

Fomentado por:



Ministerio Federal
de Economía
y Protección del Clima

en virtud de una decisión
del Bundestag alemán

Guía para la adopción de garantías de origen para el hidrógeno verde en México



Editorial

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
GmbH
Oficinas registradas
Bonn y Eschborn, Alemania

Programa

Programa Internacional de Fomento del Hidrógeno
(H₂-Uppp)

Edición y supervisión

Javier Arturo Salas Gordillo
javier.salasgordillo@giz.de

Lorena Espinosa Flores
lorena.espinosa@giz.de

William Jensen Díaz

Autores

PwC – Strategy&

www.energypartnership.mx

Fecha

Septiembre 2022

Versión digital**Diseñado por**

Sk3 Estudio Creativo, Ciudad de México
www.sk3.mx

El presente documento de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH se realizó bajo el marco del “Programa Internacional de Fomento del Hidrógeno” (H₂-Uppp) el cual se implementa por encargo del Ministerio Federal Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK). Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente representan la opinión de la GIZ.

Agradecimientos

El Programa Internacional de Fomento del Hidrógeno (H₂-Uppp) agradece la participación y entusiasmo de todas y todos los expertos consultados en la preparación de este estudio.

Mariano Ornelas,
Director jurídico de Siemens Energy

Leopoldo Rodríguez,
Director de energía eléctrica de Grupo Bal

Cesar Torres,
Especialista de energía de Air Liquide

Rodrigo Vásquez Torres,
Senior advisor de GIZ

Dr. Pablo René Díaz Herrera,
Investigador de hidrógeno verde

Dr. Javier de la Cruz,
Investigador de tecnologías de almacenamiento del INEEL

Dra. Tatiana Romero,
Investigadora de tecnologías de almacenamiento del INEEL

Israel Hurtado,
Presidente de la Asociación Mexicana de Hidrógeno

Marco Jano Ito,
Líder de proyecto de Centro Mario Molina

Javier Estrada,
Fundador y director de Analítica Energética

Agradecimientos especiales:

Jorge Pedroza
(PwC - Strategy&)

Juan José Vega
(PwC - Strategy&)

Pamela Gutiérrez
(PwC - Strategy&)

Contenido

1	Resumen ejecutivo	08
	1.1. Antecedentes	08
	1.2. Objetivos y alcance	09
	1.3. Metodología	09
	1.4. Hoja de ruta y recomendaciones	10
2	Introducción a las garantías de origen	12
	2.1. Aspectos generales de las garantías de origen	12
	2.2. Unión Europea	15
	2.3. Estados Unidos	19
	2.4. International REC (I-REC)	20
3	Antecedentes de certificación en México	21
4	Garantías de origen para el hidrógeno verde	26
	4.1. Unión Europea	27
	4.2. Estados Unidos	34
	4.3. Alemania	38
	4.4. IPHE	39
	4.5. China	40
	4.6. Japón	40
5	Potenciales beneficios por la implementación de un sistema de garantías de origen de H₂ verde en México	41
	5.1. Económicos	41
	5.2. Sociales	42
	5.3. Ambientales	42
6	Hoja de ruta y recomendaciones para la adopción de garantías de origen de hidrógeno verde en México	44
	6.1. Impulso integral	45
	6.2. Desarrollo de plan de trabajo flexible	46
	6.3. Ejecución de tareas por grupos de trabajo	49
	6.4. Implementación de proyectos piloto locales	49
	6.5. Implementación de proyecto piloto internacional	50
	6.6. Escalabilidad	51
7	Conclusiones	52
8	Bibliografía	54
9	Resumen de entrevistas	57
10	Anexos	58

Lista de figuras

Figura 1. Metodología para la elaboración de recomendaciones	10
Figura 2. Hoja de ruta y recomendaciones	11
Figura 3. Ejemplo de certificación - Identidad Preservada	13
Figura 4. Ejemplo de certificación - Segregada	13
Figura 5. Ejemplo de certificación - Balance de Masa	14
Figura 6. Ejemplo de certificación - Reserva & Reclamo	14
Figura 7. Proceso de certificación del EECS	15
Figura 8. Esquema visual de un sistema de garantía de origen para energía renovable	17
Figura 9. Esquema de certificación REC	19
Figura 10. Evolución de generación y las metas de energía limpia	23
Figura 11. Definiciones de CertifHy para el hidrógeno	27
Figura 12. Ejemplo de porcentaje de hidrógeno verde según energía utilizada	28
Figura 13. Alcance de CertifHy	28
Figura 14. Representación esquemática de la Plataforma de Partes Interesadas de CertifHy	29
Figura 15. Miembros 2019 de los Grupos de Trabajo de la Plataforma CertifHy	30
Figura 16. Roles de CertifHy	30
Figura 17. Funcionamiento del sistema GO de CertifHy	31
Figura 18. Fases del sistema CertifHy	32
Figura 19. Plan de trabajo	33
Figura 20. Hoja de ruta de CertifHy	33
Figura 21. Combustibles bajos en carbono del LCFS	35
Figura 22. Curva decreciente de intensidad de carbono del LCFS	36
Figura 23. Esquema LCFS	36
Figura 24. Precio de crédito mensual de LCFS y volumen de transacciones (histórico)	37
Figura 25. Panorama general de Entidades del LCFS	37
Figura 26. Rendimiento del LCFS 2011-2020	38
Figura 27. Roles de CertifHy	49
Figura 28. Proceso básico de generación de crédito	58

Lista de tablas

Tabla 1. Metas de la Estrategia de Transición Energética	22
Tabla 2. Metas de Eficiencia Energética	22
Tabla 3. Publicación de los requisitos de adición de CELs	24

Tabla de unidades

CO ₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
CO ₂ eq/MJ	Dióxido de carbono equivalente por mega joule
euro/kWh	Euro por kilo watt hora
CO ₂ eq /MJH ₂	Dióxido de carbono equivalente por mega joule de hidrógeno
g CO ₂ eq/MJ	Gramos de dióxido de carbono equivalente por mega joule
CO ₂ e/MJLHV	Dióxido de carbono equivalente por mega joule de poder calorífico inferior (low heating value)
kg	Kilogramo
CO ₂ e/kgH ₂	Dióxido de carbono equivalente por kilogramo de hidrógeno
kWh	Kilo watt hora
g	Gramo
MJ	Mega joule
MtCO ₂ e	Millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente
Mton	Millones de toneladas métricas
MW	Mega watt
MWh	Mega watt-hora
ton	Tonelada
TWh	Tera watt-hora

Tabla de abreviaturas

AFP	Alternative Fuel Portal (Portal de combustible alternativo)
AIB	Association of Issuing Bodies (Asociación de Organismos Emisores)
CAPEX	Capital Expenditure (Gasto de capital)
CARB	California Air Resources Board (Consejo de Recursos del Aire de California)
CBTS	Credit Banking and Transfer System (Sistema Bancario y de Transferencias de Crédito)
CCS	Carbon Capture and Storage (Captura y almacenamiento de carbono)
CCU	Carbon Capture and Utilisation (Captura y utilización de carbono)
CCUS	Carbon capture, utilisation and storage (Captura, utilización y almacenamiento de carbono)
CEL	Certificado de Energía Limpia
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CEN-EN	Central European Norm - European Standards (Norma Centroeuropea - Estándares Europeos)
CFDis	Comprobantes fiscales digitales
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CH ₄	Metano
CI	Carbon Intensity (Intensidad de Carbono)
CO ₂	Dióxido de carbono
COFECE	Comisión Federal de Competencia Económica

CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DOF	Diario Oficial de la Federación
EECS	European Energy Certificate System (Sistema Europeo de Certificado Energético)
EEE	Espacio Económico Europeo
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
ERGaR	European Renewable Gas Registry (Registro Europeo de Gases Renovables)
ETS MRV	Emission Trading System Monitoring, Reporting and Verification (Monitoreo, Reporte y Verificación del Sistema de Comercio de Emisiones)
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Vehículo eléctrico de celda de combustible)
FTC	Federal Trade Commission (Comisión Federal de Comercio)
GATS	Generation Attribute Tracking System (Sistema de seguimiento de atributos de generación)
GEI	Gases de efecto invernadero
GO	Garantías de origen
H ₂ PA TF	Hydrogen Production Analysis Task Force (Grupo de Trabajo de Análisis de Producción de Hidrógeno)
H ₂ TR TF	Hydrogen Trade Rules Task Force (Grupo de Trabajo sobre Reglas Comerciales de Hidrógeno)
HRS	Hydrogen Refuelling Station (Estaciones de reabastecimiento de hidrógeno)
ICS	Independent Criteria Schemes (Sistemas de certificación independientes)
IEM	Internal Market in Electricity (Mercado Interior de la Electricidad)
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
I-REC	International Renewable Energy Certificate Standard (Estándar Internacional de Certificado de Energía Renovable)
IRENA	Agencia Internacional de Energía Renovable
LBST	Ludwig-Bölkow-Systemtechnik
LCA	Life Cycle Assessment (Análisis de ciclo de vida)
LCFS	Low Carbon Fuel Standard (Estándar de combustible bajo en carbono)
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LIE	Ley de la Industria Eléctrica
LTE	Ley de Transición Energética
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
MENA	Middle Eastern – Northern African (Oriente Medio – Norte de África)
N ₂ O	Oxido de nitrógeno
NDC	Nationally Determined Contributions (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional)
NGC	Non Governmental Certificates (Certificados no gubernamentales)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sustentable
ONGs	Organizaciones no gubernamentales
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
REC	Renewable Energy Certificate (Certificado de energía renovable)

RED	Renewable Energy Directive (Directiva de energías renovables)
RENOVA	Registro Nacional de Energías Renovables
RET	Renewable Energy Target (Objetivos de Energía Renovable)
RFNB	Renewable fuels of non biological origin (Combustibles renovables de origen no biológico)
ROCs	Renewables Obligation Certificate (Certificado de Obligación de Renovables)
RPS	Renewable Portfolio Standard (Estándar de Cartera de Renovables)
SAT	Sistema de Administración Tributaria
SCHP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SE	Secretaría de Economía
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENER	Secretaría de Energía
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SIF	Servicios de Integración Financiera
SMR	reformado de metano con vapor
SER	Secretaría de Relaciones Exteriores
SSB	Suministrador de Servicios Básicos
T-MEC	Tratado comercial entre México, Estados Unidos y Canadá
UE	Unión Europea
UK	United Kingdom (Reino Unido)
USD	United States Dollar (Dólar de Estados Unidos)
ZEV	Zero Emisión Vehicle (Vehículo de cero emisiones)

1. Resumen Ejecutivo

1.1 Antecedentes

En los últimos años, numerosos países alrededor del mundo han anunciado estrategias para desarrollar el hidrógeno como portador clave de energía; para 2021, 17 gobiernos contaban ya con estrategias de hidrógeno y más de 20 habían declarado estar trabajando en su desarrollo; de forma simultánea, se ha generado un gran interés en torno al compromiso net-zero por parte de numerosos países, ciudades y empresas, quienes han adoptado objetivos de cero emisiones de dióxido de carbono. Lo anterior resalta la necesidad e interés internacional por adoptar el hidrógeno a un nivel que va más allá del estado actual¹².

Si bien la demanda global de hidrógeno ha aumentado de forma constante durante las últimas cuatro décadas, el problema es que los medios convencionales de producción de hidrógeno generan grandes volúmenes de CO₂, con lo cual se desaprovecha el gran potencial que tiene el hidrógeno para contribuir a las metas de descarbonización de los gobiernos y empresas. Sin embargo, existen alternativas de producción con menores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas en comparación con los métodos tradicionales; es aquí donde destaca la tecnología de electrólisis con energía renovable, con la cual se produce un hidrógeno más limpio que suele denominarse “hidrógeno verde”. La anterior etiqueta (hidrógeno verde) depende de cumplir ciertos requisitos que varían dependiendo del país o sistema al que se esté haciendo referencia, pero la idea general de esta etiqueta es hacer referencia a un hidrógeno con significativamente menores emisiones de GEI en comparación con el hidrógeno convencional y que además haya sido producido mediante energías renovables. Actualmente se observa que, gracias a los acelerados avances tecnológicos en electrólisis y a la rápida disminución de los costos de las energías renovables de las últimas décadas, el hidrógeno verde puede convertirse en el medio idóneo para transportar y almacenar energía renovable de forma global³. Por lo tanto, el hidrógeno verde puede desempeñar un papel importante en la transición energética.

Siguiendo con mayor detalle la idea del anterior párrafo, es importante tener muy claro que, por sus propiedades moleculares, el hidrógeno puede producirse mediante una gran variedad de tecnologías (por ejemplo, reformado de metano con vapor -SMR, gasificación, electrólisis, pirólisis, etc.) utilizando todo tipo de fuentes de energía, ya sea de origen fósil o renovable. El uso de la nomenclatura por colores para referirse a las diferentes rutas de producción de hidrógeno se ha generalizado recientemente en un intento de facilitar su implementación (por ejemplo, el hidrógeno verde hace referencia al hidrógeno procedente de energías renovables, mientras que el azul a la producción de hidrógeno a partir de gas natural con captura, utilización y almacenamiento de carbono -CCUS). Debido a la mencionada versatilidad en su producción, y considerando que las moléculas del hidrógeno son idénticas sin importar su color de

clasificación (las moléculas del hidrógeno producido mediante energía renovable son idénticas a las del hidrógeno producido mediante energías fósiles), una vez obtenido el hidrógeno no es posible determinar su origen y las correspondientes emisiones asociadas a su producción.

Lo anterior resulta en la necesidad de contar con un sistema que certifique las características de producción del hidrógeno y que permita a las partes interesadas rastrear su origen. Además, certificar el hidrógeno verde resulta necesario para poder valorar sus menores emisiones de GEI en comparación con una línea de base, lo cual permite la creación de un nuevo mercado en el que dichas menores emisiones de GEI se valoran con una mayor disposición a pagar. A estos sistemas de certificación se le suele denominar sistemas de “garantías de origen” para el hidrógeno. Aquí resulta importante tener claro que, en términos generales, una garantía de origen es básicamente un documento electrónico que identifica la fuente y el método de producción de una unidad de energía (en este caso del hidrógeno) y se relaciona con un propósito específico, por ejemplo, la divulgación de la fuente de energía o el cumplimiento de una obligación; el sistema de garantías de origen es el esquema que gestiona de principio a fin estos documentos electrónicos conocidos como garantías de origen.

Un sistema de garantías de origen genera la confianza que habilita transacciones de compra y venta de hidrógeno bajo en carbono, dando certeza principalmente del origen de la energía utilizada para su producción. Dado que los productores de hidrógeno verde afrontan costos más altos en comparación con aquellos que utilizan métodos tradicionales más contaminantes, las garantías de origen resultan necesarias para avalar al hidrógeno verde como un producto diferenciado por sus características menos contaminantes.

El presente estudio considera la importancia ya mencionada de las garantías de origen para el impulso requerido para el hidrógeno verde, y presenta una visión de los esfuerzos internacionales más relevantes (por su despliegue y avances) de adopción de garantías de origen de hidrógeno, con la intención de detectar casos de éxito y tendencias de certificación. Además, se abordan también experiencias

¹IRENA, 2021.

²IEA, 2021.

³Strategy&, 2020.

nacionales de certificación, identificando los principales retos a los que se ha enfrentado México anteriormente. Con esta serie de análisis, y considerando las perspectivas de actores clave en la industria del hidrógeno en México, se presenta una hoja de ruta para la adopción de un sistema de garantías de origen de hidrógeno verde en el país, así como una serie de recomendaciones para llevar a cabo dicha hoja de ruta.

1.2 Objetivos y alcance

Objetivo general

Generar una propuesta de recomendaciones para la adopción de garantías de origen de hidrógeno verde en México a partir de (i) las lecciones internacionales de certificación renovable (ii) y de certificación de hidrógeno verde, (iii) las experiencias nacionales en certificación, (iv) las tendencias actuales y esperadas de acuerdo con los organismos internacionales líderes en investigación e impulso al hidrógeno verde y su certificación, y (v) las perspectivas de actores clave⁴ en la industria del hidrógeno en México.

Objetivos específicos

1. Presentar una introducción a las garantías de origen de manera general para energía renovable y otros ejemplos.
2. Estudiar las experiencias nacionales de certificación renovable para considerar los principales retos que se han presentado en el país.
3. Revisar y analizar experiencias internacionales relevantes de adopción de garantías de origen de hidrógeno verde (o hidrógeno bajo en carbono) para identificar buenas prácticas y recomendaciones.
4. Presentar las perspectivas actuales de actores clave en la industria del hidrógeno en México acerca de la adopción de garantías de origen en el país.
5. Identificar los potenciales beneficios que podrían ser impulsados por un sistema de garantías de origen de hidrógeno verde.
6. Elaborar una propuesta de recomendaciones para la adopción de garantías de origen en México con base en los análisis realizados de experiencias internacionales y nacionales, puntos de vista de organismos internacionales y perspectivas de actores clave en la industria del hidrógeno en México.

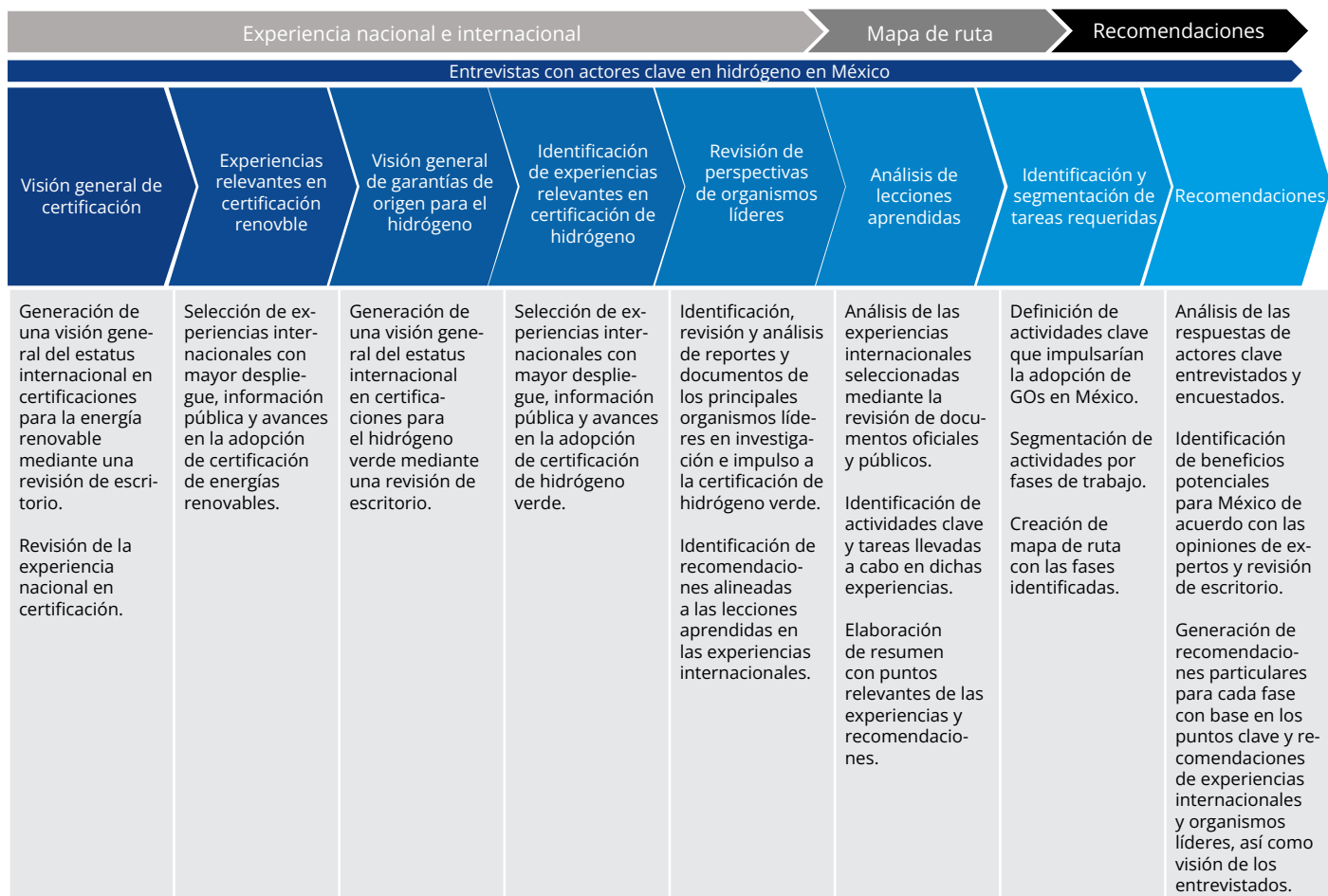
1.3 Metodología

Para la elaboración de recomendaciones para la adopción de garantías de origen de hidrógeno verde en México, se llevaron a cabo (i) análisis de escritorio de las experiencias internacionales más relevantes en certificación de energía renovable; (ii) análisis de las experiencias internacionales más relevantes en certificación de hidrógeno verde, identificando los puntos clave de sus sistemas y las lecciones aprendidas; (iii) revisión de las experiencias nacionales en certificación de energía renovable, con especial atención en los retos que se han presentado en el país; (iv) revisión de las recomendaciones y puntos de vista sobre certificación de hidrógeno verde de organismos internacionales reconocidos y líderes en investigación e impulso al hidrógeno verde y su certificación; y (v) entrevistas y una encuesta a actores clave en la industria del hidrógeno en México, para conocer sus perspectivas acerca de la implementación de garantías de origen en México.

Una vez obtenida la información tanto de experiencias internacionales, experiencias nacionales y opiniones de actores clave, los datos fueron seleccionados, analizados, segmentados y evaluados, de tal forma que la hoja de ruta propuesta surgiera con base en las actividades clave necesarias para una adopción exitosa de garantías de origen en el país, y también con el objetivo de que las recomendaciones generales y específicas para cada fase de la hoja de ruta surgieran de seguir las lecciones aprendidas y las tendencias internacionales de certificación, considerando también el contexto actual de México en materia de hidrógeno verde y certificación. Adicional a la hoja de ruta, se presentan los potenciales beneficios que tendría México al implementar un sistema de garantías de origen.

⁴ Los actores clave entrevistados incluyen actores del sector academia e industria.

Figura 1. Metodología para la elaboración de recomendaciones



Fuente: Elaboración propia

Nota: El contenido del presente documento incluye la obtención y análisis de información pública disponible con fecha de publicación a enero de 2022.

1.4 Hoja de ruta y recomendaciones

Las siguientes recomendaciones generales son relevantes para dar impulso a la producción del hidrógeno verde mediante un sistema de garantías de origen:

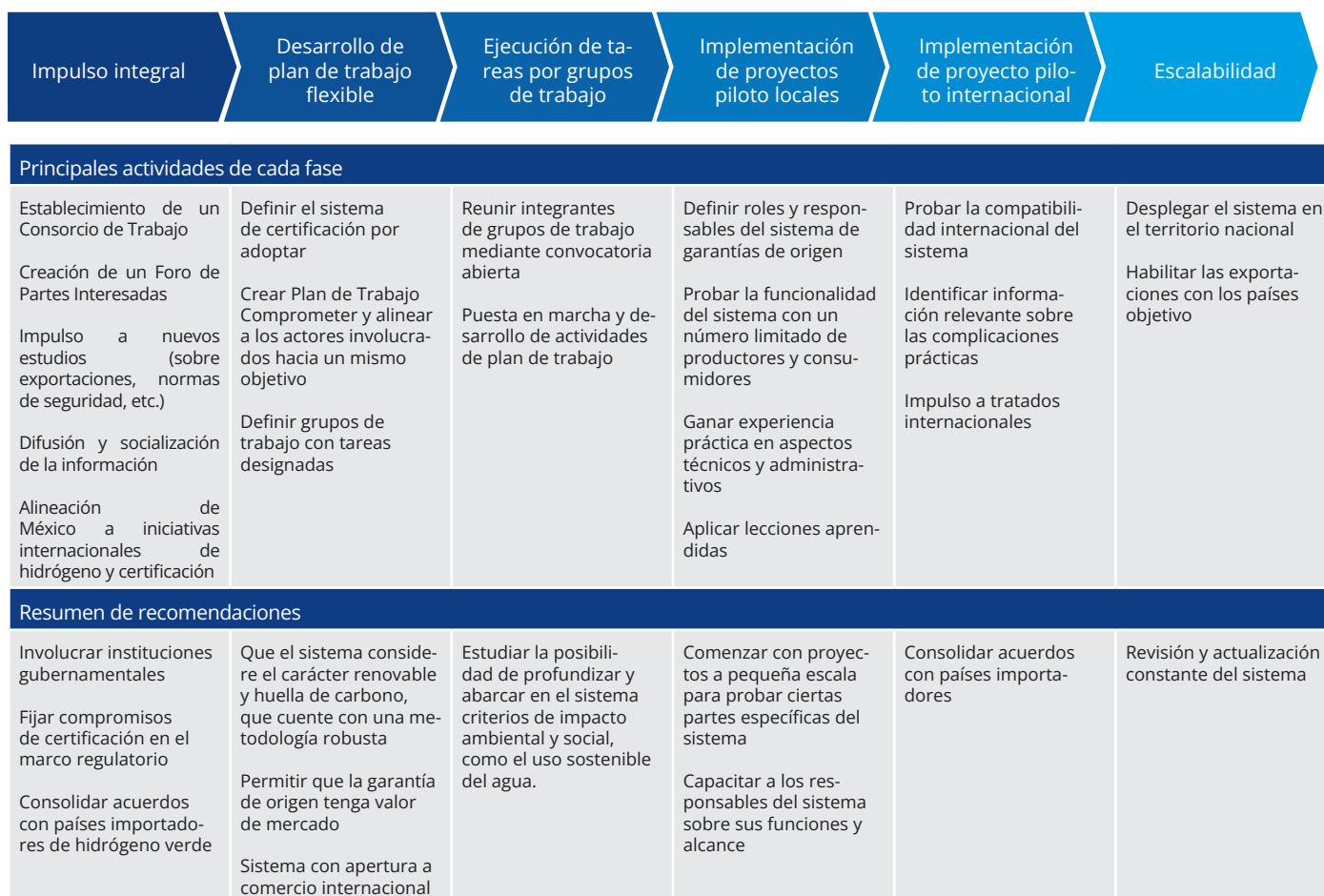
- Adoptar un sistema de garantías de origen ya establecido, que cuente con reconocimiento internacional, específicamente por los principales países objetivo de México, es decir, los países a donde México potencialmente exportaría su producción de hidrógeno verde que no sea de consumo local. Este es el enfoque más eficiente para lograr la compatibilidad de los sistemas implementados entre México y los países importadores objetivo. Además, se considera que la adopción de un sistema internacional avanzado resulta más ágil en comparación con el diseño, desarrollo e implementación de un sistema nacional.

- Generar los esfuerzos para contar con un sistema de garantías de origen en México en el corto plazo y de forma ágil, es decir, que vayan alineados con los esfuerzos generales de adopción y uso del hidrógeno, sin tener que esperar a una etapa de mayor madurez de la industria y del mercado en el país. En un escenario inicial, con base en un análisis de los tiempos requeridos por el sistema CertifHy de la Unión Europea, se estima que la adopción del sistema y su despliegue podría llevar entre 4 y 8 años.

Considerando estas recomendaciones generales, hay actividades específicas que ayudarían a México a adoptar un sistema de garantías de origen de hidrógeno verde de forma ágil. La siguiente hoja de ruta presenta las 6 fases identificadas para la adopción de un sistema garantías de origen en el país; cada una de ellas cuenta con actividades clave y recomendaciones⁵.

⁵En la sección 6 del documento se mencionan también las principales amenazas (generales y por cada fase de la hoja de ruta).

Figura 2. Hoja de ruta y recomendaciones



Fuente: Elaboración propia

2. Introducción a las garantías de origen

Las garantías de origen son un certificado electrónico que avala e informa sobre los atributos de una unidad de producto sostenible generado o producido; estos productos pueden variar desde naranjas, aceite de palma, energía renovable, y por supuesto, hidrógeno verde.

En esta sección se abordarán los diferentes tipos de garantías de origen identificados y los mercados en los que participan. Posteriormente, se detallará el uso de garantías de origen para energías renovables en la Unión Europea (UE), la gobernanza en sus Estados Miembros, y se desarrollarán los tipos de garantías gubernamentales y voluntarias relevantes. Por último, cubriremos el uso de certificados de energía renovable en Estados Unidos de Norteamérica (Estados Unidos) y así como en la UE, se desarrollarán los sistemas de los certificados gubernamentales y los voluntarios.

El objetivo de la sección es dar un conocimiento general sobre las garantías de origen y ejemplos aplicados a la energía renovable en otros países, identificando la regulación aplicable más relevante elaborada, los sistemas de gobernanza y posibles estructuras en las que México se puede apoyar para un futuro sistema de certificación para el hidrógeno verde.

2.1 Aspectos generales de las garantías de origen

En el mundo se han desarrollado diversas formas de avalar el origen de distintos productos. Algunas de estas formas se aplican a través de Certificados de Atributos Energéticos (Energy Attribute Certificates - EACs) al sector energía, en las empresas que se dedican al transporte y suministro de energía (por ejemplo, gas y electricidad) y que por su forma de operar se les conoce como portadores de energía.

Estos energéticos generalmente requieren de una extensa infraestructura de distribución y comercialización, lo cual se traduce en altos costos de inversión, por lo que se suele hacer uso compartido de la infraestructura. Existe la posibilidad de que ciertos energéticos cuenten con atributos diferenciadores, como la sostenibilidad y la reducción de emisiones, que a su vez implica un incremento en su costo y precio en comparación con sus equivalentes “tradicionales” que no cuentan con tales atributos; sin embargo, es común que los energéticos tengan que ser distribuidos y comercializados a través de la misma infraestructura sin importar sus atributos, lo cual, una vez mezclados, hace imposible diferenciarlos físicamente. Una solución a esta problemática es el uso de EACs.

De acuerdo con CertifHy, uno de los EACs más desarrollados es el sistema de garantías de origen para la energía eléctrica⁶. Estas garantías facilitan la propagación del uso de diferentes tipos de energía, y habilitan a los consumidores a tomar decisiones de compra informadas con base en el origen de la generación de electricidad.

Clasificación de garantías de origen de acuerdo con el ciclo de vida

Existen diferentes tipos de garantías de origen de acuerdo con el ciclo de vida de determinados productos. CertifHy⁷ ilustra esto con los tipos de certificación disponibles para el aceite de palma, que pueden ser aplicados a los energéticos, desarrollados por la organización Round Table and Sustainable Palm Oil (RSPO)⁸ los cuales se mencionan a continuación:

Nombre	1. Identidad preservada (Identity Preserved)
Descripción	El producto sostenible proviene de una única fuente certificada e identificable, cuenta con una cadena especializada y se mantiene separado del producto no sostenible a lo largo de la cadena de suministro.
Ventaja	Se proporciona gran confianza al consumidor, ya que la producción en cuestión no se mezcla con la producción de otras plantas ni con lo producido en plantas no sostenibles.
Desventaja	Se incurre en altos costos e inversión para hacer una cadena de valor especializada.

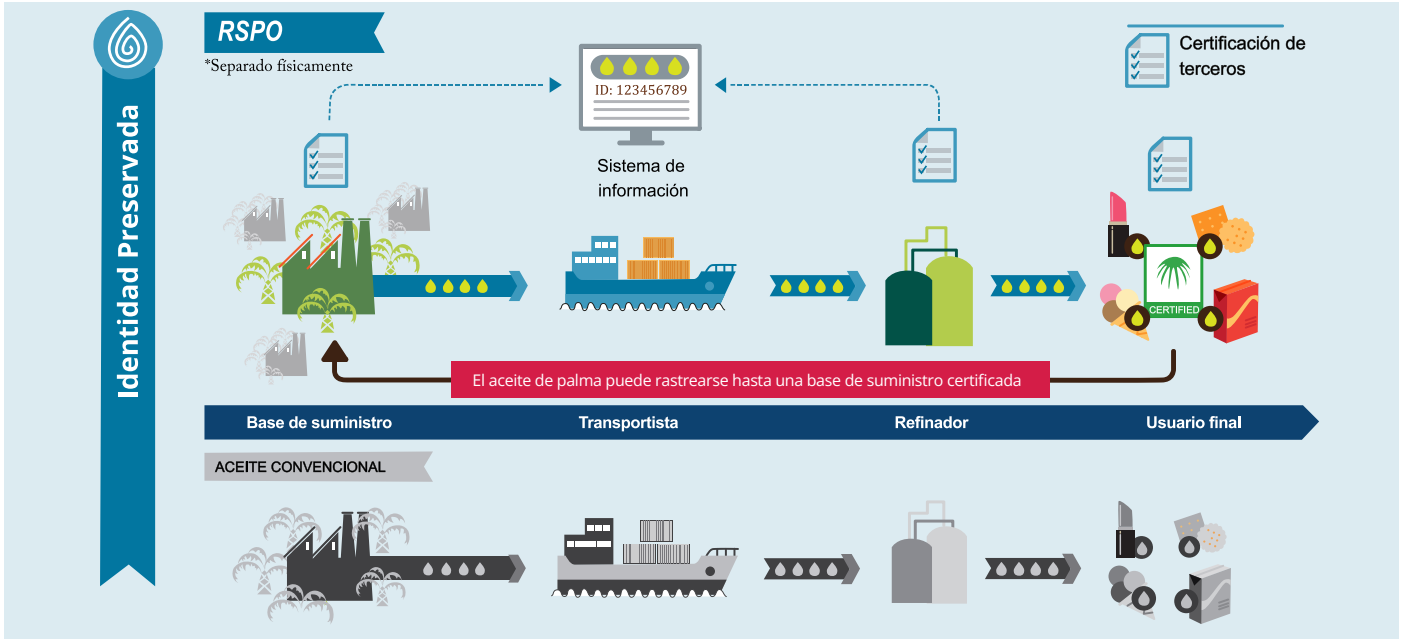
⁶ CertifHy, 2015

⁷ CertifHy, 2017

⁸ RSPO, s.f.

La figura 3 ejemplifica el tipo de certificación de Identidad Preservada

Figura 3. Ejemplo de certificación - Identidad Preservada



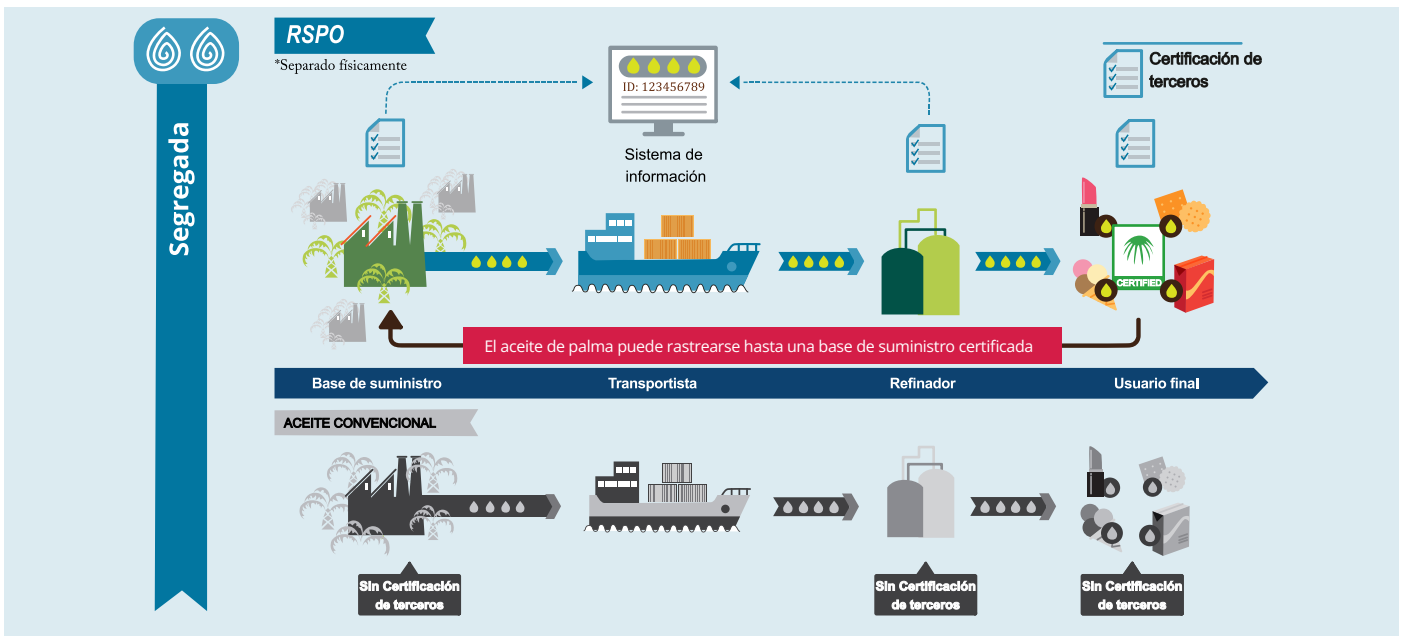
Fuente: Imagen tomada de sitio web RSPO. (Traducción)

Nombre	2. Segregada (Segregated)
Descripción	Se mezcla la producción de las plantas sostenibles en una misma cadena de valor (por ejemplo, en los eslabones de distribución o venta), pero se mantiene separada de la cadena de productos no sostenibles.
Ventaja	Se optimiza la cadena de suministro para las plantas sostenibles.
Desventaja	Una empresa puede afirmar que su producto proviene de una planta sostenible, pero no se tiene total certeza y confianza con el consumidor. Adicionalmente, no se optimizan los costos de distribución porque se mantienen dos cadenas de suministro distintas.

Nombre	3. Balance de masa (Mass Balance)
Descripción	Este enfoque vincula el certificado con la entrega física del producto. Se mezcla el producto de plantas sostenibles con el producto de plantas convencionales. La cantidad de producto que se puede vender como sostenible corresponde a la misma cantidad de producto sostenible que se ingresó a la cadena de suministro. El balance de masa sirve para rastrear un producto sostenible, desde su producción hasta su uso.
Ventaja	Se eficientiza la cadena de valor ya que habilita que el producto sostenible se pueda procesar o transportar de manera costo-eficiente.
Desventaja	Una empresa no puede argumentar que su producto viene de una planta sostenible, pero puede plantear que, al comprar alguno de sus productos, se brinda un apoyo económico a las plantas sostenibles.

La figura 4 ejemplifica el tipo de certificación Segregada

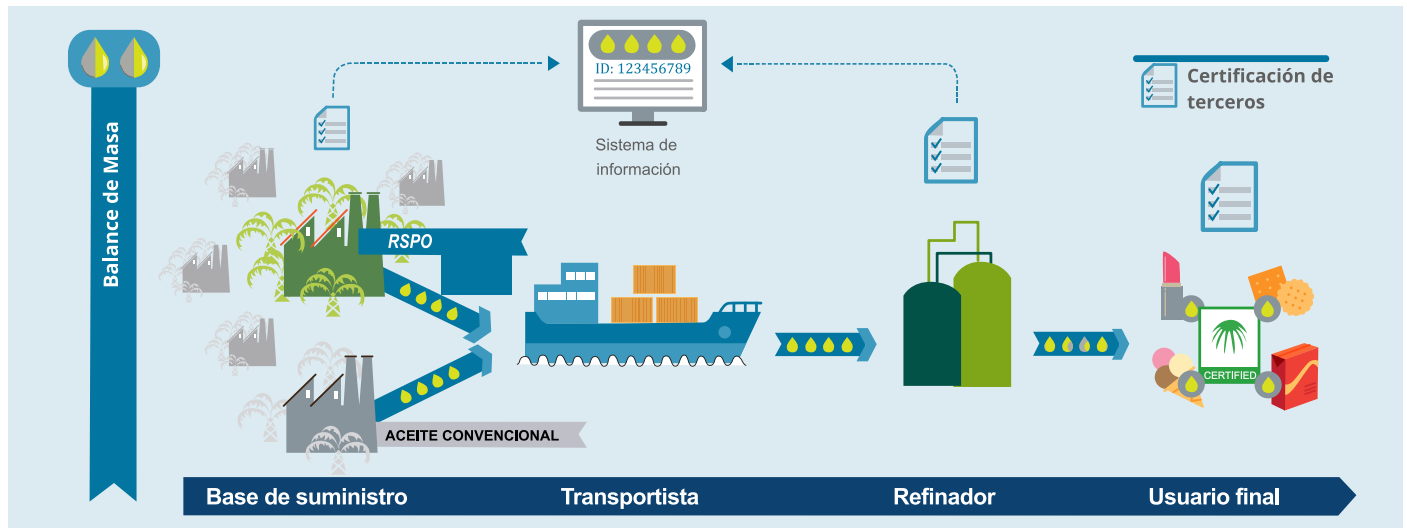
Figura 4. Ejemplo de certificación - Segregada



Fuente: Imagen tomada de sitio web RSPO. (Traducción)

La figura 5 ejemplifica el tipo de certificación de Balance de Masa

Figura 5. Ejemplo de certificación - Balance de Masa

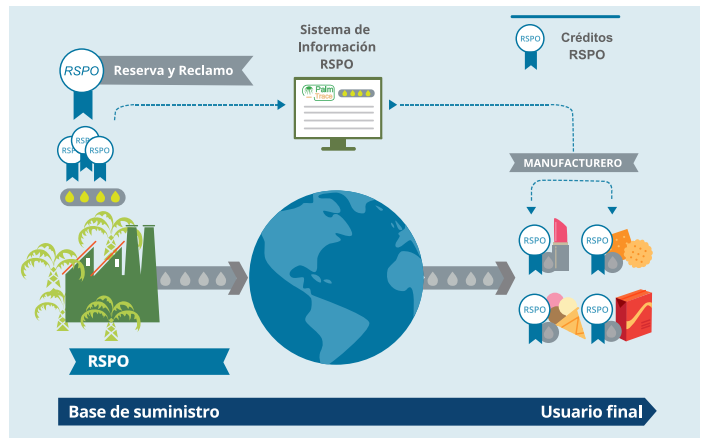


Fuente: Imagen tomada de sitio web RSPO. (Traducción)

Nombre	4. Reserva y reclamo (Book & Claim)
Descripción	Es un mecanismo de comercio de certificados en el que la cadena de suministro no se controla para detectar la presencia de producto sostenible, por lo que la entrega física del producto sostenible y la emisión del certificado respectivo no están vinculados entre sí. Los certificados representan una cantidad determinada de producto sostenible, requiere de un esquema de gobernanza, incluyendo una base de registro que garantice la trazabilidad y que mitigue el riesgo para evitar el doble conteo de un certificado.
Ventaja	Se eficientiza la cadena de valor. Habilita la compra de producto sostenible, aunque no se entregue físicamente. Permite separar los atributos de un producto sostenible y el producto físico, estos atributos se pueden transferir de manera separada al producto a través un registro Book & Claim. Facilita la escalabilidad de un mercado, se ahorran costos de infraestructura y distribución.
Desventaja	No permite un seguimiento a detalle de la cadena de suministro del producto. El certificado afirma que se produjo cierta cantidad de producto sostenible, pero no afirman que dicha cantidad de producto haya sido transportada al consumidor al que se dirige el certificado.

La figura 6 ejemplifica el tipo de certificación de Reserva & Reclamo

Figura 6. Ejemplo de certificación - Reserva & Reclamo



Fuente: Imagen tomada de sitio web RSPO. (Traducción)

Clasificación de garantías de origen por tipo de mercado

Además de la clasificación de garantías de origen basadas en su ciclo de vida, también se pueden clasificar por tipo de mercado:

Mercado	Descripción	Estados Unidos	Unión Europea
Mercado de cumplimiento	Los certificados funcionan como evidencia de cumplimiento de obligaciones tales como estándares o cuotas.	Estándar de Cartera Renovable (Renewable Portfolio Standard - RPS) ⁹ es un mandato regulatorio que existe en diferentes estados para aumentar la producción de energía a partir de fuentes renovables. Con este estándar, se requiere que cierto porcentaje de la energía consumida por ciertos agentes sea renovable y comprobable.	En la UE se requiere a los Estados Miembros a introducir esquemas de divulgación de la fuente de electricidad, es decir, los proveedores de electricidad están obligados a mostrar en los recibos la contribución de cada fuente de energía los tipos de combustible, las emisiones de CO ₂ , etc., de la mezcla total de energía brindada a los clientes por parte del proveedor ¹⁰ .
Mercado voluntario	Se refiere a los compradores que deciden comprar energía renovable independientemente de la regulación u obligaciones de su país o estado.	Hay ciertos estados que no cuentan con RPS obligatorios, pero utilizan los certificados para afirmar que utilizan energía renovable.	Existen diversos tipos de certificados para recalcar atributos de distintos productos, por ejemplo, la sustentabilidad. Estos certificados no son obligatorios, pero ayudan a que los consumidores conozcan cuáles son las opciones que tienen disponibles al momento de comprar cierto producto.

⁹EIA, 2021.

¹⁰Directive 2019/944/EC.

Los sistemas de trazabilidad de atributos de energía confiables, robustos y transparentes, que serán abordados en este documento, como la Garantía de Origen en la UE, los certificados de energía renovable (Renewable Energy Certificate - REC) en Estados Unidos, y el Estándar Internacional REC, son la base fundamental para crear mercados confiables de energía renovable. En la siguiente sección se abordan con mayor detalle las experiencias de sistemas de garantías de origen internacionales mencionadas en la Unión Europea y en Estados Unidos.

2.2 Unión Europea

La promoción de energías renovables es uno de los objetivos más importantes de la política energética de la UE en los últimos años. Su adopción e intensificación en su uso, es una parte fundamental de las medidas necesarias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, atendiendo a lo pactado tanto en el Acuerdo de París, así como con el Marco sobre Clima y Energía para 2030 (EU Policy Framework for Climate and Energy 2020 to 2030).

Como se mencionó al inicio de esta sección, una garantía de origen es un documento electrónico que identifica la fuente y el método de producción de una unidad de energía, y se relaciona con un propósito específico, como la divulgación de la fuente de energía o el cumplimiento de una obligación¹¹.

Las garantías se crean, cambian de propietario y eventualmente se vuelven intransferibles bajo una infraestructura de control cuidadosamente diseñada, implementada y administrada. En la Unión Europea existe un sistema gubernamental regulatorio y un sistema voluntario, los cuales se detallarán en las siguientes secciones

La Asociación de Organismos Emisores (Association of Issuing Bodies - AIB) es una asociación no lucrativa que representa a los operadores nacionales de los sistemas de garantías de origen en la Unión Europea; la asociación creó el Sistema Europeo de Certificados de Energía (European Energy Certificate System - EECS), para facilitar las transferencias de estos certificados entre Estados Miembros. Bajo este sistema, se busca la estandarización de procesos de emisión, transferencia y cancelación de varios tipos de certificados obligatorios y voluntarios, incluidas las garantías de origen para energías renovables; esto lo hace a través de un hub electrónico que facilita la concentración de información conectando registros nacionales. La regulación no requiere a los Estados Miembros a aceptar y adoptar el EECS, sin embargo, muchos lo utilizan mientras que continúan operando sus certificados nacionales en paralelo.

En la figura 7, se ilustra el proceso de certificación del EECS y sus respectivos pasos.

Figura 7. Proceso de certificación del EECS



Fuente: Imagen tomada del sitio web del AIB. (Traducción, formato adaptado)

¹¹ EECS, 2021.

¹²Internal Electricity Market Directive (IEM) (2019/944 y sus predecesoras 2009/72/EC, 2003/54/EC y 1996/92/EC).

A continuación se detallan cada uno de los pasos.

Paso	Descripción
Emisión	Por cada MWh de energía generada se emite un certificado electrónico.
Transferencia	Una vez emitido el certificado, su titular puede transferirlo a la cuenta de otro titular notificando al organismo emisor. El organismo emisor inscribe la transferencia de propiedad en el registro, archiva cualquier documentación relacionada con la transacción y confirma al vendedor que la transferencia ha tenido lugar. El organismo emisor notifica al comprador
Cancelación	Los certificados EECS se cancelan cuando se "usan", por ejemplo, cuando un proveedor de electricidad revela a sus clientes la fuente de su energía; o cuando un consumidor lo hace para publicitar sus credenciales medioambientales. La cancelación es irrevocable.
Expiración	Las garantías de origen expiran después de un periodo de tiempo a partir de su generación (por ejemplo, un año)
Retiro	Un organismo emisor puede retirar un certificado del registro cuando haya sido emitido por error.

Sistema gubernamental

A través de la IEM 2019/944, la UE liberalizó los mercados de electricidad de sus Estados Miembros¹² y creó el marco del mercado común de la electricidad, el cual les exige a las empresas proveedoras de energía que introduzcan sistemas de etiquetado para la divulgación detallada del tipo de electricidad vendida a los consumidores finales, brindándoles detalles de la contribución de cada fuente de energía a la mezcla total de combustibles suministrados y el impacto ambiental respectivo. Esto requiere un procedimiento para asignar los "atributos" de generación de electricidad, como el tipo de combustible (o fuente de energía), las emisiones de CO₂, etc., a los proveedores de electricidad y sus clientes. El marco legislativo para esta divulgación detallada de los atributos de la energía suministrada al usuario final aún no está totalmente desarrollado para los portadores de energía no eléctrica, como el hidrógeno, el gas, la calefacción y la refrigeración. Para esta divulgación, las garantías de origen son una herramienta viable.

La Directiva RED II (2018/2001/EC) promueve un aumento sustancial en la proporción de electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en toda la Unión Europea, y además determina que los Estados Miembros velarán por que el origen de la energía procedente de fuentes renovables pueda garantizarse de acuerdo con criterios objetivos, transparentes y no discriminatorios.

Las garantías de origen tienen el propósito de mostrarle a un cliente final que una determinada porción o cantidad de energía fue producida a partir de fuentes renovables. La directiva requiere que los Estados Miembros brinden a los productores que lo soliciten la oportunidad de obtener garantías de origen electrónicas para la energía generada a partir de estas fuentes, para electricidad, gas (incluido el hidrógeno), la calefacción y la refrigeración¹³. El sistema es voluntario y los productores individuales pueden decidir si desean o no hacer la solicitud de una garantía de origen; sin embargo, es obligatorio contar con una garantía de origen para comunicar la sostenibilidad de la energía.

El artículo 19 de la directiva aborda el tema de las garantías de origen y recalca los siguientes puntos:

- Se expedirá como máximo una garantía de origen por cada unidad de energía producida (1 MWh)
- Los Estados Miembros se cerciorarán de que una misma unidad de energía procedente de fuentes renovables se tenga en cuenta una sola vez
- Las garantías de origen serán válidas por un período de doce meses a partir de la producción de la unidad de energía correspondiente
- Un Estado Miembro puede decidir si desea expedir garantías de origen para fuentes no renovables
- Los Estados Miembros, o los organismos competentes designados, supervisarán las expediciones, las transferencias y las cancelaciones de las garantías de origen
- Los organismos competentes designados no tendrán responsabilidades que se traslapen geográficamente y serán independientes de las actividades de producción, comercio y suministro
- Los Estados Miembros, o los organismos competentes designados, introducirán los mecanismos adecuados para velar por que las garantías de origen se expidan, se transfieran y se cancelen electrónicamente, y sean exactas, fiables y resistentes al fraude
- Cuando se exija a un proveedor de electricidad que demuestre la cuota o la cantidad de energía procedente de fuentes renovables de su combinación energética, este lo hará valiéndose de garantías de origen, salvo en condiciones específicas (relacionándose con la IEM 2019/944, mencionado anteriormente)

- Los Estados Miembros reconocerán las garantías de origen expedidas por otros Estados Miembros
- Los Estados Miembros no reconocerán las garantías de origen expedidas por un tercer país, salvo cuando la UE haya celebrado con este último un acuerdo para el reconocimiento mutuo de las garantías de origen expedidas en la propia UE y otros sistemas de garantías de origen compatibles establecidos en ese tercer país, y solo cuando existan importaciones o exportaciones directas de energía

Cabe mencionar que, desde que la RED II fue adoptada, no se ha llevado a cabo ningún acuerdo de la Unión Europea y un país tercero para el reconocimiento mutuo de las garantías de origen¹⁴, lo que representa una potencial oportunidad para América Latina y por supuesto para México.

En el siguiente cuadro se detalla el contenido de una garantía de origen de acuerdo con la directiva:

Contenido de la garantía de origen	<ul style="list-style-type: none"> • Fuente energética a partir de la cual se ha producido la energía y las fechas de inicio y finalización de su producción • Tipo y capacidad de la instalación de producción • Si la garantía de origen se relaciona con la electricidad, el gas (incluido el hidrógeno), la calefacción o la refrigeración • Si la instalación se ha beneficiado de apoyo en la inversión o de cualquier otra forma de apoyo, qué tipo y en qué medida; • Fecha en que la instalación entró en funcionamiento • Fecha y país de emisión • Número de identificación único.
------------------------------------	--

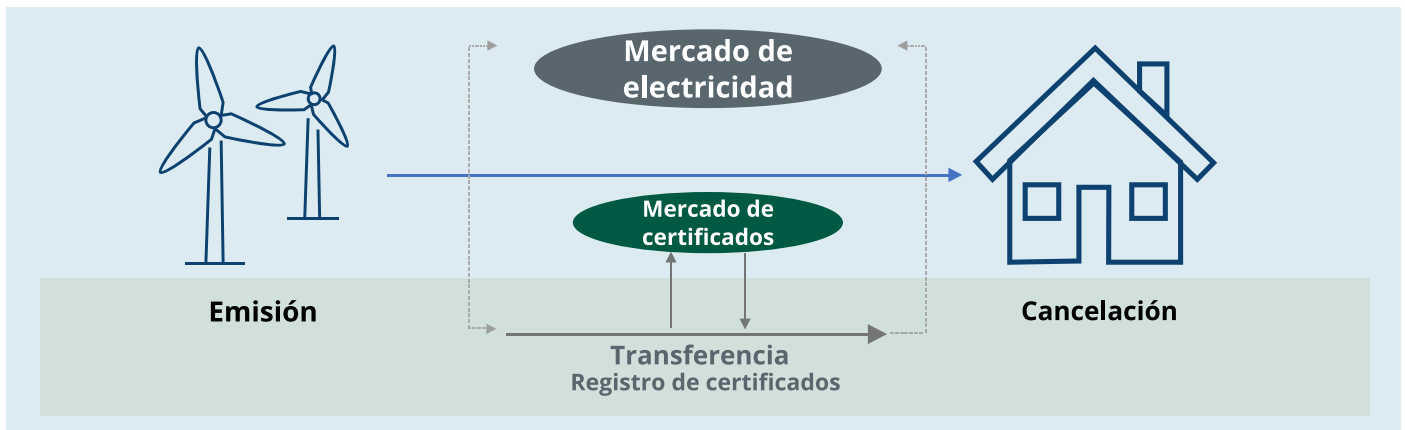
Las garantías de origen de la directiva siguen el esquema de Reserva & Reclamo. Una de las ventajas de este esquema es que permite separar por un lado los atributos de sostenibilidad y por el otro lado el producto físico, lo que hace posible que los atributos puedan transferirse de manera separada al producto físico, permitiendo una distribución optimizada del producto. Lo anterior habilita que un comprador pueda adquirir un energético verde o renovable incluso cuando no tenga ninguna planta productora de este tipo de energético cerca, pues la solución consistiría en adquirir garantías de origen al momento del suministro físico del energético, con lo cual el energético adquiriría los atributos sostenibles de la garantía de origen. Por ejemplo, un proveedor de energía que entrega energía generada con combustibles fósiles a un usuario final puede comprar una garantía de origen de energía renovable de algún productor renovable de otro país de la Unión Europea, y atribuir dicha garantía de origen a la energía que le está proporcionando al usuario final, con lo cual puede afirmar que la energía que está proveyendo es energía renovable. Esta garantía es cancelada al momento de la afirmación por parte del proveedor.

¹³ Renewable Energy Directive (2018/2001/EC), art. 19.

¹⁴ GIZ, 2021.

En el siguiente esquema se ejemplifica visualmente un sistema de garantías de origen para energía renovable:

Figura 8. Esquema visual de un sistema de garantía de origen para energía renovable



Fuente: Esquema tomado de documentación de CertifHy. (Traducción, formato adaptado)

En la RED II se menciona el estándar CEN-EN 16325, que especifica requerimientos para las garantías de origen de todas las fuentes de energía eléctrica, establece terminología, definiciones, requisitos para la emisión, registro, uso, transferencia y cancelación en línea con las directivas IEM y RED II. Este estándar enfatiza que los Estados Miembro deben emitir una garantía de origen en respuesta a un requerimiento por parte de un proveedor de energía y que la misma medida de energía sea considerada solo una vez. Esto se logra gracias a un mecanismo apropiado que asegure que las garantías sean emitidas, transferidas y canceladas electrónicamente.

Adicionalmente, la Directiva RED II establece que para 2030 los Estados Miembros deben garantizar que la cuota de energía procedente de fuentes renovables utilizadas en todas las formas de transporte sea al menos el 14% del consumo final de energía, objetivo viable a través de la adición de biocombustibles. Para garantizar que los biocombustibles comercializados en la UE sean sostenibles, la RED II establece que sólo aquellos biocombustibles con certificado de sostenibilidad serán contabilizados para la meta del 14%. La mayoría de los certificados de suministro (supply certificates) para este objetivo son voluntarios, reconocidos por la Comisión Europea.

Para asegurar que los combustibles renovables de origen no biológico (renewable fuels of non biological origin, RFNBOs), como los elaborados con hidrógeno, sean sustentables, la electricidad utilizada para la producción del combustible debe ser renovable.

Para esto se publicó en mayo del 2022 un Proyecto de acto delegado con el objetivo de desarrollar la metodología para asegurar que la electricidad utilizada para producir estos RFNBOs cuente con reglas definidas para (i) establecer una correlación temporal y geográfica entre la unidad de electricidad producida y la producción de combustible y (ii) asegurar que el productor de combustible está sumando al despliegue de energías renovables o a su financiamiento.

Las reglas propuestas en esta metodología para contabilizar la electricidad utilizada como completamente renovable para la producción de RFNBOs se aplican de forma diferenciada

a instalaciones de producción de combustible conectadas directamente a la central de generación renovable, e instalaciones conectadas a la red eléctrica.

Para el primer caso, la central de generación renovable y el proceso de producción de combustible deben estar directamente interconectados o encontrarse dentro de la misma instalación, además la instalación donde se lleve a cabo el proceso no debe estar conectada a la red eléctrica, o en caso contrario deberá contar con un medidor inteligente para asegurar que la energía de la red no se utilice en el proceso. Se establece también un plazo máximo en el cual la central de generación renovable debe entrar en operación previo a la instalación de producción de combustible.

Para el caso de producción de combustibles con energía renovable de la red, las reglas consideran criterios como la ubicación de la instalación de producción de combustible en zonas de oferta con porcentajes de electricidad renovable por encima de un umbral definido. También es posible adquirir la energía renovable a través de contratos de compra-venta, considerando los siguientes criterios: la fecha de entrada en operación de la central de energía renovable, el que la central no cuente con subsidios o apoyos financieros, la temporalidad de la generación y consumo de electricidad, así como la ubicación geográfica de la central y del electrolizador. Por último, es posible también comprar la electricidad proveniente de centrales de energía renovable que son re-despachadas por el operador.

Los sistemas nacionales de garantías de origen que cumplen con la directiva RED II están coordinados a través de la AIB, que se asegura de desarrollar, usar y promover un sistema estandarizado para portadores de energía a través de su EECS. Este sistema está basado en estructuras y procedimientos que aseguran la credibilidad de los sistemas de certificación en Europa con criterios objetivos, no discriminatorios, transparentes y costo-eficientes.

En el siguiente cuadro se enlistan los actores involucrados en un sistema de garantías de origen:

Actores involucrados en un sistema de garantías de origen gubernamental

- La agencia reguladora nacional que esté encargada de supervisar el mercado y sus participantes
- El operador del sistema de trazabilidad de las energías renovables, quien emite los certificados
- La AIB
- Asociaciones de la Comisión Europea que supervisen la implementación de la directiva
- Generadores de energía renovable
- Los actores operativos de la infraestructura de electricidad
- Auditores de las instalaciones de plantas de energía renovable
- Proveedores de electricidad
- Actores comerciales que utilicen las garantías de origen como respaldo de afirmaciones de uso de energía sustentable
- Usuarios finales de la electricidad renovable.

Existen ciertos temas que se deben de considerar al implementar garantías de origen, como:

- I. La contabilidad de conversión de un energético a otro (por ejemplo, de electricidad renovable a hidrógeno), lo cual se podría resolver teniendo una clara contabilidad y un correcto diseño de procesos.
- II. En los sistemas de garantías de origen no se consideran las pérdidas de energía a lo largo de la cadena, ya que la garantía se emite al momento de la generación.
- III. No se tiene una medición de la “adicionalidad” que aportan las garantías a las energías renovables, es decir, el incremento en energía renovable gracias a las garantías de origen.

De acuerdo con la directiva, el precio de una garantía de origen se establecerá según la demanda. Se observa que existe un incremento en el costo para los generadores al tener que realizar los trámites de solicitud de garantías de origen, pero estos costos podrán distribuirse entre más certificados a medida que el mercado de garantías crezca.

En Francia, los ingresos de una garantía de origen se regresan al gobierno como forma de retribución a los contribuyentes por subsidiar o financiar proyectos renovables. En España, quien recibe el dinero proveniente de la venta de una garantía está obligado a invertirlo en proyectos ambientales y pagar al gobierno por el apoyo que haya recibido para producir esa energía. Las garantías de origen pueden servir para que el cliente final no absorba todo el costo de la energía renovable, fungiendo como subsidio para usuarios finales.

Sistemas voluntarios

Certificados no gubernamentales

Los certificados no gubernamentales (Non Governmental Certificates - NGC) (anteriormente RECs) son sistemas independientes y tienen una estructura similar o idéntica a las garantías de origen, pero su estatus legal es diferente: están garantizados por la ley comercial en lugar de la legislación nacional de garantías de origen. Algunos países tienen cuotas de energía renovable por alcanzar, y para esto no se permite utilizar las garantías de origen, por lo que los países utilizan otros certificados comerciales (como los Renewable Obligation Certificates (ROCs) en UK¹⁵ y los Electricity Certificate (Elcerts)

en Suecia y Noruega¹⁶) y en paralelo utilizan las garantías de origen para la divulgación a consumidores. Estos dos tipos de certificados se comercializan y administran de manera independiente.

Sistemas de certificación independientes

Los sistemas de certificación independientes (Independent Criteria Schemes - ICS) clasifican ciertos tipos de fuentes de energía o productos de proveedores bajo un sistema de sostenibilidad específico de acuerdo con un conjunto de criterios acordados. Estos han sido definidos y regidos por organizaciones independientes.

Un sistema de criterios independientes informa a los consumidores sobre aspectos que pueden ir más allá de los requisitos mínimos legales. Su conexión con la AIB y los certificados EECS (GO y NGC) evita la confusión y la doble contabilidad que podría resultar del manejo separado del ICS del sistema de seguimiento de atributos de energía que constituye EECS. Algunos ejemplos de este sistema son:

EKOenergy¹⁷

Es una herramienta finlandesa de comunicación sin fines de lucro para ayudar a los consumidores a anunciar su compromiso con la sostenibilidad ambiental a nivel internacional. La etiqueta ecológica se puede utilizar para la electricidad y otros vectores energéticos. Ha sido construida gracias a una colaboración continua entre productores y proveedores de electricidad, organizaciones de consumidores, ONG ambientalistas y autoridades.

La energía renovable es cada vez más barata, por lo tanto, EKOenergy se está volviendo más relevante, ya que su etiqueta ecológica funciona como una guía para resaltar las mejores opciones de energía renovable disponibles. Por cada MWh de energía vendida con la etiqueta EKOenergy, se ingresan 10 centavos de euro en el Fondo Climático EKOenergy. A través de este fondo, EKOenergy financia nuevos proyectos de energías limpias para luchar contra la pobreza energética en países en vías de desarrollo.

TÜV SÜD Generation EE¹⁸

Esta organización alemana certifica la electricidad producida a partir de recursos renovables donde la generación puede atribuirse a una fuente claramente identificable. La certificación de la generación de electricidad puede utilizarse como prueba de origen del sector privado en el comercio de electricidad o sirve como base para la emisión de garantías de origen nacionales conformes con la UE. TÜV SÜD. Brinda servicios de: certificación para productos tradicionales de “ecoenergía” y “ecogas”, generación de certificados comerciales a partir de fuentes renovables para demostrar la sostenibilidad de biocombustibles e incluso para hidrógeno verde.

¹⁵ Office of Gas and Electricity Markets, 2021.

¹⁶ NECS, 2021.

¹⁷ EKOenergy, s.f.

¹⁸ AIB, s.f.

*Naturemade*¹⁹

Es el certificado suizo para la energía renovable. El mayor grado de certificación en este sistema indica que la energía fue producida con especial respeto por el medio ambiente, que proviene de fuentes 100% renovables y que garantiza el cumplimiento de requisitos ecológicos más estrictos y completos. Los requisitos se basan en eco-balances de cada sistema energético y criterios científicos sobre la planta de generación de energía.

Actualmente se certifica la electricidad de plantas hidroeléctricas, fotovoltaicas, eólicas y de biomasa. En este sistema las plantas y los productos son certificados de manera independiente, esto asegura que se conoce el origen de cada kWh de energía vendido, evitando así la doble enajenación. La venta de productos certificados apoya adicionalmente la construcción de nuevas plantas.

2.3 Estados Unidos

Sistema gubernamental

Los Estándares de Cartera Renovable (Renewable Portfolio Standard - RPS) son políticas diseñadas para aumentar el uso de fuentes de energía renovable para la generación de electricidad. Estas políticas requieren o alientan a los proveedores de electricidad a proporcionar a sus clientes una parte mínima establecida de electricidad proveniente de recursos renovables.

Aunque se han propuesto RPS nacionales u otras políticas de energía limpia, actualmente no existe ninguna RPS federal o una política similar en los Estados Unidos. Sin embargo, la mayoría de los estados han promulgado sus propios programas RPS²⁰. Para 2020, 38 estados habían establecido RPS y/o objetivos renovables, y 12 estados se comprometieron a tener 100% de electricidad limpia para el 2050.

Una característica común de los RPS, es que cuentan con un sistema de comercio de certificados de energías renovables (renewable electricity certification/credits - REC). Un REC es un instrumento legal que transmite a su propietario el derecho a reclamar los atributos ambientales asociados de su generación; estos ayudan a rastrear la energía renovable desde el punto de generación y están disponibles para la venta, compra o intercambio.

Los RECs brindan a los compradores flexibilidad para compensar un porcentaje de su uso anual de electricidad no renovable con energía renovable, aun cuando los productos de energía renovable no estén disponibles localmente, lo que reduce el costo de cumplir con el RPS. Los RECs se mencionan en regulaciones estatales, así como federales (por ejemplo, Executive Order 13423²¹), donde se menciona que los RECs son esenciales para las reclamaciones relacionadas con las energías renovables y ajustes a las emisiones de GEI.

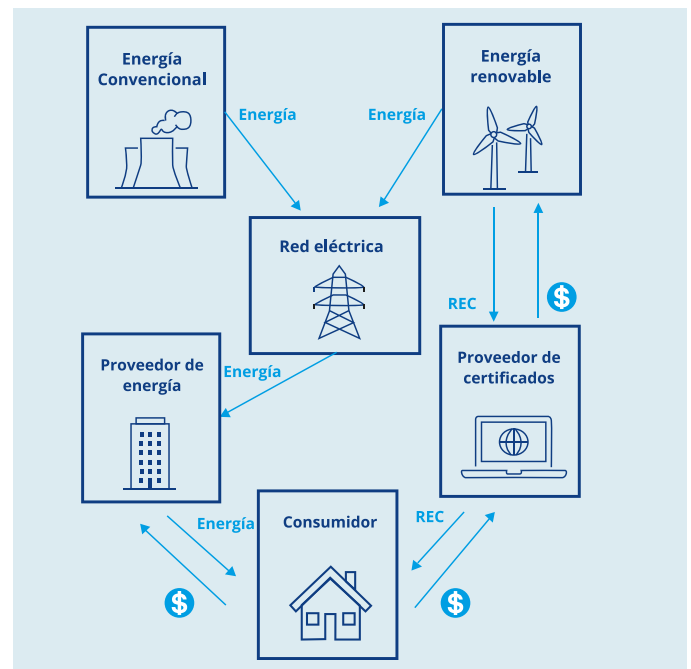
Los RECs siguen el esquema de Reserva & Reclamo, y representan los beneficios ambientales de 1 MWh de generación. Una empresa o estado que genera electricidad renovable superior al requisito establecido en los RPS puede

intercambiar o vender RECs a otros proveedores de electricidad, quienes pueden no tener suficiente electricidad renovable para cumplir con sus requisitos de RPS. Solo una entidad, el generador o el titular del REC, puede tomar crédito por el atributo de generación renovable elegible para RPS. Una vez que el REC se vende por separado de la electricidad, la electricidad ya no se considera renovable.

Algunos factores como la reducción de precios de las energías renovables, incentivos federales para generadores certificados RPS y políticas complementarias, han impulsado un ambiente favorable para los RPS y los RECs²².

En la figura 9 se ejemplifica un sistema de certificación de RECs.

Figura 9. Esquema de certificación REC



Fuente: Imagen tomada de sitio web EPA. (Traducción, formato adaptado)

Los sistemas de trazabilidad electrónicos estatales o regionales emiten RECs a los generadores que se han registrado y notifican la generación verificada al sistema. Los sistemas de trazabilidad certificados garantizan que los RECs solo estén en manos de una organización, asignando un número de identificación único a cada REC para garantizar que solo se emita uno por cada MWh de generación informado, minimizando así la doble emisión de certificados. De esta forma, estos sistemas junto con la certificación facilitan y simplifican la verificación de las compras de energía verde.

- | | |
|-----------------------|---|
| Contenido de los RECs | <ul style="list-style-type: none"> Tipo de recurso renovable Ubicación del recurso renovable Sello de fecha de generación Perfil de emisiones del generador Número de identificación único |
|-----------------------|---|

¹⁹ Naturemade, s.f.
²⁰ EPA, 2021.

²¹ CRS, 2005.
²² EIA, 2021.

Las funcionalidades de los RECs son:

- Fungir como señal al mercado, para influenciar los tipos de generación renovable en el mercado eléctrico
- Incentivar el desarrollo de nuevos proyectos renovables
- Fungir como evidencia para cumplir con objetivos corporativos y con RPS
- Afirmar el uso o generación de energía renovable con cero emisiones, una vez que se afirma, el REC es cancelado

Para vender un REC, el vendedor puede ingresar a una plataforma y publicar información sobre los RECs o cubrir la petición de algún comprador específico. Se puede hacer también a través de un intermediario (trader). Un ejemplo de plataforma es el Generation Attribute Tracking System (GATS)²³.

Sistema voluntario

Cuando los consumidores eligen comprar energía verde por encima de lo que se requiere o a lo que están sujetos, lo hacen porque quieren contribuir de forma positiva al cuidado del medio ambiente y porque forma parte de su cultura organizacional.

Los mercados y programas voluntarios requieren RECs como prueba de energía verde. La Comisión Federal de Comercio (Federal Trade Commission - FTC) ha emitido pautas que establecen el requerimiento de propiedad de RECs para fundamentar afirmaciones comerciales de energía renovable²⁴.

El mercado voluntario de energía verde está conformado por la dinámica de la oferta y la demanda con poca supervisión regulatoria. Para abordar estas preocupaciones, una mejor práctica es comprar productos de energía verde que estén certificados y verificados por un tercero independiente. La verificación ayuda a garantizar que haya una vía trazable de regreso a un generador identificable, y que ningún otro consumidor puede reclamar los atributos de dicho MWh de generación.

Green-e²⁵

Es el líder confiable en certificación de compensación de carbono y energía limpia en los Estados Unidos. Facilita que las empresas y las personas compren energía limpia verificada con confianza, y que los consumidores elijan productos y servicios sostenibles. Desde 1997 ha sido parte de un programa del Nonprofit Center for Resource Solutions en San Francisco. Como certificador externo, Green-e no vende energía renovable, pero ofrece estos enlaces a minoristas que sí lo hacen. Todos los estándares de los programas de certificación se revisan cada cinco años, o con mayor frecuencia si es necesario.

2.4 International REC (I-REC)²⁶

La International REC Standard Foundation es una organización sin fines de lucro que provee estándares para desarrollar un sistema de trazabilidad de energía internacional. Los certificados internacionales de energía renovable (International Renewable Energy Certificates - I-RECs) son estándares globales que se han introducido en diferentes continentes donde no tienen un sistema similar actualmente. Fueron construidos con base en las lecciones aprendidas de los RECs de Norteamérica y las garantías de origen de la Unión Europea.

El Estándar Internacional REC (International REC Standard) es quien gobierna las operaciones comerciales y de emisión de los I-RECs, asegurando que los facilitadores del mercado se adhieran a las buenas prácticas y principios de buen gobierno para la trazabilidad. El I-REC se compromete a garantizar un acceso imparcial a la información del producto y permitir que los usuarios finales adquieran con confianza productos cuyos orígenes están bien documentados y claramente contabilizados, lo que impulsa las opciones de consumo de energía renovable en todo el mundo y respalda las afirmaciones de sostenibilidad.

Los I-RECs son emitidos voluntariamente por compañías de energía; adicional a los certificados no gubernamentales (Non Governmental Certificates - NGC) presentados en la sección 2.2., existen I-RECs en otros países fuera de la Unión Europea (por ejemplo, Australia, Tailandia y Singapur). Para ilustrar el manejo de los I-RECs en otro país, en los siguientes párrafos se abordará el caso de Australia:

En Australia, los Objetivos de Energía Renovable (Renewable Energy Target - RET) son un plan del gobierno diseñado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector eléctrico y fomentar la generación adicional de electricidad a partir de fuentes sostenibles y renovables. Este plan opera a través de la creación de certificados negociables que crean un incentivo para la generación adicional de electricidad a partir de fuentes renovables. Los certificados se crean y emiten a través del REC Registry, una plataforma de comercio en línea administrada por el Regulador de Energía Limpia (Clean Energy Regulator). RET administra dos sistemas:

- El sistema de energía renovable a gran escala (Large-scale Renewable Energy Target): Fomenta la inversión en centrales eléctricas renovables.
- El sistema de energía renovable a pequeña escala (Small-scale Renewable Energy Scheme): Apoya instalaciones de pequeña escala como paneles solares domésticos y sistemas solares para agua caliente.

A través de estos sistemas, que siguen el esquema Reserva & Reclamo, las grandes centrales eléctricas renovables y los propietarios de sistemas de pequeña escala son elegibles para crear certificados por cada MWh de energía generada, creando la "oferta" del mercado de certificados. Los compradores mayoristas de electricidad compran estos certificados para cumplir con sus obligaciones de energía renovable, lo que conforma la "demanda" del mercado de certificados. Los compradores mayoristas de electricidad luego entregan estos certificados al Regulador de Energía Limpia en porcentajes establecidos por reglamento cada año.

²³ PJM-EIS, 2022.

²⁴ EPA, 2018.

²⁵ Green-e, s.f.

²⁶ The International REC Standard, 2020.

3. Antecedentes de certificación en México

En esta sección se revisarán los antecedentes de certificación en México para brindar una visión general de la situación actual en el país, partiendo de los certificados de origen como instrumento de validación de producción de bienes, las metas de generación de energía limpia y la agenda 2030 para entender los parámetros y conceptos esenciales en los que el país está avanzando para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) relacionados a la generación de energía asequible y no contaminante.

Además, se abordará el instrumento conocido como Certificado de Energía Limpia (CEL), que es el mecanismo reconocido por el marco normativo actual para promover la inversión en infraestructura de generación de electricidad de fuentes limpias.

Se ahondará también en la Plataforma Mexicana de Carbono, como una plataforma para la promoción de mercados ambientales basados en la Ley General de Cambio Climático (LGCC), la Estrategia Nacional de Cambio Climático y el Acuerdo de París.

Por último, se revisará el sistema tributario mexicano enfocado al tema de este documento, el cuál desde el 2005 ha implementado una plataforma digital que ha habilitado un control estricto de las operaciones comerciales que lleva a cabo el país y que, con la obligación de cumplir con la Carta Porte como complemento de la facturación, proporciona elementos que se pueden observar para capitalizar esos avances en la cadena de custodia del hidrógeno verde que dé certidumbre a las garantías de origen que se generen en México.

Certificados de origen en México

Para el establecimiento de un sistema de garantías de origen en México resulta relevante conocer los otros mecanismos de certificación, como lo son los certificados de origen, los cuales son instrumentos expedidos por la Secretaría de Economía para avalar que un producto fue producido en territorio mexicano. Surgen a partir de la necesidad de exportar bienes de consumo, insumos industriales y, en general, cualquier mercancía que requiera una validación que permita corroborar su origen, en el sentido de aprovechar tratos preferenciales otorgados por los Tratados Internacionales en los que México es parte²⁷.

Existen tratados en los que es necesaria la expedición oficial de un certificado emitido por una autoridad competente, como el caso de la Unión Europea, que de acuerdo con el Artículo 3.18 “Condiciones para emitir una Declaración de Origen” del Tratado de Libre Comercio entre México y la Unión Europea (TLCUEM)²⁸, es necesaria la intervención de la Secretaría de Economía para su emisión; existen otros casos, como el Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC), en el que la emisión de un certificado de origen no requiere de la intervención de una autoridad para su emisión²⁹.

En este sentido, para los casos en los que sea necesario validar la emisión de un Certificado de Origen, la Secretaría de Economía ha habilitado un sitio web para su autenticidad³⁰.

Metas de generación de energía limpia y Agenda 2030

Con la publicación de (i) la Ley General de Cambio Climático (LGCC) en junio de 2012, de (ii) la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) en agosto de 2014, y posteriormente de (iii) la Ley de Transición Energética (LTE) en diciembre de 2015, México retoma los compromisos fijados en los tratados ambientales internacionales, que a la fecha suman 72 tratados internacionales, vinculados en materia de medio ambiente, destacando la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París³¹.

En el Acuerdo de París³², México fijó metas propias establecidas en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (Nationally Determined Contributions - NDC), acordando “Compromisos no condicionados”, que se enfocan en reducir el 22% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y 51% de las emisiones de carbono negro, y “Compromisos condicionados”, que contribuyen a reducir hasta en un 36% las emisiones de GEI y 70% de las emisiones de carbono negro al año 2030 respecto al escenario tendencial (business-as-usual - BAU)³³.

Bajo este entendimiento, México se compromete a una mayor participación en la generación de energía limpia como parte de los esfuerzos para el cumplimiento de las NDC, estableciendo como meta la generación de energía limpia en un 35% en el año 2024³⁴.

Este entendimiento queda vigente mediante la publicación de dos documentos por parte de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT):

1. Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024
En noviembre de 2021 se publica el Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024, en el cuál señala en la política 2.1.1. la planificación de la incorporación de energías limpias en la generación eléctrica, bajo condiciones de seguridad, calidad, continuidad y eficiencia; así como sostenibilidad económica del Sistema Eléctrico Nacional para alcanzar el 35% al año 2024 .
2. Actualización de la Estrategia de Transición Energética
Se publica en el Diario Oficial de la Federación el 7 de febrero de 2020, la Actualización de la Estrategia de Transición Energética³⁵, en donde se establece que la meta de generación de energías limpias para 2024 será de 35%, con una tasa de eficiencia energética del 2.2% de reducción de la intensidad de consumo final de energía por el periodo 2020 a 2035.

²⁷ Servicio Nacional de Información de Comercio Exterior, s.f.

²⁸ Tratado de Libre Comercio entre México y la Unión Europea, 2020.

²⁹ Tratado de Libre Comercio de América del Norte, capítulo 5 “Procedimientos de Origen”, art. 5.2 Solicitudes de trato arancelario preferencial, 2019.

³⁰ Secretaría de Economía, s.f.

³¹ Cámara de Senadores 20197.

³² Acuerdo de París, 2015.

³³ SEMARNAT, 2020.

³⁴ SEMARNAT, 2021.

³⁵ SEGOB, 2020.

Tabla 1. Metas de la Estrategia de Transición Energética

Año	% Generación energía eléctrica limpia total
2024	35%
2033	39.9%
2050	50%

Fuente: Elaboración propia con información de la SENER

Tabla 2. Metas de Eficiencia Energética

Periodo	Tasa anual promedio de reducción de la intensidad energética
2020 – 2035	2.2%
2035 – 2050	2.5%

Fuente: Elaboración propia con información de la SENER

Adicionalmente, en el Artículo Tercero Transitorio de la LGCC, se añade el objetivo de lograr por lo menos 35% de generación de energía eléctrica a base de energías limpias para el año 2024. En este orden de ideas, es válido hacer una distinción entre las fuentes de energía limpia y las renovables; una fuente de energía puede ser renovable y limpia, pero una limpia puede no ser renovable de acuerdo con los conceptos de ley que se muestran a continuación:

Energías Limpias - LIE	Energías Renovables - LTE
<p>Definición:</p> <p><i>Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan.</i></p> <p><i>Énfasis añadido.</i></p>	<p>Definición:</p> <p><i>Aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes.</i></p> <p><i>Énfasis añadido.</i></p>

Para estas consideraciones, las siguientes son fuentes de energía renovable coincidentes tanto en la LIE y como en la LTE:

- El viento
- La radiación solar
- La energía oceánica
- Geotermia
- Bioenergéticos³⁶
- Hidroeléctricas³⁷

Las siguientes, son las fuentes de energía limpia adicionales en la LIE que no son consideradas en la LTE como renovables:

- Generación de energía a partir de residuos (aprovechamiento de metano)
- Hidrógeno³⁸
- Nuclear
- La obtenida de esquilmos agrícolas o residuos sólidos urbanos
- Cogeneración eficiente
- La generada por ingenios azucareros
- La energía generada por centrales térmicas con procesos de captura y almacenamiento geológico o biosequestración de bióxido de carbono
- Tecnologías consideradas de bajas emisiones de carbono conforme a estándares internacionales
- Otras tecnologías que determine la SEMARNAT

Para efectos de la energía que se produce a partir del uso del hidrógeno, de cogeneración eficiente, la obtenida de ingenios azucareros, de centrales térmicas con procesos de captura de carbono y de tecnologías consideradas de bajas emisiones, les resulta aplicable la Resolución RES/1838/2016 publicada en el DOF el 22 de diciembre de 2016 por la CRE, en la que se señalan los criterios de eficiencia y metodología de cálculo para determinar el porcentaje de energía libre de combustible.

Con lo anterior, se aclara que las energías limpias pueden no ser en todos los casos de fuentes renovables, y para que se clasifiquen como tales, deben de cumplir con los criterios de eficiencia que establecen la CRE y/o la SEMARNAT en cada caso.

³⁶ La energía que corresponde a bioenergéticos; serán aquellos que así se determinen mediante la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB).

³⁷ En la LTE, se describe como "El movimiento del agua en cauces naturales o en aquellos artificiales con embalses ya existentes, con sistemas de generación de capacidad menor o igual a 30 MW o una densidad de potencia, definida como la relación entre capacidad de generación y superficie del embalse, superior a 10 watts/m2."

³⁸ La ley cita "Aprovechamiento del hidrógeno mediante su combustión o su uso en celdas de combustible, siempre y cuando se cumpla con la eficiencia mínima que establezca la CRE y los criterios de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su ciclo de vida;"

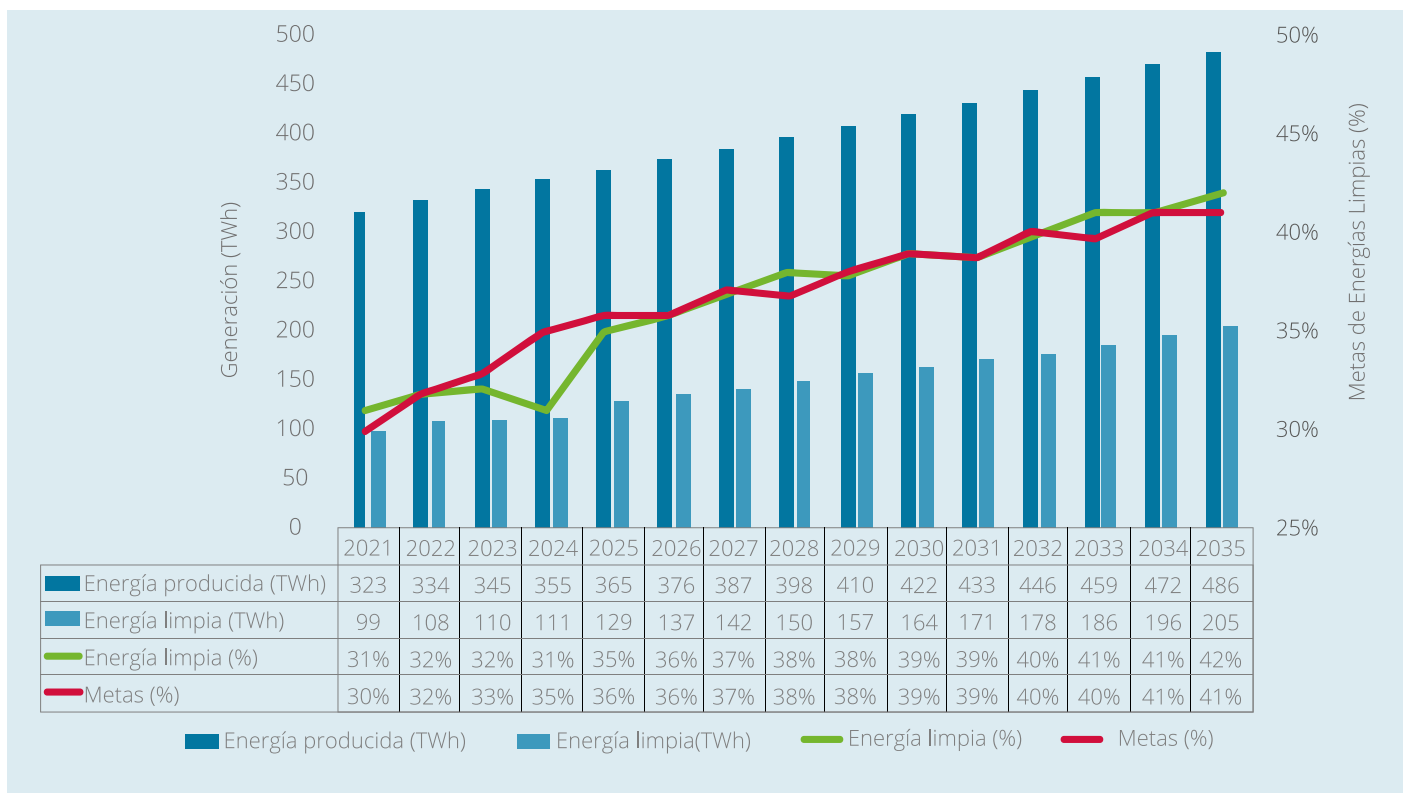
Tener esta consideración es importante para comprender el grado de éxito que puede tener México para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sustentable establecidos en la Agenda 2030, mediante el seguimiento de la hoja de ruta establecida y que en el ODS 7 se establece como objetivo el garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenida y moderna para todos. En ese sentido, en el ODS 7.2, México se compromete a aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas³⁹.

Para observar el avance de estos objetivos, mediante un análisis realizado por la Comisión Federal de Competencia Económica (COFECE) en mayo de 2021, se pronostica que México no cumplirá en 2024 con los objetivos de producción de electricidad mediante fuentes de energía limpia, estimando

un faltante de 5.2% de la meta del 35% de generación limpia comprometida⁴⁰.

Esa hipótesis se refuerza con el análisis hecho por la SENER en el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2021 -2035 que, en el apartado 5.5. Emisiones de CO₂, estima en la Figura 5.15 “Evolución de Generación y las Metas de Energía Limpia”, que en el año 2024 se producirán 111 Terawatt-hora (TWh) con una referencia de energía producida total de 355 TWh, resultando un 31% de cumplimiento de la meta establecida del 35%⁴¹ como se muestra a continuación:

Figura 10. Evolución de generación y las metas de energía limpia



Fuente: Imagen tomada del PRODESEN 2021-2035. (Formato adaptado)

³⁹ SEGOB, s.f.

⁴⁰ COFECE, 2021.

⁴¹ PRODESEN 2021-2035, Capítulo 5, página 96.

Certificados de Energía Limpia

Para un mejor entendimiento de los retos que le esperan a México en la adopción de un sistema de garantías de origen para el hidrógeno, resulta necesario ver la referencia directa con la que se cuenta actualmente para la certificación de energía producida de fuentes de energía limpia.

El Certificado de Energía Limpia (CEL) se diseñó con el fin de contribuir en el logro de la meta de generación de energía limpia total. La LIE define al CEL como el “título emitido por la CRE que acredita la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de Energías Limpias y que sirve para cumplir los requisitos asociados al consumo de los Centros de Carga”⁴².

Los generadores de energía limpia son los sujetos beneficiarios para recibir un CEL por cada Megawatt hora (MWh) producido, mismo que pueden enajenar a los sujetos obligados (Suministradores o Centros de Carga).

De acuerdo con la LIE, los requisitos para adquirir Certificados de Energías Limpias se establecen como una proporción del total de la Energía Eléctrica consumida en los Centros de Carga. En el artículo 123, se señala que son sujetos obligados al cumplimiento de las obligaciones de Energías Limpias: los Suministradores, los Usuarios Calificados Participantes del Mercado y los Usuarios Finales que se suministren por el abasto aislado, así como los titulares de los Contratos de Interconexión Legados que incluyan Centros de Carga, sean de carácter público o particular.

Bajo ese razonamiento, el obligado más importante de adquisición de CELs es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en su calidad de Suministrador de Servicios Básicos (SSB), al cubrir el 81%⁴³ de la demanda total del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), siendo CFE el único suministrador de servicios básicos registrado en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) operado por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

Desde su concepción, los CELs se establecieron para promover las inversiones de infraestructura de generación eléctrica a partir de fuentes de energía limpia. Cada CEL representa 1 Megawatt hora (MWh) de energía limpia, son emitidos por la CRE y gestionados a través del Sistema de Gestión de Certificados y Cumplimiento de Obligaciones de Energía Limpia (S-CEL).

Los CELs pueden ser adquiridos a través del S-CEL por los participantes del MEM o en un mercado spot de corto plazo. A este respecto, el mercado spot ha quedado rezagado, dado que no se han publicado las Disposiciones Operativas del Mercado que establecen las reglas, mecánicas de cálculo, y procedimientos para la operación del mercado de CELs de corto plazo⁴⁴.

En caso de incumplimiento de compra de CELs, la autoridad sancionadora es la CRE, que está facultada a imponer multas de acuerdo con la metodología establecida en la Resolución número RES/248/2016, que van hasta los cincuenta días de

salario mínimo por MWh de obligaciones incumplidas⁴⁵. No obstante, como lo señala la COFECE, a la fecha no se han aplicado sanciones por este concepto⁴³.

Los generadores⁴⁶ y generadores exentos⁴⁷ que produzcan energía eléctrica a partir de fuentes de energía limpia, consideran en su modelo de negocio los siguientes elementos de generación de flujo de ingresos según se contempla en el artículo 96 de la LIE:

- I. Energía eléctrica
- II. Servicios conexos que se incluyan en el MEM
- III. Potencia o cualquier otro producto que garantice la suficiencia de recursos para satisfacer la demanda eléctrica
- IV. Los productos anteriores, vía importación o exportación
- V. Derechos Financieros de Transmisión
- VI. Certificados de Energías Limpias
- VII. Los demás productos, derechos de cobro y penalizaciones que se requieran para el funcionamiento eficiente del Sistema Eléctrico Nacional

Por lo tanto, los CELs representan una parte importante en el esquema de negocios de los generadores de energía limpia, por consiguiente, cualquier modificación en la metodología de asignación de CELs afecta a su modelo de negocios.

Aunado a lo anterior, para que se contemplen nuevas inversiones en energías limpias, se deben conocer los requerimientos de adquisición de CELs por parte de los desarrolladores e inversionistas. En ese sentido, y como ya se mencionó anteriormente, en la LTE en su artículo Tercero Transitorio, establece que la SENER fijará metas mínimas de participación de energías limpias en la generación de energía eléctrica. A este respecto, la SENER ha publicado en el DOF según se indica a continuación, los “Requisitos de adquisición” de CELs, como sigue:

Tabla 3. Publicación de los requisitos de adición de CELs

Año aplicable al requisito	Fecha de publicación en DOF y requisito				
	31/03/2017	23/03/2018	29/03/2019	2020	2021
2020	7.4%		7.4%		
2021	10.9%	10.9%	10.9%		
2022	13.9%		13.9%		
2023				Sin publicación a la fecha	
2024					Sin publicación a la fecha

Fuente: Elaboración propia

⁴² LIE fracción VIII, art. 3, 2021.

⁴³ COFECE, 2021.

⁴⁴ SEGOB, 2017.

⁴⁵ LIE, Fracción IV, art. 165, inciso c.

⁴⁶ LIE, Fracción XXIV, art. 30. Generador: Titular de uno o varios permisos para generar electricidad en Centrales Eléctricas, o bien, titular de un contrato de

Participante del Mercado que representa en el MEM a dichas centrales o, con la autorización de la CRE, a las Centrales Eléctricas ubicadas en el extranjero;
⁴⁷ LIE, Fracción XXV, art. 30. Generador Exento: Propietario o poseedor de una o varias Centrales Eléctricas que no requieren ni cuenten con permiso para generar energía eléctrica en términos de la LIE.

Atendiendo lo establecido en el artículo 124 de la LIE sobre la publicación de requerimientos de CELs por parte de la SENER, se debieron publicar a más tardar el 31 de marzo de 2020 y de 2021 los requerimientos para 2023 y 2024, respectivamente. Esto representa una barrera para el diseño, desarrollo y puesta en marcha de nuevas centrales eléctricas limpias, dado que no se conocen los parámetros sobre los que existirá la demanda de CELs.

Por último, recientemente en octubre de 2019, la SENER modificó el criterio para otorgar CELs en el sentido de otorgar los certificados a las centrales eléctricas limpias que entraron en operación antes de la publicación de la LIE (11 de agosto de 2014), situación que beneficia a la CFE y que disminuye el atractivo a los generadores de energía limpia al disminuir el valor de los CELs que emiten^{48, 49}.

Es importante tener estos puntos aquí expuestos para tener una concepción de los retos a los que se puede enfrentar la adopción de un sistema garantías de origen tomando como base la experiencia que se tiene en México de los Certificados de Energía Limpia, que al inicio se contemplaron como un medio de promover la inversión en energías limpias, pero que, en la práctica actual, se enfrenta a una variedad de retos como los que abordamos en esta sección.

Hay un apetito de las empresas mexicanas por adquirir CELs, así como el interés de desarrolladores de proyectos renovables que en sus esquemas de negocio establecen modelos de inversión con umbrales de 10 a 30 años, para ello es muy importante dar un orden de prioridades al reforzamiento institucional de los organismos que deben fomentar su uso, así como de los mecanismos que lo conforman, no sólo para hacerlo posible, sino para potencializar su difusión, nacional e internacionalmente.

Plataforma Mexicana de Carbono

En el aspecto de mercados de bonos verdes en México, dado que no se ha formado aún el mercado spot para venta de CEL, existen otras opciones como lo es la Plataforma Mexicana de Carbono, cuya formación se remonta a 2014. La plataforma nace a partir de la empresa de corretaje financiero denominada Servicios de Integración Financiera (SIF Capital), subsidiaria de Grupo Bolsa Mexicana de Valores contando con el apoyo de la SEMARNAT, la Embajada del Reino Unido en México, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)⁵⁰.

La misión de la plataforma es la de desarrollar mercados en México con perspectiva ambiental basados en la LGCC, la Estrategia Nacional de Cambio Climático y el Acuerdo de París, generando un marco de referencia para el diseño y desarrollo de instrumentos que potencialicen los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático.

A la fecha, las actividades de la plataforma se han centrado en mantener una comunicación con sus afiliados, ofreciendo capacitaciones y entrenamientos en aspectos relacionados al cuidado del medio ambiente. El desarrollar en México un

mercado de bonos verdes es uno de los pasos que se deben consolidar en el corto plazo dado el creciente interés de casas de bolsa, fondos de inversión e inclusive de la banca comercial tradicional.

Sistema tributario mexicano y Carta Porte

La fiscalización electrónica es una fortaleza que distingue a México de otras economías en donde no se han establecido modelos robustos de sistemas tributarios.

Con la aparición de la factura electrónica en el año 2005, México ha logrado en los últimos años avances significativos en materia de fiscalización digital mediante la habilitación de tecnologías de la información, orientadas a asegurar un alto grado de confiabilidad y trazabilidad de las operaciones comerciales, abatiendo costos de inspección y aumentando el grado de calidad e integridad de la información mediante la incorporación, en el año 2004, de los comprobantes fiscales digitales (CFDis) y a la fecha con la reciente implementación de los Complementos de Cartas Porte.

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) habilitando al Sistema de Administración Tributaria (SAT) para su observancia y cumplimiento, fijan la obligatoriedad por parte de los transportistas que operen en territorio nacional, de contar con un comprobante fiscal complemento denominado Carta Porte que proporcione el detalle de bienes o mercancías transportadas, ubicaciones de origen, puntos intermedios y destino⁵¹. Esta obligación inició su vigencia en enero de 2022, por lo que es un buen punto de referencia para observar cómo evoluciona y, en un momento dado, sumarlo a las herramientas que se pueden utilizar para la incorporación de las garantías de origen en México.

⁴⁸ SENER, 2014.

⁴⁹ SENER, 2019.

⁵⁰ México CO₂, s.f.

⁵¹ SAT, s.f.

4. Garantías de origen para el hidrógeno verde

Antecedentes

Aunque es común escuchar diversas clasificaciones para el hidrógeno (por ejemplo, por colores: hidrógeno gris, café, azul y verde, entre otros), en realidad no existe diferencia entre las moléculas según la clasificación. Esto significa que las moléculas del hidrógeno producido mediante energías convencionales son idénticas a las moléculas del hidrógeno producido con energía renovable, lo cual supone un reto a las partes interesadas para la identificación de su origen y características de producción⁵². Por lo tanto, surge la necesidad de contar con un sistema que certifique dichas características y que permita a las partes interesadas rastrear el origen del hidrógeno. Existen diversos ejemplos de estos sistemas de certificación en el mundo, los cuales suelen denominarse “garantías de origen” para el hidrógeno.

La necesidad de certificar el hidrógeno verde surge con el objetivo de valorar las menores emisiones de GEI en comparación con una línea de base, lo cual permite la creación de un nuevo mercado en el que existen compradores dispuestos a pagar más por los atributos ambientales; lo anterior ayuda a justificar los sobre costos de producción del hidrógeno verde en comparativa con otros tipos de hidrógeno que para su producción generan mayores emisiones de GEI. La Agencia Internacional de Energías Renovables (International Renewable Energy Agency - IRENA) menciona, además, que la certificación “es fundamental para el comercio mundial en el que el hidrógeno y sus derivados cruzaría las fronteras”⁵².

No existe un sistema único o global para la certificación del hidrógeno, pues las diversas iniciativas difieren en sus características y nivel de madurez; esto implica que puedan existir incompatibilidades e incongruencias entre los sistemas, derivando en una dinámica menos eficiente.

Contexto internacional de las garantías de origen de hidrógeno verde

Esta sección proporciona una visión del estado actual de los principales sistemas de certificación de hidrógeno en el mundo, según su madurez y despliegue. El nivel de detalle de cada sistema presentado varía debido a que estos se encuentran en diferentes etapas de desarrollo y no cuentan con la misma cantidad de información pública disponible.

En la Unión Europea destaca principalmente CertifHy, que se inició a petición de la Comisión Europea y está financiado por la Clean Hydrogen Partnership; tiene como objetivo facilitar la creación de un sistema de garantías de origen en toda la UE, y ha desarrollado sistemas de certificación de “hidrógeno de alta calidad” para Europa. El proyecto consiste en 3 fases de desarrollo, con la última de estas actualmente en marcha.

Por otro lado, en Estados Unidos se cuenta desde hace más de una década con el Estándar de Combustibles Bajos en Carbono (Low Carbon Fuel Standard - LCFS), el cual está diseñado para disminuir la intensidad de carbono del conjunto de combustibles para el transporte de California, así como para proporcionar una gama cada vez mayor de alternativas bajas en carbono y renovables que reduzcan la dependencia del petróleo y logren beneficios en la calidad del aire⁵³.

En Alemania cuentan con la certificación “Green Hydrogen” de TÜV SÜD, la cual permite a las partes interesadas demostrar que el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables tiene niveles significativamente menores de emisiones de GEI que el hidrógeno convencional o los combustibles fósiles. TÜV SÜD forma parte del consorcio formado para la creación de CertifHy.

De forma global existe la Asociación Internacional para la Economía del Hidrógeno y las Celdas de Combustible (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy - IPHE), establecida en el 2003, cuya misión es facilitar y acelerar la transición a energía y sistemas de movilidad limpios utilizando el hidrógeno y los vehículos de batería de combustible (FCEV) en varias industrias. En el 2019 la IPHE estableció un grupo de trabajo (Hydrogen Production Analysis Task Force, H₂PA TF) para atender la necesidad de un marco de referencia y metodología para abordar las tecnologías de producción de hidrógeno. El objetivo es lograr un consenso en la metodología para la medición de emisiones asociadas a la generación de hidrógeno entre los países participantes, incluidos: Australia, Canadá, Costa Rica, la Unión Europea, Francia, Alemania, Japón, Corea, Holanda, Noruega, Sudáfrica, Reino Unido y Estados Unidos. CertifHy está involucrado con la IPHE y busca aportar conocimiento sobre lecciones aprendidas para poder establecer un sistema de garantías de origen para el hidrógeno verde compatible a nivel internacional.

China recientemente publicó una norma sobre el hidrógeno con bajas emisiones de carbono, la cual orienta la transición de los procesos tradicionales de producción de hidrógeno a los procesos de producción de hidrógeno bajo en carbono, hidrógeno limpio e hidrógeno renovable; en Japón, por su parte, se están realizando esfuerzos a nivel regional a través de una estrategia para la Prefectura de Aichi y su respectiva hoja de ruta, en la estrategia se plantea la certificación de hidrógeno producido por medio de electrólisis con energías renovables, esta certificación ha sido utilizada en proyectos desarrollados por Toyota; sin embargo, estas experiencias se abordan con poco detalle debido a que son iniciativas más recientes y hay limitada información pública disponible.

A continuación, se abordan con mayor detalle las experiencias internacionales mencionadas:

⁵² IRENA, 2020.

⁵³ Air Resources Board, s.f.

4.1 Unión Europea

CertifHy⁵⁴

Visión general

CertifHy ha desarrollado las CertifHy® GOs, un sistema de certificación de “hidrógeno de alta calidad” en Europa. CertifHy es un consorcio liderado por Hincio, integrado además por Grexel, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST), la Asociación de Organismos Emisores (Association of Issuing Bodies – AIB), el Comisariado para la Energía Atómica y las Energías Renovables (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies Alternatives - CEA) y TÜV SÜD.

El objetivo de CertifHy es facilitar la creación de un sistema GO bajo el esquema de Reserva & Reclamo en toda la Unión Europea. Al utilizar una Garantía de Origen (GO) CertifHy, la cantidad correspondiente de hidrógeno consumido adquiere las propiedades del hidrógeno cubierto por el certificado. La garantía de origen puede comercializarse independientemente del producto físico; lo anterior permite el acceso al hidrógeno verde a los usuarios que no están cerca de las fuentes de hidrógeno verde⁵⁵. Se trata de un documento electrónico que prueba que una determinada cantidad de hidrógeno es producida por un dispositivo de producción registrado con una calidad y un método de producción específicos.

CertifHy se basa en los siguientes principios básicos:

Principio básico	Descripción
Singularidad	Se evitará el doble cómputo de GOs
Transparencia	Criterios objetivos y divulgados públicamente
Inmutabilidad	Los datos de CertifHy GO no cambiarán una vez emitidos
Propiedad de las GOs	El Titular de una Cuenta será tratado como el propietario de las GOs

Principio básico	Descripción
Fiabilidad operativa	Los sistemas deben ser fiables y seguros, y tener una capacidad adecuada
Fin de vida útil	Cada GO está sujeta a una vida útil
Periodo de consumo	El consumo físico de hidrógeno será entre el comienzo del lote de producción y la fecha de cancelación de la GO correspondiente

Definiciones

El sistema CertifHy incluye dos etiquetas GO diferentes:⁵⁶

Hidrógeno Verde (CertifHy Green Hydrogen)

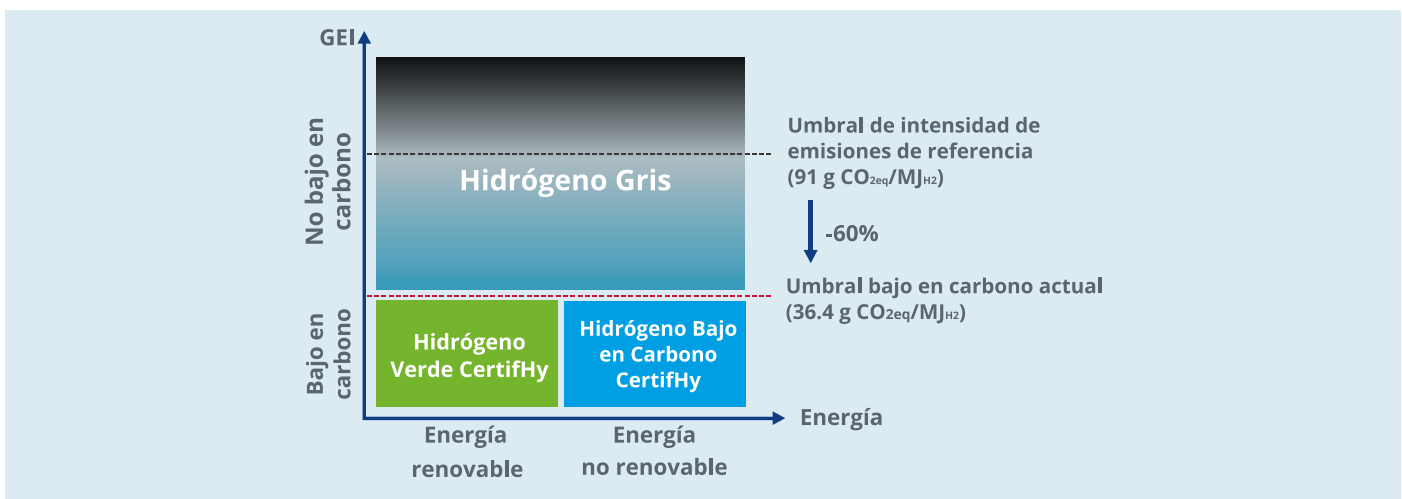
Procede de fuentes renovables⁵⁷ y tiene un balance de gases de efecto invernadero por debajo de un umbral definido, que es como mínimo un 60% inferior a la producción de hidrógeno mediante reformado de metano con vapor de gas natural (proceso de referencia con una huella de GEI actual de 91 g CO₂eq/MJ).

Hidrógeno Bajo en Carbono (CertifHy Low-Carbon Hydrogen)

De origen no renovable, energía nuclear o fósil que utiliza captura y almacenamiento de carbono (carbon capture and storage - CCS) y potencialmente captura y utilización de carbono (carbon capture and utilisation - CCU) que aún está por definir en la legislación europea y que tiene un balance de gases de efecto invernadero por debajo de un umbral definido, que es mínimo 60% por debajo de la producción de hidrógeno mediante reformado de metano con vapor de gas natural (proceso de referencia con una huella de GEI actual de 91 g CO₂eq/MJ).

CertifHy alude que la intensidad de GEI señalada en las definiciones se reevaluará periódicamente.

Figura 11. Definiciones de CertifHy para el hidrógeno



Fuente: Imagen tomada de CertifHy –Developing the 1st EU-wide Guarantee of Origin scheme for Premium Hydrogen. (Traducción, formato adaptado)

⁵⁴ CertifHy, 2022.

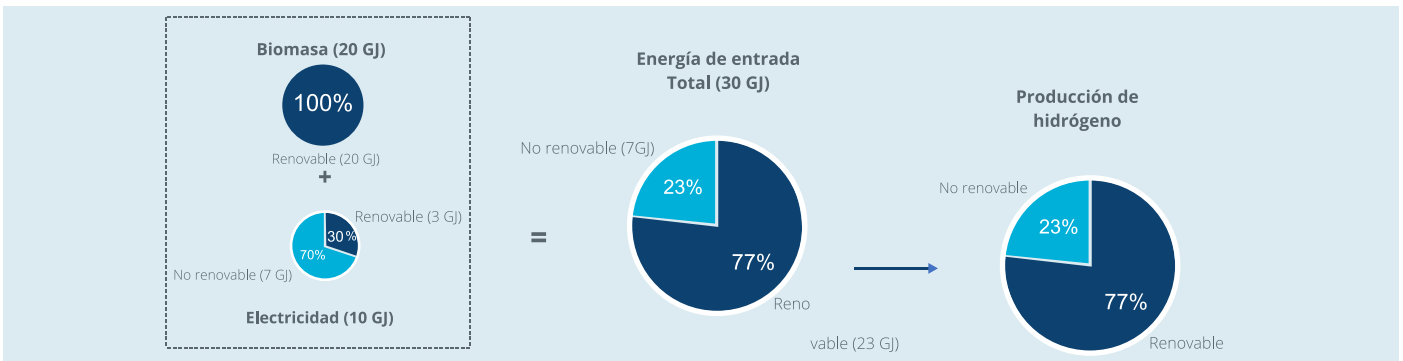
⁵⁵ CertifHy, 2017.

⁵⁶ CertifHy, 2022. Recuperado de <https://www.certifhy.eu/go-labels/>

⁵⁷ Se considera como fuentes renovables: Producción de electricidad eólica/solar/hidráulica (estos procesos de producción tienen cero emisiones de GEI, por lo tanto, cero intensidad de carbono según la convención europea); producción de electricidad basada en biomasa, que podría tener emisiones de GEI según la definición de la RED II. (CertifHy, 2022, <https://www.certifhy.eu/go-labels/>).

CertifHy establece que el hidrógeno renovable será tan verde como la energía utilizada en el dispositivo de producción. Esto se ilustra en el siguiente ejemplo:

Figura 12. Ejemplo de porcentaje de hidrógeno verde según energía utilizada



Fuente: Imagen tomada de CertifHy – Creating the 1st EU-wide Guarantee of Origin for Green Hydrogen - Overview of CertifHy phase 1 and GO schemes. (Traducción, formato adaptado)

Año de despliegue

En enero de 2019, CertifHy había emitido más de 75 mil GOs de hidrógeno, luego de varios años de trabajo de investigación y diseño.

Alcance geográfico

CertifHy cubre la Unión Europea, el Espacio Económico Europeo (EEE)⁵⁸, y Suiza. Actualmente no es posible expedir Garantías de Origen de CertifHy para dispositivos de producción fuera de este alcance geográfico, y tampoco es posible la cancelación de las garantías para usos de hidrógeno fuera de esta geografía⁵⁹.

Certidumbre

Un sistema de certificación a escala de la UE genera confianza a los usuarios finales. CertifHy indica que, con las dos etiquetas desarrolladas, a diferencia de la creación de muchos productos o etiquetas de nicho, asegura la liquidez del mercado para cada producto⁶⁰.

CertifHy avala que el Registro CertifHy® genera GOs únicas para cada dispositivo de producción registrado y las rastrea durante su ciclo de vida, con lo cual se excluye el doble uso

Figura 13. Alcance de CertifHy

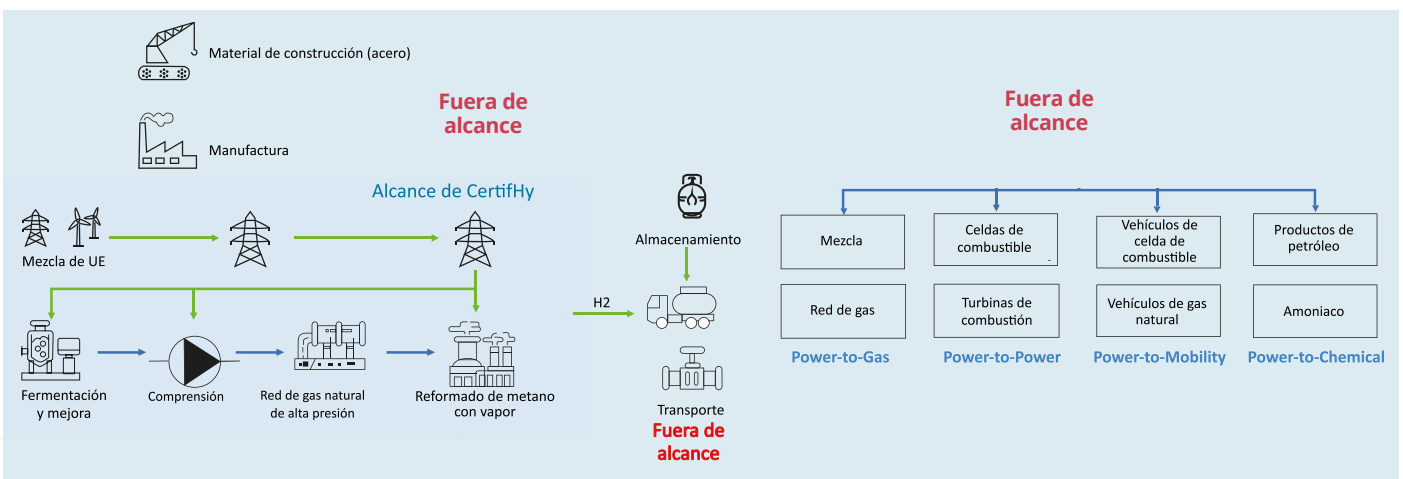


Imagen tomada de CertifHy – Creating the 1st EU-wide Guarantee of Origin for Green Hydrogen - Overview of CertifHy phase 1 and GO schemes. (Traducción, formato adaptado)

⁵⁸El Espacio Económico Europeo (EEE) reúne a los Estados Miembros de la UE y a tres de los cuatro Estados de la Asociación Europea de Libre Comercio (AELC) (Islandia, Liechtenstein y Noruega) en un mercado interior regulado por las mismas normas básicas.

⁵⁹ CertifHy, CertifHy Scheme, 2019.

⁶⁰ CertifHy, Final Report of Phase 2, 2019.

⁶¹ CertifHy, 2022.

⁶² CertifHy, 2016.

dentro del registro; dicho registro señala, además, es resistente al fraude y puede proporcionar información detallada concentrada en informes⁶¹.

Sistema

El sistema CertifHy se centra en el hidrógeno con características “premium”, para lo cual han establecido las dos definiciones mencionadas, específicas para dos productos: 1) Hidrógeno Verde (renovable y bajo en carbono) e 2) Hidrógeno Bajo en Carbono (no renovable, pero sí bajo en carbono). A estas definiciones se les denomina etiquetas⁶².

CertifHy es neutral en la tecnología utilizada, es decir, se incluye en el alcance del sistema cualquier tecnología que pueda proporcionar evidencia de que se cumplen los requisitos definidos para la cantidad de hidrógeno producido. Además, el sistema estará abierto a todo tipo de aplicaciones, incluyendo energía, movilidad, conversión química, etc.

Por otro lado, como puede observarse en la siguiente figura, las GOs de hidrógeno y las emisiones de GEI asociadas cubren la ruta de generación hasta el producto comercializable, dejando las demás actividades de la cadena de valor (por ejemplo, almacenamiento, transporte, etc.) fuera del alcance.

CertifHy indica que, tanto en el proceso de transferencia como de cancelación de una GO, la parte comercial de la transacción/cancelación está fuera del alcance de CertifHy⁶³. En cuanto a la transferencia de GOs, el acuerdo comercial entre vendedor y comprador es responsabilidad exclusiva de las dos partes. Por lo que respecta a la cancelación de GOs, la liquidación comercial (si la hubiera) entre el titular de la cuenta canceladora y un posible tercero es responsabilidad exclusiva de ambas partes.

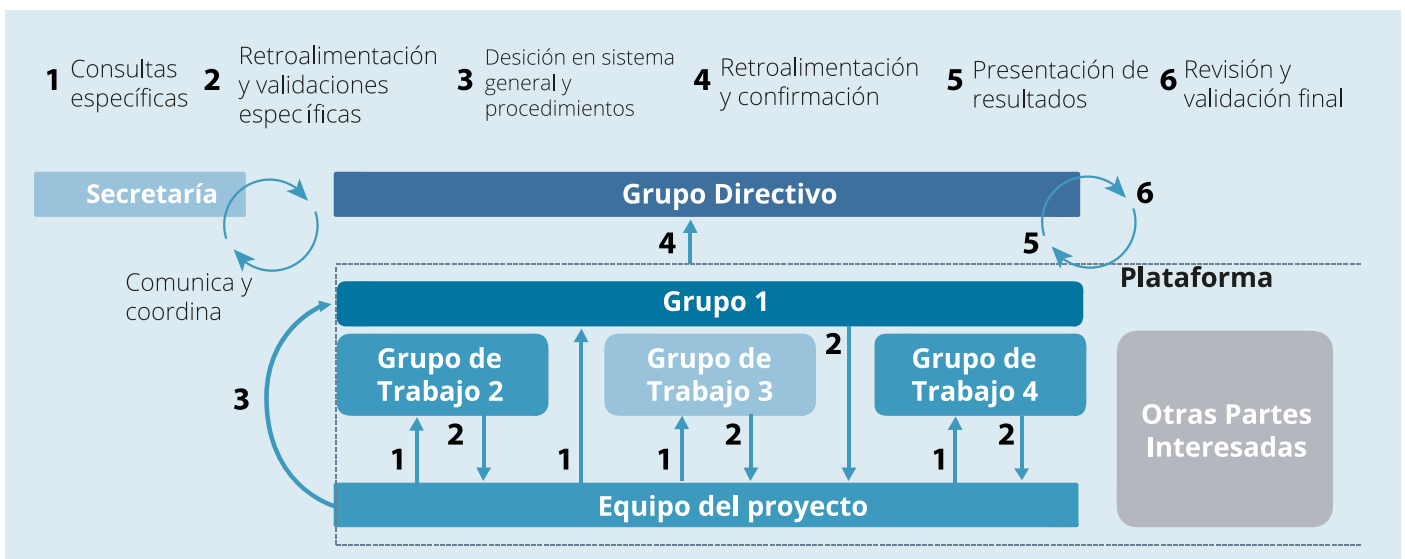
Las garantías de origen tienen como objetivo la divulgación comercial, por lo que el balance entre la oferta y demanda es lo que establece su precio. Actualmente no hay una plataforma de transacción común en la que el precio pueda ser monitoreado fácilmente.

La generación de las garantías es monitoreada por ciertos actores, incluida la AIB. Una característica importante del hidrógeno es que es generado gracias a otro vector como el gas natural o la electricidad, lo que implica que los precios de las garantías de origen para el hidrógeno verde estarán ligados a los precios de las garantías de origen de la energía renovable, estas garantías pueden convertirse en garantías de hidrógeno verde a través de un proceso específico de conversión evitando

el doble conteo. La incertidumbre del precio de las garantías de origen para el hidrógeno verde dificulta explorar casos de negocio, para este caso los planes piloto serían de gran ayuda⁶⁴.

Esta garantía tiene el mismo mecanismo que las garantías de origen de energía renovable que se plantean en la sección 2.2 de la Unión Europea, es decir, la GO se cancela con el uso, ya sea cuando se consume hidrógeno o se convierte en otro portador de energía, por lo que solo se puede usar una vez para reclamar el hidrógeno consumido. El titular de la cuenta que solicite una Declaración de Cancelación deberá informar al Organismo Emisor sobre las características del suministro físico del hidrógeno consumido por el usuario final. La Declaración de Cancelación tiene como propósito proporcionar información confiable a los clientes finales sobre los atributos del hidrógeno utilizado. Esta declaración electrónica incluye un enlace para acceder en línea al contenido completo de la GO. Una GO vence automáticamente 12 meses después del final del período de producción⁶⁵.

Figura 14. Representación esquemática de la Plataforma de Partes Interesadas de CertifHy



Fuente: Imagen tomada de CertifHy - Final Report of Phase 2. (Traducción, formato adaptado)

Gobernanza

La estructura de gobernanza de CertifHy consiste en los siguientes órganos: la Plataforma de Partes Interesadas (Stakeholder Platform), el Grupo Directivo (Steering Group), Grupos de Trabajo y una Secretaría.

La Plataforma de Partes Interesadas ha permitido que se consideren los puntos de vista e intereses de un gran número y una amplia gama de partes interesadas en la elaboración del sistema CertifHy, fungiendo como un foro de discusión.

El Grupo Directivo es el órgano de toma de decisiones y resolución de conflictos de la Plataforma, el cual ha respaldado el diseño final del sistema CertifHy, sus documentos subsidiarios y la hoja de ruta.

La Secretaría está a cargo de la organización logística de las Sesiones Plenarias del Grupo Directivo y de la Plataforma de Partes Interesadas; tiene la facultad de determinar si una organización que solicita participar en la plataforma tiene suficiente interés legítimo en las garantías de origen de hidrógeno verde e hidrógeno bajo en carbono.

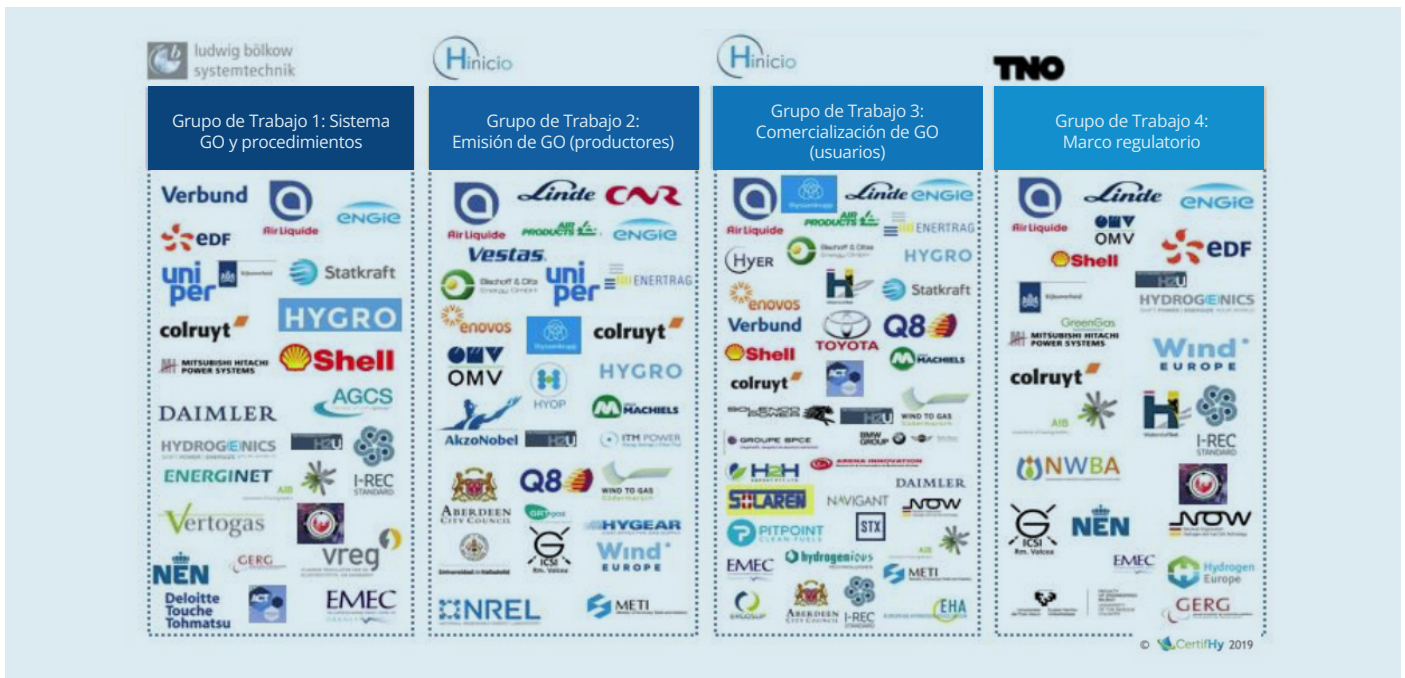
CertifHy cuenta con un formulario en línea que permite registrar solicitudes para formar parte de la Plataforma de Partes Interesadas y grupos de trabajo. El Grupo Directivo acepta a los postulados del formulario en línea para formar equipos de trabajo con actividades generales y específicas de acuerdo con su experiencia, y con un líder del Grupo Directivo para cada equipo de trabajo.

⁶³ CertifHy, Procedure 1.3: GO cancellation, 2019.
⁶⁴ CertifHy, 2016.
⁶⁵ CertifHy, Final Report of Phase 2, 2019.

Los grupos de trabajo, con representantes de todos los actores de la cadena de valor GO, fueron consultados sobre temas específicos de su competencia:

- El grupo de trabajo 1 contribuyó al diseño del sistema general de GO, proporcionando información sobre otros sistemas de GO y redactando todos los documentos del sistema, ajustándolos además con base en las experiencias piloto y los comentarios de otros grupos de trabajo
- El grupo de trabajo 2 se centró en lograr un consenso sobre los requisitos que deben aplicarse a la producción de hidrógeno y en recopilar información práctica de los emisores de GO, es decir los productores de hidrógeno
- El grupo de trabajo 3 ha trabajado en definir las expectativas y los requisitos de los usuarios finales para un sistema de GO de hidrógeno
- El grupo de trabajo 4 se ha centrado en la identificación de los problemas de alineación con las normativas actuales y futuras, incluyendo la evaluación de la RED II
- A estos cuatro grupos se suma uno más, el grupo de trabajo 5⁶⁶, de posterior creación, elaborado para Organismos Emisores, que tiene como objetivo trabajar en lecciones aprendidas

Figura 15. Miembros 2019 de los Grupos de Trabajo de la Plataforma CertifHy

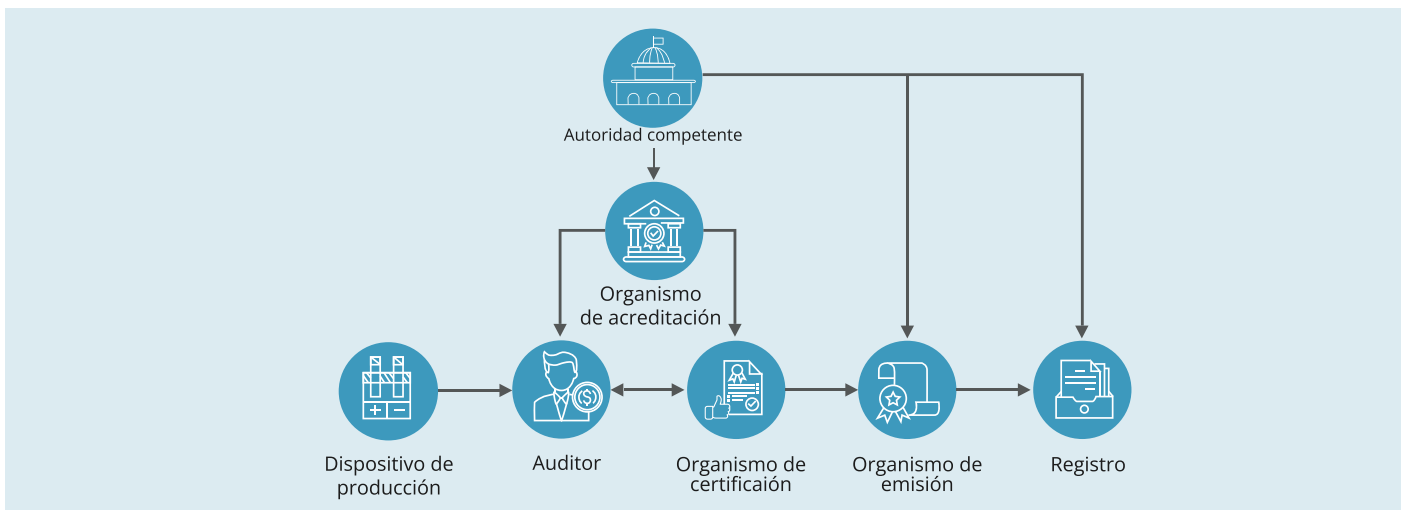


Fuente: Imagen tomada de CertifHy - Final Report of Phase 2. (Traducción)

Roles y responsabilidades

CertifHy señala⁶⁷ que su sistema de GOs tiene una organización diseñada de forma comparable al Sistema Europeo de Certificados de Energía (European Energy Certificate System - EECs), que es el sistema de GOs de la AIB que gestiona las GOs de electricidad.

Figura 16. Roles de CertifHy



Fuente: Imagen tomada de CertifHy Deliverable No. D.4.2. (Traducción, formato adaptado)

⁶⁶ CertifHy, 2020.

⁶⁷ CertifHy, Final Report of Phase 2, 2019.

Las entidades que conforman el sistema se describen a continuación:

Autoridad Competente: La Plataforma de Partes Interesadas (CertifHy Stakeholder Platform) asume este rol hasta el momento en que se defina la Autoridad o Autoridades Competente(s). Dentro de sus funciones se encuentra: (i) refrendar el documento del sistema CertifHy y todos los documentos subsidiarios del mismo; (ii) decidir sobre la aprobación de los Organismos de Certificación; (iii) designar Organismos Emisores.

Organismo de Acreditación: Entidad aceptada por la Autoridad Competente para evaluar y acreditar al Organismo de Certificación⁶⁸; aumenta la confianza en la evaluación de la conformidad al garantizar que los organismos de certificación tengan la capacidad técnica para desempeñar sus funciones⁶⁹.

Audidores: Forman parte de un Organismo de Certificación y se aseguran de que los dispositivos de producción cumplan con los requisitos del sistema⁶⁹.

Organismo de Certificación: Sus actividades comprenden (i) 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; (ii) 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. Durante el piloto del sistema, y hasta que éste se implemente formalmente, TÜV SÜD⁷⁰ ha actuado como Organismo de Certificación. CertifHy indica⁷¹ que los potenciales Organismos de Certificación deberán recibir formación para ofrecer certificaciones y procedimientos de auditoría armonizados con el sistema CertifHy, para lo cual TÜV SÜD proporcionará dicha formación.

Organismo Emisor: Un Organismo Emisor deberá supervisar la emisión, transferencia y cancelación de las Garantías de Origen. Es responsabilidad de un Organismo Emisor garantizar que se cumplan todos los aspectos del sistema CertifHy definidos en sus documentos oficiales, lo cual incluye la supervisión del funcionamiento del Registro CertifHy. Además,

es función del Organismo Emisor (i) decidir sobre el registro de los Titulares de Cuenta; (ii) decidir sobre el registro de dispositivos de producción; (iii) decidir sobre la emisión de CertifHy GOs; (iv) verificar y asegurarse de que las solicitudes de transferencia de GOs de los titulares de cuentas sean válidas, y que toda la información en el formulario en línea para transferencias de GOs sea precisa; (v) decidir sobre la cancelación de CertifHy GOs.

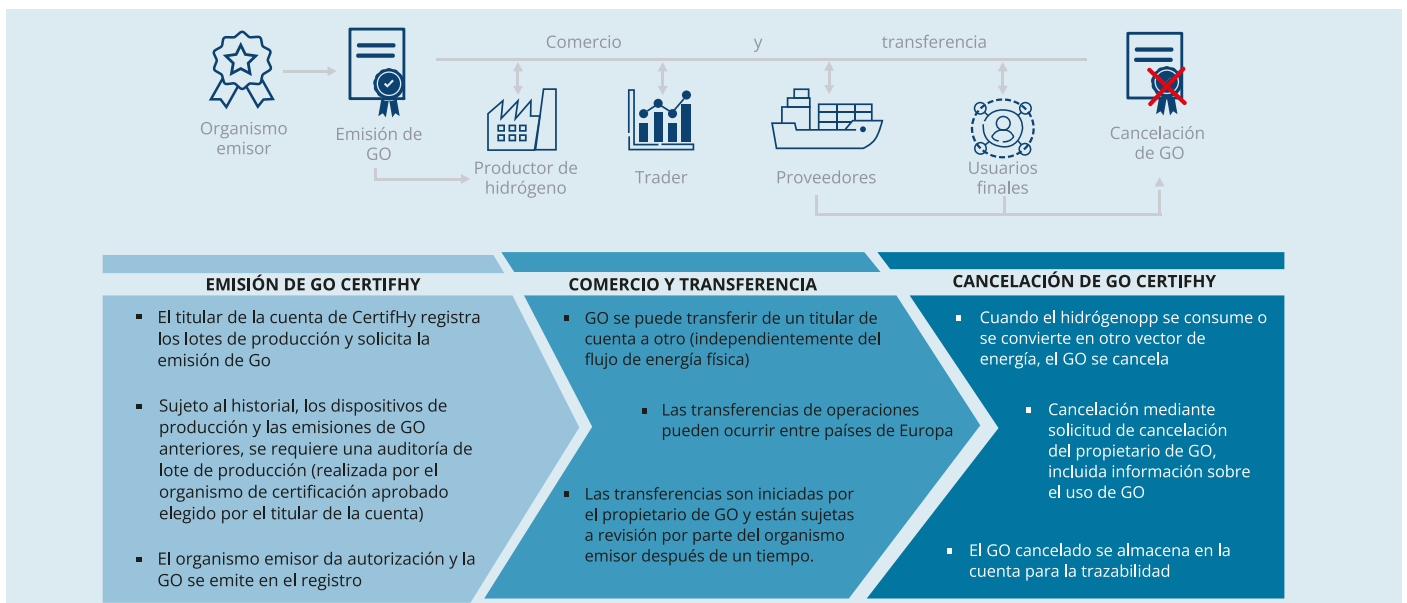
Durante el piloto del sistema, y hasta que éste se implemente formalmente, GREXEL⁷² ha cubierto las tareas del Organismo Emisor.

Registro CertifHy: Lleva el control de las Garantías de Origen emitidas, negociadas y canceladas. Este sistema informático incluye las interfaces de usuario para el alta de las plantas de producción de hidrógeno, la apertura de cuentas, solicitud de emisión, baja o transferencia de GO, así como para que los titulares puedan consultar su cuenta y permitir al público visualizar gráficos de actividad general con relación a la GOs⁷³. Durante el piloto del sistema, y hasta que éste se implemente formalmente, GREXEL⁷² ha cubierto las tareas del Registro CertifHy.

Titular de la Cuenta: Los Titulares de Cuenta tienen en sus cuentas del Registro CertifHy dispositivos de producción y/o GOs CertifHy. Es su responsabilidad cancelar las GOs sólo contra el consumo físico de hidrógeno que pueda comprobar que pertenece al ámbito del sistema GO especificado. Pueden (i) registrar cuentas con el Organismo Emisor en el Registro CertifHy; (ii) registrar dispositivos de producción con el Organismo Emisor en el Registro CertifHy; (iii) seleccionar y contratar un Organismo de Certificación para la verificación de los atributos de los lotes de producción; (iv) solicitar la emisión de GOs al Organismo Emisor; (v) solicitar las transferencias de GO de una cuenta a otra al Organismo Emisor; (vi) solicitar la cancelación de una GO al Organismo Emisor.

En el siguiente esquema se ilustra el funcionamiento de una garantía de origen y los usuarios involucrados:

Figura 17. Funcionamiento del sistema GO de CertifHy



Fuente: Imagen elaborada con base en CertifHy - Final Report of Phase 2.

⁶⁸ CertifHy, 2016.

⁶⁹ CertifHy, 2022.

⁷⁰ Empresa de origen alemán especializada en certificación, auditorías, etc.

⁷¹ CertifHy, 2020.

⁷² GREXEL es proveedor líder de registros de certificados energéticos en Europa.

⁷³ CertifHy, Final Report of Phase 2, 2019.

Por otro lado, CertifHy indica que pueden distinguirse cuatro tipos de usuarios de su sistema:

Productores de hidrógeno: Operan dispositivos de producción registrados que emiten GOs y las ponen a disposición para su comercio y uso final.

Traders: Compran y venden GOs en nombre de sus clientes (proveedores y/o usuarios finales).

Proveedores: Actores que venden hidrógeno a sus clientes y que están obligados, según la RED II, a revelar la fuente de energía y los medios de producción para justificar y proporcionar hidrógeno verde y bajo en carbono a sus clientes, independientemente del hidrógeno físico.

Usuarios finales: Consumen hidrógeno verde y bajo en carbono, independientemente de su ubicación geográfica y del hidrógeno físico que se les suministre; pueden adquirir y cancelar las GO por sí mismos a través del Registro o lo hacen los proveedores y/o comerciantes de hidrógeno en su nombre.

Contenido de la Garantía de Origen

La GO recoge información objetiva sobre el producto; con base en esta información objetiva y considerando los requisitos establecidos en el sistema en tal momento, se asigna una etiqueta al producto (Hidrógeno Verde o Hidrógeno Bajo en Carbono).

La información que contiene una GO CertifHy se enlista a continuación⁷⁴:

1. Información objetiva:

- Número de cuenta
- Identidad del dispositivo de producción: Identificador del dispositivo de producción; nombre; país de ubicación; ciudad de ubicación; fecha de puesta en marcha; capacidad de producción instalada

- Fecha y hora de producción de hidrógeno: Comienzo y final del lote de producción
- Combustible (o fuente de calor) y tecnología: Código(s) de combustible o fuente de calor (hay espacio para hasta diez combustibles); parte del total de combustible correspondiente a cada tipo de combustible; Código de tecnología
- Apoyo financiero a la producción de hidrógeno o a la producción de combustibles de entrada: apoyo a la inversión; y/o apoyo a la producción; y/o apoyo a un proyecto científico/de demostración/piloto; o sin apoyo; o no hay información disponible
- Proporción de energía renovable para cada portador de energía de entrada para producir el hidrógeno (%)
- Balance de GEI (g CO₂eq /MJH₂): Intensidad de las emisiones de GEI
- Identidad GO (ID): Identificador (el número único asignado a la GO); Fecha de expedición; Fecha de cancelación/expiración
- Organismo de Certificación: Nombre

2. Evaluación con base en la información objetiva:

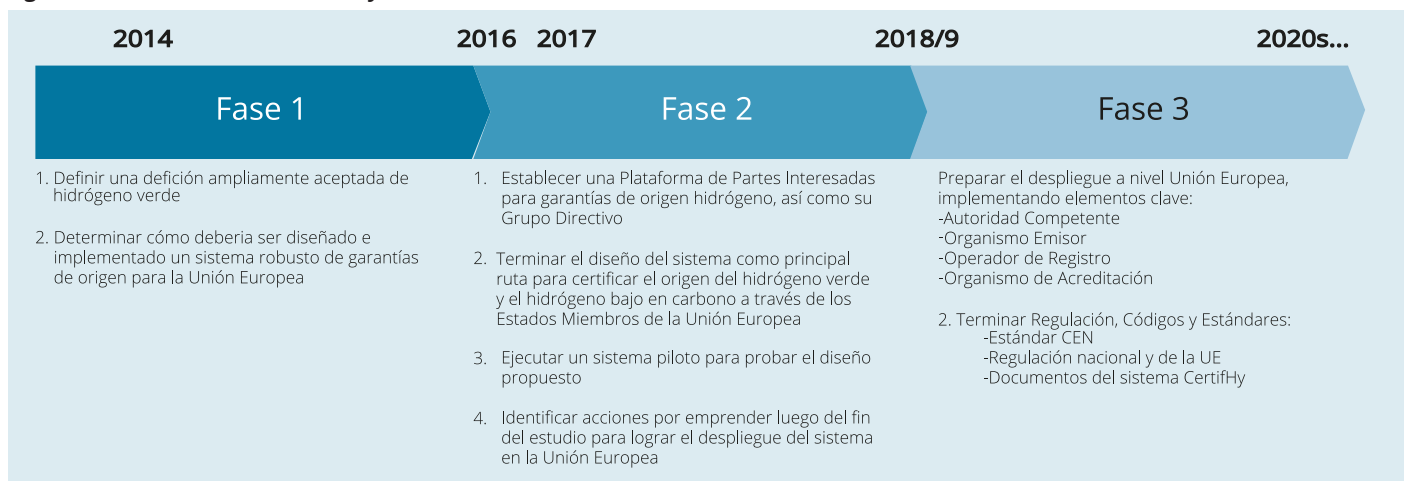
- Etiqueta CertifHy: Hay dos opciones dependiendo de la información objetiva, Hidrógeno Verde o Hidrógeno Bajo en Carbono.

El Organismo de Certificación emite el Informe de Auditoría de Lotes de Producción, el cual es presentado al Organismo Emisor y almacenado en el registro junto con las GOs cubiertas por dicho informe.

Estatus de implementación

Como puede observarse en la siguiente figura, los trabajos de CertifHy se diseñaron para 3 fases:

Figura 18. Fases del sistema CertifHy

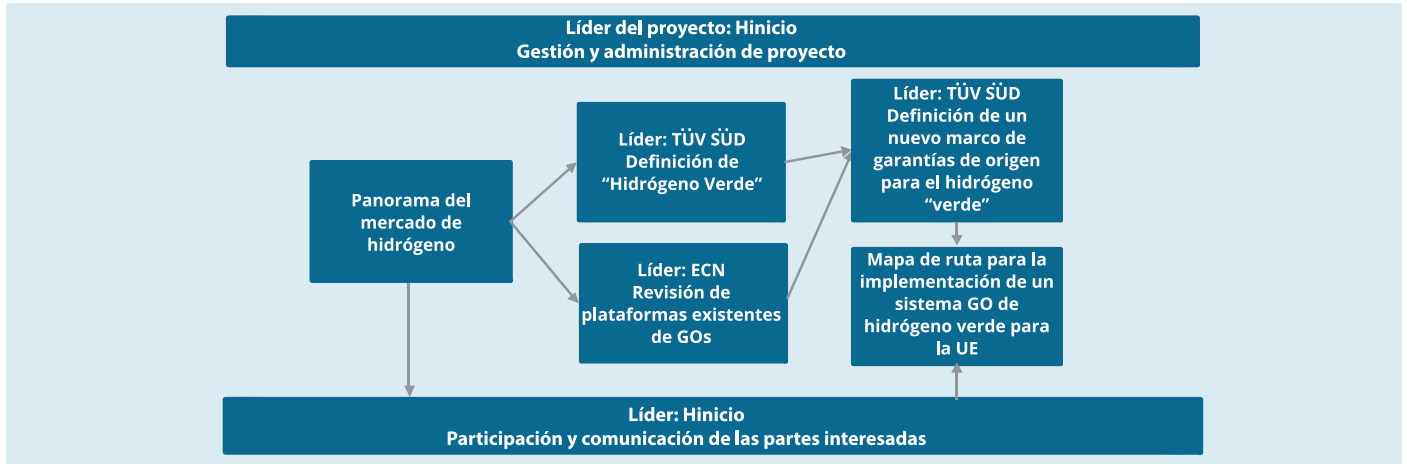


Fuente: Imagen tomada de CertifHy – Creating the 1st EU-wide Guarantee of Origin for Green Hydrogen - Overview of CertifHy phase 1 and GO schemes. (Traducción, formato adaptado)

⁷⁴ CertifHy, Final Report of Phase 2, 2019.

La primera fase, CertifHy 1, se desarrolló entre 2014 y 2016, en la cual se diseñó el sistema CertifHy, se establecieron las etiquetas de “Hidrógeno Verde” e “Hidrógeno Bajo en Carbono”, y se desarrolló una hoja de ruta. Lo anterior a través de un proceso de consenso con la industria, los responsables políticos y la sociedad civil⁷⁵. A continuación se ilustra el plan de trabajo:

Figura 19. Plan de trabajo



Fuente: Imagen tomada de CertifHy – Developing the 1st EU-wide Guarantee of Origin scheme for Premium Hydrogen. (Traducción, formato adaptado)

La segunda fase, CertifHy 2, se ejecutó entre octubre de 2017 y junio de 2019, y consistió en elaborar los diferentes procedimientos de emisión, transferencia y cancelación de GOs, el establecimiento de una Plataforma de Partes Interesadas altamente inclusiva para gobernar el proyecto, y la puesta en práctica con un piloto operativo, para así garantizar que los problemas prácticos se identificaran y abordaran; un componente importante de esta fase consistía en garantizar la compatibilidad del sistema con la legislación de la UE, con particular atención en la RED II⁷⁶.

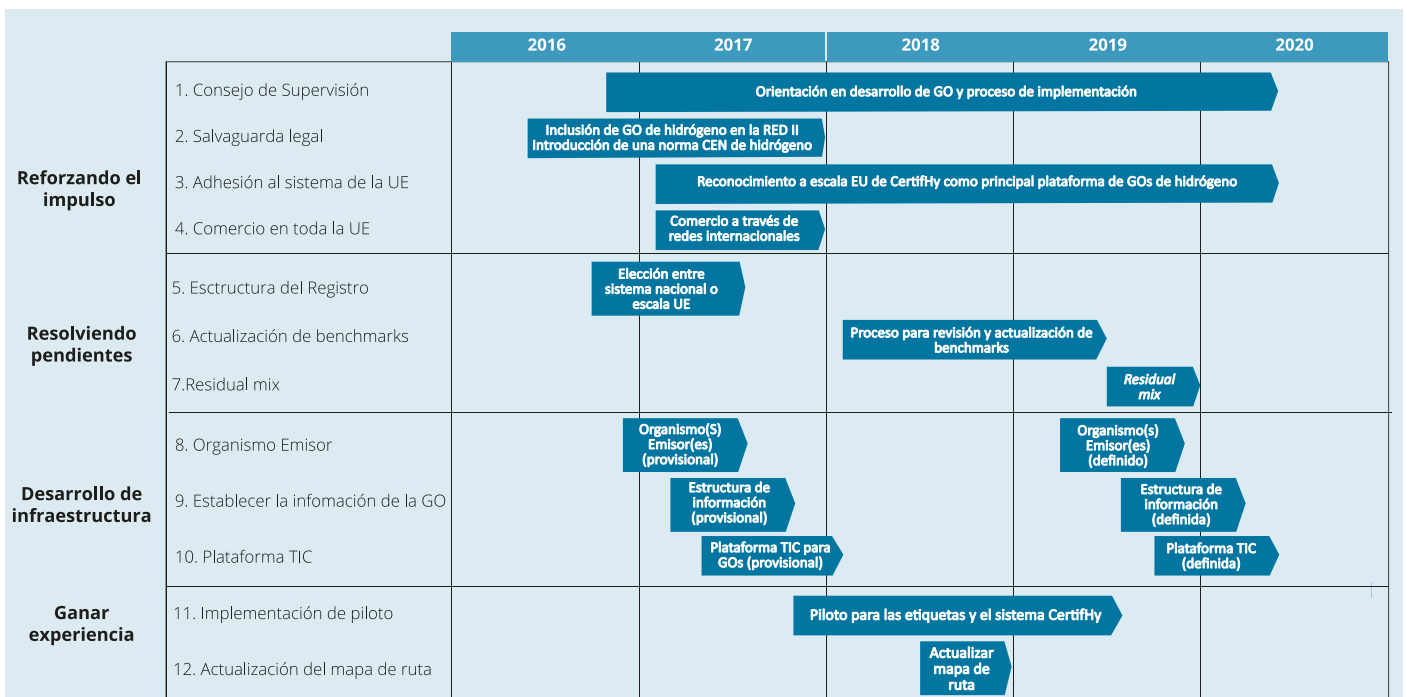
El proyecto piloto CertifHy 2 dio lugar a la emisión de garantías de origen en el mercado. A Julio 2019, se habían emitido 76.6 mil Garantías de Origen de hidrógeno CertifHy⁷⁶, equivalentes a 2,298 ton de hidrógeno; 2.9 mil GOs (86 ton de hidrógeno)

correspondían a hidrógeno procedente de fuentes de energía renovables y 73.7 mil (2,212 ton de hidrógeno) a hidrógeno procedente de energías fósiles.

Para el caso particular de inyección directa de hidrógeno a la red de gas natural, se probó un procedimiento simplificado para la emisión de Garantías de Origen de Biogás en el registro alemán operado por la Agencia Alemana de Energía (Deutsche Energie-Agentur GmbH – DENA); solo en el caso de la inyección directa a la red de gas, se puede crear una GO de biogás mediante la cancelación de una GO de hidrógeno⁷⁷. La prueba demostró que la DENA puede reconocer la documentación de certificación de CertifHy⁷⁶.

A continuación se ilustra la hoja de ruta de CertifHy:

Figura 20. Hoja de ruta de CertifHy.



Fuente: Imagen tomada de CertifHy – Creating the 1st EU-wide Guarantee of Origin for Green Hydrogen - Overview of CertifHy phase 1 and GO schemes. (Traducción, formato adaptado)

⁷⁵ CertifHy, Final Report of Phase 2, 2019.

⁷⁶ CertifHy, Final Report of Phase 2, 2019.

⁷⁷ Ambos certificados se refieren a 1 MWh de energía.

En un documento dirigido al Foro de Partes Interesadas (Stakeholder Forum), de diciembre 2020, se dio a conocer que CertifHy 3 establecería sistemas armonizados de garantías de origen en toda Europa. La Empresa Conjunta de Celdas de Combustible e Hidrógeno (The Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking - FCH 2 JU) designó al consorcio para dirigir esta fase, constituido por Hincio, AIB, CEA, GREXEL, LBST y TÜV SÜD. El trabajo previo de CertifHy se utilizaría como investigación pre-normativa para ayudar a la AIB⁷⁸ en el desarrollo de un sistema de certificación para hidrógeno renovable. El sistema se desarrollará dentro de su Grupo de Esquema de Gas (Gas Scheme Group - GSG) recientemente establecido, y cumplirá con: art. 19 de la RED II, la Norma CEN-EN 16325 (que se encuentra en proceso de actualización), y los requisitos generales de la AIB para GOs y otros certificados energéticos (norma AIB EECS). Con lo anterior, se espera que el sistema facilite la implementación armonizada y futuras transferencias transfronterizas y que sea reconocido por la Comisión Europea. El sistema se probará en 3 Estados Miembros de la UE.

El documento menciona también la iniciativa para el establecimiento de una colaboración con el Ministerio de Energía, Minas y Medio Ambiente de Marruecos (Moroccan Ministry of Energy, Mines and Environment) para experimentar una transacción transfronteriza piloto de GOs con la Unión Europea, y se indica que CertifHy liderará un grupo de trabajo dentro del MENA Hydrogen Alliance⁷⁹ para trabajar en la región creando un sistema de garantías de origen armonizado con Europa. Se plantea también la aportación de CertifHy al grupo de trabajo de certificación de hidrógeno de la IPHE, para garantizar una armonización entre la UE y la metodología internacional en proceso. Además, se indica que Europa está investigando nuevos usos de las GOs, por ejemplo, en el marco de la reforma ETS MRV (Emission Trading System Monitoring, Reporting and Verification).

Por último, el documento señala que CertifHy 3 creará un sistema de certificación para los combustibles renovables para el transporte que cumplan con la normativa RED II (RFNBOs). Para dicha certificación, se considera una estrecha colaboración con el Registro Europeo de Gas Renovable (European Renewable Gas Registry - ERGaR). CertifHy había estado emitiendo solamente certificados de tipo GO, sin embargo, en la actual fase 3, CertifHy está ampliando su ámbito de aplicación para crear un esquema de certificación que abarque además los certificados de sostenibilidad para el cumplimiento de los objetivos legales definidos en los artículos 25-30 de la RED II. Lo anterior implica la ampliación de CertifHy para incluir tanto el hidrógeno como sus derivados (por ejemplo amoníaco, metanol, combustibles sintéticos, etc.). En la RED II, el hidrógeno renovable y sus derivados se definen como “combustibles de transporte líquidos y gaseosos renovables de origen no biológico” (Renewable Fuels of Non Biological Origin - RFNBO). Para la certificación, los criterios que deben cubrirse son los definidos en la RED II. En función de las decisiones de la Plataforma de Partes Interesadas de CertifHy, se puede considerar la inclusión de otros criterios voluntarios en el futuro⁸⁰.

4.2 Estados Unidos

LCFS

Visión general

El Estándar de Combustibles Bajos en Carbono (Low Carbon Fuel Standard - LCFS) es parte de un conjunto de programas en California para reducir las emisiones de GEI y otros contaminantes atmosféricos, esto mediante la mejora de la tecnología de vehículos, la reducción del consumo de combustible, y el aumento de las alternativas de movilidad bajas en carbono y renovables, que a su vez reduzcan la dependencia del petróleo y logren una mejor calidad del aire.

Es un sistema normativo que exige a los proveedores de combustible reducir la huella de carbono de los combustibles de transporte suministrados a los clientes en California. El LCFS es administrado por el Consejo de Recursos del Aire de California (California Air Resources Board - CARB)⁸¹; este consejo establece la intensidad de carbono cada año y publica las transacciones de LCFS para asegurar la transparencia y eficiencia del programa.

La intensidad de carbono (Carbon Intensity - CI) mide las emisiones de gases de efecto invernadero durante la vida útil de un tipo de combustible en gramos de dióxido de carbono equivalente por mega joule (g CO₂eq/MJ). El programa se basa en el principio de que cada combustible tiene emisiones de gases de efecto invernadero en su ciclo de vida, que incluyen dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y otros contribuyentes de GEI. Esta evaluación del ciclo de vida examina las emisiones de GEI asociadas a la producción, el transporte y el uso de un determinado combustible, es decir, considera las emisiones directas y los efectos indirectos significativos en las emisiones de GEI (como los cambios en el uso de la tierra para algunos biocombustibles).

A través de objetivos anuales de reducción, para 2030 el LCFS pretende reducir en un 20% la intensidad de carbono de los combustibles para transporte que se venden en California, por lo cual sus estándares se expresan en términos de intensidad de carbono de gasolina, diésel, y sus respectivos sustitutos como biocombustibles, hidrógeno y electricidad. Las puntuaciones de CI evaluadas para cada combustible se comparan con un punto de referencia de CI para cada año (este punto de referencia decrece anualmente). Los combustibles bajos en carbono por debajo del punto de referencia generan créditos, mientras que los combustibles por encima del punto de referencia de CI generan déficits. Los créditos y los déficits se expresan en toneladas métricas de emisiones de GEI.

⁷⁸ Asociación que comprende la mayoría de los organismos emisores europeos para GO de electricidad renovable, y varios para GO de gas.

⁷⁹ Alianza de hidrógeno de Oriente Medio y África del Norte (Middle Eastern - Northern African (MENA) Hydrogen Alliance).

⁸⁰ GLZ, 2021.

⁸¹ California Air Resources Board, s.f

Figura 21. Combustibles bajos en carbono del LCFS



Fuente: Imagen tomada del documento Low Carbon Fuel Standard (LCFS Basics with Notes). (Traducción, formato adaptado)

Para garantizar que la CI de su conjunto de combustibles cumple el objetivo anual del LCFS, una entidad regulada debe reducir la intensidad de carbono de su conjunto de combustibles y/o comprar créditos del LCFS a otras entidades reguladas. Los créditos del LCFS no caducan y cualquier excedente de créditos del LCFS puede guardarse para el cumplimiento futuro⁸².

En general, todos los productores, importadores, refinadores y mayoristas de combustible de petróleo que venden combustible en California están sujetos al LCFS y deben cumplir con la norma CI de cada año establecida por el CARB.

La obligación de cumplimiento anual de una entidad regulada se cumple cuando la entidad demuestra que cantidad de créditos poseía y ha retirado de su cuenta, para compararla con su obligación de cumplimiento. Lo anterior se demuestra a través de un informe anual.

Definiciones

Para estos efectos, la intensidad de carbono (CI) es la medida de gases de efecto invernadero en la vida útil de un combustible incluyendo los gases asociados a la producción, distribución y consumo, medido en g CO₂eq/MJ.

En LCFS el hidrógeno verde es definido como el hidrógeno (i) procedente de electrólisis a partir de energías renovables (ii) reformado de metano con vapor a partir de biometano (iii) conversión termoquímica de biomasa⁸³.

Año de despliegue

El CARB aprobó la normativa LCFS en 2009 y esta comenzó a aplicarse a partir del 1 de enero de 2011. Luego de esto, el LCFS se ajustó y modificó varias veces a lo largo de los siguientes años.

Alcance geográfico

Algunas jurisdicciones se están uniendo a California, lo cual es visible por el Pacific Coast Collaborative, un acuerdo regional entre California, Oregón, Washington y Columbia Británica, que busca alinear estratégicamente las políticas de reducción de GEI y promover la energía limpia (California, Oregón y la Columbia Británica cuentan con programas LCFS y la legislatura de Washington está estudiando un programa). El CARB ha colaborado habitualmente con estas jurisdicciones y, con el tiempo, se espera que estos programas de LCFS construyan un mercado integrado de la Costa Oeste de Estados Unidos para los combustibles bajos en carbono.

Además, el CARB indica que otras regiones, como Canadá y Brasil, están observando el éxito de California y desarrollando normas de rendimiento similares a las del LCFS para los combustibles de transporte.

Certidumbre

Es necesario un sistema de verificación por parte de terceros para garantizar la exactitud de los datos de gases de efecto invernadero comunicados.

El programa de verificación del LCFS proporciona confianza y fiabilidad en los datos comunicados a las partes interesadas, a los participantes en el mercado y al público: los datos tienen implicaciones financieras y la garantía de calidad debe cumplir un nivel específico de rigor. La verificación por parte de un tercero es una de las buenas prácticas internacionales para el seguimiento y la presentación de informes creíbles sobre los gases de efecto invernadero. El programa de verificación se basa en las normas ISO 14064-3 y 14065. También proporciona un proceso sistemático, independiente y documentado para la evaluación de los datos notificados con respecto a los requisitos reglamentarios del LCFS y los métodos de cálculo⁸⁴.

Sistema

Los LCFs siguen el esquema de certificación Reserva & Reclamo. El CARB indica que hay tres formas de generar créditos, mediante la acreditación de 1) proveedor de combustible, 2) proyectos y 3) capacidad (mayor detalle en anexo 1).

Proveedor de combustible: Los proveedores de combustibles bajos en carbono utilizados en el transporte de California generan créditos al: (i) obtener un certificado CI y (ii) reportar las cantidades de las transacciones trimestralmente. Los créditos se calculan en relación con el índice de referencia anual de CI y se someten a una verificación posterior a la generación del crédito. Bajo esta acreditación, todos los combustibles para transporte necesitan un puntaje de intensidad de carbono (CI) para participar en el LCFS, y el tipo de combustible dicta qué proceso se usa para determinar dicha intensidad.

⁸² Berkeley Law, 2019.

⁸³ German Energy Agency, 2022.

⁸⁴ California Air Resources Board, Low Carbon Fuel Standard (LCFS Basics with Notes), s.f.

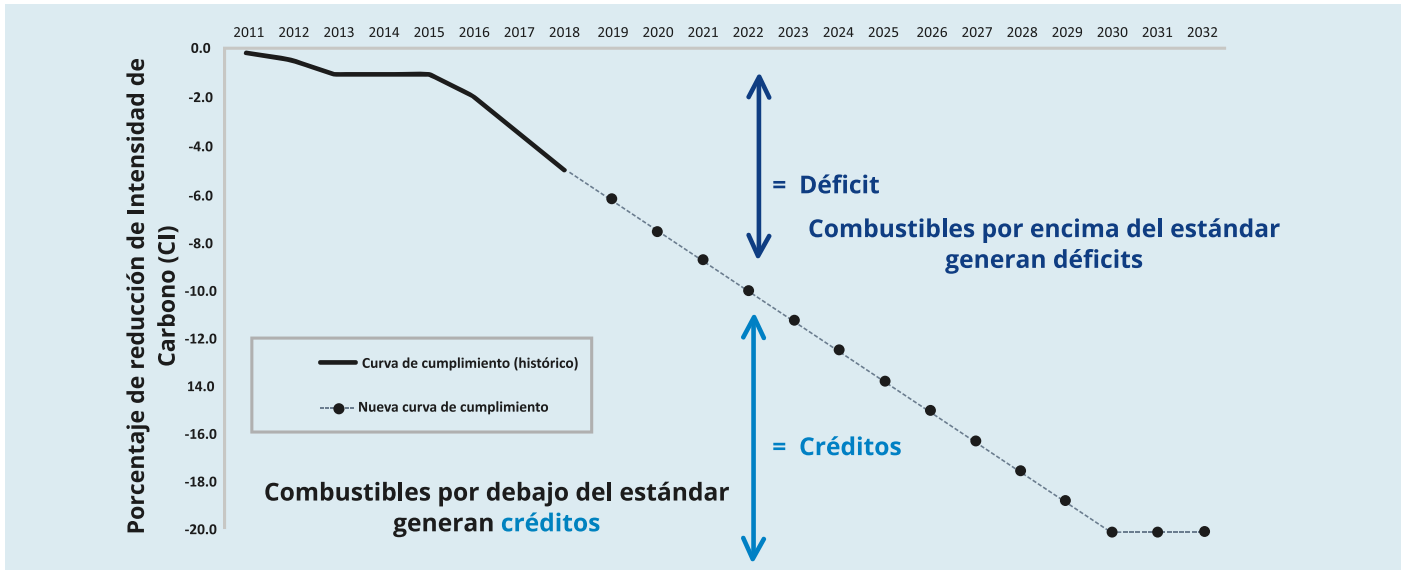
Proyectos: Los proyectos incluyen acciones para reducir las emisiones de GEI en la cadena de suministro de petróleo, y también CCS. La acreditación de proyectos se basa en las reducciones de emisiones del ciclo de vida. Los créditos se emiten después de una verificación por el CARB sobre las reducciones informadas.

Capacidad: Esta acreditación está diseñada para respaldar el despliegue de infraestructura vehicular de cero emisiones (Zero Emisión Vehicle - ZEV). La acreditación de la infraestructura ZEV se basa en la diferencia entre la capacidad de la estación de hidrógeno (o el sitio de carga rápida de vehículos eléctricos) y el combustible real despachado.

Con lo anterior, la cantidad de créditos otorgados por instalar infraestructura de combustible de hidrógeno disminuye a medida que aumentan las ventas⁸⁵. El CARB realiza la verificación antes de que se emitan los créditos.

Los combustibles y mezclas de combustibles introducidos en el sistema de combustible de California que tienen un CI superior al punto de referencia generan déficits. De manera similar, los combustibles y las mezclas de combustibles con CI por debajo del punto de referencia generan créditos. El cumplimiento anual se logra cuando un sujeto regulado utiliza créditos para cubrir sus déficits.

Figura 22. Curva decreciente de intensidad de carbono del LCFS



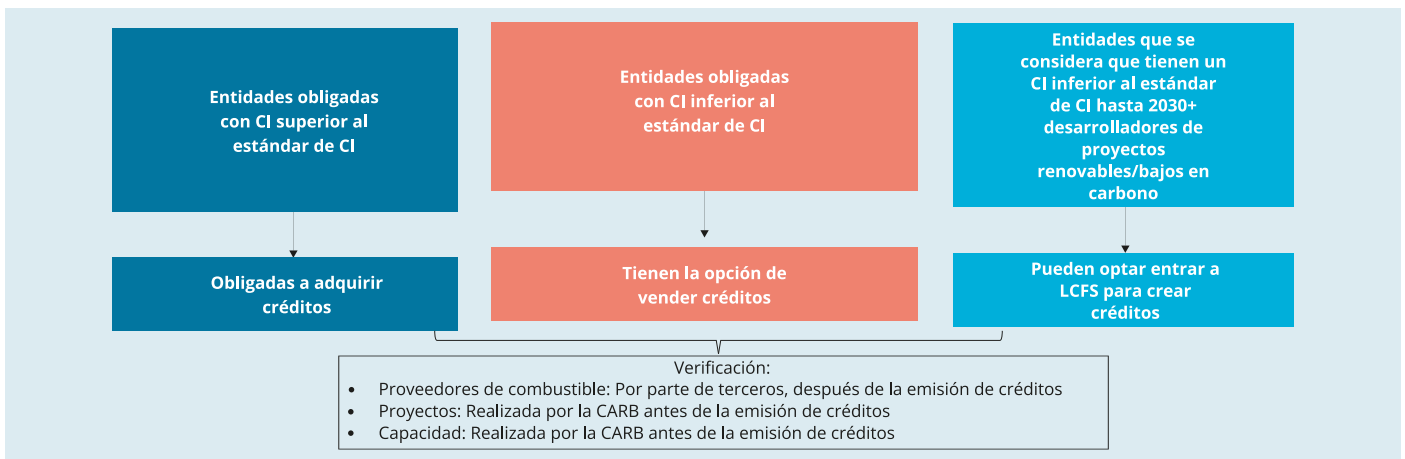
Fuente: Imagen tomada del documento Low Carbon Fuel Standard (LCFS Basics with Notes). (Traducción)

Un productor de combustible con déficit debe tener suficientes créditos a través de la generación y adquisición para estar en cumplimiento anual con el estándar. Los dueños de los créditos solo pueden vender sus créditos a los que tienen déficit. El comercio de crédito solo está permitido entre sujetos regulados.

La normativa del LCFS no se aplica en algunos casos, por ejemplo, jet fuel, combustible en algunos vehículos militares,

buques oceánicos, etc. Las entidades para las que no se considera la normativa no están restringidas obligatoriamente por LCFS, sin embargo, para garantizar que haya suficientes créditos disponibles, la regulación de LCFS les permite (así como a los desarrolladores de proyectos de energía renovable, combustibles bajos en carbono y empresas de servicios públicos) optar por el programa y convertirse en entidades reguladas, lo que les permite producir y vender créditos LCFS⁸⁶.

Figura 23. Esquema LCFS



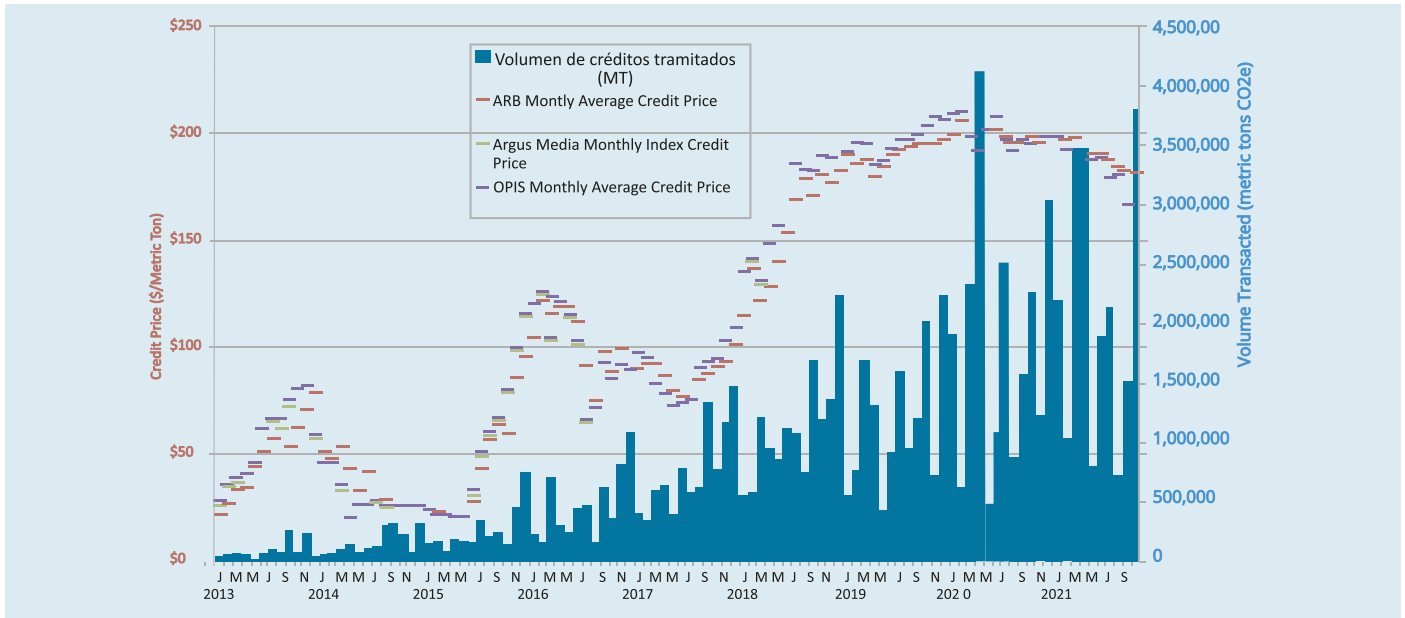
Fuente: Imagen tomada de Hinicio, "Benchmark of international practices on low-carbon and green H₂ certification mechanisms". (Traducción, formato adaptado)

⁸⁵ Hinicio, 2021.
⁸⁶ Hinicio, 2021.

La regulación del LCFS estableció el precio máximo para los créditos negociados en \$200 USD por tonelada métrica de CO₂eq reducida en 2016. Este precio se ajusta por un deflactor del Índice de Precios al Consumidor de los Estados Unidos (Consumer Price Index in the United States - CPI) en todos los años posteriores a 2016. Este mecanismo está brindando más certeza

en el valor del crédito del LCFS a largo plazo. Aproximadamente desde principios de 2019, el precio del crédito mensual se ha mantenido estable en alrededor de \$200 USD por tonelada métrica de CO₂eq reducida. La siguiente gráfica con datos del CARB muestra la evolución de los precios de los certificados en el tiempo y el volumen de créditos negociados.

Figura 24. Precio de crédito mensual de LCFS y volumen de transacciones (histórico)



Fuente: Imagen tomada del Data Dashboard del CARB

Gobernanza

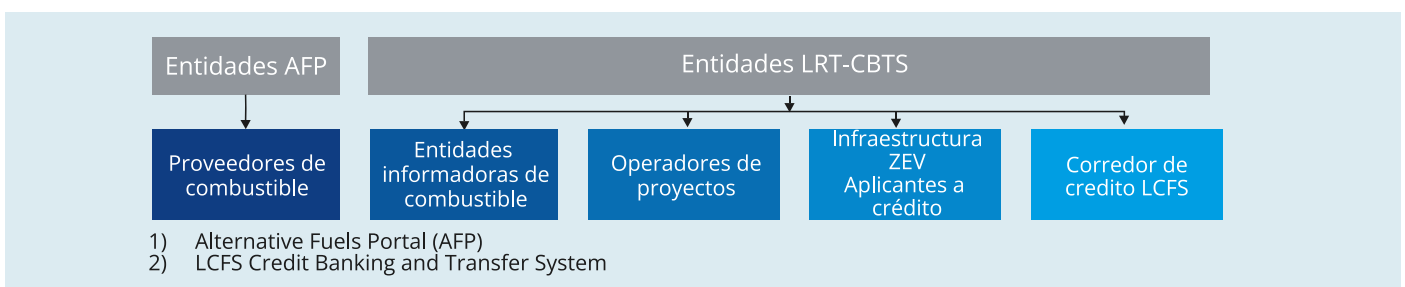
El CARB aplica y hace cumplir el LCFS de California, de acuerdo con el amplio mandato de reducción de emisiones que la legislatura estatal estableció en la Ley de la Asamblea 32 (Código de Salud y Seguridad § 38500 y siguientes)⁸⁷. El CARB es quien establece las reducciones de CI para cada año y quien publica las operaciones del LCFS.

Por otro lado, el CARB considera que es necesario un sistema de verificación por parte de terceros para garantizar la exactitud

de los datos de gases de efecto invernadero comunicados, por lo cual, a partir de 2019, es posible la verificación por parte de terceros, en donde los verificadores solicitan la acreditación del CARB y realizan la formación y los exámenes necesarios. El CARB publica en el sitio web del LCFS la lista de organismos de verificación acreditados para realizar servicios de verificación del LCFS.

La organización del sistema LCFS se ilustra a continuación:

Figura 25. Panorama general de Entidades del LCFS



Fuente: Elaborada con base en el documento Low Carbon Fuel Standard (LCFS Basics with Notes)

El Portal de Combustibles Alternativos (Alternative Fuel Portal - AFP) y el Sistema de Transferencia de Créditos del LCFS (LCFS Credit Banking and Transfer System - LRT-CBTS) son dos de las plataformas que componen el sistema de gestión de la base de datos del LCFS⁸⁸.

AFP: El AFP facilita el proceso de solicitud para obtener una puntuación CI certificada. Los solicitantes que se basan en datos específicos en sitio utilizan este portal para presentar su calculadora de CI e información complementaria.

LRT-CBTS: El LRT-CBTS está diseñado específicamente para facilitar la presentación de informes y las transferencias de créditos.

⁸⁷ Berkeley Law, 2019.

⁸⁸ No se muestra aquí el módulo de Verificación, que proporcionará acceso a los datos de los participantes para los Organismos de Verificación acreditados por la LCFS.

Los requisitos y responsabilidades de las entidades se definen en función del papel que desempeña cada una de ellas. Una entidad puede tener múltiples funciones en el LCFS, por ejemplo, un productor de combustible alternativo líquido puede ser un solicitante de la acreditación proveedor de combustible, pero como esta entidad también informa y genera créditos, también es una entidad informante de combustible. Un propietario de una estación de hidrógeno que genere créditos de infraestructura también debe ser una entidad informante de combustible (para informar de la cantidad de combustible dispensado); esta entidad también puede ser titular de una acreditación de proveedor de combustible, o bien otra entidad podría haber asumido las responsabilidades de solicitar y mantener la acreditación.

Todos los solicitantes de la acreditación de proveedor de combustible se convierten en titulares una vez que su CI está certificada; deben demostrar anualmente que la acreditación sigue siendo válida.

Estatus de implementación

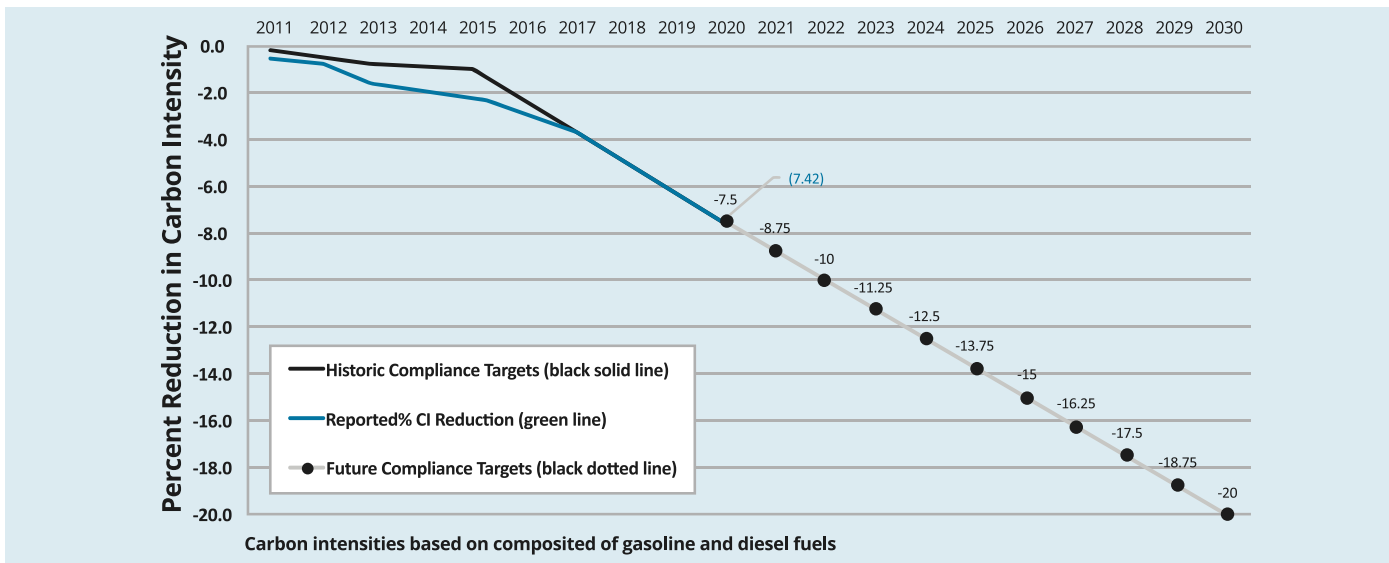
En 2013 se implementaron enmiendas que permitieron a las refinerías recibir créditos por el despliegue de tecnologías innovadoras de producción de crudo, como la generación de vapor solar o captura de carbono. Posteriormente, en el 2016, se abordaron las deficiencias de proceso en la regulación original.

Finalmente, en 2018, se aprobaron enmiendas que incluyeron suavizar los puntos de referencia de intensidad de carbono para la reducción de emisiones de GEI de California para 2030 promulgado a través del Proyecto de Ley del Senado 32, agregando nuevas oportunidades crediticias para promover la adopción de vehículos de cero emisiones, combustible alternativo para aviones, captura de carbono, y tecnologías avanzadas para lograr una descarbonización profunda en el sector del transporte.

El CARB menciona que el uso de combustibles bajos en carbono ha aumentado desde que la regulación entró en vigor. El valor total de las transacciones de crédito superó los \$2 mil millones de dólares en 2018. Se creó un tablero de datos del LCFS para mostrar información actual e histórica del programa, en el cual se puede encontrar información como el volumen de combustibles y créditos generados en el marco del LCFS, la curva de cumplimiento, el porcentaje de reducción de la intensidad de carbono hasta la fecha, los volúmenes de créditos negociados y los precios medios de los créditos por mes, entre otros.

En un comunicado de prensa de 2019, el CARB informó de que de 2011 a 2018 casi 3.300 millones de galones de diésel de petróleo han sido desplazados por alternativas limpias y bajas en carbono⁸⁹.

Figura 26. Rendimiento del LCFS 2011-2020



Fuente: Imagen tomada del Data Dashboard, LCFS, CARB. (Traducción)

4.3 Alemania

TÜV SÜD CMS70⁹⁰

Con la certificación Green Hydrogen (Norma TÜV SÜD CMS 70⁹¹), TÜV SÜD permite a las partes interesadas aportar pruebas de que el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables tiene niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) significativamente menores, en comparación con el hidrógeno convencional o los combustibles fósiles.

El hidrógeno verde producido por electrólisis debe tener un potencial de reducción de GEI del 75% incluyendo las fases de compresión, licuefacción y transporte⁹². Este sistema de certificación da la opción de elegir el sistema de Reserva & Reclamo (book & claim) o el de Balance de Masa (mass balance); se podría aplicar mundialmente en un futuro, por ahora está centrado en Alemania y la UE.

Por otro lado, la norma también incluye criterios adicionales que van más allá de los requisitos legales, como el uso de electricidad procedente de fuentes de energía renovables y el uso de biometano. Los titulares de los certificados Green Hydrogen deben disponer de un sólido sistema de control para

⁸⁹ Congressional Research Service, 2021.

⁹⁰ TÜV SÜD, 2022.

⁹¹ Versión 01/2020 "Generation of Green Hydrogen".

⁹² La comparación se basa en los valores actuales de referencia establecidos en la Directiva de Energías Renovables II (RED II) y en los valores del hidrógeno convencional producido por reformado de gas natural.

garantizar el cumplimiento de los compromisos de calidad y suministro certificados. La auditoría es llevada a cabo por TÜV SÜD, pero también habilita a terceros calificados a realizarla.

La certificación se aplica al consumo de hidrógeno en las siguientes aplicaciones y sectores: hidrógeno como materia prima (química), transporte o almacenamiento de electricidad (incluida la inyección de hidrógeno en la red de gas natural).

Uno de los requisitos para la certificación TÜV SÜD para la generación de hidrógeno verde es la adicionalidad de la energía renovable utilizada en el proceso de electrólisis, se plantean tres alternativas:

1. Proporción de nuevas instalaciones: 30% de la electricidad renovable debe provenir de plantas que hayan empezado a funcionar hace no más de 36 meses.
2. Mezcla de tecnología: La energía renovable debe de consistir por lo menos 15% de plantas hidroeléctricas o 30% de plantas eólicas o 5% solar, geotérmica o de biogás.
3. La energía debe de provenir de plantas construidas no antes del 1ero de enero 2020.
4. Financiamiento: 0.2 centavos de euro/kWh de la electricidad utilizada en la producción de hidrógeno verde se destinan a un fondo para proyectos de fomento de energías renovables, la eficiencia, la innovación y la compensación.

TÜV Rheinland

TÜV Rheinland anunció en julio de 2021 que ofrece servicios de certificación relacionados con el hidrógeno basados en etiquetas patentadas, y anunció además que cubren una verificación del cumplimiento de los requisitos de la RED II⁹³. En su portal web (www.tuv.com) ofrecen a la industria, a los agentes del mercado y a las partes interesadas una nueva especificación orientada a la práctica para la certificación del hidrógeno verde: la norma TÜV Rheinland H2.21 de hidrógeno neutro en carbono. Es posible certificar los siguientes criterios: hidrógeno verde, hidrógeno azul, hidrógeno turquesa, hidrógeno que cumple la norma RED II. Sin embargo, no hay mucha información pública disponible respecto a esta certificación⁹⁴.

H₂ Global⁹⁵

Adicional a estas certificaciones, Alemania cuenta con la fundación H₂ Global (concepto desarrollado por la GIZ), que busca cumplir con la Estrategia Nacional de Alemania promoviendo la protección al medio ambiente a través de la producción y uso de hidrógeno verde.

Esta fundación provee financiamiento para proyectos de altos volúmenes de producción de hidrógeno verde en otros países que buscan exportar el hidrógeno a Alemania. Para lograr esto se realizan subastas de contratos de compra en el extranjero, que consisten en cantidades fijas de hidrógeno a precios fijos por 10 años. El hidrógeno importado vía el H₂ Global será elegible para entrar al Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU Emissions Trading System - EU ETS). La fundación establece ciertos requisitos económicos, sociales y ambientales que se deben cumplir para poder ser acreditador del financiamiento⁹⁶.

4.4 IPHE

La Asociación Internacional para la Economía del Hidrógeno y las Celdas de Combustible (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy - IPHE), busca facilitar y acelerar la transición a energía y sistemas de movilidad limpios utilizando el hidrógeno y los vehículos de celda de combustible (FCEV) en varias industrias. Algunos de los países participantes son Australia, Canadá, Costa Rica, la Unión Europea, Francia, Alemania, Japón, Corea, Holanda, Noruega, Sudáfrica, Reino Unido y Estados Unidos. Esta asociación no cuenta con una certificación como tal, pero buscan armonizar estándares de medición y comercio para que el mercado del hidrógeno sea más dinámico, accesible e internacional.

La IPHE construyó dos grupos de trabajo: (i) IPHE Hydrogen Trade Rules Task Force (H₂TR TF), y (ii) IPHE Hydrogen Production Analysis Task Force (H₂PA TF).

El H₂TR TF busca facilitar el comercio del hidrógeno identificando las barreras tarifarias y no tarifarias en transacciones internacionales de hidrógeno. Este grupo de trabajo busca entender las reglas de comercio a nivel internacional entre los países afiliados, incluidos los acuerdos multilaterales, para identificar cuáles son las reglas de comercio del hidrógeno (tarifas, requerimientos técnicos de seguridad, procesos aduaneros) y las posibles barreras.

Por el otro lado, el H₂PA TF tiene como objetivo facilitar un mercado internacional de hidrógeno. Establece que el comercio del hidrógeno se beneficiará de estándares acordados internacionalmente para el transporte, almacenamiento, rastreo y medición de emisiones del hidrógeno bajo en carbono. Este grupo de trabajo elaboró una metodología para determinar los GEI asociados a la producción de una unidad de hidrógeno. Esta metodología puede servir como base de un sistema de certificación, sin embargo, no proporcionará orientación en la definición de la intensidad de emisiones de GEI que debiera adoptar el sistema de certificación. Esto seguirá siendo responsabilidad de cada país, incluso si las terminologías y los valores definidos de intensidad de emisiones para una certificación común facilitarían el comercio internacional de hidrógeno. Esta metodología se basa en los principios de inclusión, flexibilidad, transparencia, comparabilidad y practicidad.

El grupo de trabajo publicó un borrador de la metodología, esa publicación establece que el origen y la intensidad de GEI del hidrógeno son parámetros importantes. Para facilitar el comercio internacional y permitir que los consumidores elijan sus preferencias, se necesita un marco de clasificación internacional armonizado para el hidrógeno que incluya información sobre criterios de sostenibilidad (por ejemplo, origen, intensidad de CO₂, otras emisiones) a lo largo de todo el ciclo de vida, generalmente llamado de "cradle to grave", y que asegure la trazabilidad de los atributos. La orientación futura de IPHE puede abordar aspectos adicionales del ciclo de vida completo, como las emisiones asociadas con la distribución de hidrógeno y con la fabricación de bienes. El marco proporcionará un enfoque mutuamente acordado para los certificados de origen cubriendo los gases de efecto invernadero en los combustibles y materias primas a base de hidrógeno⁹⁷. Posterior al lanzamiento de esta metodología, la IPHE realizará una serie de actividades ligadas a la publicación como:

⁹³ GIZ, 2021.

⁹⁴ TÜV Rheinland, 2022.

⁹⁵ H₂ Global, s.f.

⁹⁶ Dena, 2022.

⁹⁷ IPHE, 2021.

- Aplicar el enfoque elegido a varios estudios de casos como ejemplos.
- Preparar la documentación para el compromiso y socialización a las partes interesadas (gobierno, industria, asociaciones, organizaciones medioambientales) para construir una comprensión amplia y un acuerdo potencial.
- Identificar y especificar el contenido necesario en cualquier informe técnico basado en el enfoque acordado.
- Informe técnico que describe el enfoque acordado.

Actualmente, el IPHE está trabajando en realizar un compendio de estándares y códigos de seguridad del hidrógeno, fomentar el interés y la comprensión de la tecnología a través de un programa de becas para estudiantes/ posdoctorados y monitorear el progreso de los miembros del IPHE en relación con los compromisos acordados en la Global Action Agenda, principio que guía las acciones hacia una sociedad basada en el hidrógeno y moviliza esfuerzos para expandir la investigación y desarrollo de hidrógeno compuesto por 6 pilares:

- Formulación de estrategias y hoja de ruta
- Uso de celdas de combustible entre aplicaciones
- Cadenas de suministro de hidrógeno
- Integración de sectores
- Estudio y evaluación del potencial del hidrógeno
- Comunicación, educación y divulgación

El objetivo de esta agenda es llegar entre los países afiliados a 10 millones de sistemas de movilidad y 10 mil estaciones de carga de hidrógeno en 10 años.

4.5 China

China Hydrogen Alliance standard⁹⁸

La Alianza de Hidrógeno de China (China Hydrogen Alliance) publicó a finales de 2020 una norma sobre el hidrógeno con bajas emisiones de carbono, de la cual hay limitados detalles disponibles actualmente. La norma se aplica a la producción, el almacenamiento y el transporte de hidrógeno en las instalaciones de producción. La norma orienta la transición de los procesos tradicionales de producción de hidrógeno a los procesos de producción de hidrógeno bajo en carbono, hidrógeno limpio e hidrógeno renovable a través de una certificación.

Se definen tres tipos de hidrógeno:

1. Hidrógeno bajo en carbono: hidrógeno con valor de emisión de gases de efecto invernadero igual o inferior a 14,51 kg CO₂e/kgH₂ (120,9 gCO₂e/MJLHV) en el proceso de producción.

2. Hidrógeno limpio: hidrógeno con valor de emisión de gases de efecto invernadero igual o inferior a 4,90 kg CO₂e/kgH₂ (40,8gCO₂e/MJLHV) en el proceso de producción.
3. Hidrógeno renovable: hidrógeno cuyas emisiones de gases de efecto invernadero son las mismas que las del hidrógeno limpio, pero la energía consumida es renovable⁹⁹.

El límite del sistema de análisis de ciclo de vida (Life Cycle Assessment – LCA) abarca la adquisición y el transporte de las materias primas, la producción de hidrógeno, el almacenamiento in situ y el transporte.

La norma indica que el solicitante tiene que presentar un formulario de solicitud de verificación formal a la plataforma de servicios públicos reconocida por la autoridad energética nacional. Un tercero, el cual debe ser reconocido por la plataforma de servicios, llevará a cabo la auditoría in situ para demostrar que los documentos presentados se ajustan a los requisitos de la norma. La certificación se realiza anualmente. El productor tiene que informar al auditor si el proceso de producción cambia y, en ese caso, el auditor decidirá si se requieren auditorías adicionales.

4.6 Japón

Prefectura de Aichi

Japón ha realizado esfuerzos para la certificación del hidrógeno verde a nivel regional. La Asociación de Promoción de la Cadena de Suministro de Hidrógeno Bajo en Carbono de Aichi (The Aichi Low-carbon Hydrogen Supply Chain Promotion Association), un organismo que incluye al gobierno de la prefectura de Aichi, empresas que operan dentro de la prefectura, autoridades municipales y expertos, desarrolló la Visión 2030 de la Cadena de Suministro de Hidrógeno Bajo en Carbono de Aichi y su hoja de ruta en el 2018. El objetivo es la realización de una sociedad basada en el hidrógeno que abarque toda la región a través de la coordinación mutua y los esfuerzos inclusivos.

Esta estrategia se basa en tres pilares: (i) desarrollo sostenido de una cadena regional de suministro de hidrógeno con bajas emisiones de carbono; (ii) reducción de carbono en los distintos campos de la electricidad, el transporte, la calefacción y los procesos industriales; y (iii) eliminación de la dependencia de los combustibles fósiles a través de la expansión de los volúmenes de distribución de hidrógeno en un área más amplia.¹⁰⁰

La estrategia incluye implementar un sistema de certificación de hidrógeno producido por energía renovable como “hidrógeno bajo en carbono” con el objetivo de promover la popularización del hidrógeno bajo en carbono de acuerdo con la hoja de ruta. El sistema define el hidrógeno renovable como el hidrógeno procedente de la electrólisis del agua utilizando fuentes de electricidad renovables o del reformado con vapor utilizando biomasa¹⁰¹. Actualmente cuatro proyectos de la empresa automotriz Toyota utilizan estos certificados.

⁹⁸ DENA, 2022.

⁹⁹ La energía renovable se define en la ley “Renewable Energy Law of the People’s Republic of China.

¹⁰⁰ Toyota, 2018.

¹⁰¹ Dena, 2022.

5. Potenciales beneficios por la implementación de un sistema de garantías de origen de H₂ verde en México

Existe un gran potencial para los países que implementan sistemas de garantías de origen; en esta sección se abordarán los potenciales beneficios para México por la adopción de garantías de origen, los cuales fueron identificados mediante (i) experiencias internacionales de certificación renovable de la sección 2, (ii) las experiencias nacionales en certificación, (iii) las tendencias actuales y esperadas de acuerdo con los organismos internacionales líderes en investigación e impulso al hidrógeno verde y su certificación, y (iv) las perspectivas de actores clave¹⁰² en la industria del hidrógeno en México. Los beneficios se segmentaron en tres sectores clave: económicos, sociales y ambientales.

Dentro de los beneficios identificados, se mencionan datos y proyecciones que tienen relación con el ámbito de cada uno de ellos; dichos datos y proyecciones corresponden al estudio “Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación”¹⁰³, el cual presenta dos escenarios para sus proyecciones: el primero Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (Nationally Determined Contributions - NDC), que asume que México cumplirá con sus compromisos climáticos para cumplir con el Acuerdo de París, y el segundo “Hydrogen Breakthrough” (H₂B), con supuestos más optimistas alineados con las proyecciones del Hydrogen Council. Algunos datos de estos escenarios se mencionan en esta sección para ilustrar ciertos puntos dentro de los beneficios identificados, sin embargo, no son datos completamente dependientes del sistema de garantías de origen.

5.1 Económicos

Impulso a un nuevo mercado de hidrógeno verde

La certificación de hidrógeno verde es un elemento crítico que proporciona credibilidad sobre la sostenibilidad y la calidad del producto que se está comercializando, fungiendo como sustento para la determinación del precio de este tipo de hidrógeno contra el de otros tipos de hidrógeno y combustibles, lo que habilita su viabilidad económica.

Además, las certificaciones para el hidrógeno verde habilitan el comercio nacional e internacional de manera transparente. Con su implementación se impulsarían nuevos usos para el hidrógeno, lo que incrementaría el tamaño de mercado mediante estímulos orientados a acrecentar su oferta y demanda.

Se espera que para 2050, la capacidad nacional de electrólisis podría alcanzar los 38.7 GW; esta capacidad estaría acompañada de una demanda de casi un millón de toneladas de hidrógeno verde por año, lo que equivaldría a la creación de un mercado mexicano de hidrógeno verde valorado en 5.7 mil millones de dólares por año¹⁰⁴. Cabe mencionar que el impulso a este mercado traería beneficios tanto para las empresas privadas que traerían como productores de hidrógeno verde, como para las Empresas Productivas del Estado (EPE). Al ser impulsada la producción de amoníaco y de combustibles sintéticos, así como la refinación, los escenarios planteados establecen que PEMEX podrá contar con un suministro de hidrógeno verde de 800 millones de dólares por año en 2050 (bajo el escenario optimista). De igual manera, para CFE se

proyecta un mercado de 380 millones de dólares por año (2050), con las centrales térmicas como las mayores oportunidades para el hidrógeno verde. Estos escenarios ayudan a tener una mejor idea sobre el potencial de hidrógeno verde en México, lo cual a su vez reafirma la necesidad de certificar la producción de dicho hidrógeno verde.

Impulso a inversión en proyectos de hidrógeno verde

Con las garantías de origen representando una fuente de ingresos adicional a la venta de hidrógeno y garantizando transacciones seguras y transparentes, México estaría en posibilidad de convertirse en un mercado atractivo para un naciente mercado de promoción de combustibles de bajo carbono y de tecnologías de bajas emisiones, tanto para empresas extranjeras como mexicanas.

Para ilustrar este aspecto, un ejemplo de inversión es sin duda Chile, que realizó una ronda de levantamiento de capital de 50 millones de dólares para impulsar proyectos de hidrógeno verde, apoyando a formar un mercado funcional como parte de una de las cuatro líneas de acción de su estrategia nacional, en la cual además se plantea la próxima certificación para el hidrógeno verde.

Habilitación de exportación de hidrógeno verde a países importadores

Al contar con un sistema de garantías de origen compatible con otros países, las ventajas competitivas de México podrían ser aprovechadas haciendo posible las transacciones y la trazabilidad internacional. México cuenta con el potencial para convertirse en un exportador de hidrógeno verde a mercados como Europa y Asia gracias al bajo costo de producción proyectado. Además, México tiene una posición geográfica privilegiada, lo que le permite competir contra otros potenciales países exportadores.

Una gran oportunidad para México sería posicionarse como exportador de hidrógeno verde a Estados Unidos, en donde actualmente hay un gran interés del sector privado por adoptar el hidrógeno como vector energético, lo cual se vio plasmado en la hoja de ruta de hidrógeno elaborada por este sector. México podría aprovechar la cercanía con el territorio estadounidense, su infraestructura de transporte ya instalada, y el creciente interés por alternativas bajas en carbono (por ejemplo, en el estado de California), entre otros.

¹⁰² Los actores clave entrevistados incluyen actores del sector academia e industria.

¹⁰³ GIZ, 2021.

¹⁰⁴ GIZ, 2021.

Mejora en la reputación de las empresas involucradas

Las garantías de origen sin duda mejoran la imagen y reputación ambiental de cualquier organización que invierta en ellas, volviéndola más atractiva para consumidores informados y preocupados sobre el medio ambiente, e incrementando la competencia entre potenciales proveedores. La cultura empresarial podría dirigir sus inversiones a países que tengan establecidos sistemas de certificación para poder alcanzar sus objetivos ambientales, incrementando la credibilidad de marca a través de una iniciativa internacionalmente reconocida.

5.2 Sociales

Mayor seguridad energética (resiliencia y flexibilidad)

Con las garantías de origen se fortalecería y estabilizaría la industria, además, los costos de producción podrían volverse más competitivos. Esto proveería un vector energético libre de combustibles fósiles producido localmente, impactando positivamente en el suministro de energías renovables al aumentar su demanda y producción nacional, mejorando el balance energético mexicano mediante la disminución de importaciones de combustibles fósiles. Esto reduciría el riesgo de interrupciones al suministro eléctrico generado por causas externas que obstaculizan los procesos y la rentabilidad de los proveedores de energía; además, reduciría el impacto en el mercado energético mexicano debido a fluctuaciones de costos de los mercados de combustibles fósiles internacionales y proporcionaría beneficios a las EPE, contribuyendo a la seguridad energética del país.

En un escenario de integración de hidrógeno verde al sistema aislado de Mulegé, la capacidad instalada se incrementaría en aproximadamente un 11% debido al almacenamiento de energía con hidrógeno, lo cual también conduciría a una reducción en el costo de almacenamiento¹⁰⁵.

Creación de empleo en el mercado nacional

Al haber una mayor demanda agregada de hidrógeno verde con garantía de origen, surge la necesidad de nuevos empleos especializados que ayudan a la economía local en las regiones en las que se sitúan las inversiones. Paralelamente, al haber una mayor demanda por espacios para la construcción de plantas de producción, se podría incrementar el ingreso por parte de los administradores de tierras.

Adicionalmente, el hidrógeno verde podría impulsar el desarrollo de nuevas industrias manufactureras en el país. México tiene el potencial de posicionarse como un fabricante líder de FCEV y ser competitivo en la fabricación de turbinas de potencia, transporte y equipos de almacenamiento de hidrógeno. Para 2050, 90,000 personas en México podrían trabajar en infraestructura de hidrógeno verde y producción de FCEV. El 67% del empleo creado estaría en la producción de hidrógeno, el 20% en estaciones de reabastecimiento de hidrógeno (HRS), y el 13% en la industria automotriz en la manufactura de FCEV de hidrógeno¹⁰⁶.

El hidrógeno verde acompañado de garantías de origen puede impulsar la economía y la creación de empleos mientras que cumple con el suministro energético nacional.

Empoderamiento del consumidor y de las comunidades

El objetivo de las garantías de origen en la Unión Europea de acuerdo con CertifHy es empoderar a los consumidores al permitirles elegir el origen de su energía contribuyendo a la transición energética. En México las garantías ayudarían a crear una mayor conciencia entre los usuarios; en un futuro se podría considerar incluir temas relacionados al hidrógeno y su certificación en los sistemas educativos a nivel nacional. Adicionalmente, se tendría un empoderamiento de comunidades al contar con su participación en el desarrollo de proyectos locales que impulsen la industria en el país para posicionarlo como un productor, consumidor y exportador clave a nivel internacional.

5.3 Ambientales

Impulso a la descarbonización

Al construir una industria de hidrógeno verde a escala, en paralelo a un sistema de garantías de origen, apalancado en sistemas internacionales, se impulsará la descarbonización en distintas industrias y la reducción de emisiones, contribuyendo a los actuales o posibles objetivos ambientales planteados por parte del gobierno y las empresas. Las garantías de origen servirán como incentivo para que las empresas implementen y adquieran nuevas tecnologías de hidrógeno verde. Para 2050, la introducción de tecnologías de hidrógeno verde podría reducir más de 4.0 MtCO₂ de emisiones cada año¹⁰⁶.

El sector transporte es el sector que genera más emisiones de GEI, representando una cuarta parte de las emisiones nacionales. La electrificación de la flota de vehículos es una de las medidas a cumplir con las NDC para reducir el 19% de las emisiones del sector. Una alternativa prometedora sin emisiones de carbono consiste en camiones y autobuses pesados de celdas de combustible de hidrógeno (FCEV) enfocados en el segmento de carga de larga distancia y en el transporte público. Para 2050 se esperan medio millón de unidades en México, que podrían reducir hasta en 26.7 MtCO₂ las emisiones en el sector del transporte. La introducción de estos vehículos representaría un mercado de combustible de hidrógeno con valor de 3.6 mil millones de dólares por año.

Otros beneficios ambientales que podría traer el hidrógeno verde se presentan en las industrias de minería, metalurgia, cementera y química, al sustituir materiales procesados con combustibles fósiles, por ejemplo el hierro, y elaborándolos con hidrógeno verde o en la generación de energía térmica.

Para 2050 la introducción de tecnologías de hidrógeno verde podría reducir 3.2 MtCO₂e en las operaciones de PEMEX y hasta 7.6 MtCO₂e en almacenamiento de energía, usos térmicos y otras aplicaciones industriales¹⁰⁷.

¹⁰⁵ GIZ, 2021.

¹⁰⁶ GIZ, 2021.

¹⁰⁷ GIZ, 2021.

El uso del hidrógeno verde en estas industrias debería ir acompañado de garantías de origen para asegurar que los insumos que se están manejando para la elaboración de otros productos, o lo que se está utilizando en ciertos procesos industriales, realmente cuenta con las características atribuibles a la garantía. Esto será necesario para incentivar que se promueva el consumo del hidrógeno verde y se tenga un efecto positivo hacia la transición energética y hacia la transición de paradigma de las empresas, la sostenibilidad.

Control sobre el impacto ambiental al agua y la tierra

Una oportunidad de implementar garantías de origen para hidrógeno verde sería que, en la emisión de la garantía de origen, se incluya también información sobre el uso sostenible del agua y de la tierra utilizada para la generación del hidrógeno. Un análisis del potencial de hidrógeno muestra que, en teoría, hasta 22 TW de capacidad de electrólisis podrían instalarse en todo el país, produciendo alrededor de 1,400 Mton de hidrógeno por año impulsado principalmente por energía fotovoltaica de bajo costo. La cantidad de agua necesaria de forma anual para la producción de dicho potencial sería de 116.8 hm³, que representa el 0.13% del consumo de agua del país en 2017; es decir, menos del 1% del agua utilizada en el país se vería comprometida para estos efectos.¹⁰⁶

Un análisis similar aplicado al uso de tierra para la construcción de las plantas de generación de hidrógeno verde daría una buena idea de lo que se podría lograr sin afectar los recursos naturales; esto se podría realizar por medio de una Manifestación de Impacto Ambiental. Los resultados de este estudio técnico-científico que indica los efectos que puede ocasionar una obra o actividad sobre el medio ambiente se podrían ver reflejados como un atributo dentro de la garantía de origen, comunicándole al consumidor que esos factores fueron evaluados previo a la generación del hidrógeno.

Impulso a energías renovables

Gracias al incentivo de las garantías de origen y el impulso al mercado del hidrógeno verde se impulsaría la inversión en la generación de energía renovable, ya que es un insumo para la generación del hidrógeno. Mientras que los gobiernos buscan modelos con la menor inversión posible para apoyar a las energías renovables, las garantías de origen ayudan al disminuir el costo de estos modelos, proporcionando una fuente de ingresos adicional. La integración del hidrógeno verde con garantías de origen en distintas industrias permitirá una mayor expansión y adopción de las energías renovables. En el sistema eléctrico nacional, el almacenamiento de energía con hidrógeno verde podría permitir un aumento en la generación de energía renovable del 2% en la matriz energética para 2050¹⁰⁶. El principal beneficio de la integración es que permitirá un mayor uso de la energía solar fotovoltaica de menor costo, disminuyendo el costo total del sistema.

En resumen, México tiene una posición privilegiada al estar tan cerca de Estados Unidos, lo cual aunado al potencial renovable del país lo posicionan como un potencial exportador de hidrógeno verde a Estados Unidos, y potencialmente también a

otros países dentro de la Unión Europea y Asia. Por lo anterior, es importante estar alineados en cuanto a la certificación y regulación que desarrollen estos países importadores para cumplir con los requisitos que se están configurando de forma internacional y así estar en posición de explotar el potencial de producción de hidrógeno verde del país.

Cabe destacar que el riesgo de inversión es del desarrollador, ya sea del sector público o privado. Las garantías de origen representan una garantía del producto comercializado, pero también una garantía del mercado que se puede desbloquear al contar con un sistema de garantías compatible internacionalmente implementado en el país. Este sistema podría dar certidumbre a casos de negocio con retornos esperados a largo plazo, lo que habilitaría un financiamiento para los desarrolladores de plantas de generación de hidrógeno verde. Es necesario el financiamiento para poder impulsar al mercado nacional, para desencadenar estudios, pruebas piloto y poder contar con hidrógeno verde a un costo competitivo. Las garantías funcionan como prueba de una fuente de ingresos adicional al comercio del hidrógeno y pueden ayudar a escalar este mercado, atrayendo beneficios, como se mencionó en esta sección, en diversos sectores.

6. Hoja de ruta y recomendaciones para la adopción de garantías de origen de hidrógeno verde en México

Los sistemas de garantías de origen para el hidrógeno se encuentran en constante desarrollo, principalmente en Europa, donde CertifHy ha estado trabajando en desarrollar un sistema desde 2014. Los esfuerzos internacionales de certificación de hidrógeno verde permiten acceder a lecciones aprendidas que pueden acelerar la adopción de garantías de origen y ayudar a trazar una hoja de ruta de alto nivel para México.

Hay actividades específicas que contribuyen a que México logre contar con un sistema de garantías de origen de hidrógeno verde. Estas actividades fueron identificadas y segmentadas en seis fases que, en conjunto, forman una hoja de ruta aplicable para el caso mexicano.



Además, se incluyen en este análisis algunas amenazas y recomendaciones generales para cada una de las fases particulares de la hoja de ruta. Lo anterior, se llevó a cabo con base en (i) análisis de las experiencias internacionales más relevantes en certificación de energía renovable abordadas en la sección 2; (ii) análisis de las experiencias internacionales más relevantes en certificación de hidrógeno verde, identificando los puntos clave de sus sistemas y las lecciones aprendidas; (iii) revisión de las experiencias nacionales en certificación de energía renovable, con especial atención en los retos que se han presentado en el país; (iv) revisión de las recomendaciones y puntos de vista sobre certificación de hidrógeno verde de organismos internacionales reconocidos y líderes en investigación e impulso al hidrógeno verde y su certificación; y (v) entrevistas y una encuesta a actores clave en la industria del hidrógeno en México, para conocer sus perspectivas acerca de la implementación de garantías de origen en México.

Adicionalmente, se tomaron en consideración tres escenarios de implementación de un sistema de garantías de origen en México, con base en las experiencias internacionales analizadas, y que considera la elaboración de una hoja de ruta, implementación y despliegue.

Escenario	Años
Optimista	4
Base	5 a 7
Pesimista	más de 8

Recomendaciones generales

- Es recomendable la adopción de un sistema de garantías de origen con reconocimiento internacional que ya sea utilizado por los principales países objetivo de México, es decir, los países a donde México potencialmente exportaría su producción de hidrógeno verde

que no sea de consumo local, pues este es el enfoque más adecuado para lograr la compatibilidad de los sistemas entre México y los países importadores objetivo. Además de que se espera que la adopción de un sistema internacional avanzado sea más ágil en comparación con el diseño, desarrollo e implementación de un sistema estrictamente nacional.

- Existe el consenso general de que sería ideal que los esfuerzos para contar con un sistema de garantías de origen en México se generen en el corto plazo y de forma ágil. Es decir, que vayan alineados con los esfuerzos generales de adopción y uso del hidrógeno, sin tener que esperar a una etapa de mayor madurez de la industria y del mercado en el país, tomando en cuenta que el tiempo requerido para contar con un sistema de garantías de origen de hidrógeno verde es considerable.

Amenazas generales

- Se considera como una amenaza la posible falta de interés y compromiso de actores clave para impulsar el sistema de garantías de origen, en especial la ausencia de algún sector relevante, por ejemplo, actores del gobierno (incluyendo sector público, reguladores y EPEs). Es necesaria la participación intersectorial durante toda la hoja de ruta propuesta, es decir, contar por lo menos con el involucramiento, participación y compromiso tanto de sector público, sector privado y centros de investigación.
- Una posible amenaza vigente durante todas las fases de la hoja de ruta es la falta de coordinación y dirección de los esfuerzos individuales por parte de actores interesados.

A continuación, se describen las actividades clave y actores principales dentro de cada una de las fases de la hoja de ruta, así como sus correspondientes amenazas y recomendaciones:

6.1 Impulso integral



En primer lugar, es recomendable impulsar de manera integral al hidrógeno verde y a un sistema de garantías de origen. Para lograr el impulso requerido, resulta importante la organización y establecimiento de un consorcio de trabajo en materia de hidrógeno verde dedicado especialmente a los esfuerzos de un sistema de garantías de origen en México, cuyo líder idealmente esté alineado a una misión de promoción al hidrógeno verde y que haya demostrado interés, iniciativa e involucramiento en otros esfuerzos previos para el impulso del hidrógeno verde en el país. Además de este liderazgo, dentro del consorcio sería ideal contar con actores líderes de la industria, sector público, organizaciones no lucrativas y academia, con el objetivo de contar con una visión balanceada que permita considerar aspectos clave de los diferentes ámbitos de un sistema de garantías de origen. A grandes rasgos, el principal objetivo de este consorcio de trabajo sería coordinar cualquier esfuerzo con relación al sistema de garantías de origen en México.

Entre las primeras tareas del consorcio de trabajo, se podría considerar la creación de un foro de partes interesadas que reúna una gran cantidad de actores relevantes nacionales e internacionales en diversos ámbitos, entre ellos: industria, sector público, academia, consumidores finales, ONGs, etc. Estos actores podrían brindar información relevante en sus áreas de especialidad, transmitir sus expectativas y preocupaciones, y apoyar en la validación de los trabajos que el consorcio de trabajo lleve a cabo. Sería conveniente que el consorcio de trabajo diseñara previamente un sistema de gobernanza para el foro de partes interesadas, y que posteriormente abriera convocatoria para sumar a quienes estén interesados en participar; además, el consorcio de trabajo podría apalancar los esfuerzos previos de actuales asociaciones que ya cuentan con un número representativo de actores interesados, para acelerar la integración y crecimiento del foro de partes interesadas.

La convergencia de diversos actores en el foro de partes interesadas podría facilitar el desarrollo de nuevos estudios conjuntos de hidrógeno verde con foco en garantías de origen; lo anterior con el objetivo de mejorar el entendimiento que se tiene de los sistemas, dentro del consorcio y del foro, en materia de sistemas de garantías de origen para hidrógeno verde. Estos estudios pueden abarcar a mayor detalle el potencial de exportaciones de hidrógeno verde de México, identificando los principales países importadores objetivo. Los estudios podrían abarcar además las normas de seguridad necesarias para la producción, manejo y consumo del hidrógeno verde, que permitan impulsar la industria y, por consiguiente, el sistema de garantías de origen.

Resulta importante aprovechar este esfuerzo conjunto para difundir la información trabajada, apoyando al conocimiento, aceptación y adopción del hidrógeno verde en la sociedad en general, así como socializar las experiencias internacionales en certificación de hidrógeno verde.

El consorcio de trabajo podría buscar tener participación en iniciativas internacionales de adopción de garantías de origen para que México esté presente en las discusiones y avances que se están llevando a cabo globalmente. Entre estas iniciativas globales, sería prioritario buscar la participación de México en la IPHE, sobre todo por la colaboración con CertifHy sobre certificación de hidrógeno para garantizar una armonización entre la UE y la metodología internacional que se está configurando. Para esta actividad, resulta importante la participación y compromiso del sector público, pues la IPHE está abierta a entidades gubernamentales nacionales comprometidas con el avance en las tecnologías de hidrógeno y celdas de combustible.

Recomendaciones:

- En la creación del consorcio, es importante considerar que las instituciones gubernamentales tienen un papel muy relevante al momento de garantizar la fiabilidad, transparencia y aceptación en el mercado de los sistemas de certificación; por lo tanto, es recomendable que las instituciones gubernamentales estén involucradas en los esfuerzos llevados a cabo en torno al sistema de garantías de origen en México y que cuenten con presupuesto asignado para su culminación.
- Para crear mayor interés, es muy recomendable que las instituciones gubernamentales de los países productores y exportadores de hidrógeno, en este caso las instituciones de México estén en contacto directo con las instituciones gubernamentales de los potenciales países importadores del hidrógeno verde (estos países objetivo podrían definirse con posteriores estudios).
- Dentro de las instituciones públicas por involucrar en los esfuerzos para el sistema de garantías de origen, sería recomendable buscar la participación principalmente de SENER, SE, SCHP, SEMARNAT, CRE y CENACE, entre otros.
- Existe un consenso entre los actores clave entrevistados en que se requiere el desarrollo de una Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde por el sector público; es recomendable que en dicha estrategia se plasme el compromiso por establecer un sistema de garantías de origen.

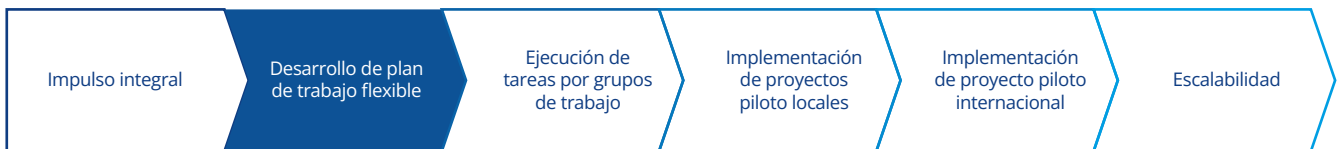
- México podría adoptar e implementar normas internacionales de seguridad en materia de producción y manejo de hidrógeno verde, con un proceso de adaptación al contexto y situación del país, para aquellas actividades específicas donde aún no se cuente con la normatividad suficiente. Los actores clave entrevistados coinciden en que México podría apalancar las normas internacionales de seguridad y adaptarlas para los casos donde sea requerido, con el objetivo de habilitar el desarrollo de proyectos. De esta forma podría darse impulso a la adopción del hidrógeno verde, lo cual a su vez implicaría una creciente necesidad de contar con un sistema de certificación con alcance y validez internacional.
- Es importante que México busque consolidar acuerdos con países importadores de hidrógeno verde desde esta fase inicial. Esto dará una visión más clara del enfoque que deberían tener los próximos pasos, y por lo tanto, fijar valores monetarios iniciales que den pauta al desarrollo del sistema de garantías de origen.
- No contar con el presupuesto o asignación de recursos por parte del gobierno ni de actores clave involucrados.
- Falta de armonización de sistemas de certificación a nivel internacional, esto limitaría el número de países a los que se podría exportar del hidrógeno verde de acuerdo con los requisitos que cada país establezca, traduciéndose en costos más altos y un mercado segmentado.
- No buscar o no lograr en el corto plazo acuerdos internacionales con países importadores que den certidumbre a las inversiones en hidrógeno verde y su certificación.

Se podría considerar como medida alterna, el patrocinio de actores privados distintos al gobierno, no obstante, al ser la energía una actividad económica regulada por el Estado, ese escenario no sería posible dado que no se contaría con la sinergia de quien habilitarían espacios, permisos y coordinación de las distintas autoridades que, por sus atribuciones, deberían estar informadas.

Principales amenazas:

- Potencial falta de representación y participación de algún ámbito específico de actores clave, por ejemplo, del sector público, lo cual afecte a poder contar con una visión integral y consenso.

6.2 Desarrollo de plan de trabajo flexible



Es recomendable la elaboración de un plan de trabajo para la adopción del sistema. Para lograrlo, primero sería necesario que el consorcio de trabajo, considerando también los comentarios de la plataforma de partes interesadas, defina el sistema internacional de garantías de origen que mejor se adaptaría en México, con base en los estudios, información y recomendaciones disponibles hasta ese momento. El sistema por adoptar debe de ser comerciable, transparente y trazable.

Posterior a la selección del sistema internacional, el siguiente paso es desarrollar un plan de trabajo para lograr la adopción exitosa de dicho sistema. Es importante que el plan de trabajo sea flexible, que permita actualizaciones posteriores conforme al avance de las actividades planteadas, y que incluya de forma clara la misión, visión, objetivos generales y específicos, tiempos requeridos y actores involucrados.

Considerando que diversos documentos rectores en la planeación energética del país se actualizan anualmente (p. ej. PRODESEN), resulta necesaria la revisión y actualización del plan de trabajo propuesto de forma anual, para de esta forma tomar en cuenta los cambios significativos presentados

por los documentos rectores en política pública; además resulta altamente recomendable llevar a cabo el seguimiento trimestral de su avance acorde al presupuesto asignado y ejercido para estos efectos.

El objetivo del desarrollo de este plan sería comprometer y alinear a los actores involucrados hacia un mismo objetivo; es así que el consorcio podría validar el plan de trabajo con el foro de partes interesadas para crear un consenso general y a la par, se adopten los compromisos necesarios para una implementación exitosa.

Durante esta fase de plan de trabajo, sería importante también definir grupos de trabajo con tareas designadas para lograr los objetivos específicos del plan. El consorcio podría definir qué equipos de trabajo serían necesarios, y cuáles serían sus actividades generales y específicas, y designar a un líder para cada equipo de trabajo, idealmente de los integrantes del consorcio.

Los grupos de trabajo y sus principales objetivos podrían ir en línea con la siguiente propuesta:

- **Grupo de Trabajo 1:** Facilitar la adopción de definiciones, metodologías y requerimientos establecidos en el sistema de garantías de origen seleccionado en México, mediante: revisión, capacitación y comunicación de estos. Estudiar el potencial de implementar atributos adicionales al sistema adoptado, con enfoque en la sostenibilidad, que permitan diferenciar los productos de México.
- **Grupo de Trabajo 2:** Lograr la adopción práctica del sistema de garantías de origen mediante: revisión y adopción del sistema internacional, desarrollo y ajuste de la documentación necesaria para el sistema con base en el sistema internacional, revisión de sistemas de información necesarios, identificación y solución de problemas prácticos, e identificación, aplicación y comunicación de lecciones aprendidas. Estudiar la factibilidad práctica de los atributos de sostenibilidad adicionales propuestos por el grupo de trabajo 1.
- **Grupo de Trabajo 3:** Identificar posibles problemas de alineación entre el sistema adoptado y la normativa e instituciones mexicanas, así como buscar la mejor solución a dichos problemas. Estudiar la posibilidad de establecer penalidades por uso fraudulento del sistema de garantías de origen (por ejemplo, inhabilitación del productor o comercializador). Revisar la actual documentación disponible que se relacione al hidrógeno verde, para detectar posibles requerimientos de actualización de documentos (por ejemplo, revisar las “Disposiciones Administrativas de Carácter General que contienen los criterios de eficiencia y establece la metodología de cálculo para determinar el porcentaje de energía libre de combustible en fuentes de energía y procesos de generación de energía eléctrica”).
- **Grupo de Trabajo 4:** Diseñar proyectos piloto locales para probar el sistema adoptado; dar acompañamiento en el desarrollo de los proyectos piloto seleccionados y ejecutados; detectar y compartir lecciones aprendidas y posibles mejoras para el sistema con base en los proyectos desarrollados.
- **Grupo de Trabajo 5:** Diseñar proyecto piloto internacional para probar la compatibilidad del sistema adoptado con países que tengan una potencial estrategia de importación de hidrógeno verde; dar acompañamiento en el desarrollo del proyecto piloto; detectar y compartir lecciones aprendidas y posibles mejoras para el sistema con base en los pilotos desarrollados.

Recomendaciones:

Para la selección de un sistema de garantías de origen en esta segunda fase de la hoja de ruta propuesta, se pueden considerar las siguientes recomendaciones:

- La gobernanza es esencial para el éxito de la implementación de un sistema de garantías de origen, por lo tanto, debe haber capacidad de decisión y cumplimiento estricto de los plazos que se establezcan. Es válido contar con la participación de diferentes actores, pero eso no significa que se deba inmovilizar la iniciativa a

varios tomadores de decisión que pudieran generar un “cuello de botella”.

- Es importante que el sistema tenga la capacidad de separar por un lado la información íntegra sobre el origen del hidrógeno verde y, por el otro lado, la etiqueta dependiente del cumplimiento de ciertos requisitos. La información íntegra es objetiva y neutral, mientras que la etiqueta puede cambiar con la evolución de los requisitos internacionales a través del tiempo.
- Es importante que el sistema de garantías de origen considere la calidad de “renovable” de la energía aportada y la huella de carbono asociada, pues ambos son criterios clave imprescindibles según las experiencias internacionales; además, estos atributos están en consonancia con los sistemas de certificación existentes en los mercados internacionales.
- La información sobre la intensidad de carbono y las definiciones dentro del sistema de garantías de origen deben tener claridad, transparencia y una base metodológica científica; además, es importante contar con definiciones aceptadas generalmente, basadas en umbrales de reducción de GEI.
- Se pueden considerar criterios mínimos y criterios opcionales, así como criterios o umbrales no negociables. Los criterios del sistema podrían evolucionar conforme a la madurez de la industria y mercado, buscando no restringir demasiado el mercado en sus etapas tempranas.
- El sistema de garantías de origen debe proporcionar una etiqueta clara para el conocimiento de los consumidores y la diferenciación transparente entre las distintas vías de producción de hidrógeno.
- El sistema de garantías de origen debe permitir el comercio internacional de hidrógeno verde, habilitando las exportaciones en México y ayudando a crear un mercado internacional.
- El sistema debe estar abierto a todas las aplicaciones del hidrógeno, pues, aunque en un principio el sector industrial puede ser el principal usuario final, el sistema ya debería estar preparado para la entrada de distribuidores de hidrógeno.
- El sistema de garantías de origen debe utilizar una metodología sólida y lo más simple posible, desarrollada en un procedimiento paso a paso; que además sea resistente al fraude e incorruptible. La correcta contabilidad y documentación (registro) es esencial, pues esto ayudaría a generar confianza en el consumidor y a evitar la doble contabilidad (doble registro). Es recomendable contar con un registro único de plantas generadoras (censo de plantas) y controles de emisión, comercio y cancelación de garantías con el objetivo de generar garantías únicas y evitar el doble conteo. El registro debería ser resistente al fraude y debería de proveer reportes para diferentes propósitos. El apalancar un registro existente internacionalmente, ayudaría a reducir costos de conexiones entre diferentes bases de registro.

- Es recomendable que la garantía de origen no sea solo informativa, sino que permita tener valor de mercado.
- Por último, es fundamental considerar cuáles son los potenciales países a los que México exportará hidrógeno verde, pues el diseño del sistema de certificación debe seguir al mercado objetivo. Dado que a la fecha no existen definiciones aceptadas generalmente a nivel internacional (por ejemplo, no existe un consenso sobre la definición de “hidrógeno verde”), estas definiciones suelen ser establecidas por el mercado importador en función de sus criterios prioritarios de sostenibilidad. Por lo tanto, en México se deben entender claramente las definiciones aplicables en los mercados de destino y la regulación aplicable.

Considerando los puntos anteriormente enlistados, la adopción del sistema CertifHy representa una ruta viable para el caso México. CertifHy se ha posicionado como el sistema de garantías de origen de hidrógeno más avanzado, y se considera como un potencial modelo por la IPHE para un sistema global unificado. Por lo tanto, estar alineados a este sistema, o al sistema global donde la IPHE apalanque los avances de CertifHy, es por ahora la forma más resiliente tanto para garantizar la compatibilidad con el mayor número de países, como para aprovechar las buenas prácticas y lecciones aprendidas a nivel internacional. Igualmente, se recomienda considerar la afiliación a la AIB para facilitar la transacción y cancelación de garantías entre los países afiliados y México. Es importante estar atentos a las novedades en sistemas de certificación, sobre todo los esfuerzos de la IPHE.

Otro punto que considerar, es estar al tanto de las innovaciones y actualizaciones en el uso de plataformas digitales para conocer su evolución y potencial aplicación en la transición energética. La tecnología denominada blockchain podría ser la base para el establecimiento de un sistema de garantías de origen; este sistema de información es un registro de datos organizado de forma descentralizada que se caracteriza por sus propiedades específicas de seguridad, inmutabilidad, transparencia, robustez y validez colectiva. Esto abre la oportunidad de saltarse etapas de desarrollo tecnológico individuales y posicionarse como un modelo innovador para otras industrias. Con blockchain, a la información se le puede asignar un valor, transmitir y utilizar de manera rastreable, auténtica, automatizada y autoejecutable. Una vez que un dato se almacena en blockchain, está vinculado a todos los demás registros; en otras palabras, se adapta a tareas como las garantías de origen.

En el caso particular del hidrógeno verde, blockchain actúa como un “fedatario digital” que garantiza la autenticidad del registro que avala que el hidrógeno verde que obtiene una empresa se produce con energía renovable. Una vez implantada, la plataforma basada en blockchain será posible la recolección de datos de generación de las plantas de energía renovable, luego verifica la parte que se inyecta en el o los electrolizadores y la cantidad de hidrógeno producido en el proceso, todo para que finalmente, se habilite el monitoreo de la entrega del hidrógeno verde.

Gracias a la pista de auditoría en blockchain, toda la información compartida en la plataforma es confiable, transparente y a prueba de manipulaciones. Este tipo de plataformas podrían reducir los costos y otras barreras de participación en el mercado global a los pequeños productores¹⁰⁸. A continuación, se mencionan dos ejemplos de las iniciativas internacionales en esta materia:

Como ejemplo de trabajo coordinado entre blockchain y certificados de energía, está el Registro Nacional de Energías Renovables (RENOVA) de Chile, el cual busca ser el único registro de producción y consumo de energías renovables en Chile, basado en la tecnología blockchain. El sistema, según información del Coordinador Eléctrico Nacional (CEN), es el resultado de las mesas de expertos público-privadas, cuyo diseño considera evitar la doble contabilidad de la venta y el uso de energías renovables, así como una emisión de certificaciones bajo estándares internacionales¹⁰⁹.

Hablando específicamente de hidrógeno verde, ACCIONA ha desarrollado GreenH₂chain®, la primera plataforma del mundo basada en tecnología blockchain que garantiza el origen renovable del hidrógeno verde. Esta nueva herramienta también permitirá a los clientes verificar el proceso de transporte y entrega de este tipo de energía limpia. En el futuro, GreenH₂chain® será complementario a cualquier sistema oficial dedicado a certificar el origen renovable del hidrógeno, una vez que el sistema esté establecido. La plataforma de ACCIONA ofrecerá su servicio a estos sistemas tanto a nivel europeo como en cada país individualmente¹¹⁰.

En términos de desarrollo de TI, Australia y la Alianza de Hidrógeno de China (China Hydrogen Alliance) están considerando activamente el uso de la tecnología blockchain para las plataformas de certificación, debido a la transparencia y los factores de costo. Se espera que el uso de blockchain ayude con la recopilación y el procesamiento de datos en los sistemas garantías de origen de hidrógeno, lo que permitiría la agregación de lotes de pequeños productores y mayor automatización de las funciones del administrador, junto con otros beneficios. Sin embargo, esto no evita necesariamente la necesidad de cálculos de GEI y sistemas de medición para proporcionar los datos necesarios, los cuales aún pueden ser complejos y deben ser auditados.¹¹¹

Principales amenazas:

- Falta de consenso y eventualmente un vacío de liderazgo entre los actores del consorcio, o actores interesados, en la selección de un sistema internacional de garantías de origen de hidrógeno verde.
- Que no se desarrolle un plan de trabajo realista que guíe a los actores involucrados en los esfuerzos del sistema de garantías de origen, o que el plan de trabajo no considere todos los aspectos clave debido a una falta de visión integral o falta de participación de un ámbito específico de actores clave.

¹⁰⁸ Flexidao, 2021.

¹⁰⁹ Hinicio, 2021.

¹¹⁰ ACCIONA, 2021.

¹¹¹ BEIS, 2021.

6.3 Ejecución de tareas por grupos de trabajo



El consorcio de trabajo podría reunir a los integrantes de cada grupo de trabajo mediante convocatoria abierta al público, en donde actores de diferentes sectores (público, privado, academia, etc.) se postulen para formar parte del grupo de trabajo más acorde a sus capacidades, experiencia e interés, como lo hizo CertifHy. Los grupos de trabajo, como se mencionó en la etapa anterior, podrían ser liderados por un integrante del consorcio, quien sería responsable de que el grupo de trabajo correspondiente siga el plan de trabajo y que los esfuerzos realizados resulten en el cumplimiento de los objetivos generales y específicos.

En esta etapa, el consorcio podría apoyarse de los grupos de trabajo para poner en marcha y cumplir el plan de trabajo. Cada uno de los grupos llevaría a cabo las actividades definidas en el plan con el objetivo de que, al finalizar esta etapa, pueda estar en condiciones de comenzar a implementar proyectos piloto locales (los cuales se integran en la siguiente fase).

Recomendaciones:

- Los esfuerzos pueden ir más allá de la adopción tal cual del sistema internacional. Es posible profundizar y abarcar otros aspectos importantes para medir impacto, como los criterios medioambientales, de abasteci-

miento y consumo de agua, de desarrollo económico social y local, así como de condiciones comunitarias y laborales. Añadir criterios adicionales a las garantías de origen de México podría hacer que los productos exportados sean más atractivos para compradores y mercados específicos. Los grupos de trabajo, en esta propuesta los grupos 1 y 2, podrían analizar criterios adicionales para añadir valor al sistema de México, preferentemente los siguientes: adicionalidad de la energía de entrada, aspectos sociales, la no utilización conflictiva del agua y la no utilización conflictiva de la tierra. Sin embargo, los criterios mencionados son solo una propuesta con base en experiencias internacionales, y será necesario realizar estudios especializados para definirlos y estudiarlos a detalle.

Principales amenazas:

- Que no exista el interés para captar y mantener la participación de los miembros del grupo de trabajo.
- Falta de liderazgo en los equipos de trabajo que afecte el cumplimiento de las tareas y objetivos establecidos.
- Poca o nula alineación con el plan de trabajo desarrollado, lo cual resulte en atrasos en las fases, y eventualmente se abandone la iniciativa.

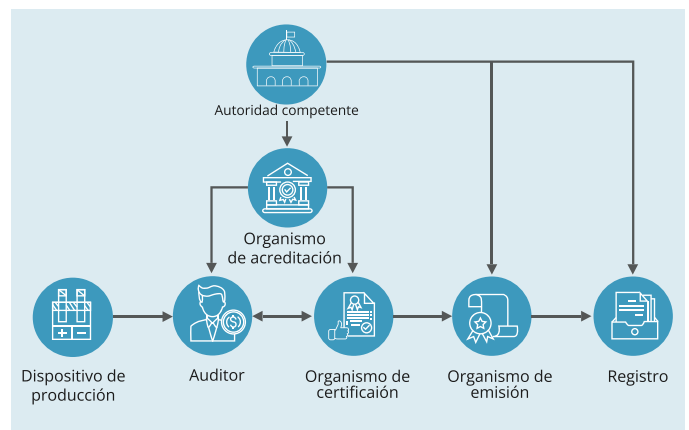
6.4 Implementación de proyectos piloto locales



Una vez adoptado el sistema de garantías de origen, sería útil implementar uno o más pilotos a nivel regional para probar la funcionalidad del sistema con un número limitado y definido de productores y consumidores; estos pilotos irían en línea al diseño desarrollado en la fase anterior por uno de los grupos de trabajo (grupo de trabajo 4 según esta propuesta).

En este escenario, donde México opte por la adopción de un sistema reconocido de forma internacional (CertifHy o equivalente en su momento), se requeriría definir quiénes estarían involucrados en el funcionamiento del sistema de garantías de origen; tomando CertifHy como referencia, se requeriría designar una autoridad nacional competente, un organismo u organismos emisor(es), así como un organismo de acreditación que acredite a los organismos de certificación, los auditores y el registro podrán apalancarse con el sistema internacional definido. A continuación, se muestra nuevamente el sistema CertifHy como referencia:

Figura 27. Roles de CertifHy



Fuente: Imagen tomada de CertifHy Deliverable No. D.4.2. (Traducción, formato adaptado)

La definición de los actores para esta estructura podrá ser desarrollada de manera provisional para posteriormente definir a los actores definitivos, o se podría precisar de manera definitiva en la fase de prueba piloto, esto dependerá de los actores y sus facultades.

El grupo de trabajo 4 podría dar el acompañamiento necesario para que el piloto sea llevado a cabo según lo planeado. Estos pilotos permitirían ganar experiencia práctica en aspectos técnicos y administrativos a los diferentes actores involucrados (por ejemplo, productor, certificador, consumidor) e identificar información clave sobre las complicaciones prácticas del sistema implementado.

El grupo de trabajo correspondiente a los pilotos locales tendría la importante tarea de apoyar a implementar las adecuaciones necesarias para el mejor funcionamiento del sistema. Además, conforme aumente el nivel de madurez de la adopción del sistema, se podrán planear y desarrollar nuevos pilotos a diferentes escalas según la tarea que se requiera poner a prueba.

Otra actividad que resulta importante en esta fase consiste en llevar un control documentado de los resultados de los proyectos piloto, con la finalidad de difundir y socializar los beneficios y avances alcanzados. Esta actividad impulsaría la aceptación y adopción del hidrógeno verde en México, y podría despertar mayor interés en el uso del sistema adoptado de garantías de origen.

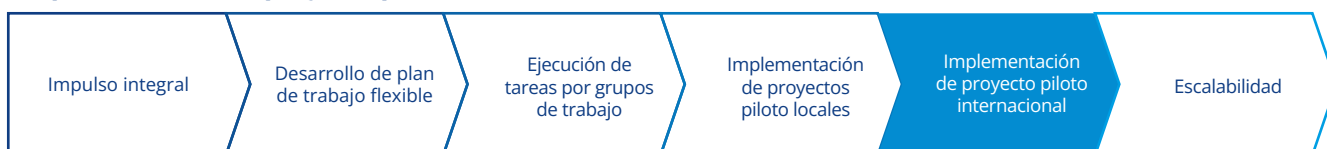
Recomendaciones:

- Comenzar la fase de pilotos con proyectos pequeños, y probar algunos procesos iniciales en lugar de intentar tener todo el sistema completamente en marcha.
- Capacitar a las instituciones mexicanas involucradas en el sistema de garantías de origen, con un liderazgo de esta actividad por el consorcio de trabajo (o su equivalente), dado que las instituciones (reguladores y autoridades) requerirían ampliar sus capacidades técnicas con respecto al uso y aprovechamiento del hidrógeno verde, así como del sistema de garantías de origen.

Principales amenazas:

- Posible falta de capacidad instalada para generación.
- Posible falta de licencia social.
- Posible falta de inversión para proyectos piloto.
- Posible falta o parálisis en entrega de permisos de generación para los proyectos piloto.
- En caso de que el sistema implementado presente muchas condiciones regulatorias y sea muy estricto, se podría desincentivar a los generadores a entrar a un dicho sistema.
- Posibles cambios en la regulación que obstaculicen el desarrollo de planes piloto o cambios en la regulación posterior a la ejecución de los pilotos, lo que cambiaría los resultados obtenidos y las lecciones aprendidas para su aplicación a escala.

6.5 Implementación de proyecto piloto internacional



Luego de que el funcionamiento del sistema en México haya sido optimizado gracias a las lecciones aprendidas de los pilotos locales, el siguiente paso es conducir un proyecto piloto internacional, esto con el objetivo de probar la compatibilidad internacional del sistema. Este piloto (o pilotos) idealmente iría en línea con el diseño desarrollado por el grupo de trabajo correspondiente (grupo de trabajo 5 en esta propuesta); este mismo grupo de trabajo podría dar el acompañamiento requerido para que el piloto pueda ejecutarse con éxito.

Similar a la fase de pilotos locales, esta fase internacional permitiría ganar experiencia práctica en aspectos técnicos y administrativos, e identificar oportunamente información relevante sobre las complicaciones prácticas para alcanzar la compatibilidad del sistema y habilitar las exportaciones de hidrógeno verde de México. Los esfuerzos para este piloto o pilotos internacionales pueden sentar base para la negociación de tratados internacionales con la contraparte (por ejemplo, Unión Europea, Asia-Pacific Economic Cooperation - APEC y

Brasil, Rusia, India y China - BRIC), así como para impulsar y revisar la integración de las garantías de origen de hidrógeno verde dentro de los tratados internacionales actuales de México (por ejemplo, T-MEC, TLCUEM).

Al igual que en los pilotos locales, resulta importante llevar un control documentado de los beneficios y logros alcanzados en esta fase; esto dará señales a otros países del compromiso de México hacia la certificación de hidrógeno verde y sobre el potencial de exportaciones del país.

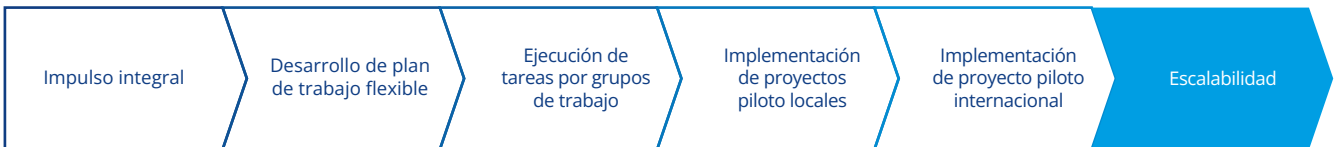
Recomendación:

- Es importante que durante las fases anteriores se hayan llevado a cabo acciones para consolidar acuerdos con países importadores de hidrógeno, lo cual habilite el desarrollo de uno o varios proyectos piloto de forma internacional, sin que comience de cero a partir de esta etapa.

Amenazas:

- Podría presentarse la situación en que el nivel de madurez del piloto nacional no sea el esperado de acuerdo con el cronograma, debido a que aún haya problemas sin resolver en la adopción del sistema, provocando retrasos en un potencial proyecto piloto internacional.
- Cualquier restricción comercial en forma de obligaciones de transporte físico entre países individuales podría generar mercados regionales separados y menos flexibles, lo que podría dividir aún más el mercado en pequeños submercados.
- Falta de acuerdos internacionales para llevar a cabo las pruebas piloto con otros países.

6.6 Escalabilidad



Esta etapa considera que, gracias a los pilotos locales e internacionales, México puede desplegar el sistema de garantías de origen en el territorio nacional y habilitar las exportaciones con países importadores de hidrógeno verde. El trabajo previo realizado por el consorcio de trabajo resulta clave para alcanzar esta etapa.

La flexibilidad del plan de trabajo podría aprovecharse para ajustarse a las condiciones que se presenten en esta etapa, las cuales serían difíciles de definir con exactitud desde las primeras etapas de la hoja de ruta.

Sería importante que para los siguientes pasos hacia la implementación del sistema podrían requerirse un conjunto adicional de estudios de competitividad de costos, proyección de las demandas del mercado e intercambios diplomáticos con respecto al establecimiento de acuerdos de cooperación con otros países

Recomendaciones:

- Los desarrolladores de proyectos de hidrógeno verde deben estudiar y tomar en cuenta los requisitos de certificación, tanto los exigidos por la ley como los solicitados por el mercado, lo antes posible en el proceso de desarrollo del proyecto (para diseñarlo adecuadamente), ya que los ajustes posteriores pueden ser costosos y requerir mucho tiempo para su implementación.
- Es relevante que se haga una revisión y actualización constante y transparente del sistema adoptado y desplegado, teniendo en cuenta que el entorno internacional evoluciona constantemente, y es posible que los atributos, definiciones y otros elementos del sistema se actualicen.
- El gobierno podría definir lineamientos claros para las empresas certificadoras y crear un marco público que permita la trazabilidad pública en todos los sentidos, una vía para lograrlo es implementando las metodologías definidas internacionalmente para el reporte de emisiones en la generación de hidrógeno verde, garantizando un sistema transparente y sencillo.

- Además de apalancar el registro del sistema de certificación internacional, se podría contar con un registro nacional donde se centralice toda la información relevante (bases de datos unificadas).
- Considerar alineación entre diferentes tipos de sistemas de certificación ya existentes (por ejemplo, CELs) y el futuro sistema de garantías de origen para el hidrógeno.
- Se recomienda que la producción y exportación de hidrógeno no debe hacerse a expensas del beneficio de las energías renovables en México y de su seguridad energética, es decir, no arriesgar el suministro de energía renovable en el país para exportar hidrógeno verde.

Amenazas:

- Una potencial amenaza es que los productores de hidrógeno verde y el sector público se enfoquen más en las exportaciones que en el mercado nacional, lo que podría comprometer el potencial consumo de energías renovables en el país, dejándolo en un segundo término.
- Cambios en la regulación que podrían significar un obstáculo para la madurez del mercado de garantías de origen en el país.
- Que el proceso final definido para llevar el mercado de garantías a escala sea muy costoso y burocrático, lo que desincentivaría a los generadores a buscar entrar a este sistema.

7. Conclusiones

Las garantías de origen representan una oportunidad para garantizar los atributos de generación del hidrógeno verde, su calidad y validez de las fuentes de origen de energías limpias que lo producen. Es un importante instrumento que permite que los actores interesados puedan tener acceso al hidrógeno verde a pesar de su ubicación, ayudándolos a cumplir con objetivos ambientales nacionales e internacionales; es en sí un sistema que sirve para comunicar a los usuarios finales el origen de la energía limpia aprovechada para la producción de hidrógeno verde, empoderándolos para tomar decisiones más informadas.

A través de las experiencias internacionales se observa cómo en algunos países han sido implementados exitosamente sistemas de certificación para la energía renovable y cómo los proveedores, gobiernos y consumidores se han visto beneficiados. Estas experiencias han dejado lecciones aprendidas y buenas prácticas a seguir para los sistemas de certificación de hidrógeno verde actual y próximamente en desarrollo.

Este mecanismo que permite la trazabilidad, comercio, uso y cancelación de certificados con información de generación de energía, es un habilitador para el comercio internacional del hidrógeno verde, fomentando la alineación y compatibilidad entre sistemas de diferentes países. El comercio internacional ayudaría a impulsar el mercado llegando a economías de escala que podrían proveer una alternativa de vector energético a un costo de producción competitivo.

Existen algunos sistemas de certificación para el hidrógeno verde a nivel internacional, sin embargo, el más desarrollado hasta el momento, con mayor madurez y apertura es el sistema europeo de garantías de origen para el hidrógeno de CertifHy. Este sistema considera al hidrógeno verde y al bajo en carbono para sus certificaciones, y se encuentra en la última fase de despliegue buscando abarcar combustibles producidos con hidrógeno y alineando a los organismos emisores. CertifHy está trabajando de la mano con la IPHE para desarrollar y definir metodologías de medición, definiciones y reglas de comercio internacional claras, para poder impulsar el mercado del hidrógeno verde internacionalmente.

De acuerdo con este estudio la recomendación más factible para que México cuente con un sistema de garantías de origen para el hidrógeno verde es la adopción de un sistema internacional en el corto plazo, apalancando el conocimiento desarrollado en cuanto a definiciones, metodologías, procesos, estructura de gobernanza, documentación y pruebas piloto. El sistema internacional por adoptar que se recomienda es CertifHy aunado a la búsqueda de la participación de México en la IPHE para estar siempre informado, actualizado y alineado a una de las futuras redes de comercio del hidrógeno internacional.

El adoptar un sistema internacional de garantías como CertifHy tendría grandes beneficios para el país en el ámbito económico: el impulso a un nuevo mercado de hidrógeno verde, a la inversión en proyectos de hidrógeno verde, la habilitación de exportación de hidrógeno verde a países importadores, la mejora en la reputación de empresas; en el ámbito social: mayor seguridad (resiliencia

y flexibilidad) y diversidad energética, la creación de empleo en el mercado nacional, empoderamiento del consumidor y de las comunidades; y en el ámbito ambiental: el impulso a descarbonización, control sobre el impacto ambiental al agua y la tierra y el impulso a energías renovables.

Aunque las garantías de origen representen múltiples beneficios para el país, debemos considerar en dónde se encuentra actualmente México frente a las energías renovables y certificaciones de estas. Representa un gran reto el cumplimiento de la Contribución Determinada a Nivel Nacional para el 2024 de lograr un 35% de generación de energía limpia. Adicional, el país cuenta con pocos instrumentos para la promoción de energías limpias, siendo uno de ellos el esquema de los Certificados de Energía Limpia, y que en los últimos años ha enfrentado resistencias en cuanto a la culminación de instrumentos regulatorios para su habilitación en mercados de corto plazo, así como a los cambios en su regulación. Lo anterior además de visualizarse como barreras para el desarrollo de un sistema de garantías de origen en México, también representan valiosas lecciones aprendidas que pueden ser capitalizadas de forma positiva para un sistema de garantías de origen adecuado a las características del país.

Las garantías de origen pueden ser una gran herramienta para impulsar la generación de hidrógeno verde y acrecentar al mercado. Sirven como garante de certidumbre de un futuro comercio de este vector energético, lo que podría habilitar financiamientos para proyectos de infraestructura e investigación. Hoy en día existe una actitud nacional positiva en torno al hidrógeno verde, hay una convicción por varios de que puede ser una alternativa para el planeta y para el país.

Resulta importante buscar la participación del gobierno con un pronunciamiento frente a las oportunidades que representa el hidrógeno verde, por ejemplo, a través de una estrategia nacional de hidrógeno, y que se planteen los mecanismos necesarios para garantizar que una inversión en el país con rendimientos esperados a largo plazo pueda operar bajo un esquema normativo estable que proteja la inversión y el crecimiento de la industria. El no garantizar esto, haría que México se rezague en este potencial mercado mundial, que, como se plantea en el documento, está siendo adoptado e implementado por potencias económicas mundiales.

Una vez que exista una dirección clara a nivel nacional sobre el futuro del hidrógeno verde, se podría considerar el adoptar el sistema de garantías de origen recomendado, para esto se plantea una hoja de ruta en este estudio. Esta hoja de ruta fue desarrollada con base en la experiencia de otros países y cuenta con 6 fases: Impulso integral del vector, desarrollo de plan

de trabajo flexible, ejecución de tareas por grupos de trabajo, implementación de proyectos piloto locales, internacionales y la escalabilidad de generación y las transacciones. Esta hoja de ruta plantea que México podría implementar un sistema de certificación entre 5 y 8 años. Cada fase de la hoja de ruta cuenta con recomendaciones y amenazas identificadas. Sin embargo, un factor indispensable para poder llevar a cabo esta hoja de ruta es la colaboración entre el sector público, académico y privado. Con el conocimiento y las facultades de cada uno de estos sectores México podría convertirse en un exportador, consumidor y generador de hidrógeno verde; siendo uno de los mayores jugadores en este nuevo mercado.

La incorporación del hidrógeno verde al balance energético nacional como energía alternativa representa una gran oportunidad para México. Para aprovecharlo, el país debe sumarse a acciones que aceleren su incorporación en este nuevo mercado mundial, y es allí en donde las garantías de origen representan al instrumento base para un potencial de exportación sin precedentes, que ayudará a consolidar una generación de valor que sale de lo estrictamente económico y que permea positivamente en la sociedad y el cuidado al medio ambiente.

8. Bibliografía

Acuerdo de París. (2015). Recuperado de https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf

AIB. (s.f.). Guaranteeing the origin of European energy. Recuperado de <https://www.aib-net.org/>

Australia Clean Energy Regulator. (2021). Hydrogen certification trial sets the stage for burgeoning industry. Recuperado de <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/About/Pages/News%20and%20updates/NewsItem.aspx?ListId=19b4efbb-6f5d-4637-94c4-121c1f96fcfe&ItemId=1029>

Australia Clean Energy Regulator. (2021). Renewable Energy Target. Recuperado de <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/RET/Pages/default.aspx>

BerkeleyLaw, University of California. (2019). California climate policy fact sheet: Low Carbon Fuel Standard. Recuperado de <https://www.law.berkeley.edu/wp-content/uploads/2019/12/Fact-Sheet-LCFS.pdf>

California Air Resources Board. (2021). Low Carbon Fuel Standard: Data Dashboard. Recuperado de <https://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/dashboard/dashboard.htm>

California Air Resources Board. (s.f.). Low Carbon Fuel Standard (LCFS Basics with Notes). Recuperado de <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-09/basics-notes.pdf>

California Air Resources Board. (s.f.). Low Carbon Fuel Standard. Recuperado de <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard>

Cámara de Senadores. (22 mayo 2019). Gaceta del Senado. Recuperado de https://www.senado.gob.mx/64/gaceta_del_senado/documento/95687

CA-RES. (s.f.). Working group 10 Guarantees of Origin. Recuperado de https://www.ca-res.eu/fileadmin/cares/PublicArea/CARES1FinalPublication/CA_-_RES_I_WG10_Guarantees_of_Origin.pdf

CertifHy. (2016). Developing the 1st EU-wide Guarantee of Origin scheme for Premium Hydrogen. Recuperado de <https://www.hinicio.com/file/2017/01/CertifHy-Presentation-short-final.pdf>

CertifHy. (2016). Recommendations on the establishment of a well-functioning EU hydrogen GoO system

CertifHy. (2016). Roadmap for the establishment of a well-functioning EU hydrogen GO system. Recuperado de <https://www.hinicio.com/file/2017/01/D5-1-Implementation-Roadmap-v15-final.pdf>

CertifHy. (2017). Creating the 1st EU-wide Guarantee of Origin for Green Hydrogen Overview of CertifHy phase 1 and GO schemes. Recuperado de https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/CertifHy_Overview_phase1_EN_V1.pdf

CertifHy. (2019). CertifHy Scheme. Recuperado de https://www.certifhy.eu/wp-content/uploads/2021/11/CertifHy_Scheme.pdf

CertifHy. (2019). CertifHy Scheme: Procedure 1.3. GO cancellation. Recuperado de <https://www.certifhy.eu/wp-content/uploads/2021/11/GO-Cancellation.pdf>

CertifHy. (2019). CertifHy Scheme: Procedure 1.4. GO expiry. Recuperado de <https://www.certifhy.eu/wp-content/uploads/2021/11/GO-Expiry.pdf>

CertifHy. (2019). CertifHy Scheme: Procedure 1.4. GO issuing. Recuperado de <https://www.certifhy.eu/wp-content/uploads/2021/11/GO-Issuing.pdf>

CertifHy. (2019). Towards a Dual Hydrogen Certification System for Guarantees of Origin and for the Certification of Renewable Hydrogen in Transport and for Heating & Cooling. Recuperado de https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/documents/280120_Final_Report_CertifHy_publishing%20approved_publishing%20%28ID%207924419%29%20%28ID%207929219%29.pdf

CertifHy. (2020). CertifHy phase III will implement a harmonized H₂ Guarantee of Origin (GO) scheme across Europe & beyond, build a market for H₂GO trade in close collaboration with market actors, and design a Certification Scheme for compliance with RED II renewable fuels for transport. Recuperado de <https://www.tuvsud.com/en/press-and-media/2020/december/certifhy-phase-iii-will-implement-a-harmonized-h2-guarantee-of-origin-scheme>

CertifHy. (2022). Certification Schemes. Recuperado de <https://www.certifhy.eu/>

CertifHy. (n.d.). Developing a European Framework for the generation of guarantees of origin for green hydrogen Definition of Green Hydrogen, outcome & scope LCA analysis. Recuperado de <https://www.hinicio.com/file/2017/01/CertifHy-definition-outcome-and-scope-LCA-analysis.pdf>

COFECE. (2021). Transición hacia mercados competidos de energía: Los Certificados de Energías Limpias en la industria eléctrica mexicana. Recuperado de <https://www.cofece.mx/transicion-hacia-mercados-competidos-de-energia-los-certificados-de-energias-limpias-en-la-industria-electrica-mexicana/>

Congressional Research Service. (2021). A Low Carbon Fuel Standard: In Brief. Recuperado de <https://sgp.fas.org/crs/misc/R46835.pdf>

- Dena. (2019). Blockchain in the integrated energy transition. Recuperado de https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-Studie_Blockchain_Integrierte_Energiewende_EN2.pdf
- DENA. (2022). Global Harmonisation of Hydrogen Certification. Recuperado de <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/report-global-harmonisation-of-hydrogen-certification/>
- ECOS. (2020). The Challenges of Guarantees of Origin for Certified Renewable Hydrogen. Recuperado de <https://ecostandard.org/publications/success-guaranteed-the-challenges-of-guarantees-of-origin-for-certified-renewable-hydrogen/>
- EIA. (2021). Renewable energy explained. Recuperado de <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/portfolio-standards.php>
- EKOenergy. (s.f.). Our ecolabel and network. Recuperado de <https://www.ekoenergy.org/about-us/>
- EPA. (2018). Guide to Purchasing Green Power. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-01/documents/purchasing_guide_for_web.pdf
- Flexidao. (s.f.). Green Hydrogen: How to Guarantee its Renewable Origin. Recuperado de <https://www.flexidao.com>
- GIZ. (2021). Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación Tomo I-VII. Recuperado de <https://www.energypartnership.mx/es/elementos-multimedia/>
- GIZ. (2021). Requirements for the production and export of green-sustainable hydrogen. Recuperado de https://www.energypartnership.cl/fileadmin/user_upload/chile/media_elements/Studies/EP_CHL_Production_of_green_sustainable_hydrogen_final.pdf
- Green-e. (s.f.). Find Green-e Certified. Recuperado de <https://www.green-e.org/certified-resources>
- H₂ Global. (s.f.). Shaping the global energy transition. Recuperado de <https://www.h2-global.de/>
- HINICIO. (2021). Deliverable 2: Benchmark of international practices on low-carbon and green H₂ certification mechanisms. Recuperado de https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/green_hydrogen_certification_-_international_benchmark.pdf
- HINICIO. (2021). Deliverable 4: Advisory report on the development of a Green Hydrogen certification scheme in Chile. Recuperado de https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/green_hydrogen_certification_-_advisory_report.pdf
- International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy [IPHE]. (2021). Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated With the Production of Hydrogen. Recuperado de https://www.iphe.net/_files/ugd/45185a_ef588ba32fc54e0eb57b0b7444cfa5f9.pdf
- International Renewable Energy Agency [IRENA]. (2020). The World Power-to-X Summit 2020, SESSION 4 IRENA - Collaborative Framework for Green Hydrogen. Recuperado de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Articles/2020/Oct/Morocco_PtX_IRENA_session-summarypdf?la=en&hash=2BF20AE0F8272EF0E813A3E0D78A7A742D904075
- IRENA. (2020). Green Hydrogen: A guide to policy Making. International Renewable Energy Agency. Recuperado de <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Green-hydrogen>
- México CO₂. (s.f.). Plataforma Mexicana de Carbono. Recuperado de <https://www.mexico2.com.mx/index.php>
- National Renewable Energy Laboratory. (2015). Renewable Electricity: How do you know you are using it? Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64558.pdf>
- naturemade. (s.f.). naturemade certification for energy from renewable and green sources. Recuperado de <https://www.naturemade.ch/en/naturemade-zertifizieren.html>
- Ofgem. (s.f.). Renewables Obligation (RO). Recuperado de <https://www.ofgem.gov.uk/environmental-and-social-schemes/renewables-obligation-ro>
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (UE). (2009). DIRECTIVA 2009/72/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:ES:PDF>
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (UE). (2018). DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=ES>
- PJM-EIS. (s.f.). About GATS. Recuperado de <https://www.pjm-eis.com/getting-started/about-GATS>
- Roundtable on Sustainable Palm Oil [RSPO]. (2020). RSPO Supply Chains. Recuperado de <https://rspo.org/certification/supply-chains>
- SAT. (s.f.). Complemento Carta Porte. Recuperado de <https://www.sat.gob.mx/consultas/68823/complemento-carta-porte-#>

Secretaría de Economía. (s.f.). Validación del Certificado de Origen de Artículos Mexicanos. (SE-03-048). Recuperado de <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/se-03-048>

SEGOB. (2017). La SENER entregó a la CRE el paquete de primeras Reglas del Mercado Eléctrico. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/prensa/la-sener-entrego-a-la-cre-el-paquete-de-primeras-reglas-del-mercado-electrico?idiom=es>

SEGOB. (s.f.). Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: Energía Asequible y No Contaminante. Recuperado de <https://www.gob.mx/agenda2030/articulos/7-energia-asequible-y-no-contaminante>

SEMARNAT. (2020). Contribución Determinada a nivel Nacional. Recuperado de <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Mexico%20First/NDC-Esp-30Dic.pdf>

SEMARNAT. (2021). Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/685848/SEMARNAT_081121_EV.PDF

SENER. (2014). DOF Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de Certificados de Energías Limpias y los requisitos para su adquisición. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5366674&fecha=31/10/2014

SENER. (2019). DOF Acuerdo por el que se modifican los Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de Certificados de Energías Limpias y los requisitos para su adquisición. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5576691&fecha=28/10/2019

SENER. (2021). Ley de la Industria Eléctrica Recuperado de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lielec.htm>

SENER. (2021). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2021-2035. Capítulo 5, página 96. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/prodesen-2020-2034-268879>

SENER. (7 de febrero 2020). DOF Acuerdo por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, en términos de la Ley de Transición Energética. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020

Servicio Nacional de Información de Comercio Exterior. (s.f.). Certificado de origen. Recuperado de https://www.snice.gob.mx/cs/avi/snice/certificado_de_origen.html#:~:text=El%20certificado%20de%20origen%20es,los%20que%20M%C3%A9xico%20forme%20parte.

Statnett. (s.f.). NECS – Norwegian Energy Certificate System. Recuperado de <https://necs.statnett.no/home>

The International REC Standard. (2020). Facilitating standardized REC schemes around the world. Recuperado de <https://www.irecstandard.org/about-us/#/>

Toyota. (2018). Plan to Develop Aichi Low-carbon Hydrogen Supply Chain Moves Forward. Recuperado de <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/22312931.html#:~:text=In%20order%20to%20increase%20awareness,first%20project%20to%20be%20certified.>

Tratado de Libre Comercio de América del Norte. (2019). Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/465786/05ESPProcedimientosdeorigen.pdf>

Tratado de Libre Comercio entre México y la Unión Europea. (2020). Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/575390/Cap_tulos_Consolidados.pdf

VOX. (2015). RECs, which put the “green” in green electricity, explained. Recuperado de <https://www.vox.com/2015/11/9/9696820/renewable-energy-certificates>

9. Resumen de entrevistas

Se realizó una breve encuesta a actores clave para conocer su perspectiva sobre el tema de hidrógeno verde en México, la visión de estado y garantías de origen. Posterior a la encuesta se realizó un análisis para identificar los principales hallazgos los cuales se presentan a continuación:

- La mayoría de los encuestados considera que México tiene la experiencia y capacidades técnicas necesarias para la adopción por etapas del hidrógeno como vector energético, aunque es necesaria una Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde por parte del sector público para dar impulso a la industria en el país.
- Se considera que la adopción de un sistema internacional de garantías de origen (GO) podría dar impulso a la adopción del hidrógeno verde en. Este sistema de certificación debería implementarse en el corto plazo a la par de los esfuerzos en regulación general de hidrógeno, sin embargo, los encuestados consideran que son necesarias capacidades técnicas adicionales en las actuales instituciones de México para la implementación de un sistema de certificación. Las instituciones que más consideran que deberían de estar involucradas en el desarrollo e implementación del sistema de garantías son: SENER, SHCP, SE, SER y CRE.
- Existe un consenso entre los actores entrevistados de que México podría adoptar y adaptar normas internacionales en materia de seguridad para las actividades específicas de la cadena de valor del hidrógeno que aún no estén cubiertas actualmente, con el objetivo de habilitar la cadena de valor y así permitir el desarrollo de proyectos, lo cual impulse la adopción y despliegue del hidrógeno en el país.

Los hallazgos de las opiniones de los actores fueron incluidos en el documento como parte de las recomendaciones para la implementación de la hoja de ruta.

10. Anexos

ANEXO 1

Detalles adicionales LCFS

Acreditación Proveedor de Combustible

Todos los combustibles de transporte necesitan una puntuación de CI para participar en el LCFS; el tipo de combustible dicta qué proceso se utiliza para determinar dicho CI. El siguiente diagrama muestra el proceso básico para la generación de crédito, que, en este tipo de acreditación, se calculan en función de 1) el puntaje de CI que se determina en la solicitud inicial, 2) el Índice de Eficiencia Energética (EER) para el tipo de vehículo en el que se usa el combustible y 3) la cantidad de combustible informada en la solicitud. Los créditos se emiten trimestralmente.

El diagrama muestra el proceso básico para la generación de créditos. Los créditos para Proveedor de Combustible se calculan en función del puntaje de CI que se determina en la solicitud inicial, la relación de economía de energía o EER para el tipo de vehículo en el que se usa el combustible y la cantidad de combustible reportada. Los créditos se emiten trimestralmente, son verificados cada año.

Oportunidades de crédito con base en proyectos

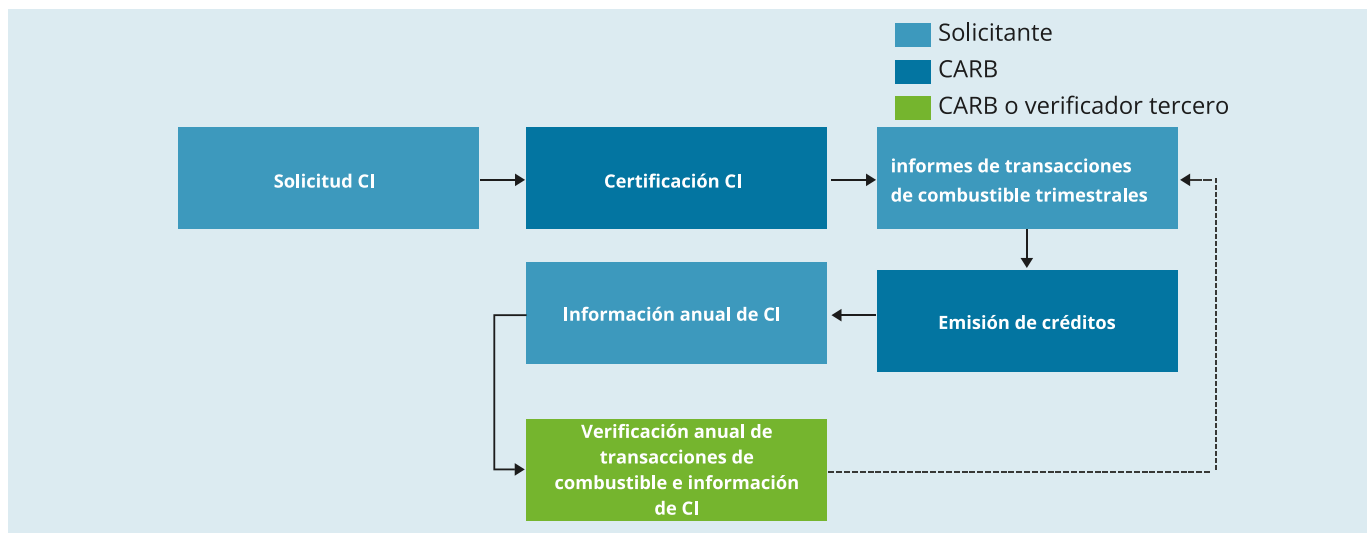
El LCFS contiene dos disposiciones de crédito para refinerías, una oportunidad de crédito para la producción de crudo, y la captura de carbono.

La disposición de créditos para refinerías de hidrógeno renovable permite a las refinerías generar créditos mediante el uso de hidrógeno renovable para producir gasolina y diésel. El hidrógeno renovable puede producirse mediante SMR¹¹² de gas natural renovable o mediante electrólisis utilizando electricidad renovable.

La disposición de créditos de inversión en refinerías les permite generar créditos por proyectos de reducción de GEI en la refinería, como el uso de fuentes de energía renovables, la conversión de fuentes de energía de combustión en electricidad, el uso de la captura de carbono y los proyectos de mejora de procesos.

La disposición de créditos para la producción de crudo apoya las tecnologías innovadoras para la generación de vapor o calor solar, la electricidad basada en la energía solar o eólica, la energía renovable de gas natural o biogás, y la captura y secuestro de carbono.

Figura 28. Proceso básico de generación de crédito



Fuente: Imagen tomada del documento Low Carbon Fuel Standard (LCFS Basics with Notes). (Traducción, formato adaptado)

¹¹² Steam Methane Reforming.

