acreditar que esta provenga de fuentes renovables**, salvo que se genere y consuma de forma comprobable in situ y sin utilizar la red eléctrica para el suministro general. Esto da cabida a la utilización de energía de la red, siempre y cuando esta esté certificada como renovable bajo el Registro de Garantías de Origen y de Certificados Regionales de Electricidad procedente de Fuentes Renovables de Alemania (HKNR, por sus siglas en alemán) u otros sistemas equivalentes para otros países (TÜV SÜD, 2020).

Los límites de emisiones permisibles también dependen de si el hidrógeno está destinado para aplicaciones de movilidad u otras de aplicaciones, tal como se observa en la Tabla 3, presentada a continuación:

Tabla 3. Límites de emisiones permisibles para las certificaciones de hidrógeno electrolítico y no electrolítico bajo el esquema TÜV SÜD.

Fuente: Elaboración propia a partir de (TÜV SÜD, 2020).

Certificación de hidrógeno de TÜV SÜD				
Tipo de certificado	Etiqueta	% de reducción de GEI ⁷	Límite de emisiones (gCO _{2eq} /MJ)	
			Aplicaciones de movilidad	Otras aplicaciones
Balance de masa	Hidrógeno no electrolítico	60%	37,6	35,9
	Hidrógeno electrolítico	75%	23,5	22,4
Book and Claim	Hidrógeno no electrolítico	80%	18,8	17,9
	Hidrógeno electrolítico	90%	9,4	9,0

Finalmente, es importante resaltar que **las cantidades certificadas de hidrógeno verde bajo CMS 70 se pueden registrar en el sistema de garantía de origen de CertifHy®** para el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables (TÜV SÜD, 2020).

3.1.3 TÜV Rheinland Estándar H2.21: Hidrógeno Carbono Neutro

Este estándar es diseñado y administrado por TÜV Rheinland, empresa alemana dedicada a la provisión de servicios técnicos, seguridad y certificación, teniendo hasta ahora su primera versión, publicada en julio de 2021 (TÜV Rheinland, 2021). Similar al estándar de TÜV SÜD, el estándar H2.21 de TÜV Rheinland es un programa de certificación independiente para hidrógeno carbono neutro producido a partir de diferentes fuentes.

El estándar presenta requisitos específicos para proyectos en Alemania y brinda directrices para proyectos por fuera de ella, al tiempo que hace referencia a las normas internacionales y europeas para el cálculo de la huella de carbono del hidrógeno (*Product Carbon Footprint* o PCF). En particular, se tienen en cuenta las normas ISO 14064, 14067, 14040 y 14044; y la Directiva EU 2018/2001 (TÜV Rheinland, 2021).

Bajo este estándar, todos los métodos de producción y transporte, así como las aplicaciones del hidrógeno y partes individuales de la cadena de suministro, pueden ser certificados. La norma está deliberadamente **abierta a todas las tecnologías y permite la certificación de todos los procesos de producción, independientemente de la fuente de energía utilizada**.

Para su aplicación, el estándar define requisitos para el **hidrógeno carbono-neutro** en un punto variable X, a definir por el cliente, desde el origen de la producción, hasta máximo el punto de

⁷ *El porcentaje de reducción de GEI se mide con respecto a las emisiones de la producción de hidrógeno convencional por reformado de gas natural.

entrega a los consumidores finales (por lo que su alcance es, a lo sumo, hasta el punto de uso) (TÜV Rheinland, 2021). Es decir, en el punto X, el PCF calculado y verificado, incluyendo todas las emisiones de la cadena de valor hacia arriba, debe ser igual o inferior a cero. Para ello, se consideran emisiones de alcance 1 y alcance 2, de acuerdo con lo establecido por el Greenhouse Gas Protocol (The Greenhouse Gas Protocol, 2004), y se permiten 3 mecanismos de compensación: (1) medidas de compensación directas mediante la inversión en proyectos de protección del clima, (2) implementación de medidas de compensación indirecta mediante la compra y retiro de certificados de reducción de CO₂, y (3) implementación de medidas de CCS. Esto último difiere con lo establecido por otros esquemas de certificación como CertifHy®, en donde no se tienen en cuenta medidas de compensación a la hora de cuantificar la huella de carbono (TÜV Rheinland, 2021).

Además, **si el productor a certificarse cumple con los criterios específicos que se listan a continuación, puede obtener certificaciones adicionales** para hidrógeno verde, hidrógeno azul, hidrógeno turquesa e hidrógeno conforme con RED II (TÜV Rheinland, 2021).

- **Hidrógeno verde:** es aquel producido con electrolizadores alimentados con electricidad procedente exclusivamente de fuentes renovables.
- **Hidrógeno azul:** es hidrógeno carbono-neutro cuyas emisiones de CO₂ resultantes del proceso de producción son capturadas por sistemas CCS y almacenadas permanentemente bajo tierra. Para obtener la certificación, al menos un 50% en masa del CO₂ producido debe ser capturado.
- **Hidrógeno turquesa:** es hidrógeno carbono-neutro producido con la ayuda del craqueo térmico del metano (pirólisis), y donde el carbón sólido resultante no se libera como contaminante atmosférico. Además, la energía para alimentar el reactor de alta temperatura utilizado en el proceso debe provenir de fuentes renovables.
- **Hidrógeno conforme con RED II:** es aquel que, al considerarse como un portador de energía renovable, tiene una intensidad de carbono que permite cumplir con los objetivos de reducción de GEI para el uso de fuentes de energía renovables estipulados por la Directiva de Energías Renovables de la Unión Europea (RED II).

El consumo de la electricidad utilizada para los procesos de electrólisis, en el caso de provenir de plantas de generación renovable conectadas a una línea directa, debe estar completamente cubierto en relación a un intervalo de 15 minutos, mientras que si se utilizan electrolizadores conectados a la red eléctrica, la energía suministrada debe estar certificada como renovable bajo el sistema HKNR, en el caso de Alemania, o cumplir con criterios legales comparables para la certificación de electricidad de fuentes renovables en el caso de otros países. En el evento de que dichos criterios no se identifiquen o no existan, solo se permite el uso de electricidad proveniente directamente de plantas de generación renovable (TÜV Rheinland, 2021).

Adicionalmente, para la certificación de hidrógeno conforme con RED II, solo se permite el uso de plantas nuevas de generación renovable (criterio de adicionalidad) y se debe cumplir con

los siguientes requerimientos para la reducción de emisiones de GEI (Tabla 4), dependiendo de la aplicación en cuestión y la fecha de comisionamiento de las plantas (TÜV Rheinland, 2021):

Tabla 4. Requerimientos de reducción de emisiones de GEI para la certificación para hidrógeno conforme con RED II para el estándar TÜV Rheinland.

Fuente: Elaboración propia a partir de (TÜV Rheinland, 2021).

Certificación de hidrógeno de TÜV Rheinland				
Aplicación	% de reducción de emisiones	Fecha de comisionamiento de las plantas	Comparador fósil (gCO _{2eq} /MJ)	Límite de emisiones (gCO _{2eq} /MJ)
Transporte	70%	A partir de 01/01/2021	94	28,2
Electricidad	70%	Entre 01/01/2021 y 31/12/2025	183 (producción de electricidad)	54,9 (producción de electricidad)
	80%	A partir de 01/01/2026		36,6 (producción de electricidad)
Calefacción y enfriamiento	70%	Entre 01/01/2021 y 31/12/2025	80 (calentamiento y enfriamiento útil) 124 (calentamiento útil con reemplazo de carbón)	24 (calentamiento y enfriamiento útil) 37,2 (calentamiento útil con reemplazo de carbón)
	80%	A partir de 01/01/2026	80 (calentamiento y enfriamiento útil) 124 (calentamiento útil con reemplazo de carbón)	16 (calentamiento y enfriamiento útil) 24,8 (calentamiento útil con reemplazo de carbón)

3.1.4 Zero Carbon Certification Scheme de Australia

Lanzado el 3 de diciembre de 2020, es un esquema de certificación desarrollado y administrado por Hydrogen Australia, una división del Smart Energy Council, que es un cuerpo independiente conformado por varias compañías australianas e internacionales que buscan promover la aceleración de la transición energética en Australia por medio del desarrollo de la energía solar y el aumento de la eficiencia energética (Smart Energy Council, 2021). El esquema abarca el hidrógeno, amoníaco y metales renovables.

El Zero Carbon Certification Scheme certifica que el hidrógeno, amoníaco o metal se ha fabricado a partir de fuentes de energía renovables y le otorga un rating de carbono

incorporado (*embedded carbon rating*) con el fin de rastrear la cantidad de emisiones de GEI relacionadas con el producto en particular (Hydrogen Australia, 2020).

El esquema **solo certifica la producción a partir de fuentes de energía renovables**: eólicas, solares, hidroeléctricas, biomasa y, en definitiva, aquellas consideradas válidas para los certificados del programa Federal Government Renewable Energy Target⁸. El **hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles con captura y almacenamiento de carbono asociado no está cubierto por el estándar** (Hydrogen Australia, 2020).

El esquema utiliza un límite de contabilidad de emisiones hasta el punto de producción, por lo cual se evalúa la intensidad de las emisiones requeridas para la producción de la energía, así como las emisiones originadas en la fabricación de los productos. Sin embargo, y al igual a como lo hace CertifHy®, no se pretende que incluya las emisiones originadas dentro de la planta, el transporte, la conversión y la reconversión, y el uso del producto final, a menos que ello se establezca como un requisito de las partes interesadas (Hydrogen Australia, 2021).

El esquema de certificación permite que la electricidad se obtenga directamente de plantas de generación renovable, a través de acuerdos de compra de energía de terceros, o a través de la red, siempre que se puedan demostrar **cero emisiones a través de métodos como la entrega de Large-scale Generation Certificates, la compra de energía verde (Green Power) o medidas de compensación de carbono suplementarias** que cumplan con las normas internacionales de contabilidad de carbono. También se pretende reconocer las mejores prácticas de producción, teniendo en cuenta las externalidades sociales y ambientales generadas (Hydrogen Australia, 2021).

El Zero Carbon Certification Scheme fue desarrollado en colaboración con aliados nacionales e internacionales⁹ para garantizar que cumpla los requisitos tanto de la industria nacional como de los mercados internacionales y es de adopción voluntaria. Hydrogen Australia es quien expide las certificaciones. La estación de recarga de hidrógeno ActewAGL en Canberra fue el primer proyecto certificado por el esquema (Smart Energy Council, 2021) y la planta de amoníaco verde Pilbara, de la empresa noruega Yara International, será el segundo proyecto en ser certificado (Hydrogen Australia, 2021).

3.1.5 Green Hydrogen Standard (GH2)

El Green Hydrogen Standard es el estándar de hidrógeno verde de la Organización del Hidrógeno Verde (Green Hydrogen Organization) – GH2, una fundación sin ánimo de lucro con casa matriz en Suiza. Esta organización tiene como misión acelerar la producción y utilización

⁸ El Federal Government Renewable Energy Target es una política del gobierno federal de Australia que tiene como objetivo lograr que cada año cierto porcentaje de la red eléctrica del país provenga de fuentes renovables.

⁹ Los miembros fundadores del esquema son: ACT Government, Ammonia Energy Association, CWP Global, Energy Web, Evoenergy+, Star Cientific y los High Level Champions COP 26 de Naciones Unidas. La Agencia Alemana de Energía (DENA) y la Universidad Nacional de Australia actúan como consejeros y el Green Hydrogen Catapult también se unirá al esquema como miembro.

de hidrógeno verde en una variedad de sectores a nivel mundial. A demás, busca ejercer presión para descarbonizar industrias como la del acero, el cemento, los fertilizantes, la aviación y el transporte marítimo, que hasta el momento han alcanzado un avance limitado en la reducción de sus emisiones (GH2, 2022).

Una de las principales iniciativas de la organización para lograr sus objetivos es el Estándar de Hidrógeno Verde, lanzado en la Asamblea Global del Hidrógeno Verde, el pasado mes de mayo en Barcelona (GH2, 2022). Con este estándar se busca certificar y acreditar la producción de **hidrógeno verde, definiéndolo como aquel que es producido a partir de la electrólisis del agua, con cerca del 100% de su energía proveniente de fuentes renovables (máximo 5% de otras fuentes)**. Además, para cumplir con la definición establecida por el GH2, **es preciso evaluar las consecuencias sociales, ambientales y de gobernanza de la producción del hidrógeno**. De igual manera, las oportunidades de desarrollo y los impactos de la producción de hidrógeno verde deben ser cuidadosamente considerados dentro del marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (GH2, 2022). En este sentido, al ser un estándar que acredita y certifica proyectos, se busca que los productores de hidrógeno verde presenten sus proyectos para la acreditación GH2. Los proyectos de hidrógeno verde que cumplan con este estándar, obtendrán una licencia de la GH2 para usar **la etiqueta “Hidrógeno Verde GH2”** y serán elegibles para obtener y comercializar certificados de origen GH2 para hidrógeno verde y sus derivados como el amoníaco verde (H2 News, 2022). A continuación se presenta el paso a paso de la certificación y acreditación ofrecida por el GH2.



*Figura 13. Procedimiento de la certificación y acreditación Green Hydrogen Standard
Fuente: Adaptado de (GH2, 2022)*

Este estándar otorga a los productores de hidrógeno verde la responsabilidad de demostrar que en el desarrollo y desempeño de sus proyectos se consideran las dimensiones ambientales, sociales y de gobernanza, y se cumplen a cabalidad las normativas nacionales y las mejores prácticas internacionales. De igual forma, la certificación requiere que los proyectos de hidrógeno verde sean sujetos a una evaluación independiente, confiable y bajo los estándares internacionales. Basado en estos principios, el estándar define siete requisitos que deben ser cumplidos por los proyectos que busquen ser certificados y acreditados por GH2:

- ✓ **Información general del proyecto:** En la que se demuestra que el proyecto se ajusta a las políticas y planes del gobierno nacional. Se requiere que esta información sea pública y transparente.
- ✓ **Participación de las partes interesadas y aprobación del gobierno:** Donde se demuestra que el proyecto cumple con las regulaciones locales y que ha involucrado a las partes interesadas.
- ✓ **Ubicación del proyecto y diseño:** la ubicación y el diseño del proyecto ha sido optimizado, como resultado de un proceso iterativo y consultivo que aborda las consideraciones técnicas, económicas, financieras, ambientales y sociales más importantes.
- ✓ **Impacto social:** el proyecto ha sido sujeto de una evaluación de impacto social, para maximizar las oportunidades de desarrollo local. Este requerimiento cuanta con especificaciones detalladas para comunidades vulnerables, población desplazada y comunidades indígenas, entre otras, de carácter obligatorio.
- ✓ **Impacto ambiental:** Se espera que el proyecto cuente con una evaluación integral de los riesgos y oportunidades ambientales del mismo, que cumpla un proceso de consulta con localidades locales, y que se gestione el desempeño ambiental y social del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Este requerimiento establece requisitos específicos y obligatorios para:
 - Fuentes de energía renovable: se requiere demostrar que el hidrógeno verde es producido a partir de energía cerca o completamente carbono neutral, especificando la fuente renovable de generación.
 - Uso y calidad del agua: se requiere una evaluación del agua utilizada en el proyecto así como el enfoque dado al manejo de aguas residuales.
 - Desechos, ruido y calidad del aire: se requiere la identificación de impactos negativos en estos asociados al proyecto.
 - Biodiversidad: se requiere que los problemas de biodiversidad relevantes para la implementación y operación del proyecto hayan sido identificados.
 - Mitigación del cambio climático e impacto: se requiere que los proyectos calculen sus emisiones de GEI en los procesos de preproducción de hidrógeno (Producción de electricidad, suministro de agua, producción de vapor, etc) y que estas sean menores o iguales 1kg CO_{2e} por Kg H₂. Además, se espera que las emisiones de la etapa de postproducción (almacenamiento, licuefacción, transporte, etc), así como las emisiones indirectas asociadas con la producción de hidrógeno (ej. tratamiento de agua) sean medidas y reportadas.
- ✓ **Salud y seguridad:** se espera que evalúen los requisitos de gestión laboral, incluidos los riesgos y las medidas de gestión de la salud y seguridad ocupacional.
- ✓ **Gobernanza, transparencia y rendición de cuentas:** se requiere una estructura de gobierno corporativo sólida, tenga políticas anticorrupción y pueda garantizar que los procesos de adquisición sean equitativos, transparentes y responsables.

3.1.6 ISCC

El ISCC (*International Sustainability and Carbon Certification*) es un sistema de certificación internacional que cubre todo tipo de materias primas de base biológica y abastecimientos

renovables que atienden a los sectores de la energía, alimentos, piensos y productos químicos. Incorpora criterios de sostenibilidad como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso sostenible de la tierra, la protección de las biosferas naturales y la sostenibilidad social. El ISCC es miembro del Pacto Mundial de las Naciones Unidas y apoya otras importantes iniciativas internacionales que abogan por cadenas de suministro sostenibles (Wilmar International, 2021).

En el sector energético específicamente, los productos cubiertos por el ISCC son (ISCC, 2021):

- Biocombustibles, combustibles de carbono reciclado y combustibles renovables de origen no biológico
- Biogás / biometano
- Biolíquidos
- Biomasa sólida

Si bien el **ISCC actualmente no tiene ningún sistema de certificación para hidrógeno**, sí **existen avances relevantes para algunos de sus derivados, como el amoníaco**.

En particular, ISCC hoy en día está trabajando en el desarrollo de un documento de orientación para la certificación de **Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RNFBO, por sus siglas en inglés)**, que incluirá electrocombustibles producidos a partir de hidrógeno verde (ISCC, 2021).

Por su parte, el amoníaco es elegible para la certificación ISCC PLUS, que es un programa voluntario de certificación de sostenibilidad para materias primas de base biológica y circulares (recicladas) de todos los mercados y sectores no regulados como combustibles de transporte bajo la Directiva Europea de Energía Renovable (EU RED) o la Directiva de Calidad de Combustibles (FQD) (SCS Global Services, 2021).

Los requerimientos base del ISCC PLUS son la trazabilidad de los productos y el cumplimiento de requerimientos ecológicos y sociales exigentes, incluyendo la no deforestación a lo largo de la cadena de producción (GUTcert, 2021). Por su parte, la cuantificación de la reducción de emisiones de GEI es de carácter voluntario (ISCC, 2021). Las auditorías para certificación son realizadas por organismos reconocidos por el ISCC (terceras partes independientes) y los certificados emitidos tienen validez anual (ISCC, 2021). El enfoque de cadena de custodia puede ser de segregación o de balance de masa y la cuantificación de las emisiones puede ser tanto hasta el punto de producción, como hasta el punto de uso, dependiendo de lo que escoja el cliente. Estos dos elementos se ven reflejados en la certificación que se genera (ISCC, 2019).

3.2 Esquemas de certificación oficiales / gubernamentales

En este capítulo se presenta el estado de avance de las iniciativas de certificación de hidrógeno a nivel internacional por parte de gobiernos (nacionales o regionales), que pueden

servir como ejemplo para la adopción de futuros esquemas de certificación de origen en América Latina y el Caribe.

Se destaca que a la fecha de emisión de este reporte no hay ningún país en el mundo que tenga un esquema de certificación de hidrógeno oficial (desarrollado, operado o avalado por el gobierno) operativo.

3.2.1 Unión Europea (en desarrollo)

La Directiva de Energía Renovable RED II de la Unión Europea estableció un mandato que hará obligatoria la adopción de sistemas nacionales de garantía de origen para el hidrógeno en cada estado miembro.

Por su parte, la Comisión Europea se está preparando para lanzar una base de datos a escala de la UE para certificar la huella de carbono del hidrógeno y otros combustibles bajos en carbono de forma armonizada (Euractiv, 2021).

3.2.2 Estados Unidos (en desarrollo)

El 15 de noviembre de 2021, el presidente Joe Biden promulgó la Ley de Inversión en Infraestructura y Empleos ¹⁰ (comúnmente conocida como el Marco bipartidista de infraestructura (BIL)). El proyecto de ley define "hidrógeno limpio" como el hidrógeno producido con una intensidad de carbono igual o inferior a 2 kilogramos de dióxido de carbono equivalente producido en el sitio de producción por kilogramo de hidrógeno producido ($<2 \text{ kg-CO}_2 / \text{kg-H}_2$).

En particular, este umbral toma en cuenta solo las emisiones del "sitio de producción" para el cálculo de la intensidad de carbono, es decir, no requiere que los impactos de la intensidad de carbono de los insumos aguas arriba o aguas abajo del punto de producción se incluyan en el cálculo.

El objetivo del estándar de hidrógeno limpio es apoyar la producción de hidrógeno a partir de una variedad de fuentes, incluidos los combustibles fósiles con captura, utilización y secuestro de carbono; combustibles portadores de hidrógeno (incluidos el etanol y el metanol); recursos energéticos renovables, incluida la biomasa; y la energía nuclear. Además, este estándar debe tener en cuenta la viabilidad tecnológica y económica y ajustarse después de cinco años.

El gobierno de Estados Unidos a través del Departamento de Energía se encuentra actualmente trabajando en definir las metodologías de cuantificación de emisiones de GEI de la producción de hidrógeno, y los mecanismos de verificación, que permitan el acceso a los incentivos y subsidios previstos en la misma Ley BIL para los hubs de hidrógeno, bajo el cual el gobierno federal otorgará subvenciones para co-financiar proyectos de "hidrógeno limpio".

¹⁰ <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684/text>

3.2.3 Australia (en desarrollo)

El Gobierno Australiano, a través del Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos, actualmente está trabajando en el desarrollo de un **esquema oficial de garantías de origen para el hidrógeno en Australia**, debido a que es una acción prioritaria dentro de su Estrategia Nacional de Hidrógeno.

Por ahora se cuenta con un documento de discusión¹¹ (Commonwealth of Australia, 2021) que presenta las alternativas posibles para el esquema y señala cuáles son las sugeridas por el Gobierno. Dicho documento ya pasó por un proceso de consulta doméstica que inició en 2020 y, hasta el 6 de agosto de 2021, se habilitó una convocatoria para recibir retroalimentación por parte de actores industriales. Con dicha convocatoria ya finalizada, el Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos está trabajando en la versión definitiva del esquema, que está previsto para ser publicado en la segunda mitad de 2021 (Department of Industry, Science, Energy and Resources, 2021). A la fecha de emisión de este reporte (noviembre 2021), aún no se cuenta con el documento definitivo.

El esquema en desarrollo busca ser consistente con la metodología para contabilizar emisiones del hidrógeno desarrollada por el IPHE (ver sección 3.3), dado que Australia es un miembro activo de la organización y desea que su sistema de garantías de origen esté alineado con parámetros internacionales, teniendo en cuenta su ambición de convertirse en un país líder en la exportación de hidrógeno bajo en carbono a nivel mundial. Consecuentemente, **el esquema inicialmente está enfocado en la certificación de hidrógeno electrolítico de fuentes renovables e hidrógeno producido a partir de la gasificación de carbón y el reformado de metano acoplados a sistemas de CCS / CCU**. Además, **también se está estudiando la opción de certificar hidrógeno verde producido con electrolizadores conectados a la red**, siempre y cuando la electricidad suministrada esté calificada como renovable bajo el esquema LRET (Large-scale Renewable Energy Target) del país, mediante un LGC (Large-scale Generation Certificate)¹² (Department of Industry, Science, Energy and Resources, 2021).

A pesar de que su enfoque inicial será limitado, el Gobierno Australiano reconoce la importancia de expandir el esquema de certificación hacia futuro. Esto no solo para incluir métodos adicionales para la producción del hidrógeno, sino también para expandir el sistema de certificación a productos que utilicen hidrógeno renovable como materia prima (por

¹¹ <https://consult.industry.gov.au/hydrogen-guarantee-of-origin-scheme>

¹² El LRET es un esquema en el que los productores de energía con fuentes renovables pueden obtener certificados LGC para venderlos principalmente a comercializadores de electricidad, que por ley tienen la obligación de comprar cierta cantidad de LGCs. Esta cantidad depende del porcentaje de energía renovable que debe tener la red, que se fija cada año. Los LGCs también se pueden vender a empresas o individuos que voluntariamente quieran compensar su uso de energía y sus emisiones. El sistema de acreditación está vigente hasta 2030, pero el Gobierno Australiano está buscando el mecanismo para que un esquema de ese estilo pueda mantenerse para la generación de hidrógeno electrolítico renovable de la red más allá de 2030 (Clean Energy Regulator, 2018).

ejemplo, acero producido a partir de hidrógeno verde) y certificar componentes adicionales de la cadena de valor (como el transporte y el almacenamiento del hidrógeno, incluyendo a los portadores de energía, como el amoníaco) (Department of Industry, Science, Energy and Resources, 2021). Sin embargo, el esquema planteado inicialmente estará centrado en verificar y rastrear la tecnología de producción, la fuente primaria de energía, las emisiones de GEI de alcance 1 y alcance 2 asociadas con la producción y la localización de la producción.

El documento ya publicado (Commonwealth of Australia, 2021) también contiene una descripción técnica detallada de las 3 vías de producción consideradas dentro del esquema y señala para cada uno tanto las fuentes de emisiones a cuantificar, como la información que deberá ser reportada a las autoridades (Department of Industry, Science, Energy and Resources, 2021).

Dado que el esquema hasta ahora está en proceso de elaboración, aún no se han definido varios aspectos esenciales del mismo. Sin embargo, partiendo del proceso de consulta con actores relevantes ya realizado, se tienen algunas preferencias ya identificadas (Commonwealth of Australia, 2021):

- Que el esquema sea dirigido y administrado por el Gobierno Australiano.
- Que pueda comenzar a operar en 2022.
- Que se alinee con parámetros internacionales y cuente con el apoyo de los principales socios comerciales del país.
- Que incluya disposiciones transparentes y robustas de contabilidad de carbono, aprovechando los marcos australianos existentes, como el NGERs (*National Energy and Greenhouse Reporting Scheme*), el RET (*Renewable Energy Target Scheme*), *Climate Active* y *GreenPower*.
- Que distinga entre las diferentes fuentes de energía y tecnologías utilizadas para producir hidrógeno.
- Que el esquema sea tecnológicamente neutral (es decir, que se incluyan todas las tecnologías para producir hidrógeno limpio).
- Que el límite de contabilidad de emisiones consideradas sea hasta el punto de producción.
- Que los reportes a enviar al ente certificador sean anuales.
- Que sea creíble, simple y de bajo costo de cumplimiento.

Sin embargo, **aún no se tienen disposiciones definidas sobre elementos como los umbrales de emisiones y el proceso de certificación, ni la gobernanza del sistema** (incluyendo qué entidad estará encargada de emitir los certificados).

3.2.4 Prefectura de Aichi (Japón): Sistema de Certificación de Hidrógeno Libre de CO₂

Japón es uno de los países con uno de los ecosistemas de hidrógeno más desarrollados en el mundo y cuenta con una Estrategia Nacional de Hidrógeno desde el 2017 (Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues, 2017). A pesar de ello, el país **todavía no cuenta con una definición oficial de hidrógeno limpio o renovable, ni con un sistema de certificación o garantías de origen a nivel nacional**. Sin embargo, un comité gubernamental sobre hidrógeno libre de CO₂ previamente ha discutido la necesidad de establecerlo. Además, la versión revisada de la Hoja de Ruta Estratégica para el Hidrógeno y las Celdas de Combustible, publicada en marzo de 2019, menciona que existe la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ a lo largo de toda la cadena de suministro de hidrógeno (Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council, 2019). A pesar de ello, no existe ningún avance unificado a nivel nacional.

Sin embargo, **a nivel regional, la Prefectura de Aichi inició su propio sistema de certificación de hidrógeno libre de CO₂** en abril de 2018. Se trata de un sistema de certificación desarrollado y administrado por la Asociación para la Promoción de la Cadena de Suministro de Hidrógeno de Aichi, un organismo que incluye al gobierno de la prefectura de Aichi (Japón), empresas que operan dentro de la prefectura, autoridades municipales y expertos. Dicha asociación desarrolló la Visión de la Cadena de Suministro de Hidrógeno Libre de CO₂ de Aichi 2030, además de una hoja de ruta correspondiente, donde uno de los puntos principales fue introducir un sistema con el que la Prefectura de Aichi pudiese certificar el hidrógeno de manera objetiva y justa, con el fin de promover la popularización del hidrógeno bajo en carbono (Toyota Corporation, 2018). La hoja de ruta establece que el sistema debía haberse diseñado a finales del 2017 y que, para 2025, debe llevarse a cabo el funcionamiento, la verificación y la revisión de los sistemas de certificación.

El Sistema de Certificación de Hidrógeno Bajo en Carbono de Aichi cubre lo que denominan "*hidrógeno libre de CO₂*", que consta de 2 categorías (Jensterle et. al. , 2019) (Institute of Energy Economics, 2020):

1. Hidrógeno producido a partir de electrólisis de agua utilizando electricidad renovable o mediante reformado de biogás utilizando vapor.
2. Hidrógeno producido a partir de la electrólisis de agua utilizando electricidad de la red, junto con un Certificado de Energía Verde (Green Power Certificate)¹³ para compensar las emisiones de CO₂ asociadas con la producción del hidrógeno, así como hidrógeno

¹³ Los Certificados de Energía Verde (Green Power Certificates) son emitidos por compañías privadas desde 2001 y se entregan a los productores de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa, hidroeléctrica, y los sistemas de energía térmica con hielo, nieve y biomasa leñosa en Japón (UNESCAP, 2012).

producido a partir de combustibles fósiles en combinación con J-Credits ¹⁴ para compensar las emisiones de CO₂ asociadas con la producción del hidrógeno.

Las empresas que deseen un certificado para el hidrógeno lo reciben si proporcionan pruebas para una de las dos categorías y aprueban el proceso de revisión que lleva a cabo un tercero. La compensación de emisiones se centra en aquellas que están directamente relacionadas con la producción de hidrógeno, más no en las emisiones a lo largo del ciclo de vida (es decir, hasta el punto de producción).

El esquema es de **adopción voluntaria** y las **certificaciones son expedidas por la Prefectura de Aichi**, que también examinará los problemas asociados con su funcionamiento. Además, se planea considerar su revisión y ampliación en función del estado de los estudios en el país y las tendencias en el desarrollo tecnológico. Hasta el momento, su alcance geográfico se limita a la prefectura de Aichi (Jensterle et. al. , 2019).

3.3 Esfuerzos de armonización internacional

Es claro que contar con terminologías y umbrales de emisiones comunes facilitaría el comercio internacional de hidrógeno. **Sin embargo, al día de hoy, no se cuenta con un estándar armonizado para contabilizar y verificar las emisiones del hidrógeno.** Las metodologías de cuantificación de emisiones que han desarrollado las diversas entidades mencionadas anteriormente son diferentes, los umbrales máximos y otros criterios considerados dentro de los diferentes esquemas también varían considerablemente.

A continuación se presenta una iniciativa que promueve el desarrollo global de estándares armonizados para la certificación del hidrógeno.

3.3.1 International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE)

La IPHE (*International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*) es una organización internacional que busca facilitar y acelerar la transición energética hacia el uso de combustible limpios a través de la promoción del hidrógeno en los diferentes sectores económicos. En la actualidad, 22 países alrededor del mundo conforman la IPHE, con la participación de Chile, Costa Rica, y Brasil por parte de América Latina. Dentro de los principales focos del trabajo de la IPHE se encuentran el desarrollo de estándares de seguridad,

¹⁴ Los J-Credit son certificados emitidos por el gobierno para proyectos que reducen las emisiones de carbono y el consumo de energía o aumentan la absorción de carbono. Con ellos, el gobierno certifica la cantidad de emisiones de GEI reducidas o eliminadas por los proyectos, generando así cierta cantidad de créditos. Esos créditos se pueden utilizar para diversos fines, como el logro de los objetivos del Compromiso de Nippon Keidanren para una sociedad baja en carbono, así como la compensación de emisiones carbono en general (Ministerio de Economía, Comercio e Industria, 2013).

regulaciones, certificaciones, propiedad intelectual y formación de profesionales dentro del área del hidrógeno.

Desde 2020, la IPHE ha estado trabajando en el proyecto Hydrogen Production Analysis (H2PA) Task Force para desarrollar una metodología y terminología mutuamente acordada entre los países de la colaboración para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con las diferentes vías de producción de hidrógeno y así ayudar a facilitar la valoración del mercado y el comercio internacional de hidrógeno limpio a través de un enfoque común (IPHE, 2020). Esto, debido a que **hoy en día no existen estándares internacionales por parte de una organización de desarrollo de estándares como ISO para contabilizar las emisiones derivadas de la producción de hidrógeno.**

La primera versión de esta metodología ("Metodología para determinar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de hidrógeno") fue publicada en octubre de 2021.

Esta **propuesta metodológica y marco analítico armonizados para determinar las emisiones de GEI relacionadas con una unidad de hidrógeno producido, podrá servir de base para un sistema de certificación a nivel internacional.** Sin embargo, este marco analítico no proporciona orientación sobre los valores umbral de intensidad de las emisiones de GEI, ya que esto seguirá siendo responsabilidad de cada país (IPHE, 2021).

El IPHE continúa trabajando en la emisión de un estándar internacional para contabilizar las emisiones de la producción de hidrógeno, que sea consensuada a nivel internacional, que sirva como referencia para el desarrollo de un estándar internacional por parte de una organización de desarrollo de estándares como ISO, y que sirva como guía para que los países puedan definir sus clasificaciones de hidrógeno y servir como base para el desarrollo de sus esquemas de certificación (IPHE, 2021). Se espera una actualización de esta metodología y más desarrollos por parte del IPHE en este sentido en los próximos meses.

El H2PA Task Force es liderado por Francia, a través de la colaboración con Estados Unidos y la Comisión Europea. En razón de esto último, recibió la retroalimentación de CertifHy® para asegurar la armonización entre la metodología planteada y la metodología europea (CertifHy, 2020).

La Figura 14 ilustra en detalle los cuatro pilares de trabajo del proyecto. El IPHE se planteó como objetivo, a partir de este *Task Force*, **definir y estandarizar el hidrógeno de bajas emisiones en diferentes países vinculados al proyecto** (Francia, Estados Unidos, Japón, Corea del Sur, Países Bajos, Reino Unido, Sur África, Costa Rica, Noruega, Alemania, Canadá, Australia y la UE), lo que podría servir como base para la **creación de un esquema común de garantías de origen.**

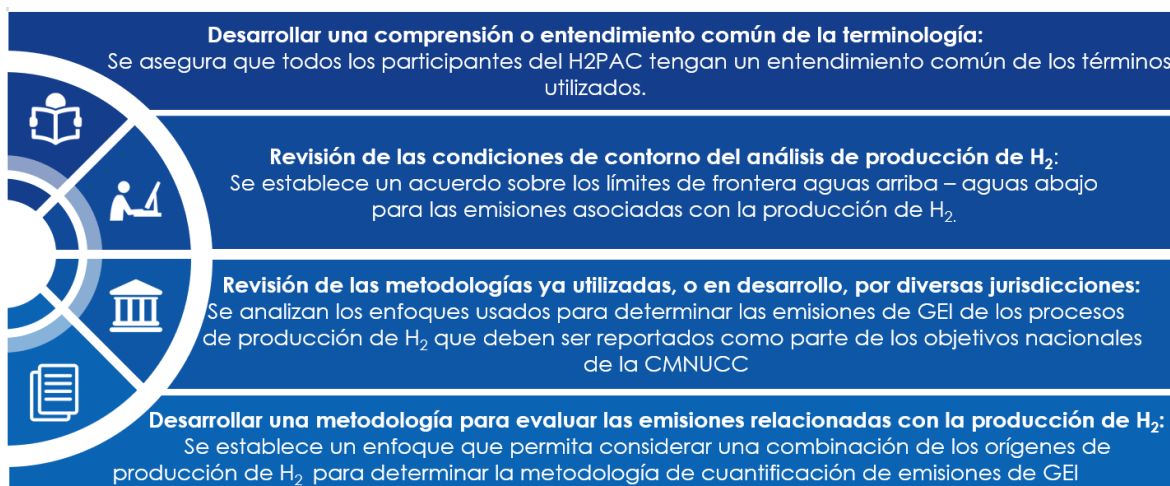


Figura 14. Actividades principales del proyecto H2PA Task Force del IPHE.
Fuente: Adaptado de (IPHE, 2020)

Los países miembros del IPHE dentro del proyecto H2PA Task Force consideran que el esquema planteado debe incluir todas las tecnologías de producción del hidrógeno; tanto renovable como no renovable. Por lo tanto, se crearon diferentes subgrupos para trabajar en el desarrollo de una metodología que permita calcular y contabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan por cada uno de estos métodos de producción. La Tabla 5 presenta los subgrupos estructurados y las tecnologías que está estudiando cada uno. A futuro se realizarán análisis para otras vías de producción (IPHE, 2021).

Tabla 5. Equipos de trabajo para el desarrollo de metodología de contabilidad de emisiones de GEI.
Adaptado de (Gobierno de Australia, 2021)

Subgrupo	País líder	Países miembros
Electrólisis con energía eléctrica renovable o de red	Australia	Francia, Alemania, Japón, Inglaterra, Estados Unidos, países europeos
Gasificación de carbón con CCS	Australia	Japón, Sur África y Estados Unidos
SMR de gas natural con CCS	Francia	Australia, Inglaterra, países europeos, Holanda
Subproductos del hidrógeno	Holanda	Francia, Japón, República de Corea, Sur África, Inglaterra, países europeos

De igual forma, es importante resaltar que el límite de cuantificación de emisiones considerado fue hasta el punto de producción, teniendo en cuenta que es el más ampliamente utilizado dentro de los sistemas de certificación de hidrógeno (IPHE, 2021).

La metodología brinda pautas para los procesos de evaluación, abarcando la aplicación, verificación de documentos y auditoría *in situ*. Así mismo, presenta una descripción detallada de las vías de producción estudiadas y la información a reportar para cada una de ellas (IPHE, 2021).

4. REGULACIONES QUE IMPULSARÁN LA CERTIFICACIÓN DE HIDRÓGENO

Las regulaciones climáticas impulsan la necesidad de contar con sistemas de certificación de hidrógeno para demostrar el **cumplimiento** con metas de incorporación de renovables o de reducción de GEI.

Los requerimientos en cuanto a las características que debe tener el hidrógeno los impondrá cada país según la regulación aplicable, muchas veces por sector. Este es el caso en la Unión Europea (EU), quien requerirá distintos “tipos de hidrógeno” en diferentes sectores, según diferentes regulaciones que aplican a cada uno de ellos (ver la Tabla 6)

Por ejemplo, para 2030, la UE exigirá que el 2.6% de los combustibles usados en el transporte terrestre, y 50% del total del hidrógeno usado en la industria (como energético y como insumo industrial) sean Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBO, por sus siglas en inglés). Para cumplir con los criterios de RFNBO, el hidrógeno debe ser producido a partir de electrólisis de energías renovables, cumpliendo con criterios de sostenibilidad que se resumen de la siguiente manera:

- Electrolizador conectado a la red eléctrica y contrato de suministro de energía (PPA) renovable:
 - **Adicionalidad:** Se debe garantizar que la electricidad renovable se haya generado en una nueva planta o instalación de energía renovable. La adicionalidad se establece con el objetivo de evitar que los productores de combustibles, como por ejemplo el hidrógeno, desplacen la energía renovable de otros sectores; aumentando las emisiones de combustibles fósiles, en lugar de incentivar la producción adicional de energía renovable. En otras palabras, se busca que la producción de combustibles renovables no compita con la generación de electricidad para la red, sino que se haga a partir de nuevas plantas nuevas (adicionales).
 - **Correlación temporal:** Se debe asegurar que la energía eléctrica renovable se consuma en la planta de producción de hidrógeno dentro de la misma hora en la que se produjo la electricidad renovable.
 - **Correlación geográfica:** Se debe asegurar que la electricidad renovable que se utiliza en la producción del hidrógeno se genere en las cercanías de la planta de generación de hidrógeno.

- Conexión directa entre electrolizador y planta de producción de electricidad renovable:
 - Adicionalidad: Planta de Energía Renovable y el electrolizador deben entrar en funcionamiento en un plazo de 3 años. Si la planta también lleva una conexión a la red, la evidencia de que la electricidad no se ha tomado de la red se demuestra con medición inteligente.

Se aprecia que para suplir los sectores sujetos a la regulación RED 2 (transporte terrestre e industria) en la UE con hidrógeno, este tendrá que ser necesariamente renovable y cumplir con los requisitos adicionales que ha impuesto la UE en cuanto a adicionalidad, así como de correlación geográfica y temporal (en el caso de usar conexión a la red con un contrato de energía renovable tipo PPA). Es decir que otros métodos de producción, tal como el uso de combustibles fósiles acoplados a plantas de captura y secuestro de carbono (CCS) – Hidrógeno Azul¹⁵ - no serán elegibles para suplir estos segmentos de mercado.

¹⁵ En Colombia la Ley 2099 de 2021 definió el Hidrógeno Azul como el hidrógeno que se produce a partir de combustibles fósiles, especialmente por la descomposición del metano (CH₄) y que cuenta con un sistema de Captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS), como parte de su proceso de producción y se considera FNCE

Tabla 6. Implicaciones para el hidrógeno y sus derivados en la Unión Europea

Sector	Regulación (en vigor o propuesta)	Descripción	Moléculas aplicables	Procesos Elegibles	
				Energía Renovable	Fósil + CCS
UE – Transporte Terrestre	RED 2 (en revisión)	28% en energías renovables en el sector del transporte en 2030, meta de RFNBO del 2,6% (≈87 TWh)	H2, NH3, MeOH, e-diesel	✓ +	✗
UE – Industria (50%)	RED 2 (en revisión)	50% de RFNBO en total de hidrógeno (energético + insumo) usado en la industria (≈200 TWh - 250 TWh)	H2	✓ +	✗
UE – Transporte aéreo	ReFuelEU Aviation	Volúmenes de combustibles de aviación sostenibles (biocombustibles, biocombustibles avanzados y RFNBO) para las aerolíneas en todos los aeropuertos de la UE: •2% a partir del 1 de enero de 2025 •5% a partir del 1 de enero de 2030 con 0.7% e-fuels •20% a partir del 1 de enero de 2035 con 5% e-fuels •32% a partir del 1 de enero de 2040 con 8% e-fuels •38% a partir del 1 de enero de 2045 con 11% e-fuels •63% a partir del 1 de enero de 2050 con 28% e-fuels	e-kerosene	✓ +	✗
UE – Transporte Marítimo	FuelEU Maritime	Reducción de emisiones de GEI respecto a 2020 de: •2% a partir del 1 de enero de 2025 •6% a partir del 1 de enero de 2030 •13% a partir del 1 de enero de 2035 •26% a partir del 1 de enero de 2040 •59% a partir del 1 de enero de 2045 •75% a partir del 1 de enero de 2050	NH3, MeOH, e-diesel	✓	✓
UE – Industria pesada	Régimen de Comercio de Emisiones (ETS)	Mecanismo Cap & Trade de CO2 para grandes producciones industriales: carbón, coque, refinerías, metales, hierro, acero, aluminio, cemento, vidrio, cerámica, ladrillos. papel y pulpa, química, gases industriales.	Cualquier producto cubierto por ETS	✓	✓

+ Requisitos adicionales para RFNBO

Los países de la UE exigirán a los operadores que demuestren que los criterios de sostenibilidad y de reducción de emisiones de GEI para el hidrógeno y los combustibles renovables se han cumplido, según lo establece la Comisión Europea en su propuesta de actualización de la Directiva de Energía Renovable. Por lo tanto, los países de la UE tienen un interés particular en hacer que los sistemas de certificación funcionen, ya que corren el riesgo de tener que pagar multas si no cumplen sus objetivos (Euractiv, 2021).

Otros desarrollos regulatorios recientes en la UE amplían aún más la necesidad de certificación el hidrógeno para fines de cumplimiento, como, por ejemplo, la iniciativa EUFuel Maritime; la extensión del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE (EU ETS, por sus siglas en inglés) al sector marítimo; y el mecanismo de ajuste de las emisiones de carbono en las fronteras (CBAM).

Este último, el **mecanismo de ajuste de las emisiones de carbono en las fronteras (CBAM)**, es un buen ejemplo de cómo las regulaciones climáticas europeas impulsarán el desarrollo de esquemas de certificación de hidrógeno en América Latina y otras regiones del mundo. El CBAM es una tributación de las importaciones a la UE basada en el contenido de carbono, que obligará a los productores de industrias intensivas en emisiones por fuera de la UE a pagar el precio del carbono del régimen de comercio de derechos de emisión de la UE a partir del 2026. Es decir que el CBAM requerirá que los importadores informen las emisiones de ciertos productos intensivos en carbono (aluminio, cemento, hierro y acero, electricidad y fertilizantes) al importarlos a la UE y que paguen un impuesto según su contenido de carbono. Si bien las importaciones de hidrógeno no estarán sujetos al CBAM, se puede esperar que el CBAM actúe como un impulsor de la demanda local de hidrógeno verde y bajo carbono en países que exporten aluminio, cemento, y acero o fertilizantes a la UE, ya que estas industrias podrán usar hidrógeno renovable y de bajo carbono para descarbonizar sus procesos. Los sistemas de certificación de hidrógeno serán imperativos para demostrar la intensidad de carbono de estos productos finales.

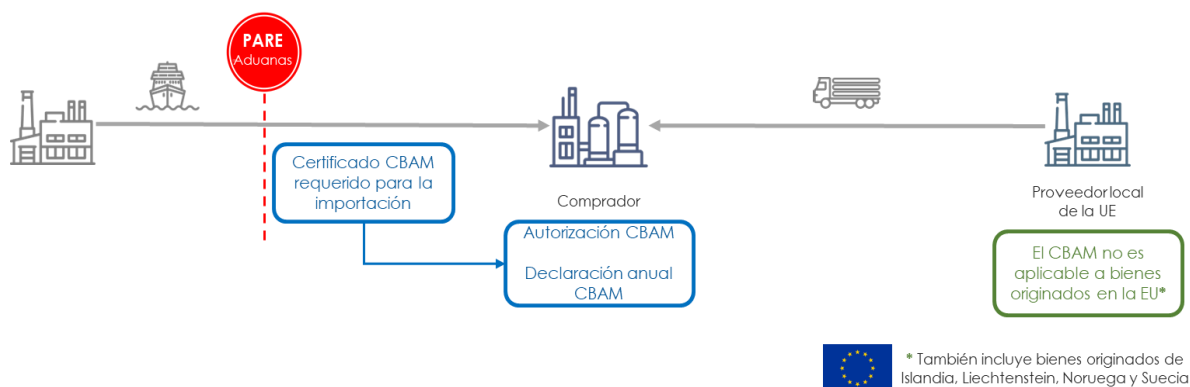


Figura 15. CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism.
Fuente: Adaptada de EY¹⁶

Otro ejemplo interesante de una regulación que impulsaría la certificación del hidrógeno es el paquete de incentivos que se está considerando en **Estados Unidos** dentro de la propuesta de ley (a la fecha de entrega de este informe) denominada "Build Back Better"¹⁷ que dará la opción a los productores de "**Hidrógeno Limpio (Clean Hydrogen)**" en Estados Unidos de optar por una de las siguientes dos opciones:

- Créditos fiscales de hasta \$ 3 por kilogramo durante 10 años sobre el hidrógeno limpio producido, o
- Un crédito fiscal a la inversión de hasta el 30% del costo del electrolizador y otros equipos. El crédito fiscal a la inversión se reclama en su totalidad en el año en que se pone en servicio el electrolizador u otro equipo.

Los montos de crédito varían dependiendo de la cantidad de CO₂ emitido para producir un kilogramo de hidrógeno, de la siguiente manera:

Intensidad de Carbono del H ₂ (kg CO _{2e} /kg H ₂)	Crédito Fiscal a la Producción (USD/kg H ₂)	Crédito Fiscal a la Inversión
>0.45	\$3	30%
0.45-1.5	\$1	10%
1.5-2.5	\$0.75	7.5%
2.5-4	\$0.60	6%
4-6	\$0.45	4.5%

¹⁶ <https://www.newrealityblog.com/2021/07/06/the-eu-cbam-carbon-border-adjustment-mechanism/>

¹⁷ <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376>

También en Estados Unidos, otro ejemplo es el **Low Carbon Fuel Standard (LCFS) de California**, una normativa establecida por el California Air Resources Board (CARB) con el propósito de reducir la intensidad de carbono de los combustibles utilizados en el sector transporte con respecto a los combustibles convencionales derivados del petróleo, como la gasolina y el diésel (CARB, 2021). Su funcionamiento consiste en un sistema de créditos en el que los combustibles derivados del petróleo generan créditos negativos, mientras que los combustibles más limpios como por ejemplo el gas natural, los biocombustibles, la electricidad y el hidrógeno pueden optar por generar créditos positivos.

Cada crédito LCFS representa una tonelada métrica (TM) de dióxido de carbono reducido. Los créditos se generan a medida que el combustible se consume dentro del transporte, específicamente cuando el combustible tiene un puntaje de intensidad de carbono más bajo que el objetivo establecido por CARB. Los combustibles con una puntuación de intensidad de carbono superior a la meta de CARB generan déficits. Los déficits deben compensarse generando o comprando créditos LCFS.

En el caso de los proyectos de hidrógeno, son elegibles la producción de hidrógeno para vehículos a celda de combustible e hidrógeno renovable para la producción de electrocombustibles (CARB, 2021).

Para que un combustible sea clasificado como limpio bajo el LCFS, éste necesita tener una intensidad de carbono a lo largo de su ciclo de vida inferior a 100 gCO_{2e}/MJ para el 2020 y de alrededor de 60 gCO_{2e}/MJ para el 2030. La cantidad de créditos LCFS que genera un combustible es mayor en cuanto más limpio es su proceso de producción, dado que se otorga un crédito LCFS por cada tonelada de CO_{2eq} reducida en comparación con el combustible tradicional (gasolina o diésel) que se esté reemplazando (SRECTrade, 2021). En consecuencia, se estima que el hidrógeno producido mediante rutas renovables puede generar hasta un 50% más de créditos por kg que aquel producido por rutas no renovables (Garderet & Goldstein, 2014). Esto evidencia la necesidad de contar con un sistema de monitoreo y trazabilidad de emisiones robusto para demostrar cumplimiento y así obtener el beneficio económico.

El Anexo 1. Regulaciones Internacionales que crean la necesidad de certificar el hidrógeno contiene el detalle de estas y otras regulaciones internacionales que impulsan la necesidad de contar con esquemas de certificación de hidrógeno y que afectarían las exportaciones de hidrógeno desde LAC (ya que el hidrógeno que se exporte a esos países debe ser elegible bajo los criterios definidos en su regulación aplicable).

5. PERSPECTIVAS PARA LA ADOPCIÓN DE CERTIFICACIÓN DE HIDRÓGENO EN LAC

Latinoamérica todavía no cuenta con sistemas de certificación de hidrógeno desarrollados o adoptados en la región. Sin embargo, en varios países como Chile, Colombia y Uruguay ya se ha comenzado a reflexionar al respecto.

La certificación de hidrógeno en Latinoamérica y el Caribe podría servir 3 propósitos:

1. Para habilitar las **exportaciones** de hidrógeno a otros países
2. Para facilitar la **divulgación al consumidor** en los mercados locales voluntarios
3. Para verificación de **cumplimiento con regulaciones** en los mercados locales regulados

A continuación se describe, de manera preliminar, cómo se podría orientar un esquema de certificación en los países de Latinoamérica y el Caribe (LAC) que sirva cada uno de estos propósitos.

5.1 Habilitar exportaciones de hidrógeno

Como se describió anteriormente, hoy en día no existen definiciones armonizadas sobre lo que es un producto "verde" o "sostenible", ya sea hidrógeno o un derivado. Estas definiciones a menudo son establecidas por el mercado importador sobre la base de criterios prioritarios de sostenibilidad.

Por lo anterior, **para exportar hidrógeno, los países de LAC necesitan asegurarse de cumplir con los criterios establecidos por los consumidores en los países importadores en cuanto a los atributos del hidrógeno que estarán consumiendo.**

A continuación, se describen los pasos que se deben seguir en LAC para habilitar las exportaciones de hidrógeno.

1. Entender los requerimientos del mercado de exportación objetivo

Lo primero que los países de LAC necesitan hacer es comprender correctamente las definiciones aplicables al hidrógeno en los mercados objetivo y la regulación para cumplir con esas especificaciones.

Por ejemplo, si se busca exportar hidrógeno que cumpla con los criterios establecidos por la Unión Europea para los Combustibles Renovables de Origen No Biológico – RFNBO-, los países de LAC deberán establecer los mecanismos análogos

a los europeos para garantizar que exista correlación temporal, correlación geográfica y adicionalidad, tal como lo ha definido en sus Actos Delegados la Comisión Europea, por ejemplo a través de la medición inteligente.

Es en esta etapa cuando los criterios de cumplimiento, los métodos de producción elegibles, la comprensión de las definiciones de productos, y los pasos a seguir para realizar las auditorías, deben socializarse a fondo con los potenciales productores en los países de LAC que desean exportar hidrógeno, ya que esta es la "lista de verificación" que sus proyectos deberán cumplir.

2. Seleccionar el esquema de certificación apropiado para adopción

Sólo después de haber comprendido las definiciones y los requisitos aplicables según la regulación del país importador, tendrá sentido definir qué tipo de sistema de certificación será necesario adoptar; es decir, uno que cubra todos los criterios de cumplimiento exigidos por el mercado objetivo y que sea reconocido como conforme con la regulación por dicho mercado. Por ejemplo, en caso de querer exportar hidrógeno a la Unión Europea como RFNBO, se podrá adoptar CertifHy®, quien normalmente debería tener listo su esquema de certificación para RFNBO hacia finales del 2022.

Vale la pena señalar que el estado actual de los esquemas de certificación existentes para el hidrógeno a nivel mundial (descritos en profundidad en la sección 3 Esquemas de certificación de hidrógeno a nivel internacional) está aún en etapas tempranas, y que varios de los países se están posicionando como potenciales importadores aún no han diseñado definiciones y regulaciones aplicables a los productos y combustibles importados sostenibles y bajos en carbono.

Sin embargo, esto no significa que los países de LAC deban esperar a que se establezcan dichos marcos regulatorios para diseñar o adoptar un esquema de certificación. Una buena recomendación para los países de ALC sería adoptar un esquema existente, reconocido internacionalmente, que ya se utilice en varios mercados objetivo, y que cumpla con la regulación existente y futura de la Unión Europea. Este es el enfoque más seguro para garantizar la compatibilidad futura con la mayoría, si no todos, los mercados internacionales, ya que la regulación europea usualmente es la más estricta a nivel de requerimientos de sostenibilidad, tal como lo ha demostrado con sus políticas frente a otros energéticos como los biocombustibles y las energías renovables.

3. Establecer acuerdos bilaterales con el país importador

Subsecuentemente, los gobiernos de los países de LAC deberán establecer diálogos con el gobierno del país importador para crear un marco de

reconocimiento mutuo para el seguimiento, la validación y la certificación del hidrógeno producido para exportación bajo un acuerdo bilateral.

De esta manera, los atributos ambientales del hidrógeno producido en LAC, y certificado bajo el esquema de certificación internacional apropiado, podrán ser validados y aceptados en el país importador.

4. Asignar responsabilidades a actores públicos y privados localmente

Subsecuentemente, y según los diálogos que se hayan tenido con los gobiernos de los países importadores y con los administradores del esquema de certificación internacional seleccionado, los países de LAC deberán trabajar en la asignación de roles y responsabilidades para implementar los mecanismos de medición, reporte y verificación que permitan cumplimiento con los requerimientos del país importador.

Varios de estos roles y responsabilidades serán llevados a cabo por los operadores del esquema de certificación seleccionado, mientras que otros los llevarán a cabo una combinación entre entidades públicas y privadas del país productor en LAC.

A continuación se presenta un ejemplo de la distribución de roles y responsabilidades bajo dicho esquema.

Tabla 7. Gobernanza para adopción de esquema de certificación de hidrógeno destinado a la exportación

Entidad	Rol	Requerimiento en país de LAC
Autoridad nacional competente	Ente debidamente autorizado bajo la ley y regulaciones del país para ejercer o delegar tal función	Autoridad del gobierno nacional designada para supervisar la certificación.
Organismos de Certificación	Entidad autorizada para actuar como un verificador ambiental, u organización de verificación ambiental	Puede no requerirse, ya que cada esquema de certificación designa y aprueba organismos de certificación. Es posible que una empresa local del país de LAC pudiese solicitar convertirse en un organismo emisor reconocido para auditar a los operadores en función de los criterios específicos del esquema.
Organismo emisor	Entidad responsable de registrar entidades basado en los informes del ente certificador. Responsable también de emitir los certificados.	Una única entidad pública o privada a nivel nacional que puede emitir, transferir y cancelar/redimir certificados a través del Registro, y revisar los informes de auditoría de los Organismos de Certificación.

Administrador del Registro	Entidad designada por la Autoridad Competente y/o Ente Emisor para operar y mantener el registro	No es necesario, ya que los instrumentos se rastrearían y negociarían a través del registro existente utilizado por el esquema adoptado.
Titulares de cuentas	Productores privados de hidrógeno que solicitarán la emisión, transferencia y cancelación/redención de certificados (es decir, usuarios)	Necesitarían crear cuentas en el Registro existente

5.2 Facilitar la divulgación en los mercados locales voluntarios

Los consumidores de hidrógeno en los países de LAC probablemente estarán interesados en contar con algún mecanismo que les permita probar que están consumiendo un producto "verde", de "bajo carbono" o ambientalmente sostenible.

Al igual que sucede con los esquemas voluntarios de certificación de energías renovables como por ejemplo el I-REC Standard¹⁸, en los países de LAC podrían operar esquemas de certificación de hidrógeno en los mercados voluntarios. Estos esquemas buscan certificar hidrógeno con propósito de divulgación al consumidor (razones de mercadeo, responsabilidad social corporativa, etc.).

Estos esquemas generalmente son desarrollados y operados en su totalidad por entidades privadas y pueden operar en varios países, ya que no dependen de ninguna regulación en particular.

Ejemplos de ellos son los esquemas de TÜV SÜD y TÜV Rheinland, el Zero Carbon Certification Scheme, el GH2, así como amoniaco bajo el esquema de ISCC Plus descritos en la sección 3.1 Esquemas de certificación de carácter voluntario/privados.

En principio, hoy en día sería posible certificar hidrógeno producido y comercializado en los países de LAC bajo los esquemas de TÜV SÜD y TÜV Rheinland, así como amoniaco bajo el esquema de ISCC Plus. Sin embargo, aún no se cuenta con experiencias reales para ninguno de esos casos. CertifHy® está trabajando en la internacionalización de su esquema, por lo cual en un futuro próximo se espera que este esquema pueda operar en lugares diferentes a la UE. Y, a futuro, es posible que otras empresas desarrollen otros esquemas de certificación que puedan operar en la región de LAC.

¹⁸ <https://www.irecstandard.org/#/>

Si bien estos esquemas voluntarios generalmente son puramente privados, los **gobiernos** de los países de LAC pueden ser proactivos en su implementación mediante el desarrollo de mecanismos de **creación de mercado**, tales como:

- Políticas y regulaciones que estimulen el comercio de certificados, tales como **obligaciones de divulgación del origen** de la producción del hidrógeno.
- Implementando **metas** claras de **penetración de hidrógeno** verde o de bajo carbono en sectores específicos

En caso de que exista más de un sistema de certificación de hidrógeno privado operativo en el país, estos deben conversar entre ellos, diseñando un procedimiento de seguimiento para garantizar que un kilogramo de hidrógeno no ha sido contabilizado dos veces.

El desarrollo de este tipo de sistemas de certificación de hidrógeno generalmente se basa, y es compatible con, algún sistema existente de certificación de energías renovables con una cadena de custodia operando en book-and-claim. De esta manera, por ejemplo, si se consume 1MWh de energía eléctrica renovable certificada para la producción de hidrógeno electrolítico, la producción de ese hidrógeno resultante hace uso del certificado de energía renovable (lo cancela o redime), al tiempo que hace elegible el lote de producción de hidrógeno para su certificación bajo el sistema de certificación de hidrógeno.

5.3 Verificar cumplimiento en los mercados locales regulados

Los gobiernos de los países de LAC podrían requerir el desarrollo o la adopción de esquemas de certificación de hidrógeno a nivel nacional para monitorear y verificar los atributos ambientales del hidrógeno de manera que se pueda verificar el cumplimiento con regulaciones y validar el acceso a incentivos.

Algunos ejemplos del tipo de regulaciones que requieren el monitoreo de atributos ambientales del hidrógeno se presentaron para la Unión Europea y Estados Unidos en la sección 4 Regulaciones que impulsarán la certificación de hidrógeno.

Los esquemas de certificación de hidrógeno para verificación del cumplimiento con regulaciones deberán ser sistemas oficiales, desarrollados, operados, o al menos avalados por los gobiernos nacionales. El papel que puede desempeñar el gobierno nacional en sus esquemas de gobernanza es flexible. El gobierno puede ser el dueño y operar el sistema, o puede designar entidades públicas o privadas para diferentes roles.

Como se explicó antes, generalmente el esquema de certificación de hidrógeno se basará en algún sistema existente de certificación de energías renovables con el cual es compatible. No obstante, para certificar hidrógeno verde, **no es necesario contar con un sistema oficial de certificación de energía renovable**

operado por el gobierno. El esquema de certificación de energías renovables puede ser desarrollado y operado en su totalidad por empresas privadas. Sin embargo, **el gobierno debe dejar claro dentro de la normativa cuál será el esquema de certificación de energías renovables privado que será aceptado o reconocido para ser compatible con el esquema de certificación de hidrógeno**, de manera que se evite el doble conteo de certificados.

A continuación se plantean los pasos que se deben dar para el diseño o adopción de un esquema de certificación de hidrógeno con fines de cumplimiento con regulaciones nacionales:

1. Especificación funcional

La primera etapa que se debe surtir es definir los parámetros básicos del sistema de certificación, incluyendo los siguientes:

- **Alcance de la contabilización de emisiones de GEI:** Definir si se incluyen las emisiones de todo el ciclo de vida hasta el punto de uso, o si el límite del sistema se fijará en el punto de producción.
- **Cadena de custodia:** Definir si la trazabilidad se hará por balance de masa o book-and-claim, siendo el primero requerido para una contabilidad de emisiones hasta el punto de uso, y el último generalmente usado para esquemas cuyo límite de contabilidad de emisiones es el punto de producción.
- **Umbrales y criterios de elegibilidad.** Definición de las "etiquetas" o clasificación que se le dará al hidrógeno según sus atributos ambientales. Por ejemplo, en Estados Unidos se ha definido el "Hidrógeno Limpio" como aquel cuyas emisiones en el punto de producción son iguales o menores a $2\text{kgCO}_2\text{eq/kgH}_2$, y este criterio aplicará para la asignación de subsidios en programas como el recientemente creado Clean Hydrogen Hubs Program¹⁹.

2. Elaboración de ficha técnica del certificado.

El siguiente paso es definir la ficha técnica del certificado, es decir, definir qué **atributos** se monitorearán y en qué **unidades de medida**.

Los esquemas de certificación de hidrógeno están generalmente diseñados en torno a la emisión de CO_2 de la molécula que se produce. La mayoría de ellos requiere también reportar el insumo utilizado para producir el hidrógeno (ej. energía solar, gas natural), así como los equipos utilizados en la

¹⁹ BIPARTISAN INFRASTRUCTURE LAW (BIL) - 2022 REGIONAL CLEAN HYDROGEN HUBS IMPLEMENTATION STRATEGY

producción (electrolizador, reformador de metano a vapor, sistemas de captura de CO₂, etc.). Varios esquemas requieren además reportar el carácter renovable de la energía utilizada (ej. Uso de certificados de energía renovable cuando los electrolizadores se conectan a la red eléctrica, uso de biomasa o biogás en procesos de gasificación o reformado a vapor, etc.). Los esquemas de certificación en LAC deberán incluir dichos atributos para agregar valor tanto a nivel nacional como internacional.

Además de estos atributos, los países de LAC podrían considerar agregar otros criterios que sean importantes para el país, tales como impactos sociales, uso de la tierra, escasez de agua, entre otros. Siempre se debe tener en cuenta que cuantos más atributos se desee monitorear, más complejo y costoso será el proceso de certificación.

3. Desarrollo/adopción de una metodología de cálculo de emisiones de GEI (y potencialmente de renovabilidad de la energía).

Una vez definidos los atributos o criterios que harán parte de la certificación, se debe desarrollar o adoptar alguna metodología de monitoreo y cuantificación. Los países de LAC podrán adoptar metodologías de estándares existentes tales como la de CertifHy®. Los estándares ISO y las metodologías del IPHE son referencias importantes para considerar.

El gobierno deberá también recopilar y proveer insumos para los cálculos, tales como los factores de emisión de la red eléctrica, las pérdidas por transmisión de energía eléctrica en la red, tasas de fuga de CO₂, los valores que se deben asumir para consumo energético de equipos tales como los electrolizadores, los reformadores de metano a vapor, las unidades de captura de CO₂, , entre otros supuestos de cálculo.

4. Definición de la gobernanza del sistema

En esta etapa se deberán definir los roles y las responsabilidades de cada actor involucrado en la operación del sistema, tanto entidades de gobierno, como actores privados. Como se explicó anteriormente, el gobierno puede tomar un papel prominente en la operación del sistema, o puede delegar varias funciones a terceros.

A continuación se ilustran dos extremos posibles de roles a asumir por parte del gobierno nacional, siendo un punto intermedio entre ambos plenamente posible.

La opción A representa el máximo control y gestión posible por parte del gobierno. La opción B muestra el otro extremo posible, donde el gobierno asume el papel de autoridad nacional competente, estableciendo las reglas y los requisitos mínimos admisibles, y supervisando la certificación. En

este caso es importante que el gobierno tenga el control suficiente del esquema para evitar la doble contabilización de certificados (que un mismo lote de producción se certifique dos veces) y que pueda monitorear la mezcla residual (llevar una contabilización del total de la producción de hidrógeno del país, y cuando de ello es producto certificado).

Tabla 8. Posibles roles del gobierno nacional dentro de un esquema de certificación nacional de hidrógeno con fines de verificación de cumplimiento con regulaciones

Entidad	Opción A	Opción B
Autoridad nacional competente		
Organismo Acreditador		Tercero designado
Organismos de Certificación	Ente Auditor	Ente Auditor
Organismo emisor		Tercero designado
Administrador del Registro		Tercero designado

5. Diseño del sistema de verificación basado en informes y registros

La última etapa será diseñar los protocolos para realizar la verificación, los procedimientos y lineamientos para la elaboración de informes y registro de los certificados por parte de las diferentes entidades. En caso de adoptarse un esquema de certificación ya existente en los países de LAC, estos sistemas de verificación ya estarán definidos, y simplemente se tendrá que definir cómo se realizará su aplicación a nivel local.

6. CONCLUSIONES

Los **sistemas de certificación del hidrógeno** contienen un conjunto de reglas y procedimientos para estandarizar procesos para el rastreo y la certificación de sus **atributos ambientales** (por ejemplo, el tipo de materia prima, la intensidad de GEI, el carácter renovable o no, entre otros).

Debido a que las moléculas de hidrógeno son idénticas entre sí, sin importar cuál sea su método de producción, se torna imperativo contar con esquemas de certificación que permitan rastrear y certificar de dónde y cómo se produce el hidrógeno, identificando sus atributos ambientales asociados.

Las definiciones de “hidrógeno verde” o “hidrógeno de bajo carbono” son diversas y **no existe una definición armonizada a nivel global sobre la intensidad máxima de emisiones u otros atributos ambientales asignados a cada “tipo de hidrógeno”**. De esta manera, **el producto final (ej. el hidrógeno verde) tiene diferentes atributos ambientales, los cuales son reconocidos bajo el esquema de certificación asociado.**

Tampoco existe a la fecha de emisión de este reporte un **esquema global de certificación de hidrógeno**. Un primer paso lo ha dado la organización internacional el *International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*, **IPHE, quien desarrolló un marco analítico que armoniza** las metodologías para calcular la huella de carbono de la producción del hidrógeno a nivel internacional. Esta metodología podrá **servir de base para la creación de esquemas de certificación nacionales**. Sin embargo, este marco analítico **no proporciona orientación sobre los valores umbral de intensidad de las emisiones** de GEI, ya que esto seguirá siendo responsabilidad de cada país (IPHE, 2021)

Hay dos **razones principales por las cuales se busca certificar el hidrógeno** (y/o sus derivados). Estas son:

- **Divulgación:** los certificados de hidrógeno se utilizan para la divulgación confiable de las características del producto al consumidor final, por ejemplo, para fines de responsabilidad social corporativa (RSC).
- **Cumplimiento:** las certificaciones de hidrógeno se pueden utilizar como una **herramienta de reporte y verificación** para demostrar el cumplimiento de objetivos de energías renovables y/o reducción de emisiones.

Adicionalmente, las certificaciones de hidrógeno habilitan la **fijación de precios basada en la segmentación del mercado del hidrógeno** según sus diferentes atributos ambientales como, por ejemplo, una prima de precio por la reducción de la huella de carbono. Así, **cuanto más estrictos son los criterios impuestos por el marco regulatorio, o fijados voluntariamente en los mercados, mayor será el precio del hidrógeno y/o sus derivados**. Por ejemplo, el hidrógeno producido a partir de fuentes de energía renovable puede obtener más créditos LCFS en California que el hidrógeno producido a partir de fuentes fósiles con CCUS, debido a que el primero tiene una menor intensidad de carbono. Por lo tanto, los compradores estarán dispuestos a pagar un mayor precio por el hidrógeno renovable que el que pagarían por el hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles con CCUS.

El desarrollo de esquemas de certificación de hidrógeno a nivel mundial se encuentra aún en sus fases tempranas. Los certificados de hidrógeno se introdujeron en 2019 en Europa a través de la implementación de CertifHy® bajo una coalición público-privada. Actualmente existen varios otros esquemas de certificación del hidrógeno desarrollados por iniciativas privadas que operan en los mercados voluntarios, tales como TÜV SÜD, TÜV Rheinland, el GH2, y el Zero Carbon Certification Scheme, así como el ISCC Plus para la certificación de amoníaco. Se destaca que actualmente no hay ningún país en el mundo que tenga un esquema de certificación de hidrógeno desarrollado, operado o avalado por el gobierno. La Unión Europea estableció un mandato que hará obligatoria la adopción de sistemas nacionales de garantía de origen para el hidrógeno en cada estado miembro. Australia se encuentra avanzado en la definición de su esquema de certificación de hidrógeno. Japón y Corea del Sur han manifestado sus intenciones de contar con sistemas de certificación de hidrógeno propios, pero aún no se han reportado avances significativos.

CertifHy® es el esquema de certificación de origen de hidrógeno más reconocido a nivel mundial y con mayor proyección a ser adoptado. Gobiernos de países e instituciones internacionales lo están adoptando en sus procesos. Por ejemplo, el IPHE está recibiendo retroalimentación de CertifHy® para asegurar la armonización metodológica a nivel internacional para certificar el hidrógeno. Además, varios gobiernos europeos como por ejemplo el de los Países Bajos, han decidido adoptar las metodologías de CertifHy® para la certificación del hidrógeno en sus países.

Los sistemas de certificación existentes en la actualidad difieren en elementos como su **gobernanza** (pública o privada), **alcance geográfico**, **umbrales de emisiones de GEI**, **vías de producción elegibles** y **posibilidad de usar mecanismos de compensación**.

Las regulaciones climáticas impulsan la necesidad de contar con sistemas de certificación de hidrógeno para demostrar el cumplimiento con metas de incorporación de renovables o de reducción de GEI, y para acceder a incentivos o financiamiento especial para proyectos sostenibles.

Los países de LAC que pretendan posicionarse como potenciales exportadores de hidrógeno deberán asegurarse de comprender a cabalidad los requisitos impuestos por los países importadores en cuanto a las características que debe tener el hidrógeno para ser elegible con sus regulaciones aplicables.

Las regulaciones en la Unión Europea son las más estrictas que existen por el momento en cuanto a los criterios de elegibilidad del hidrógeno para dar cumplimiento a sus regulaciones. Para ser considerado como un combustible

renovable bajo la Directiva de Energía Renovable de la UE, el hidrógeno y los electrocombustibles deben estar cumplir con los requisitos que se han definido para los RFNBO. Estos deben ser producidos a partir de electrólisis de energías renovables, cumpliendo con criterios de sostenibilidad, tales como la adicionalidad de las plantas de energía renovable, y criterios de correlación temporal y geográfica si los electrolizadores se conectan a la red eléctrica.

El **mecanismo de ajuste de las emisiones de carbono en las fronteras (CBAM)**, requerirá que los productores de aluminio, cemento, hierro y acero, electricidad y fertilizantes que importen al mercado de la UE informen las emisiones de su producción y paguen un impuesto según su contenido de carbono. Por esta razón se espera que el CBAM actúe como un impulsor de la demanda local de hidrógeno verde y bajo carbono en países de LAC que exporten aluminio, cemento, y acero o fertilizantes a la UE, ya que estas industrias podrán usar hidrógeno renovable y de bajo carbono para descarbonizar sus procesos. Los sistemas de certificación de hidrógeno serán imperativos para demostrar la intensidad de carbono de estos productos finales.

Latinoamérica todavía no cuenta con sistemas de certificación de hidrógeno propios de la región. Sin embargo, en varios países como Chile, Colombia y Uruguay ya se ha comenzado a reflexionar al respecto.

Los **impactos que tendrá el desarrollo de esquemas de certificación de hidrógeno en los países de LAC** son múltiples e incluyen, por ejemplo:

- Impactos **directos**:
 - Apoyo en la **creación de demanda interna de hidrógeno** verde o bajo carbono
 - Segmentación de precios construyendo un indicador suficientemente armonizado y simple que permite la formación de mercados líquidos.
 - Mecanismo para **verificar el cumplimiento con regulaciones** para reducción de emisiones de carbono o incorporación de energías renovables.
 - **Facilitador del acceso a mecanismos de financiamiento climático u otros instrumentos de política pública** tales como incentivos fiscales.
- Impactos **indirectos**
 - **Estímulo a la demanda y aumento potencial de la competitividad de las energías renovables**
 - **Diversificación del riesgo en la comercialización de la electricidad renovable**
 - **Valor agregado a otras industrias a nivel mundial** (ej. Industria del acero) al bajar su intensidad de carbono (acero verde).

Para exportar hidrógeno, los países de LAC necesitan asegurarse de cumplir con los criterios establecidos por los consumidores en los países importadores en cuanto a los atributos del hidrógeno que estarán consumiendo. Para ello deberán: 1) Entender los requerimientos del mercado de exportación objetivo, 2) Seleccionar el esquema de certificación apropiado para adopción (uno que sea reconocido por el país importador), 3) Establecer acuerdos bilaterales con el país importador, y 4) Asignar responsabilidades a actores públicos y privados localmente.

Los esquemas de certificación que operan en los mercados voluntarios y sirven como herramienta de divulgación al consumidor generalmente son desarrollados y operados en su totalidad por entidades privadas y pueden operar en varios países, ya que no dependen de ninguna regulación en particular. En LAC aún no opera ninguno, pero a futuro se espera que esquemas internacionales existentes y nuevos esquemas se desarrollen y operen en la región. Hoy en día sería en principio posible certificar hidrógeno proveniente de LAC bajo los esquemas de TÜV SÜD y TÜV Rheinland, así como amoniaco bajo el esquema de ISCC Plus. Sin embargo, aún no se cuenta con experiencias reales para ninguno de esos casos. CertifHy® está trabajando en la internacionalización de su esquema, por lo cual en un futuro próximo se espera que este esquema pueda certificar el hidrógeno verde y bajo carbono proveniente de LAC en la UE, y demás regiones donde se adopte y se reconozca este esquema. Si bien estos esquemas voluntarios generalmente son puramente privados, **los gobiernos de los países de LAC pueden ser proactivos en su implementación mediante el desarrollo de mecanismos de creación de mercado**, tales como el establecimiento de obligaciones de divulgación del origen de la producción del hidrógeno y la implementando metas claras de penetración de hidrógeno verde o de bajo carbono en sectores específicos

Para **verificar cumplimiento con regulaciones y validar el acceso a incentivos, los gobiernos de LAC podrán requerir el desarrollo propio o la adopción de esquemas de certificación de hidrógeno a nivel nacional**. Estos deben ser sistemas oficiales, desarrollados u operados, o al menos avalados por los gobiernos nacionales. El papel que puede desempeñar el gobierno nacional en sus esquemas de gobernanza es flexible. El gobierno puede ser el dueño y operar el sistema, o puede designar entidades públicas o privadas para diferentes roles.

Generalmente un esquema de certificación de hidrógeno se basará en algún sistema existente de certificación de energías renovables con el cual es compatible. No obstante, para certificar hidrógeno verde, **no es necesario contar con un sistema oficial de certificación de energía renovable operado por el gobierno**. El esquema de certificación de energías renovables puede ser desarrollado y operado en su totalidad por empresas privadas. Sin embargo, **el gobierno debe dejar claro dentro de la normativa cuál será el esquema de certificación de energías renovables privado que será aceptado o reconocido para ser compatible con el esquema de certificación de hidrógeno**, de manera que se evite el doble conteo de certificados.

Los países de LAC pueden construir sobre las experiencias previas que han tenido otros gobiernos y entidades privadas, para **no desarrollar esquemas de certificación de hidrógeno partiendo de cero, sino más bien adoptar, y adaptar, esquemas de certificación existentes** considerando sus especificidades y sus decisiones de posicionamiento estratégico en la cadena mundial del hidrogeno.

7. ANEXOS

ANEXO 1. REGULACIONES INTERNACIONALES QUE CREAN LA NECESIDAD DE CERTIFICAR EL HIDRÓGENO

Las regulaciones climáticas impulsan la necesidad de contar con sistemas de certificación de hidrógeno para demostrar el **cumplimiento** con metas de incorporación de renovables o de reducción de GEI.

Los requisitos para certificar el hidrógeno varían significativamente en función de la regulación abordada, según sean los umbrales máximos de emisiones o la Intensidad de Carbono (IC), los requerimientos en cuanto a la renovabilidad de la energía, y las metodologías para la medición y verificación de parámetros de sostenibilidad, entre otros. Algunas regulaciones están sujetas a umbrales mínimos de reducción de emisiones de GEI, mientras que otras no imponen límites, sino que incentivan su reducción.

En la Tabla 9 se presenta un resumen de las principales regulaciones que hacen (o harán) necesario contar con sistemas de certificación de hidrógeno para su producción, comercialización o uso tanto en Europa como en Estados Unidos. Concretamente, se muestran los segmentos de mercado cubiertos por cada una, los requerimientos a nivel de intensidad de carbono máxima (cuando aplican), y los métodos de producción de hidrógeno elegibles dentro de cada una de ellas.

Se incluyen tanto regulaciones vigentes a la fecha de elaboración de este informe (noviembre de 2021), como propuestas regulatorias cuya entrada en vigor también tendría efectos sobre la necesidad de certificar los atributos ambientales del hidrógeno en un futuro.

Tabla 9. Requerimientos regulatorios internacionales para la certificación de hidrógeno (a noviembre de 2021).

Marco de referencia	Segmentos de mercado cubiertos	Requerimiento de intensidad de carbono	Alcance de la huella de carbono	Vías de producción de hidrógeno elegibles		
				Electricidad renovable	Electricidad de la red	Combustibles fósiles + CCS
EU RED II (en revisión)	Actualmente: Transporte (terrestre y ferrocarril). Futuro: Industria	70% de reducción frente al comparador de combustibles fósiles relevante (aún por definirse)	Punto de uso	Sí	Solo si es 100% renovable (criterios de adicionalidad, correlación geográfica y temporal)	No
EU ETS y extensiones para transporte marítimo (nuevo)	Actualmente: Generación de energía, refinerías, acero, cemento, vidrio, productos químicos, aviación. Futuro: transporte marítimo	No	Punto de uso	Sí	Sí, pero una IC más alta paga más derechos de emisión	Sí, pero una IC más alta paga más derechos de emisión
EU ETS – CBAM (nuevo)	Importaciones de aluminio, cemento, hierro y acero, electricidad y fertilizantes	No	Límites por definirse	Sí	Sí, pero un IC más alto paga un impuesto fronterizo al carbono más alto	Sí, pero un IC más alto paga un impuesto fronterizo al carbono más alto
EU Fuel Maritime (nuevo)	Transporte marítimo	No	Punto de uso	Sí	Sí, pero es posible que no permita cumplir con obligaciones de intensidad de GEI	Sí, pero es posible que no permita cumplir con obligaciones de intensidad de GEI
California LCFS	Transporte terrestre	<100 gCO ₂ eq / MJ en 2020 y <60 gCO ₂ eq / MJ en 2030	Punto de uso	Sí	Sí, pero una IC más alta recibe menos créditos	Sí, pero una IC más alta recibe menos créditos
Oregon CFP	Transporte terrestre	<95 gCO ₂ eq / MJ en 2020 y <88 gCO ₂ eq / MJ en 2025	Punto de uso	Sí	Sí, pero una IC más alta recibe menos créditos	Sí, pero una IC más alta recibe menos créditos

7.1.1 Unión Europea

Varias directivas y regulaciones que conforman el marco regulatorio para energía y clima de la Unión Europea derivan en una necesidad de contar con esquemas de certificación de hidrógeno. Estas regulaciones tienen (o tendrán) implicaciones en el tipo de hidrógeno (o sus derivados) que se podrá exportar a Europa para su uso en diferentes segmentos de mercados, según los atributos ambientales que tenga la molécula.

A continuación, se describen las regulaciones vigentes a la fecha de elaboración de este informe (noviembre 2021), así como las medidas propuestas en el paquete regulatorio “Fit for 55”²⁰, que emitió la Comisión Europea en Julio de 2021 con el objetivo de reducir las emisiones netas de GEI al menos un 55% para 2030.

El marco más establecido y estricto para la certificación está definido actualmente por la Directiva de Energía Renovable II (RED II) para los combustibles del sector del transporte basada en el enfoque para los biocombustibles en Europa.

Los recientes desarrollos regulatorios amplían aún más la necesidad de certificación el hidrógeno para fines de cumplimiento, como por ejemplo: la revisión de RED II (la RED III); la iniciativa EUFuel Maritime; la extensión del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE (EU ETS, por sus siglas en inglés) al sector marítimo; y el mecanismo de ajuste de las emisiones de carbono en las fronteras (CBAM). A continuación, se describe en detalle cada una de estas regulaciones.

7.1.1.1 RED II y su propuesta de revisión (RED III)

La Directiva de Energías Renovables II (RED II) establece las normas para que la UE alcance su objetivo de consumo de energía renovable del 32% para 2030. La propuesta regulatoria actualmente en revisión (RED III) propone un valor del 40% de este consumo para el 2030.

Además, RED II obliga a los estados miembro a exigir a los proveedores de combustible que suministren un mínimo del 14% de la energía consumida en el transporte por carretera y ferrocarril para 2030 proveniente de energías renovables.

²⁰ En julio de 2021, la Comisión Europea adoptó un paquete de propuestas para que las políticas de la UE en materia de clima, energía, uso de la tierra, transporte e impuestos sean adecuadas para reducir las emisiones netas de GEI al menos un 55% para 2030, en comparación con los niveles de 1990. Esta serie de 13 propuestas legislativas transversales incluye 8 revisiones de la legislación existente y 5 nuevas propuestas.

La revisión propuesta (RED III) ampliará la obligación a los proveedores de combustibles garantizar que la reducción de la intensidad de GEI en el transporte frente a la línea base de los combustibles fósiles sea del 13% para el 2030, lo que implica aproximadamente una participación del 24% en energías renovables en el sector del transporte, anticipando una participación de los Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBO) del 2,6% para 2030²¹, lo que creará un gran mercado para el hidrógeno renovable en el sector de transporte en Europa. El 2,6 % de la demanda energética de la UE (3.335 TWh 2018) corresponde a alrededor de 87 TWh proveniente de RFNBO (Pia Kerres, 2021) .

La revisión propuesta también amplía el concepto de RFNBO a todos los sectores (no solo al transporte), y prevé un objetivo de uso de energía renovable en el sector industrial del 50% de la suma del hidrógeno utilizado en el consumo de energía final y el hidrógeno utilizado como materia prima dentro de la industria. Para este sector, se prevé que la demanda de hidrógeno de la UE aumente aproximadamente entre 400 TWh a 500 TWh en 2030 (FCH-JU, 2019) lo que implica una necesidad adicional de 200 TWh - 250 TWh de RFNBO en el sector industrial (Pia Kerres, 2021).

Para cumplir con los requisitos de RED II, y el futuro RED III, el hidrógeno debe cumplir con los requisitos de sostenibilidad definidos para **RFNBO**, que son lograr una **reducción de la intensidad de las emisiones de GEI del 70 %** con respecto al benchmark equivalente fósil aplicable y ser producido utilizando **energía 100% renovable**²²

Tabla 10. Principales características de RED II y su propuesta de revisión (RED III).

RED II	- Propuesta de revisión de RED II (RED III)
<ul style="list-style-type: none"> Objetivo de energías renovables en el consumo final de energía del 32% para 2030 Objetivo de energías renovables en el transporte del 14% para 2030 	<ul style="list-style-type: none"> Objetivo de energías renovables en el consumo final de energía del 40% para 2030 Obligación de los proveedores de combustible de garantizar que:

²¹ Según la Directiva de la Unión Europea 98/70/EC, los RFNBO son combustibles líquidos o gaseosos distintos de los biocombustibles cuyo contenido energético proceda de fuentes de energía renovables distintas de la biomasa. Incluyen el hidrógeno renovable, los electrocombustibles que contengan carbono y también los productos industriales, como los productos químicos sintéticos.

²² Solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz y otras energías oceánicas, hidroeléctrica, gases de vertederos, gases de las plantas de tratamiento de aguas residuales y biogás. La biomasa y la energía nuclear no se definen como fuentes de energía renovables en virtud de la RED.

<ul style="list-style-type: none"> • Criterios para que la electricidad se considere renovable (adicionalidad, correlación temporal, correlación geográfica, ...) aún por definir mediante acto delegado • Reducción de emisiones del uso requerido del 70% (la referencia para aplicaciones de transporte será probablemente el comparador de combustible: 94 gCO₂/ MJ). Metodología aún por definir en acto delegado 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la intensidad de GEI en el transporte frente a la línea base de los combustibles fósiles del 13% para 2030 (~ 24% de participación en las energías renovables) • Participación de RFNBOs del 2,6% para 2030 • El concepto de RFNBO se expandió a todos los sectores (no solo al transporte) • Objetivo de energías renovables en la industria: la contribución de RFNBO en la industria debe ser del 50% de la suma del hidrógeno utilizado en el consumo final de energía y el hidrógeno utilizado como materia prima dentro de la industria para 2030. • Los criterios sobre la electricidad utilizada para producir RFNBO y la reducción de emisiones se aplican a todos los usos de RFNBO.
---	---

Las ambiciosas metas contenidas en la RED II, y en su propuesta de revisión RED III, crearán un gran mercado para el hidrógeno renovable en Europa en los sectores de transporte terrestre, y a futuro en otros sectores industriales. Se espera que países de la Unión Europea como **Alemania, Bélgica o los Países Bajos a futuro tengan que asegurar parte de su demanda de hidrógeno a través de importaciones**, ya que su potencial de producción de energías renovables es insuficiente para suplir la demanda que la RED estará creando. Para suplir estos mercados, **los desarrolladores en LAC deberán prepararse para cumplir con los estrictos requerimientos que la UE ha impuesto para la producción de RFNBOs para demostrar renovabilidad** de la energía eléctrica usada para la producción de hidrógeno (adicionalidad y correlación geográfica y temporal).

7.1.1.2 RCDE UE y propuesta de revisión

El Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea, también conocido como RCDE (en inglés se conoce como *Emissions Trading System*, ETS), es un instrumento para reducir las emisiones de GEI al menor costo económico posible. Adoptado por el Parlamento Europeo y el Consejo de la UE en 2003, entró en vigor el 1 de enero de 2005.

Los operadores de instalaciones que emitan CO₂ deben presentar un certificado RCDE válido por cada tonelada de CO₂ que emitan. A las instalaciones se les asigna una cierta cuota de certificados de CO₂ a principios de año. Si la emisión de CO₂ supera la cantidad de certificados asignados de una instalación, los operadores tienen que comprar certificados en el mercado de derechos de emisión. La tonelada de dióxido de carbono ahorrada, también conocida como 1 EUA, recibe así un valor monetario directo que se determina sobre la base de la oferta y la demanda. Una vez al año, los titulares de instalaciones deben divulgar su balance de derechos de emisión: si el número de derechos de emisión no coincide con la cantidad de CO₂ realmente emitida, se debe pagar una multa de 100 euros por EUA faltante, y el certificado faltante debe presentarse posteriormente. Las emisiones divulgadas se utilizan para preparar un pronóstico para el año siguiente (NEXT, 2021).

El régimen europeo de comercio de derechos de emisión de la UE actualmente no cubre la totalidad de las emisiones de CO₂ de las economías nacionales participantes, sino solo determinados sectores, algunos de los cuales pueden beneficiarse del uso del hidrógeno para descarbonizar sus procesos. Hoy en día, el esquema cubre **plantas de generación de energía alimentadas con combustibles fósiles con una capacidad instalada de 20 MW o más, refinerías de petróleo, acerías y producción de hierro, aluminio, metales, cemento, cal, vidrio, cerámica, pulpa, papel, cartón, ácidos y productos químicos orgánicos a granel, así como aviación comercial** dentro del Espacio Económico Europeo.

Las industrias participantes representan aproximadamente el 50% de las emisiones de CO₂ de la UE y, en promedio, el 40% de las emisiones de CO₂ de los países participantes. La versión revisada en el marco del paquete **Fit for 55 aumentaría esta proporción con la inclusión de sectores adicionales como el transporte marítimo**. La extensión del RCDE UE al sector del transporte marítimo se aplicará al **100 % de las emisiones del transporte marítimo entre puertos de la UE (intra-UE) y al 50 % de las emisiones de los trayectos desde/hacia fuera de la UE**. Las compañías navieras tendrán que renunciar a los derechos de emisión por sus emisiones verificadas, con un aumento progresivo (del 20% en 2023 al 100% en 2026).

El hidrógeno verde y bajo en carbono y sus derivados producidos en LAC e importados en Europa pueden ayudar a descarbonizar las aplicaciones cubiertas por el sistema RCDE-UE, como las refinerías de petróleo, el acero, el cemento o las plantas químicas. Si bien hay lugar para el hidrógeno producido mediante combustibles fósiles con CCUS bajo el régimen RCDE-UE, ya que la renovabilidad de la energía no es obligatoria, cuanto menor sea la intensidad de carbono del hidrógeno menos certificados tendrán que comprar los operadores de la planta.

La nueva inclusión del transporte marítimo en el sistema RCDE brindaría una nueva oportunidad para los combustibles derivados del hidrógeno que se producen en LAC, tales como el amoníaco para su uso en la propulsión de buques. De entrar en vigor esta normativa, los combustibles derivados de hidrógeno de bajo carbono producidos en LAC podrían suplir tanto los viajes dentro de la UE (a través de importaciones), como los viajes interoceánicos entre LAC y la UE (donde la mitad del trayecto estará sujeta al RCDE).

7.1.1.3 FuelEU Maritime

La Comisión Europea reconoce que el RCDE por sí solo no será suficiente para estimular la adopción temprana de tecnologías de cero carbono. Para garantizar que se cumplan los objetivos climáticos, la Comisión Europea (CE) también ha propuesto el programa FuelEU Maritime en el marco del paquete Fit-for-55, el cual establece un marco regulador común de la UE para aumentar la proporción de combustibles renovables y bajos en carbono en la matriz de combustibles del transporte marítimo internacional. Esta iniciativa ayudaría a la industria marítima a hacer la transición a combustibles y energía de cero carbono, como lo es el hidrógeno verde y bajo en carbono, y sus derivados como el amoníaco y metanol.

El FuelEU Maritime establece un enfoque tecnológicamente neutro, basado en la intensidad de carbono, que permitirá que el hidrógeno verde y bajo en carbono (y sus derivados) desempeñen un papel en el logro de los objetivos de reducción de emisiones.

El cálculo de la intensidad media de emisiones de GEI (principalmente CO₂ + CH₄ + N₂O) de la energía utilizada a bordo por los buques se realiza a lo largo del ciclo de vida, es decir, hasta el punto de uso.

La regulación tiene el objetivo de reducir el nivel de emisiones con respecto a 2020 de forma progresiva iniciando con la meta del 2% en el 2025 y finalizando con un 75% al 2050. A continuación, se presentan las metas establecidas al horizonte entre 2025 – 2050.

- 2% a partir del 1 de enero de 2025
- 6% a partir del 1 de enero de 2030

- 13% a partir del 1 de enero de 2035
- 26% a partir del 1 de enero de 2040
- 59% a partir del 1 de enero de 2045
- 75% a partir del 1 de enero de 2050

El alcance cubre buques de tonelaje superior a 5000 toneladas brutas, y el requisito se establece en las compañías navieras. Esta iniciativa está alineada con la ampliación del RCDE UE al sector marítimo, es decir, se cubren todos los viajes y estancias dentro de la UE, y la mitad de los viajes entre los puertos de la UE y los de fuera de la UE (50 % de la energía consumida durante el viaje al extranjero).

La regulación EUFuel Maritime, si entra en vigor, brindará una oportunidad adicional para los combustibles de bajo carbono derivados del hidrógeno producidos en LAC, para su uso en la propulsión de buques con viajes entre la UE y fuera de ella.

7.1.1.4 Mecanismo de Ajuste de las Emisiones de Carbono en las Fronteras (CBAM)

El mecanismo de ajuste de las emisiones de carbono en las fronteras (CBAM, por sus siglas en inglés) es una **tributación de las importaciones a la UE basada en el contenido de carbono**, que obligará a los productores de industrias intensivas en emisiones fuera de la UE a pagar el precio del carbono del régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (RCDE UE) a partir del 2026.

El CBAM requerirá que los importadores informen las emisiones de ciertos productos intensivos en carbono. Inicialmente, está previsto para la **importación de 5 productos²³, estos son: aluminio, cemento, hierro y acero, electricidad y fertilizantes.**

El CBAM está destinado a complementar el RCDE UE y a nivelar las condiciones de juego entre las empresas de la UE y las de fuera de la UE, garantizando que la producción de bienes intensivos en carbono no se desplace de la UE a países terceros que aprovechan aquellas políticas climáticas menos estrictas.

De esta manera, los importadores de la UE comprarán certificados de carbono correspondientes al precio del carbono que se hubiera pagado si los bienes se produjeran bajo las normas de fijación de precios del carbono de la UE.

Por otra parte, una vez que un productor no perteneciente a la UE pueda demostrar que ya ha pagado un precio por el carbono utilizado en la producción de los bienes importados en un tercer país, el costo correspondiente podrá deducirse para el importador de la UE.

²³ El hidrógeno importado no estará sujeto a CBAM.

Está previsto que el CBAM entre en vigor de forma transitoria a partir del 1 de enero del 2023 y sea plenamente operativo a partir del 1 de enero del 2026.

Este mecanismo incentivará la producción baja en carbono (fuera o dentro de la UE):

- Donde la energía renovable esté disponible y sea económica
- Donde la captura y almacenamiento de carbono (CCS) sea factible

Por lo tanto, se puede esperar que **el CBAM actúe como un impulsor de la demanda local de hidrógeno verde y bajo carbono en países de LAC que exporten aluminio, cemento y acero o fertilizantes a la UE.**

7.1.2 Estados Unidos

En Estados Unidos la regulación climática está en buena medida determinada por cada estado. El estado de California ha sido pionero y líder en la creación de programas y regulaciones para el impulso a las tecnologías limpias, y el hidrógeno no es la excepción. Esta subsección explorará el proyecto de ley para establecer un Production Tax Credit para el hidrógeno a nivel federal, el programa de estándar de combustibles de bajo carbono en California (LCFS, por sus siglas en inglés), así como otras iniciativas similares como el **Oregon Clean Fuels Program**, lanzado durante el 2016 (Oregon Government, 2021), y el **Clean Fuel Standard del estado de Washington**, que está comenzando a normarse y será lanzado en enero del 2023 (Department of Ecology, 2021).

7.1.2.1 Clean Hydrogen Production tax credit

En **Estados Unidos** se presentó una propuesta de ley (a la fecha de entrega de este informe) denominada “Build Back Better”²⁴ que dará la opción a los productores de “**Hidrógeno Limpio (Clean Hydrogen)**” en Estados Unidos de optar por una de las siguientes dos opciones:

- Créditos fiscales de hasta \$ 3 por kilogramo durante 10 años sobre el hidrógeno limpio producido, o
- Un crédito fiscal a la inversión de hasta el 30% del costo del electrolizador y otros equipos. El crédito fiscal a la inversión se reclama en su totalidad en el año en que se pone en servicio el electrolizador u otro equipo.

Los montos de crédito varían dependiendo de la cantidad de CO₂ emitido para producir un kilogramo de hidrógeno, de la siguiente manera:

²⁴ <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376>

Intensidad de Carbono del H ₂ (kg CO _{2e} /kg H ₂)	Crédito Fiscal a la Producción (USD/kg H ₂)	Crédito Fiscal a la Inversión
>0.45	\$3	30%
0.45-1.5	\$1	10%
1.5-2.5	\$0.75	7.5%
2.5-4	\$0.60	6%
4-6	\$0.45	4.5%

7.1.2.2 Low Carbon Fuel Standard (LCFS) de California

El Low Carbon Fuel Standard (LCFS) de California es una normativa establecida por el California Air Resources Board (CARB) con el propósito de **reducir la intensidad de carbono de los combustibles utilizados en el sector transporte con respecto a los combustibles convencionales derivados del petróleo, como la gasolina y el diésel** (CARB, 2021). Su implementación comenzó en 2011 y ha sido ajustado y enmendado varias veces a lo largo de los años. Los estándares del LCFS se expresan en términos de la intensidad de carbono de la gasolina y el diésel y sus respectivos sustitutos, que **incluyen el hidrógeno, biocombustibles y electricidad** (CARB, 2021). El esquema es una normativa estatal de **obligatorio cumplimiento para los productores e importadores de gasolina y diésel para el transporte terrestre. Sin embargo, ésta es de carácter voluntario para los productores de combustibles más limpios.**

Su alcance geográfico está limitado al estado de California (CARB, 2021). El California Air Resources Board es la autoridad gobernante del programa y define sus reglas rectoras.

Su funcionamiento consiste en un sistema de créditos en el que los combustibles derivados del petróleo generan créditos negativos, mientras que los combustibles más limpios como por ejemplo el gas natural, el biocombustibles, la electricidad y el hidrógeno pueden optar por generar créditos positivos. En el caso de los proyectos de hidrógeno, **son elegibles la producción de hidrógeno para vehículos a celda de combustible e hidrógeno renovable para la producción de electrocombustibles** (CARB, 2021).

El esquema opera en función de las metas de reducción a largo plazo de la intensidad de carbono del sector del transporte que fija el CARB, en línea con las metas de reducción de GEI de todo el estado. Para tal fin, año a año se establece un estándar de intensidad de carbono que todos los productores e importadores

de combustibles deben cumplir. De esta manera, todos los productores cuyos combustibles tengan una intensidad de carbono por encima del límite de intensidad de carbono establecido generan créditos negativos (déficits), mientras que los que están por debajo generan créditos positivos. Así, los productores de combustibles con una alta intensidad de carbono se ven obligados a adquirir créditos positivos generados por los proyectos de combustibles limpios, como aquellos obtenidos durante la generación de hidrógeno renovable y biocombustibles, de movilidad eléctrica, o de otros proyectos de compensación de emisiones de GEI. Además, el estándar se hace más estricto año a año con el propósito de seguir descarbonizando el sector transporte (CARB, 2021).

La verificación de las emisiones (cálculo de la intensidad de carbono a lo largo del ciclo de vida del combustible) puede hacerse directamente con el CARB, o mediante firmas acreditadas que envíen reportes trimestrales o anuales. En ese último caso, las empresas están obligadas a cambiar de proveedores de servicios de verificación cada cierto año (KCoe Isom, 2021). Adicionalmente, todos los proyectos inscritos o regulados por el programa deben entregar reportes de cumplimiento anual para poder renovar su certificación LCFS (CARB, 2021).

Un gráfico con el rango de intensidad de carbono de cada combustible, así como los objetivos para certificación en 2020 y 2030 se puede ver a continuación en la Figura 16.

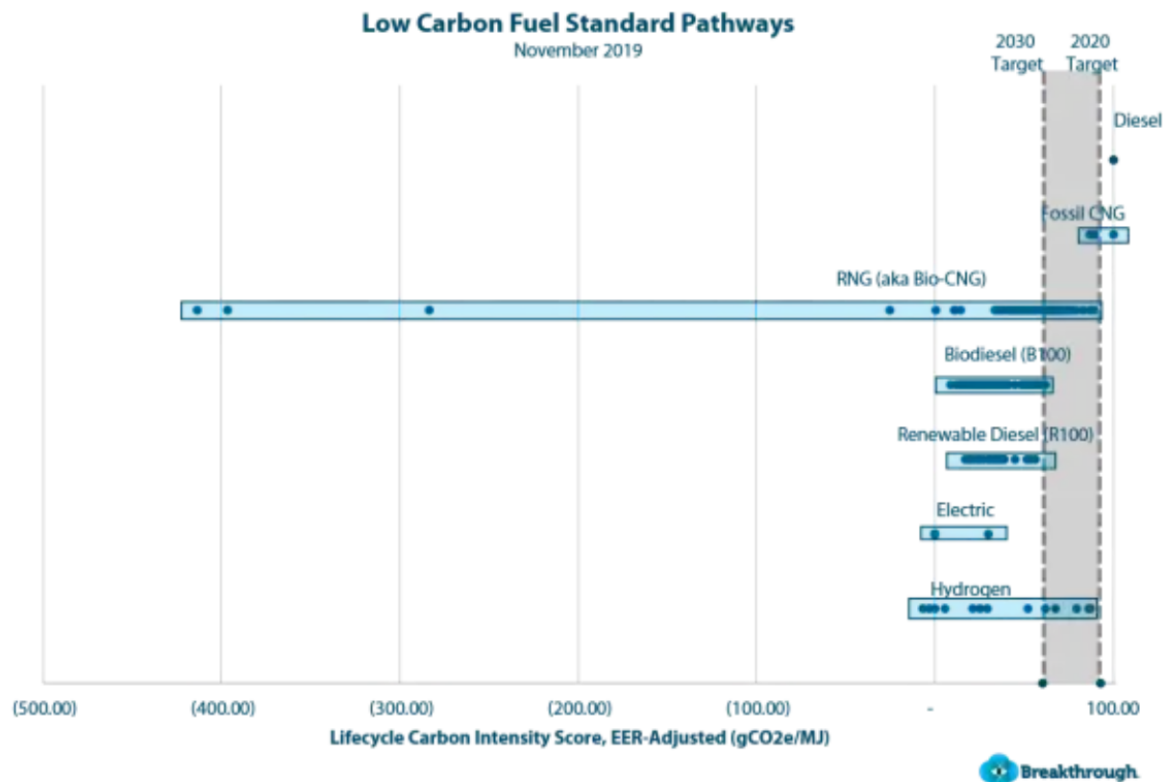


Figura 16. Rangos de intensidad de carbono de diferentes combustibles incluidos en el LCFS y objetivos del LCFS para 2020 y 2030.
Fuente: (Wetzel, 2020).

Así, **para que un combustible sea clasificado como limpio éste necesita tener una intensidad de carbono a lo largo de su ciclo de vida inferior a 100 gCO_{2e}/MJ para el 2020** y de alrededor de **60 gCO_{2e}/MJ para el 2030**. Las intensidades de carbono negativas corresponden a proyectos que capturan emisiones de GEI, como la generación de electricidad o la producción de gas natural e hidrógeno renovables a partir de la captura de metano emitido por rellenos sanitarios u otras fuentes (Wetzel, 2020).

La cantidad de créditos LCFS que genera un combustible es mayor en cuanto más limpio es su proceso de producción, dado que **se otorga un crédito LCFS por cada tonelada de CO_{2eq} reducida en comparación con el combustible tradicional (gasolina o diésel) que se esté reemplazando** (SRECTrade, 2021). En consecuencia, se estima que **el hidrógeno producido mediante rutas renovables puede generar hasta un 50% más de créditos por kg que aquel producido por rutas no renovables** (Garderet & Goldstein, 2014). Los precios actuales de los créditos LCFS oscilan entre \$180 USD y \$190 USD, por lo cual el hidrógeno genera un promedio entre \$2 USD y \$5 USD de créditos por kg, dependiendo de la intensidad de carbono asociada a su producción (CARB, 2021).

Ahora bien, es fundamental tener en cuenta que los créditos LCFS se generan cuando los combustibles limpios se introducen al sistema de combustibles de California. Así, dado que los dos mecanismos elegibles para el caso del hidrógeno son el suministro para vehículos a celda de combustible y su uso para la producción de combustibles renovables, **los créditos son generados cuando se dispensa el hidrógeno o el combustible renovable y los acreedores son los dueños de las estaciones de abastecimiento de combustible a los vehículos.**

En consecuencia, la manera en que los productores de hidrógeno renovable o bajo en carbono pueden obtener ganancias a partir del programa de LCFS es negociando precios de compra mayores con los dispensadores de combustibles, conociendo de antemano que estos recibirán un beneficio económico por los créditos (Berger, 2020). Esta interacción es clave para los productores de hidrógeno interesados en vender el energético a clientes en el estado, debido a que el LCFS aplica tanto a combustibles producidos localmente, como importados.

De esta manera, **el hidrógeno verde o bajo carbono producido en LAC e importado en California podría generar créditos LCFS que ayuden a viabilizar económicamente el negocio de movilidad sostenible en el estado.**

7.1.2.3 Oregon Clean Fuels Program

Inspirado por el LCFS, el estado de Oregón creó su propio programa de Combustibles Limpios con un funcionamiento similar al definir combustibles que pueden generar créditos y combustibles que generan déficits así como sus propias metas de intensidad de carbono para cada año. Dicho programa fue lanzado durante el 2016 y su autoridad gobernante es el *Department of Environmental Quality (DEQ)* (Oregon Government, 2021).

Los importadores de gasolina, diésel, etanol, biodiésel y diésel renovable; así como los productores estatales de cualquier otro combustible para el transporte deben participar en el programa de manera obligatoria. Además, los proveedores de gas natural (propietarios de estaciones de dispensación), propano (propietarios de estaciones de dispensación), electricidad (propietarios de cargadores o empresas eléctricas) e hidrógeno (propietarios del energético) pueden optar por participar de manera voluntaria si desean generar dichos créditos (Oregon Government, 2021).

El programa establece estándares de intensidad de carbono promedio anual para la gasolina y sus sustitutos, y otro ligeramente más alto para el diésel y sus sustitutos. La Figura 17 muestra los estándares de intensidad de carbono (gasolina: gris, diésel: verde) (Oregon Government, 2021).

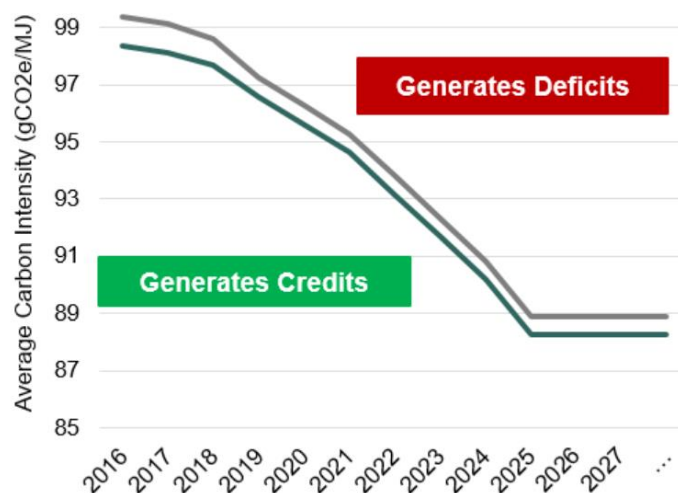


Figura 17. Estándares de Intensidad de Carbono para sustitutos de la gasolina (línea verde) y del diésel (línea gris) para el Oregon Clean Fuels Program.
Fuente: (Oregon Government, 2021)

Así, se puede ver que para el 2021 **el umbral de intensidad de carbono para sustitutos de gasolina que generan créditos es de alrededor de 95 gCO_{2e}/MJ**, con reducciones graduales hasta llegar a un valor de **88 gCO_{2e}/MJ** en el 2025. Similarmente, **para sustitutos del diésel es de 95 gCO_{2e}/MJ en 2021 y 89 gCO_{2e}/MJ en el 2025.**

Al igual que en el caso del LCFS, los análisis de emisiones contemplan el ciclo de vida completo del combustible, es decir, hasta el punto de uso (Oregon Government, 2021). Además, existen 2 vías principales mediante las cuales las compañías pueden certificar el valor de la intensidad de carbono de los combustibles (Oregon Government, 2021), estas son:

1. Si el combustible tiene un valor de intensidad de carbono aprobado por el California Air Resources Board, el productor puede solicitar al DEQ que acepte ese valor, adicionando las modificaciones necesarias para reflejar su llegada al estado de Oregón. Para ello, el productor de combustible debe enviar el paquete de solicitud enviado al CARB y la respectiva carta de aprobación.
2. Si el combustible no tiene un valor de intensidad de carbono del CARB, el productor de combustible puede enviar su ruta de producción del combustible al DEQ para su certificación por medio del Sistema de Reporte de Combustibles de Oregón.

Mediante la adopción de la División 272 de las Reglas Administrativas de Oregón, se establecieron requisitos de verificación de terceros para los datos presentados a los Programas de Informes de GEI y Combustibles Limpios del estado. Esto con el

propósito de mejorar la confiabilidad de los datos y proporcionar las garantías necesarias de que las personas que hacen negocios en Oregón están calculando las emisiones con precisión y cumpliendo correctamente con los requisitos de informes del DEQ (Oregon Government, 2021). Por lo tanto, la intervención de organismos certificadores autorizados por el DEQ es fundamental para el funcionamiento del programa y necesaria para todas las partes registradas que participan en él.

Por otra parte, el mecanismo de generación de créditos es similar al del LCFS: se genera un crédito CFP (*Clean Fuel Program*) por cada tonelada de emisiones de GEI reducida en comparación con los estándares de intensidad de carbono de la gasolina o del diésel, dependiendo de cual se esté sustituyendo. En consecuencia, los combustibles con procesos de producción más limpios, como por ejemplo el hidrógeno renovable, tienen un mayor potencial de generación de créditos (Witcover & Colin, 2020). De esta manera, al igual que en California, **el programa favorece económicamente la producción y venta de hidrógeno renovable bajo en carbono, incluyendo potencialmente el que provenga de los países de LAC.**

7.1.2.4 Washington Clean Fuel Standard (en desarrollo)

El programa de combustibles limpios, *Clean Fuel Standard* del estado de Washington actualmente se encuentra en desarrollo. Este también está inspirado en los programas de California y Oregón, teniendo como propósito fundamental la descarbonización del sector transporte, en línea con las metas de descarbonización de todo el estado (Department of Ecology, 2021). Fue anunciado en julio de 2021 y actualmente se encuentra en proceso de reglamentación, por lo cual todavía no se conocen sus detalles específicos. Comenzará a operar en enero del 2023 y estará a cargo del Department of Ecology (Department of Ecology, 2021).

ANEXO 2. SISTEMAS DE CERTIFICACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE

Un elemento altamente relevante para los sistemas de certificación que permiten el uso de electrolizadores conectados a la red para la generación de hidrógeno verde son las certificaciones de energía renovable. De hecho, tal como se presentó con detalle en el cuerpo del documento, generalmente los sistemas de certificación estudiados en este informe son compatibles con ellas, en el sentido de que cuando se cancelan (se usan) certificados de energía renovable, estos pasan a ser válidos para certificar la producción de hidrógeno verde.

En este apartado se presentan las generalidades de algunos sistemas de certificación de energía renovable a nivel mundial, tanto privados (operando en los mercados voluntarios) como públicos (desarrollados a petición de los

gobiernos), incluyendo el nuevo sistema de certificación de energías renovables lanzado en Uruguay (el único desarrollado por un gobierno en América Latina hasta el momento).

Green Power Certificates (Japón)

El esquema de certificados de energía verde (Green Power Certificates) de Japón fue introducido en el año 2000 por la Japan Natural Energy Company Ltd con el objetivo de promover los esfuerzos individuales y corporativos para la protección del medio ambiente por medio de la generación y consumo de energía renovable. Bajo este esquema, los consumidores en el sector privado pueden comprar electricidad renovable pagando un precio superior, a cambio de la garantía de que esa energía es mejor para el medio ambiente que las alternativas convencionales. Las fuentes de energía renovable elegibles para el esquema son solar, eólica, geotérmica, biomasa, hidroeléctrica y los sistemas de energía térmica con hielo, nieve y biomasa leñosa (UNESCAP, 2012).

Las certificaciones de energía renovable son emitidas por el Green Energy Certification Center, que es un organismo neutro e independiente que certifica la electricidad generada en una central eléctrica cumple con los criterios de energía renovable. El sistema de certificación funciona bajo un modelo Book and Claim, por lo cual la electricidad y los certificados pueden comercializarse de manera independiente.

I-REC

El International REC Standard (I-REC) permite a los consumidores comprar electricidad de fuentes renovables registradas. Los I-REC se emiten por cada MWh de electricidad renovable producida, son comercializados dentro de una plataforma central y solo pueden ser canjeados por un único consumidor. Además, contribuyen a cumplir con los objetivos establecidos por los países y organizaciones en relación con las energías renovables.

I-REC opera en los mercados voluntarios en más de 40 países a nivel global, 11 de ellos en LAC²⁵

²⁵ I-REC opera en México, Guatemala, Honduras, Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Chile y Argentina.
<https://www.irecstandard.org/world-map/#/>

Esquema EcoGox de XM, Colombia

EcoGox es un sistema de certificación, registro, monitoreo, rastreo, transferencia y redención de Certificados de Energía Renovable, desarrollado por XM, una empresa privada de Colombia.

Este sistema de certificación opera en los mercados voluntarios y se ha desarrollado con el objetivo de que los consumidores puedan hacer declaraciones públicas y justificadas sobre su consumo de energía renovable, así como poder utilizar los certificados para reducir su huella de carbono causada por su consumo energético de la red eléctrica de acuerdo con las declaraciones del Alcance 2 del GHG Protocol (XM, 2021).

EcoGox es de participación voluntaria. A su vez, se apoya sobre un marco general de contabilidad de huella de carbono por consumo de energía respaldado por el Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHGP), del World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), y por la norma de Gases de Efecto Invernadero ISO 14064. Las emisiones asociadas al consumo de energía están categorizadas en el “alcance 2” del GHGP, de modo que los consumidores finales pueden reducir las emisiones de sus inventarios de gases de efecto invernadero en este alcance a través del uso de Certificados de Energía Renovable (XM, 2021)..

EcoGox está desarrollado para el sector eléctrico de cualquier país bajo el mercado voluntario. Para las jurisdicciones donde exista regulación vigente que aplique a este tipo de certificación de Atributos de Generación, EcoGox se encargará de cumplir con las exigencias y normativas para operar (XM, 2021)..

Los Representantes reciben los Certificados de Energía Renovable o Certificados de Generación por los Proyectos activos que registren en la plataforma y pueden transferirlos a otro usuario o redimirlos directamente a favor de un usuario final. Las transferencias se realizan en kWh, unidad de medida de los Certificados de Generación. Una vez realizada, el custodio de ese kWh específico pasa a ser de la cuenta a la que fue transferida la cantidad. Los usuarios que tengan el custodio de los Certificados de Generación pueden redimirlos a favor un usuario final, la redención de un Certificado de Generación resulta en un Certificado de Redención (XM, 2021).

Sistema de certificación de energías renovables en Uruguay

El sistema de certificación de energías renovables de Uruguay es el único desarrollado a nivel oficial (por un gobierno) en la región de América Latina y el Caribe. Fue lanzado en septiembre de 2021 y es un mecanismo de acreditación en formato electrónico. Entrará en vigor a partir de enero de 2022 y será administrado por la Dirección Nacional de Energía (DNE) del Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay. Por su parte, La Administración Nacional de Usinas y

Transmisiones Eléctricas (UTE) se encargará de proveer la plataforma de tecnología digital avanzada (blockchain de la Energy Web Chain) que sea transparente y auditable.

El sistema fue creado justamente con miras a las certificaciones de hidrógeno verde que se planea tener en Uruguay. Además, es importante resaltar que no tendrá costo para las empresas, lo que resulta especialmente atractivo para atraer nuevas inversiones al país.

En cuanto al funcionamiento del sistema, los REC se emiten de forma automática en el momento en que se registra la electricidad que generan las instalaciones de energía renovable de los productores. Posteriormente, se transfieren automáticamente al distribuidor, comercializador o gran consumidor que adquiera la energía asociada al REC, siempre dentro del mismo mes calendario. La asignación de la REC a un usuario final se hace una única vez, por lo que ningún certificado se podrá asignar nuevamente a otro usuario final.

Para la expedición de los certificados, la Administración del Mercado Eléctrico (ADME) y los agentes y participantes del Mercado Mayorista de Energía Eléctrica (MMEE) enviarán la información de cada central operativa en Uruguay a la Dirección Nacional de Energía (DNE) del MIEM. El cruce entre la generación y el perfil de demanda de un cliente permitirá generar los REC, que detallarán el tipo energía renovable consumida.

7. REFERENCIAS

- Abad, A. V. (2020). Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges. *Energy Policy*.
- AFHYPAC. (2014). *Groupe de travail Garantie Origine hydrogene renouvelable*. Association Française pour l'Hydrogene et les Piles a Combustible. Paris.
- AFHYPAC. (2016). *L'hydrogene en France en 2016*. Association Française pour l'Hydrogene et les Piles a Combustible. Paris.
- AFHYPAC. (2020). *Etude de la demande potentielle d'hydrogène renouvelable et/ou bas carbone en France à 2030*.
- AFHYPAC. (2021). *QUE FAUT-IL RETENIR DE L'ORDONNANCE SUR L'HYDROGÈNE ?* Obtenido de <https://www.afhypac.org/presse/que-faut-il-retenir-de-l-ordonnance-sur-l-hydrogene-2953/>
- Berger, J. (2020). *Financing California hydrogen projects using LCFS credits*. Obtenido de <https://www.projectfinance.law/publications/2020/december/financing-california-hydrogen-projects-using-lcfs-credits/>
- CARB. (2021). *LCFS Electricity and Hydrogen Provisions*. Obtenido de <https://ww2.arb.ca.gov/es/resources/documents/lcfs-electricity-and-hydrogen-provisions>
- CARB. (2021). *Low Carbon Fuel Standard: About*. Obtenido de <https://ww2.arb.ca.gov/es/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard/about>
- CARB. (Octubre de 2021). *Weekly LCFS Credit Transfer Activity Reports*. Obtenido de <https://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/credit/lrtweeklycreditreports.htm>
- Certifhy. (s.f.). Obtenido de <https://www.certifhy.eu/contributors/stakeholder-platform-members.html>
- CertifHy. (2016). *Roadmap for the establishment of a well-functioning EU hydrogen GO system*.
- CertifHy. (2019). *Taking CertifHy to the next level – Roadmap for building a dual hydrogen certification infrastructure for Guarantees of Origin and for Certification of renewable hydrogen in transport*.
- CertifHy. (2020). *Certifhy III*. Obtenido de https://www.certifhy.eu/images/media/files/201214_Press_release_CertifHy_3_Launch_EN_Final.pdf
- CertifHy. (2021). *CertifHy - The first European Guarantee of Origin for Green & Low Carbon Hydrogen*. Obtenido de

https://www.certifhy.eu/images/media/files/CertifHy_Leaflet_final-compressed.pdf

Certifhy Final Report of Phase 2. (2019). *Towards a Dual Hydrogen Certification System for Guarantees of Origin and for the Certification of Renewable Hydrogen in Transport and for Heating & Cooling.*

Clean Energy Regulator. (2018). Obtenido de <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/RET/About-the-Renewable-Energy-Target/How-the-scheme-works/Large-scale-Renewable-Energy-Target>

Comisión Europea. (2019). *Un Pacto verde Europeo.* Obtenido de https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es

Commonwealth of Australia. (2021). *A Hydrogen Guarantee of Origin scheme for Australia.* Obtenido de https://storage.googleapis.com/converlens-au-industry/industry/p/prj1a3de348a6c0ad7d282f7/public_assets/Discussion%20paper%20-%20A%20Hydrogen%20Guarantee%20of%20Origin%20Scheme%20for%20Australia.pdf

Commonwealth of Australia. (2021). *A Hydrogen Guarantee of Origin scheme for Australia.* Obtenido de https://storage.googleapis.com/converlens-au-industry/industry/p/prj1a3de348a6c0ad7d282f7/public_assets/Discussion%20paper%20-%20A%20Hydrogen%20Guarantee%20of%20Origin%20Scheme%20for%20Australia.pdf

DENA, D. E.-A. (2020). *Renewable fuels of non-biological origin in the RED II.*

Departamento de Energía de España. (2018). *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.* Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2018/04/27/235/con>

Department of Ecology. (2021). *Clean Fuel Standard.* Obtenido de <https://ecology.wa.gov/Air-Climate/Climate-change/Reducing-greenhouse-gases/Clean-Fuel-Standard>

Department of Ecology. (2021). *Clean Fuel Standard.* Obtenido de <https://ecology.wa.gov/Air-Climate/Climate-change/Reducing-greenhouse-gases/Clean-Fuel-Standard>

Department of Industry, Science, Energy and Resources. (2021). *Hydrogen Guarantee of Origin scheme: discussion paper.* Obtenido de <https://consult.industry.gov.au/hydrogen-guarantee-of-origin-scheme>

- Department of Industry, Science, Energy and Resources. (2021). *Hydrogen Guarantee of Origin scheme: discussion paper*. Obtenido de <https://consult.industry.gov.au/hydrogen-guarantee-of-origin-scheme>
- ECOFYS. (2012). *Analysis of the operation of the mass balance system and alternatives*. Obtenido de https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2013_task_1_mass_balance_and_alternatives.pdf
- energía, D. d. (2018). *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2018/04/27/235/con>
- Euractiv. (2021). *EU plans single database to certify carbon content of hydrogen, low-carbon fuels*. Obtenido de <https://www.euractiv.com/section/energy/news/eu-plans-single-database-to-certify-carbon-content-of-hydrogen-low-carbon-fuels/>
- Eurelectric. (2021). *RFNBOs Reaction Paper*.
- FCH-JU. (2019). *HYDROGEN ROADMAP EUROPE*.
- FCH-JU. (2019). *Towards a Dual Hydrogen Certification System for Guarantees of Origin and for the Certification of Renewable Hydrogen in Transport and for Heating & Cooling - Final Report of Phase 2*.
- France, S. d. (2021). *Lutte contre le dérèglement climatique*. Obtenido de https://www.senat.fr/amendements/commissions/2020-2021/551/Amdt_COM-253.html
- Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking. (2019). *Hydrogen roadmap Europe. A sustainable pathway for the european energy transition*.
- Garderet, R., & Goldstein, B. (2014). *Crediting Hydrogen: An assessment of fuel incentives and renewable hydrogen investment in California*. . Obtenido de <https://static1.squarespace.com/static/58e8f58d20099ea6eb9ab918/t/596f4dc0bf629af7b509ec6a/1500466626588/EIN+-+Crediting+Hydrogen+-+fuel+incentives+and+renewable+hydrogen+investment+.pdf>
- Gobierno de Australia. (2021). *A hydrogen guarantee of origin scheme for Australia*.
- Gobierno de España. (2020). *Hoja de ruta del hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable*.
- Gobierno de España. (2021). *Componente 9: Hoja de ruta del hidrógeno renovable y su integración sectorial*.
- Gobierno de España. (2021). *Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética*.

- Gobierno de Francia. (2021). *Ordonnance n° 2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène*. Obtenido de <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043148001>
- Grexl. (2014). *Reports*. Obtenido de <https://cmo.grexel.com/Lists/PublicPages/Statistics.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
- GUTcert. (2021). *ISCC PLUS Certification*. Obtenido de <https://www.gut-cert.de/products/sustainability/supply-chains/iscc-plus>
- Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council. (2019). *The Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells*. Obtenido de https://www.meti.go.jp/english/press/2019/pdf/0312_002b.pdf
- Hydrogen Australia. (2020). *Overview of Zero Carbon Certification Scheme*. Obtenido de [https://www.hopgoodganim.com.au/content/Document/overview_of_the_zero_carbon_certification_scheme\(23383308_1\).pdf](https://www.hopgoodganim.com.au/content/Document/overview_of_the_zero_carbon_certification_scheme(23383308_1).pdf)
- Hydrogen Australia. (2021). *Zero Carbon Certification Scheme*. Obtenido de <https://www.ammoniaenergy.org/wp-content/uploads/2021/09/Zero-Carbon-Certification-Scheme-%E2%80%93-Ammonia-Conference-Presentation-Scott-Hamilton-26-Aug-2021-v1b.pdf>
- Hydrogen Australia. (2021). *Zero Carbon Certification Scheme*. Obtenido de <https://www.ammoniaenergy.org/wp-content/uploads/2021/09/Zero-Carbon-Certification-Scheme-%E2%80%93-Ammonia-Conference-Presentation-Scott-Hamilton-26-Aug-2021-v1b.pdf>
- IEA. (2021). *Global Hydrogen Review 2021*.
- IEA. (2021). *Hydrogen in Latin America: From near-term opportunities to large-scale deployment*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/hydrogen-in-latin-america>
- Institute of Energy Economics. (2020). *Clean Hydrogen: Important Aspects of Production, International Cooperation, and Certification*. Obtenido de http://www.gjetc.org/wp-content/uploads/2020/07/GJETA_Hydrogen-Society-Study-II.pdf
- IPHE. (2020). *International Partnership for hydrogen and fuel cells in the economy. Terms of Reference: Hydrogen Production Analysis Task Force*.
- IPHE. (2021). *Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated With the Production of Hydrogen*.
- IPHE. (2021). *Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated With the Production of Hydrogen*. Obtenido de <https://1fa05528-d4e5-4e84-97c1->

ab5587d4aabf.filesusr.com/ugd/45185a_ef588ba32fc54e0eb57b0b7444cfa5f9.pdf

IRENA. (2020). *Green hydrogen. A guide to policy making*.

ISCC. (2019). *ISCC PLUS*. Obtenido de https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2020/01/ISCC-PLUS-System-Document_V3.2.pdf

ISCC. (2020). *Lists of material eligible for ISCC PLUS certification*. Obtenido de https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2020/05/ISCC_PLUS_material_list_200529.pdf

ISCC. (2021). *ISCC Certification for Sustainable Aviation Fuels*. Obtenido de https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2021/01/ISCC-for-Sustainable-Aviation-Fuels_sales-presentation.pdf

ISCC. (2021). *ISCC PLUS*. Obtenido de https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2021/08/ISCC-PLUS_V3.3_31082021.pdf

ISCC. (2021). *Only five steps towards ISCC certification*. Obtenido de <https://www.iscc-system.org/process/market-applications/iscc-for-energy/>

ISCC. (2021). *Only five steps towards ISCC certification* . Obtenido de <https://www.iscc-system.org/process/overview/>

Iseal Alliance. (2016). *Chain of custody models and definitions*.

Jensterle et. al. . (2019). *The role of clean hydrogen in the future energy systems of Japan and Germany* . Obtenido de <https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/The%20role%20of%20clean%20hydrogen%20in%20the%20future%20energy%20systems%20of%20Japan%20and%20Germany%20-%20Study.pdf>

KCoe Isom. (2021). *Three CARB-Accredited Firms Team Up to Provide a Streamlined LCFS Verification Process for Ethanol, Biodiesel & Dairy Businesses*. Obtenido de <https://www.kcoe.com/webinar-guide-to-lcfs-verification-validation-process/>

Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues. (2017). *Basic Hydrogen Strategy*. Obtenido de https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003b.pdf

Ministerio de Economía, Comercio e Industria. (2013). *J-Credit scheme*. Obtenido de <https://japancredit.go.jp/english/>

NEXT. (2021). *How Does Emissions Trading Work?* Obtenido de <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/emissions-trading-scheme-ets>

Oregon Government. (2021). *Fuel Pathways – Carbon Intensity Values*. Obtenido de <https://www.oregon.gov/deq/ghgp/cfp/Pages/Clean-Fuel-Pathways.aspx>

- Oregon Government. (2021). *Oregon Clean Fuels Program Overview*. Obtenido de <https://www.oregon.gov/deq/ghgp/cfp/Pages/CFP-Overview.aspx>
- Oregon Government. (2021). *Oregon Third Party Verification Program*. Obtenido de <https://www.oregon.gov/deq/ghgp/3pv/Pages/default.aspx>
- Parlamento Europeo y del concejo. (2018). *Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*.
- Parlamento Europeo y del Concejo. (2018). *Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*.
- Pia Kerres, M. S. (2021). Renewable Hydrogen: what policy instruments are needed to reach the new targets?
- RSPO. (2021). *RSPO Supply Chains*. Obtenido de <https://rspo.org/certification/supply-chains>
- SCS Global Services. (2021). *ISCC PLUS Certification*. Obtenido de <https://www.scsglobalservices.com/services/iscc-plus-certification>
- Smart Energy Council. (2021). *Smart Energy Council announces first Zero Carbon Certification project and Founding Partners in Zero Carbon Certification Scheme*. Obtenido de <https://smartenergy.org.au/articles/breaking-news-smart-energy-council-announces-first-zero-carbon-certification-project-and-founding-partners-in-zero-carbon-certification-scheme/>
- Smart Energy Council. (2021). *Smart Energy Council: About*. Obtenido de <https://smartenergy.org.au/about/>
- Smart Energy Council. (2021). *Smart Energy Council: About*. Obtenido de <https://smartenergy.org.au/about/>
- SRECTrade. (2021). *California Low Carbon Fuel Standard*. Obtenido de <https://www.srectrade.com/markets/lcfs/california>
- Stirling, S. &. (2021). Obtenido de https://www.shearman.com/Perspectives/2021/07/Green-Hydrogen-Use-in-Industry-Promoted-by-Revised-RED-II?sc_lang=de-DE
- The Greenhouse Gas Protocol. (2004). *A Corporate Accounting and Reporting Standard: Revised Edition*. Obtenido de <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>
- Toyota Corporation. (2018). *Plan to Develop Aichi Low-carbon Hydrogen Supply Chain Moves Forward*. Obtenido de <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/22312931.html>
- TÜV Rheinland. (2021). *TÜV Rheinland Standard H2.21: An independent verification for the documentation of carbon-neutral hydrogen*. Obtenido de

<https://www.tuv.com/landingpage/en/hydrogen-technology/main-navigation/certification-%E2%80%9Cgreen-hydrogen%E2%80%9D/>

TÜV Rheinland. (2021). *TUV RHEINLAND Standard H2.21: Carbon-Neutral Hydrogen*. Obtenido de https://www.tuv.com/content-media-files/master-content/global-landingpages/images/hydrogen/tuv-rheinland-hydrogen-standard-h2.21_v1.0-en.pdf

TÜV SÜD. (2020). *Erzeugung von Grünem Wasserstoff*. Obtenido de <https://www.tuvsud.com/de-de/-/media/de/industry-service/pdf/broschueren-und-flyer/is/energie/standard-cms-70-greenhydrogen-ts-is-ut.pdf>

TÜV SÜD. (2020). *TÜV SÜD provides Green Hydrogen Certification*. Obtenido de <https://www.tuvsud.com/en/press-and-media/2020/february/tuev-sued-provides-greenhydrogen-certification>

UNESCAP. (2012). *Japan's Green Power Certificate scheme*. Obtenido de <https://www.unescap.org/sites/default/d8files/27.%20CS-Japan-Green-Power-Certificate-Scheme.pdf>

Unión Europea. (2018). *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council*.

Umwelt Bundesamt. (2019). *Umwelt Bundesamt*. Obtenido de <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/renewable-energies/germanys-system-for-guarantees-of-regional-origin#reason-and-background-for-gro>

Vanhoudt, W., & Veum, K. (2019). *CertifHy 2: Final Stakeholder Conference and Plenary, Perspectives and key actions for the next phase of CertifHy and beyond*.

Wetzel, B. (2020). *Breakthrough Fuel*. Obtenido de <https://www.breakthroughfuel.com/blog/california-low-carbon-fuel-standard>

Wilmar International. (2021). *ISCC Certification*. Obtenido de <https://www.wilmar-international.com/sustainability/certification/iscc-certification>

Wilmar International. (2021). *ISCC Certification*. Obtenido de <https://www.wilmar-international.com/sustainability/certification/iscc-certification>

Witcover, J., & Colin, M. (2020). *Oregon's Clean Fuels Program: A Review*. Obtenido de <https://sci-hub.se/10.1177/0361198120972394>

XM. (2021). *Ecogox Protocolo Versión 2.0*.



Contacto

Hinicio Latino América

WeWork Carrera 12A #78-40

Oficina 101, Piso 4.

Bogotá, Colombia

www.hinicio.com

<https://www.linkedin.com/company/hinicio>

<https://twitter.com/HinicioSA>