

Análisis para la implementación de esquemas de certificación de origen del hidrógeno en Colombia.

Como empresa de propiedad federal, la GIZ apoya al gobierno alemán en la construcción de sus objetivos en el ámbito de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible.

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficinas Registradas

Bonn and Eschborn, Germany
Friedrich-Ebert-Alle 32 + 36 53113 Bonn, Deutschland
T + 49 228 44 60-0
F + 49 228 44-17 66
Dag.Hammarskjöld – Weg 1-5 65760 Eschborn, Deutschland T +49 61 96 79-0
F + 49 61 96 79-11 15
E info@giz.de | www.giz.de

Reporte por

Hidrógeno Colombia
XM
GIZ GmbH

Autores

Mónica Gasca, Hidrógeno Colombia
Juan Giraldo, Hidrógeno Colombia
Nicolás Zea, XM

Revisores

Patricia Dávila, GIZ GmbH
Ricardo Gedra, CCEE
Francisco Charry, XM

El Programa Internacional de Fomento del Hidrógeno (H2Uppp) del Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK) DE Alemania, promueve el desarrollo del mercado del hidrógeno verde en determinados países en desarrollo y emergentes como parte de su Estrategia Nacional de Hidrógeno.

La ejecución del proyecto H2Uppp se encuentra a cargo de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en nombre del Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK).

Bogotá D.C, julio 2024

CONTENIDO

Tablas	4
Figuras	4
Lista de siglas y abreviaciones	5
1 Introducción	6
2 Casos de estudio de certificación	8
2.1 TÜV Rheinland H2.21	8
2.1.1 Pasos para la certificación	9
2.1.2 Incidencia de los atributos de certificación	12
2.1.3 Documentación requerida para la realización de trámites en Colombia	15
2.2 CERTILAC	21
2.2.1 Pasos para la certificación	22
3 Rol de XM en la aplicación de certificaciones	28
3.1 EcoClic	28
3.2 Rol de XM en el flujo de certificación de TÜV Rheinland H2.21	30
3.3 Rol de XM en el flujo de certificación de CertHILAC	33
4 Propuesta de esquema de certificación Nacional	34
4.1 Mercado Objetivo	35
4.1.1 Mercado de exportación - Unión Europea	35
4.1.2 Mercado Interno - Colombia	36
4.1.3 Atributos	37
4.1.4 Normativas y estándares de referencia	38
4.1.5 Categorías y reporte de atributos	39
4.1.6 Estructura y gobernanza del esquema	41
4.1.7 Precertificación y certificación	42
4.1.8 Proceso de reconocimiento por parte de los mercados objetivo	43
5 Análisis de proyectos en operación	44
5.1 Análisis de proyectos en operación/construcción	44
Conclusiones	49
Referencias	50

Tablas

Tabla 1 Requerimientos para la subcategoría de Hidrógeno Verde	16
Tabla 2 Requerimientos para la subcategoría RFNBO (RED II)	18
Tabla 3 Requerimientos para la subcategoría Hidrógeno Carbono Neutral	20
Tabla 4 Atributos según la categoría del esquema CertHILAC.....	23
Tabla 5 Atributos según el mercado objetivo para CertHILAC	25
Tabla 6 Atributos según las regulaciones del mercado objetivo	37
Tabla 7 Recopilación de estándares de referencia principales para el desarrollo de un esquema de certificación	38
Tabla 8 Resumen de análisis de proyectos en operación y construcción	Error! Bookmark not defined.

Figuras

Figura 1. Resumen de los esquemas de certificación voluntaria analizados.....	7
Figura 2. Categorías y subcategorías del estándar H2.21.	9
Figura 3. Límites de contabilidad de emisiones en TÜV Rheinland H2.21.....	10
Figura 4. Diagrama de bloques de equipos y de flujo de insumos, productos y residuos en la cadena de valor del hidrógeno a tener en cuenta en los balances de huella de carbono.....	13
Figura 5. Configuraciones propuestas para esquema CertHILAC.	22
Figura 6. Estructura del esquema TÜV Rheinland H2.21 y posibles roles de XM dentro del flujo de certificación.....	32
Figura 7. Estructura de CertHILAC y posibles roles de XM dentro del flujo de certificación.	34
Figura 8. Sistema de pasaporte de hidrógeno propuesto por la Agencia Internacional de Energía.....	40
Figura 9. Estructura de categorías y atributos requeridos según el mercado objetivo.	41
Figura 10. Estructura y gobernanza de esquema propuesto para XM.	Error! Bookmark not defined.

Lista de siglas y abreviaciones

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
RFNBO	Combustible Renovable de Origen No Biológico
RED	Directiva de Energías Renovables
CCU	Captura y Uso de Carbono
LOHC	Portadores de Hidrógeno Líquidos Orgánicos
PPA	Acuerdo de Compra de Energía
UE	Unión Europea
PCF	Huella de Carbono de Producto
HFC	Hidrofluorocarburos
PFC	Perfluorocarburos
DDBB	Bases de Datos
LAC	Latinoamérica y el Caribe
GHGP	Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard
WRI	World Resources Institute
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
OVV	Organismo Validador y Verificador
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable
SIN	Sistema Interconectado Nacional
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
CCEE	Cámara de Comercialización de Energía Eléctrica de Brasil
IEA	Agencia Internacional de Energía
PEM	Membrana de Intercambio de Protones
EPM	Empresas Publicas de Medellín

1 Introducción

Actualmente, el Gobierno colombiano está enfocando esfuerzos en cumplir las acciones de la Hoja de Ruta del Hidrógeno expedida en 2021. Una de esas acciones es desarrollar lineamientos entorno a la certificación de origen, motivo por el cual el Ministerio de Minas y Energía ha estado analizando el tema y tiene dentro de su agenda regulatoria reglamentarlo en 2024.

Buscando contribuir a ese objetivo, y teniendo en mente que este tema ha sido ampliamente desarrollado a nivel internacional y hay varias metodologías que se podrían aplicar para hacer este proceso eficiente y estandarizado, en los entregables anteriores de esta consultoría se describieron las diferentes certificaciones voluntarias de origen del hidrógeno aplicadas a nivel mundial y se realizaron los análisis para determinar la viabilidad de su implementación a través del portafolio de servicios de la empresa XM.

XM al ser el operador y administrador del mercado eléctrico colombiano, es una empresa que cuenta con las capacidades humanas y tecnológicas para administrar de manera confiable gran cantidad de datos e interactuar con una multiplicidad de agentes, lo que representa una ventaja cuando hablamos de certificaciones de origen del hidrógeno pues, en este mercado, serán distintos agentes de diversos sectores los involucrados en la certificación y consumo del vector energético y sus derivados, así como los requerimientos en materia de información relacionada a su producción y comercialización. Así mismo, XM ha desarrollado EcoClic, una plataforma de soluciones tecnológicas basadas en la sostenibilidad, las cuales permiten desde la emisión de certificados de energía renovable (EcoGox), hasta la gestión de bonos de carbono (Karbonoa). En particular se resalta que estos desarrollos suponen un avance importante en lo que sería la medición y verificación de los diferentes atributos asociados al hidrógeno.

Después de analizar 9 certificaciones en el entregable anterior, de las cuales se realizó un estudio a profundidad en 5 de ellas, se escogieron los dos casos más completos y con oportunidad de ser aplicados en el mercado colombiano, el esquema de TÜV Rheinland H2.21, por ser uno de los más actualizados, y el esquema de CETHILAC, que está siendo promovido a nivel mundial por el Banco Interamericano de Desarrollo como el esquema de certificación de la región de Latinoamérica y el Caribe (ver Figura 1).

El objetivo de este documento se centra en identificar una hoja de ruta para viabilizar y materializar la implementación, a través de XM, de los dos esquemas seleccionados en el entregable anterior, promoviendo en nuestro país un proceso de certificación de hidrógeno que tenga en cuenta los lineamientos internacionales existentes, evite duplicidades y retrasos en la entrada de los proyectos, y promocióne el uso de las herramientas, capacidades y conocimientos existentes en el país para desarrollar un proceso eficiente y ágil. Así mismo, se realiza una recomendación de las características que debería tener un esquema de certificación nacional.

Figura 1. Resumen de los esquemas de certificación voluntaria analizados.

Título	Etiqueta	Límite de emisiones kgCO ₂ eq/kgH ₂	Perímetro	Requerimientos de oferta de energía	Ruta de Producción de Hidrógeno	Modelo de cadena de custodia
GH2 Green Hydrogen Organisation	H ₂ Verde	1.0				No especificado
ISCC PLUS ISCC	H ₂ derivado de la energía Renovable	3.4				Balance de masa, segregación física y blending controlado
CertifHy Certificación para el hidrógeno verde y bajo en carbono	H ₂ Verde	4.4				No especificado
	H ₂ Bajo en carbono	4.4				No especificado
TÜV Rheinland Standard H2.21	H ₂ Renovable	3.4	Cradle to X			No especificado
	H ₂ Bajo en carbono	3.4	Cradle to X			No especificado
TÜV SÜD CMS 70	H ₂ Verde	3.4				Book & Claim
	H ₂ Verde +	3.4				Balance de masa

1 Incluye metano aguas arriba	Requerimiento de la oferta de energía		Solar, eólico, hidro,	Ruta de producción de hidrógeno especificada		
2 Al punto de producción		GO + adicionalidad		Nuclear / Biomasa		Electrólisis
3 Al punto de uso		No GO /adicionalidad específica		Red o no específico		RMV Fósil/RAT con captura de carbono
Cradle to X: a un punto definido						RMV Biogas

Nota: RAT = Reformado Autotérmico; GO = Garantía de Origen; RMV = Reformado de Metano con Vapor

Fuente: Elaboración Propia.

2 Casos de estudio de certificación

2.1 TÜV Rheinland H2.21

Este esquema cuenta con dos categorías principales a partir de las cuales se puede certificar el origen del hidrógeno: Hidrógeno Renovable a Hidrógeno Bajo en Carbono. Estas dos categorías a su vez cuentan con subcategorías, como se puede observar en la Figura 2, cuyo objetivo es abarcar todas las vías disponibles para la producción de hidrógeno por medio de diferentes tecnologías y materias primas. Es por esto que a cada categoría se le asigna a su vez subcategorías, para cada una de las cuales se establecen atributos y criterios específicos que deben cumplirse para lograr la certificación. En particular, en este análisis se priorizaron 3 subcategorías: Hidrógeno verde, RFNBO (RED II) e Hidrógeno Carbono Neutral. Las dos primeras pertenecientes a la categoría de Hidrógeno Renovable y la restante a la categoría de Hidrógeno Bajo en Carbono.

La priorización de estas tecnologías se realizó pensando en los tipos de proyectos de hidrógeno que se están desarrollando en este momento en Colombia, donde la mayoría son proyectos de hidrógeno verde, muchos de ellos dedicados a la exportación, así como, proyectos de electrólisis que tomarán algún porcentaje de su energía de la red de transmisión existente [1]. Es de resaltar que las definiciones, criterios y atributos establecidos en el estándar H2.21 pueden diferir de definiciones análogas que puedan encontrarse en otros esquemas de certificación, informes o legislaciones de diferentes países como Colombia, donde la definición de Hidrógeno Verde (Ley 2099 de 2021) cuenta con un objetivo y alcance distintos al de la definición de Hidrógeno Verde de la subcategoría de este estándar.

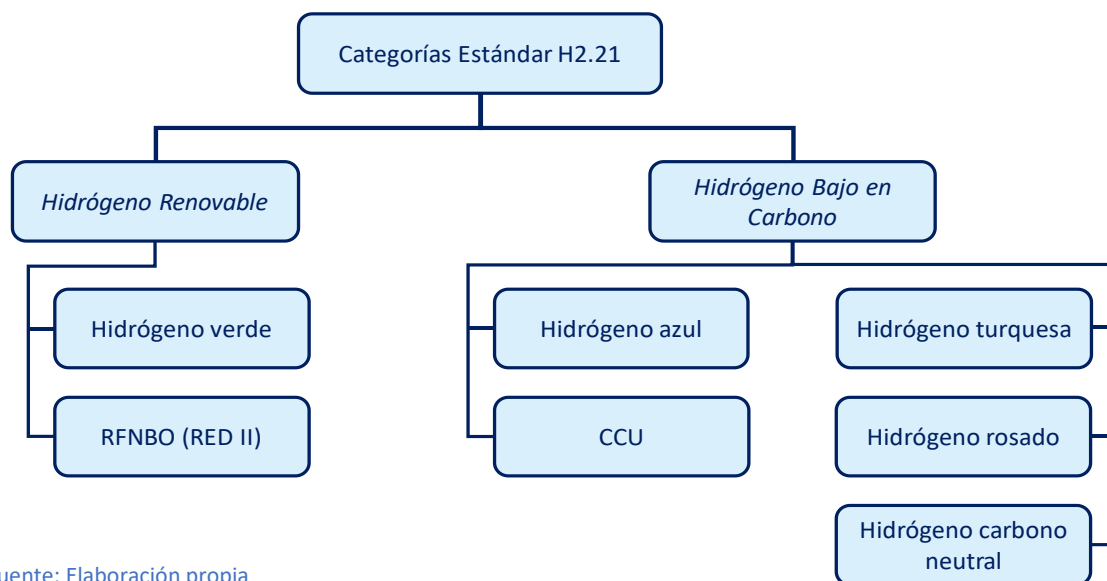
Tanto para la categoría de Hidrógeno Renovable como de Hidrógeno Bajo en Carbono es fundamental tener en cuenta que el atributo central para la certificación es la huella de carbono, la cual debe estar por debajo del umbral de emisiones máximo definido de 94 gCO₂eq/MJ, lo cual corresponde a una disminución del 70% respecto al valor de referencia establecido en la regulación europea RED II y su versión actualizada RED III. En este sentido, el análisis y la información requerida por el esquema para obtener la certificación está principalmente enfocado al cálculo de la huella de carbono y a la verificación de la reducción de emisiones frente al valor de referencia.

Por otro lado, tanto en la subcategoría de Hidrógeno Verde como de RFNBO (RED II), se establecen atributos adicionales respecto al origen y características de la electricidad utilizada en la producción de hidrógeno. Para lo cual se debe garantizar que la fuente de energía sea renovable y de origen no biológico, y que a su vez se cumpla con los criterios de correlación geográfica, temporal y de adicionalidad, tomando como base lo establecido en RED II y los actos delegados para los RFNBO.

En la Figura 2 se puede observar la estructura de las categorías y subcategorías definidas en el estándar H2.21 de TÜV Rheinland. En este sentido es importante aclarar que el desarrollador o propietario de la planta de hidrógeno tiene la potestad de elegir cuál de dichas subcategorías se adapta más a las características de su planta y a las necesidades de su cliente.¹

¹ Desde el 9 de octubre de 2023 se adoptó de manera formal la nueva directiva europea de energías renovables RED III. En esta sección del documento se hace referencia a la normativa RED II debido a que la última actualización del esquema TÜV Rheinland H2.21 aún hace referencia en su esquema oficial a la normativa previa RED II. Sin embargo, es de resaltar que RED III no introduce modificaciones a los actos delegados 2023/1185 y 2023/1184, los cuales son los que establecen las reglas de producción y metodología de medición de emisiones para los RFNBO.

Figura 2. Categorías y subcategorías del estándar H2.21.



Fuente: Elaboración propia

2.1.1 Pasos para la certificación

El proceso de certificación bajo el estándar H2.21 cuenta con diferentes pasos que debe seguir el operador o propietario de la planta de producción de hidrógeno para acreditar la planta y el hidrógeno producido bajo alguna de las subcategorías disponibles. Teniendo en cuenta que este estándar es de carácter voluntario, se parte de la propia voluntad del solicitante de atravesar todo el proceso establecido para lograr la certificación. Este se puede englobar en los siguientes pasos.

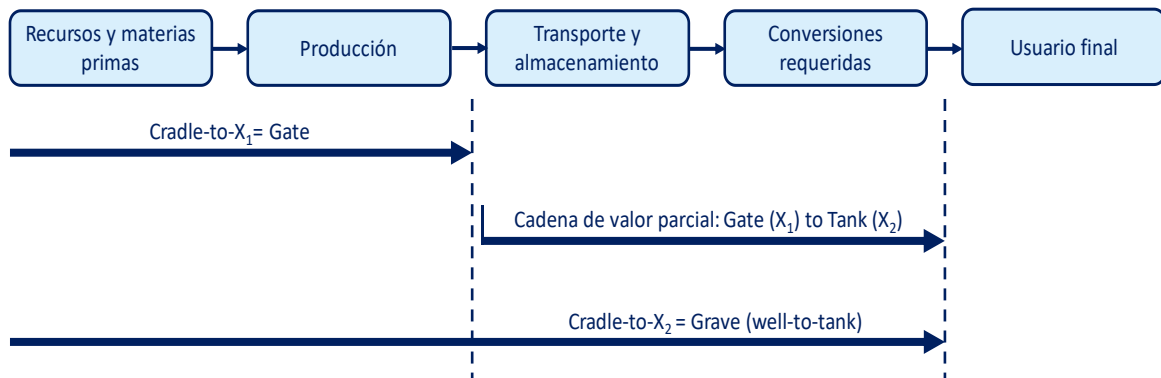
2.1.1.1 Definir las fronteras del sistema

Antes de iniciar el proceso de certificación, el desarrollador u operador de la planta debe establecer los límites de contabilidad de las emisiones, ya que estos pueden variar según el cliente final o las necesidades del mercado. Estos límites en el esquema H2.21 están definidos bajo las variables (X1, X2), como se puede ver en la Figura 3, y permite que existan diferentes tipos de alcances para la certificación de origen del hidrógeno, yendo desde unos límites "Cradle to Gate", hasta "Cradle to Grave", e incluso límites intermedios que permiten la medición exclusiva de las etapas de transporte y distribución, abriendo la puerta para aquellos actores en la cadena de valor cuyo enfoque está hacia el transporte y suministro logístico hasta el usuario final. Es por esto por lo que, previo a iniciar el proceso de certificación, se deben definir las fronteras de contabilidad, las cuales serán determinantes para verificar que la huella de carbono del producto esté por debajo de los umbrales establecidos.

En este aspecto es importante resaltar que la reducción del 70% de huella de carbono en relación con el valor máximo de referencia de 94 gCO₂eq/MJ entre los límites "Cradle to X" debe cumplirse independientemente de los límites (X1, X2) de emisiones establecidos por el usuario en busca del certificado. Esto quiere decir que si un operador logístico encargado del transporte y comercialización del hidrógeno quisiera certificar este bajo alguna de las categorías del estándar H2.21, caso en el cual los límites naturales de dicho usuario se podrían definir como "Gate to Tank", este debería suministrar información adicional sobre la huella de carbono aguas arriba desde el punto en el que toma del hidrógeno, hasta el de producción. Alternativamente, en caso de no contar con dicha información, puede tomar valores de referencia debidamente respaldados y justificados por fuentes fiables.

De igual manera, aquellos productores que busquen exportar hidrógeno desde Colombia a otras regiones como Europa deberán articularse con los demás eslabones de la cadena de valor para mantener la trazabilidad de la huella de carbono y que esta se ubique por debajo de los umbrales establecidos por el estándar desde el punto de producción hasta el usuario final, buscando así conservar las características de sostenibilidad asociadas al hidrógeno comercializado.

Figura 3. Límites de contabilidad de emisiones en TÜV Rheinland H2.21.



Fuente: Elaboración propia

2.1.1.2 Definir la categoría y subcategoría

Como se estableció anteriormente, el esquema H2.21 cuenta con dos tipos de categorías a las cuales están asociadas a su vez subcategorías. Para el caso de estudio, se establecieron 3 subcategorías, las cuales serán estudiadas a profundidad para entender los requisitos para su certificación: Hidrógeno Verde, RFNBO (RED II) e Hidrógeno Carbono Neutral. Estas establecen requisitos específicos en relación con las fuentes de energía utilizada y la huella de carbono. Es por esto por lo que es importante determinar el tipo de categoría bajo la cual se buscará certificar el hidrógeno producido, ya que esto determinará en gran medida la base de los requisitos y la documentación que deberá suministrar el usuario al ente certificador para validar el cumplimiento de los atributos.

Esta decisión estará principalmente influenciada por las regulaciones del país en el que se produce o se comercializa el hidrógeno, así como por los objetivos del usuario de la certificación en relación con la obtención de incentivos u otras formas de financiamiento. Siendo el certificado una verificación de que se cumplen con los criterios y atributos establecidos por el estándar y que han sido validados por un tercero.

Uno de los casos de mayor interés es el de comercialización de hidrógeno como combustible renovable de origen no biológico (RFNBO) con los países miembro de la Unión Europea, con lo cual se podría acceder a incentivos financieros bajo los diferentes mecanismos que establece esta región para promover la producción y demanda de hidrógeno, como lo es el mecanismo que facilita la Fundación H2Global y es ejecutado por Hintco. En el cual se realizan subastas entre oferentes y demandantes de hidrógeno y se cubre el gap entre ambos precios mediante contratos por diferencia. Es de resaltar que el cumplimiento de las normas establecidas para los RFNBO no es un requisito previo para exportar hidrógeno o comercializarlo en la Unión Europea, pero puede serlo para recibir ayudas públicas como la descrita anteriormente.

2.1.1.3 Cálculo de la huella de carbono del producto

Una vez definidos los límites de contabilidad, la categoría y subcategoría bajo la cual se certificará el hidrógeno, se tienen los insumos suficientes para la determinación preliminar de la huella de carbono del producto. Esta medición debe ser realizada por un tercero acreditado para la medición y reporte de huella de carbono de producto mediante los estándares ISO 14040/44 o ISO 14067. De igual manera, se debe garantizar un umbral de materialidad del 5%, lo cual quiere decir que todos los rubros en el balance de emisiones que de manera individual o conjunta puedan suponer una diferencia de más del 5% en el balance de la huella de carbono deben ser tenidos en cuenta.

El resultado de las mediciones será posteriormente verificado por el personal de TÜV Rheinland en el proceso de emisión del certificado de origen. Para esto es necesario que se disponga de los balances de masa, volumen y energía de la planta, así como de información adicional por medio de la cual sea posible verificar y validar el balance de huella de carbono calculado para el producto, en este caso el hidrógeno.

Por otro lado, en la categoría de Hidrógeno Renovable se establecen atributos relacionados con el origen de la electricidad utilizada en el proceso de producción de hidrógeno, así como de correlación geográfica, temporal y de adicionalidad. Esto es importante en el balance de huella de carbono ya que dado el caso en que se cumplan dichos criterios, se podrá asociar un valor de cero emisiones a la electricidad consumida en el proceso de producción, haciendo que la huella de carbono del producto disminuya significativamente.

2.1.1.4 Importancia es la normativa ISO/TS 19870 para el balance de huella de carbono

Como se mencionó anteriormente el estándar TÜV Rheinland H2.21 establece que los análisis de huella de carbono se deben realizar siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14067, o mediante un análisis de ciclo de vida siguiendo la norma ISO 14040/44. Sin embargo, recientemente se expidió la norma ISO/TS 19870:2023, la cual establece una metodología específica para el cálculo de la huella de carbono del hidrógeno en toda la cadena de valor del hidrógeno, desde el origen de las materias primas, hasta el punto de uso [2]. Esto es un gran avance a nivel internacional, ya que a pesar de que esta nueva normativa retoma varios elementos de la ISO 14067 e ISO 14040/44, añade otros de gran relevancia para lograr estandarizar una metodología que permita homologar un lenguaje único entre los diferentes estándares, regulaciones y definiciones del hidrógeno a nivel internacional, en miras a que este no se construya a partir de etiquetas, sino a partir de sus atributos, entre los cuales el más relevante es la huella de carbono. Es en este aspecto donde se logran los mayores avances, teniendo en cuenta que se logra establecer una metodología que permite medir las emisiones a lo largo de toda la cadena de valor, desde el punto de producción, hasta el punto de consumo.

En la Figura 4 se ilustran los diferentes eslabones de la cadena de valor abarcados por la metodología de la norma ISO 19870. Además de la fase de producción y acondicionamiento del hidrógeno, esta metodología incluye las etapas de transporte, las cuales son de suma importancia en el comercio internacional de hidrógeno y sus derivados.

Así mismo, en esta figura, se detallan los principales equipos y unidades funcionales que deben considerarse al realizar los balances de masa y energía, los cuales son fundamentales para calcular la huella de carbono, y, se visualizan los flujos de entrada y salida.

En cuanto a las entradas energéticas y de materias primas, se destacan la electricidad y los combustibles utilizados para el transporte del hidrógeno, tales como el agua y otros compuestos relevantes, como el nitrógeno y el dióxido de carbono, para la producción de derivados del hidrógeno. En cuanto a las salidas, se distinguen los subproductos, como el oxígeno en el proceso de electrólisis, los residuos (entre los que destacan las emisiones de gases de efecto invernadero), y los productos finales, como el propio hidrógeno y sus derivados.

2.1.1.5 Envío y verificación de documentación

En esta etapa se deben compilar y enviar todos los documentos requeridos por la entidad para la verificación del cumplimiento de los atributos exigidos por el esquema. Posteriormente TÜV Rheinland realiza la verificación de dicha documentación e información mediante una serie de auditorías, las cuales se realizan de manera virtual y presencial

según el nivel de avance del proyecto. Estas auditorías pueden ser llevadas a cabo por personal mismo de TÜV Rheinland o por personal de una entidad tercera acreditada para certificar bajo el estándar TÜV Rheinland H2.21.

Una vez realizadas las auditorías, la entidad realiza requerimientos adicionales de información en caso de ser necesario y elabora un reporte final. En caso de que el reporte sea positivo en relación con el cumplimiento de los criterios establecidos, se emite el certificado de origen para la categoría o subcategoría definida. Este certificado estará disponible en la plataforma web de TÜV Rheinland, Certipedia, donde puede ser consultado por actores en toda la cadena de valor que busquen verificar la veracidad del certificado, así como detalles del mismo².

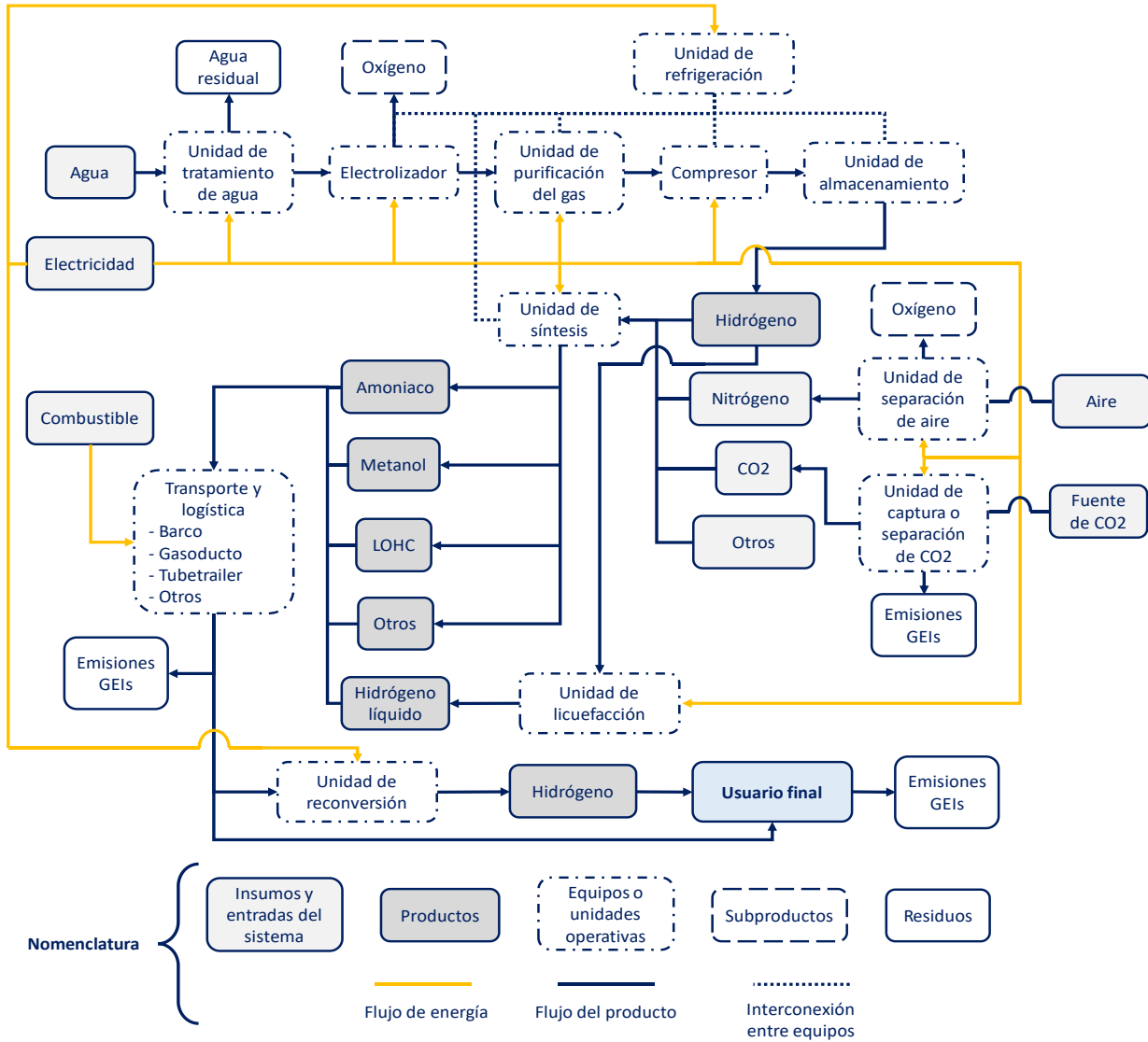
2.1.2 Incidencia de los atributos de certificación

La fuente de la electricidad utilizada es clave, ya que tiene incidencia directa en el cálculo de la huella de carbono del hidrógeno producido. Si se garantiza que la energía cumple con atributos tales como adicionalidad, correlación geográfica y temporal, se asignará un valor cero de emisiones a la misma en el balance de huella de carbono, de acuerdo con lo establecido en el estándar para la categoría de Hidrógeno Renovable y a lo dispuesto en la directiva RED II y sus actos delegados relacionados a la producción de RFNBOs, una de las normativas de referencia citadas por el esquema.

En este sentido, es necesario contar con los consumos eléctricos de la totalidad de los equipos, tanto de aquellos directamente implicados en la producción de hidrógeno (como es el caso de los electrolizadores), como los equipos periféricos usados para el acondicionamiento del hidrógeno, tales como los compresores y los sistemas de purificación. Adicional a esto, se deberá garantizar que la energía usada se produzca dentro del mismo año calendario (12 meses) que el hidrógeno para el caso de la subetiqueta de Hidrógeno Verde, mientras que para el hidrógeno RFNBO (RED II) debe ser producida siguiendo los criterios de correlación temporal establecidos en los actos delegados de RED II.

² Acceso a la versión en español de Certipedia: [Certipedia - Base de Datos de Certificados de TÜV Rheinland](#)

Figura 4. Diagrama de bloques de equipos y de flujo de insumos, productos y residuos en la cadena de valor del hidrógeno a tener en cuenta en los balances de huella de carbono.



Fuente: Elaboración propia con base en la norma ISO 19870 [2].

Teniendo en cuenta lo anterior, cualquier consumo asociado a la producción de hidrógeno (sea de un equipo directamente implicado o periférico) debe cumplir los requerimientos que establece cada una de las subcategorías para realizar un correcto cálculo de la huella de carbono, como se muestra más adelante en el documento.

2.1.2.1 Hidrógeno Renovable - Hidrógeno verde

Se establece que el 100% de la energía utilizada debe provenir de fuentes renovables de origen no biológico³ y, además, si se cumplen los siguientes requisitos adicionales, se podría considerar un valor cero de emisiones para la energía utilizada bajo la subcategoría de Hidrógeno verde.

- Que la electricidad renovable sea entregada mediante una conexión física directa entre la planta de generación de energía y la planta de producción de hidrógeno, o, en el caso de estar conectada a la red, que esta tenga un contrato bilateral de compraventa de energía (PPA)⁴ con garantías de origen de la energía.
- Que, en caso de tomar energía de la red sin especificar la proveniencia, esta esté soportada por certificados de energía renovable. Para las plantas de hidrógeno ubicadas por fuera de la Unión Europea, se debe garantizar que las plantas de generación de energía, de las cuales se obtienen los certificados de origen de la electricidad, estén en el mismo país.
- Se debe cumplir con una correlación temporal de máximo 12 meses, entre la generación de la energía y la producción del hidrógeno.

2.1.2.2 Hidrógeno Renovable - RFNBO (RED II)

Para esta subcategoría se deben cumplir los lineamientos y metodologías establecidos en los actos delegados de la regulación RED II para combustibles renovables de origen no biológico (RFNBO, por sus siglas en inglés). Se debe garantizar el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- El hidrógeno renovable debe ser producido mediante procesos de electrólisis del agua o soluciones acuosas con el uso de electricidad totalmente renovable proveniente de fuentes renovables de origen no biológico, ya sea mediante conexión física directa con la planta de producción de electricidad o cumpliendo los lineamientos establecidos para la toma de energía de la red descritos más adelante.
- Se debe garantizar el criterio de adicionalidad. Para esto, según la normativa RED II, se establece que para plantas de producción de hidrógeno que entren en operación⁵ luego del 01/01/2028, se debe garantizar que la energía usada proviene de una planta de generación de energía renovable que haya sido comisionada como máximo 36 meses antes de la entrada en operación de la planta de hidrógeno. Por otro lado, para las plantas que entren en operación antes de la fecha enunciada, no se aplicará el criterio de adicionalidad hasta el 31/12/2038. Además, para aquellas que, independientemente de su fecha de entrada en operación estén en una *Bidding Zone*⁶ donde

³ La energía procedente de fuentes renovables no fósiles, es decir, energía eólica, energía solar (solar térmica y solar fotovoltaica) y energía geotérmica, energía ambiente, energía mareomotriz, energía undimotriz y otros tipos de energía oceánica, energía hidráulica, según el artículo 2, punto 1, de la Directiva (UE) 2018/2001.

⁴ Los PPA renovables deben identificar claramente las instalaciones que producen la cantidad de electricidad renovable que se utiliza para producir el hidrógeno renovable. Además, el productor de hidrógeno sólo puede atribuirse la producción de RFNBO o Hidrógeno Verde basada en un PPA renovable si la electricidad suministrada en virtud del contrato se ha producido efectivamente y no con base en una producción futura [6].

⁵ Debe considerarse que la entrada en operación incluye cualquier forma de producción comercial de hidrógeno, derivados o electricidad renovable destinada a ser utilizada o vendida y que vaya más allá de un mero ensayo de la instalación. Si la instalación se pone en funcionamiento paso a paso (parte de la capacidad en la fecha 1 y otra(s) parte(s) de la capacidad en fecha(s) posterior(es)), entonces la definición de entrada en operación se referiría a la primera fecha. Esto se aplica a las instalaciones de producción de electricidad renovable y las instalaciones de producción de RFNBO [6].

⁶ Las *Bidding Zones* o Zonas de Oferta según se definen artículo 2, punto 65, del Reglamento (UE) 2019/943 del Parlamento Europeo y del Consejo para los Estados miembros, son la mayor zona geográfica en la que los participantes en el mercado eléctrico pueden intercambiar energía sin asignación de capacidad. Esto da lugar a la existencia de zonas con precios de la electricidad diferenciales y

el factor de emisión sea menor a 18 gCO₂equ/MJ (65 gCO₂equ/kWh)⁷, no deben demostrar cumplimiento con el criterio de adicionalidad.

- Se debe garantizar la correlación temporal entre la producción de la energía y el hidrógeno de un (1) mes calendario hasta el 31/12/2029. Desde el 01/01/2030, el criterio de correlación temporal pasa a ser de una hora.
- Se debe cumplir con el criterio de correlación geográfica. Este establece que las plantas de generación de energía renovable e hidrógeno deben estar ubicadas en la misma *Bidding Zone*. En el acto delegado, se establece que para países por fuera de la Unión Europea se debe encontrar un equivalente en el mercado eléctrico al concepto de *Bidding Zone*, tomando como insumos base la regulación, las características de interconexión y otras características clave para determinar un concepto equivalente. Como recurso de última instancia se establece que se debe tomar a todo el territorio del país como *Bidding Zone*.
- Para los proyectos que tomen energía de la red, esta se considerará totalmente renovable cuando la proporción media de electricidad renovable en la zona de oferta o *Bidding Zone* superó el 90 % en el año natural anterior y la producción de RFNBO no supera un número máximo de horas establecido en relación con la proporción de electricidad renovable en la zona de ofertas⁸. Cuando no se cumplan la condición anterior, los productores de RFNBO podrán contabilizar también como totalmente renovable la electricidad extraída de la red si la instalación que produce el RFNBO está situada en una *Bidding Zone* en la que la intensidad de las emisiones de electricidad es inferior a 18 gCO₂eq/MJ. Además, se adiciona una tercera vía para considerar totalmente renovable la electricidad tomada de la red, la cual podrá tomar este atributo si es tomada en un período de liquidación de los desvíos⁹.

2.1.2.3 Hidrógeno Carbono Neutral

Esta subcategoría establece que, si todas las emisiones asociadas a la producción de hidrógeno se compensan mediante certificados de reducción de emisiones o créditos de carbono, el hidrógeno se considerará Hidrógeno Carbono Neutral. Para lograr esto, es necesario realizar un balance preliminar de emisiones para determinar la cantidad de créditos de carbono necesarios para la compensación. Es importante destacar que este balance debe tener en cuenta tanto las emisiones directas e indirectas (alcance 1 y 2) asociadas a la producción de hidrógeno. A diferencia de las otras subcategorías, en este caso no se puede asignar un valor nulo a la huella de carbono de la energía utilizada, aun así, esta provenga de fuentes renovables. En este caso es necesario tener en cuenta todas las fuentes de emisiones.

2.1.3 Documentación requerida para la realización de trámites en Colombia

Es importante aclarar que para los casos en los que la electricidad utilizada para producir RFNBO se considere totalmente renovable, en el balance de emisiones debe aplicarse una intensidad de carbono de cero a este suministro de electricidad.

Hidrógeno Bajo en Carbono

Para verificar el cumplimiento de los atributos establecidos para las subcategorías mencionadas anteriormente, es fundamental que el desarrollador del proyecto o el operador de la planta suministren documentación y evidencias adecuadas. Esta documentación permitirá verificar si se cumplen los requisitos del estándar en cuestión.

a un mercado, por lo tanto, multimodal. Colombia al ser un mercado unimodal, tendría un equivalente a toda la zona geográfica cubierta por el mercado eléctrico colombiano.

⁷ Según el operador del mercado eléctrico colombiano, XM, el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional para el 2021 fue de 126.4 gCO₂equ/kWh [7].

⁸ Ejemplo: Si la producción de energía renovable en el año anterior en la *Bidding Zone* donde se encuentra la planta de producción de RFNBO fue del 93%, la planta podría tomar energía de la red durante un máximo de 93% * 8760 horas/año = 8146 horas/año.

⁹ Para mayor claridad en relación a esta última condición, consultar el Acto Delegado (UE) 2023/1184.

En la **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.** y **Error! Reference source not found.**, se detallan los documentos y procedimientos específicos que se utilizan para verificar el cumplimiento de cada uno de los atributos según la subcategoría analizada. Estas tablas proporcionan una guía clara para la evaluación y verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos.

En estas se analizan 3 elementos clave: el requerimiento respecto a cada uno de los atributos, y los documentos o acciones para su comprobación, los cuales pueden servir de referencia para aquellas empresas buscando surtir un proceso de certificación bajo este estándar.

Tabla 1 Requerimientos para la subcategoría de Hidrógeno Verde

Requerimientos del estándar TÜV Rheinland H2.21 para la subcategoría de Hidrógeno Verde.			
Atributo	Hidrógeno Verde	Requerimiento	Documentos sugeridos para comprobación en proyectos en Colombia
Fuente de energía	Renovable de origen no biológico según RED II	<ul style="list-style-type: none"> - Conexión física directa entre las plantas de generación de energía y producción de hidrógeno. - Contrato PPA con planta de generación de electricidad de fuente renovable. - Respaldo de la energía tomada de la red con certificados de energía renovable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Auditoría física, registro en XM, registro como auto-generador en sistema de información de ventanilla CREG 075, reportes de sistema de telemetría de generación y consumo eléctricos. - Documentación reporte del contrato bilateral tipo PPA firmado, donde se especifique el tipo de contrato, las condiciones de suministro de energía, las plantas físicas de generación de energía asociadas al contrato, así como las garantías de origen de la energía o certificados de energía renovable que respalden su proveniencia de una fuente renovable de origen no biológico. - Para energía tomada de la red se debe garantizar su origen por medio de certificados de energía renovable.
Adicionalidad	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Correlación geográfica	La planta de generación de energía eléctrica y la planta de producción de hidrógeno deben estar ubicadas en la misma área geográfica comprendida por el país en el cual se produce el hidrógeno.	<ul style="list-style-type: none"> - Verificación de ubicación de la planta de producción de hidrógeno y la planta de generación de energía, sea autogeneración o tomada de la red. 	<ul style="list-style-type: none"> - Auditoría física tanto a la planta de generación de energía como a la planta de producción de hidrógeno. - Información disponible en contratos PPA firmados sobre la ubicación de las plantas asociadas a la producción de energía entregada a la producción de hidrógeno. - Información en plataformas de información y registro del operador del mercado eléctrico (XM) y operadores de red.
Correlación temporal	El hidrógeno y la energía renovable se deben producir dentro de un	<ul style="list-style-type: none"> - Verificación de la correlación temporal contrastando las fechas de producción de la energía renovable con las fechas de producción del hidrógeno. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificación de fecha de inicio y finalización de producción de la energía reportada. Información disponible en los certificados de energía renovable que respaldan la energía ya sea tomada de

	mismo periodo de 12 meses.		<p>la red directamente o respaldada con un PPA.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reporte histórico de consumo eléctrico de la planta de producción de hidrógeno. Incluyendo todas las unidades funcionales para la generación y acondicionamiento. - Reporte histórico de producción de hidrógeno, con fecha de inicio y finalización.
Huella de Carbono	Menor a 3.384 kgCO ₂ equ/kgH ₂	<ul style="list-style-type: none"> - Cálculo de huella de carbono del producto (PCF) verificado por un auditor acreditado. Este debe contar con todos los cálculos debidamente fundamentados en valores medidos en la planta o en cifras de referencia debidamente citadas con su fuente. Dentro de este balance también se deben tener en cuenta las emisiones de CH₄, N₂O, HFCs, PFCs y SF₆, incluyendo su relación en CO₂equ. El cálculo se debe realizar como resultado de un análisis de ciclo de vida por medio de ISO 14040/44 o mediante la estimación de la huella de carbono del producto por medio de la normativa ISO 14067. 	<ul style="list-style-type: none"> - Factor de emisión directo de la energía eléctrica utilizada con información de tipo de fuente y uso de combustibles, si aplica. - Balance de planta: balance de masa, volumen y energía del proceso. Incluyendo todas las materias primas, entradas y salidas del sistema que puedan influir en el balance de huella de carbono dentro del umbral de materialidad del 5%. - Descripción de procesos de producción y distribución: documento con detalles técnicos y de operación de la planta junto con diagrama de instrumentación y control. - Reporte de criterios y atributos de la energía renovable consumida para su correcta contabilidad en el balance de emisiones, de acuerdo con las condiciones establecidas en el estándar. - En el caso de derivados, se debe incluir información sobre la fuente de las demás materias primas. En el caso del CO₂ se debe cumplir con los criterios establecidos en el Anexo I de la Directiva de la Comisión Europea 2003/87/EC. - Para garantizar los umbrales de materialidad se deben suministrar certificados de calibración de equipos de medición en el balance de planta y asociar cálculos de incertidumbres al valor final reportado de huella de carbono.
Compensación de la huella de carbono	No Aplica	No Aplica	No Aplica

Tabla 2 Requerimientos para la subcategoría RFNBO (RED II)

Requerimientos del estándar TÜV Rheinland H2.21 para la subcategoría de RFNBO.			
Atributo	RFNBO	Requerimiento	Documentos sugeridos para comprobación en proyectos en Colombia
Fuente de energía	Renovable de origen no biológico según RED II	<ul style="list-style-type: none"> - Conexión física directa entre las plantas de generación de energía y producción de hidrógeno. - Contrato PPA con planta de generación de electricidad de fuente renovable. - Respaldo de la energía tomada de la red con certificados de energía renovable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Auditoría física, registro en XM, registro como auto-generador en sistema de información de ventanilla CREG 075, reportes de sistema de telemetría de generación y consumo eléctricos. - Documentación reporte del contrato bilateral tipo PPA firmado, donde se especifique el tipo de contrato, las condiciones de suministro de energía, las plantas físicas de generación de energía asociadas al contrato, así como las garantías de origen de la energía o certificados de energía renovable que respalden su proveniencia de una fuente renovable de origen no biológico. - Para energía tomada de la red se debe garantizar su origen por medio de certificados de energía renovable.
Adicionalidad	<p>La planta de generación de energía renovable debe haber iniciado operación no más de 36 meses antes que la planta de producción de hidrógeno.</p> <p>Excepciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El factor de emisión de la red es menor a 18 gCO₂equ/MJ (65 gCO₂equ/kWh). - La proporción media de electricidad renovable en la zona de oferta o Bidding Zone superó el 90 % en el año natural anterior. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificación de cumplimiento de criterios de la regulación europea RED II y actos delegados, así como requerimientos adicionales del estándar para validar el cumplimiento del criterio de adicionalidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reporte de fecha de puesta en operación de la planta de generación de electricidad renovable con conexión directa a la planta de producción de hidrógeno o aquella asociada a los certificados de energía renovable vinculados al PPA firmado o a la energía tomada de la red. - Reporte de fecha de puesta en operación comercial de la planta de producción de hidrógeno¹⁰. - Factor de emisión de la zona de oferta (Bidding Zone) donde se encuentra la planta de producción de RFNBO.

¹⁰ "Debe considerarse que la fecha de entrada en operación incluye cualquier forma de producción comercial de hidrógeno, derivados o electricidad renovable destinada a ser utilizada o vendida y que vaya más allá de una mera prueba de la instalación. Si la instalación se pone en funcionamiento por etapas (parte de la capacidad en la fecha 1 y otra(s) parte(s) de la capacidad en (una) fecha(s) posterior(es)), entonces la definición de fecha de entrada en operación se referiría a la primera fecha. Esto se aplica tanto a las instalaciones que producen electricidad renovable como a las que producen RFNBOs" [6].

	- La planta de producción de hidrógeno inicia su operación antes del 01/01/2028		
Correlación geográfica	Las plantas de energía renovable y de producción de hidrógeno se deben encontrar en la misma <i>Bidding Zone</i> o su equivalente según las disposiciones de RED II.	- Verificación de ubicación de la planta de producción de hidrógeno y la planta de generación de energía, sea autogeneración o tomada de la red.	<ul style="list-style-type: none"> - Auditoría física tanto a la planta de generación de energía como a la planta de producción de hidrógeno. - Información disponible en contratos PPA firmados sobre la ubicación de las plantas asociadas a la producción de energía entregada a la producción de hidrógeno - Información en plataformas de información y registro del operador del mercado eléctrico (XM) y operadores de red.
Correlación temporal	El hidrógeno y la energía renovable se deben producir dentro del mismo mes calendario. Nota: A partir del 01/01/2030 debe ser dentro de la misma hora.	- Verificación de la correlación temporal contrastando las fechas y horas de producción de la energía renovable con las fechas de producción del hidrógeno.	<ul style="list-style-type: none"> - Verificación de fecha de inicio y finalización de producción de la energía reportada. Información disponible en los certificados de energía renovable que respaldan la energía ya sea tomada de la red directamente o respaldada con un PPA. - Reporte histórico de consumo eléctrico de la planta de producción de hidrógeno. Incluyendo dentro del consumo energético todas las unidades funcionales para la generación y acondicionamiento. - Reporte histórico de producción de hidrógeno, con fecha de inicio y finalización. <p>Nota: se debe garantizar una frecuencia mensual de muestreo hasta el 31/12/2029. A partir del 01/01/2030 se debe garantizar una frecuencia horaria de muestreo de la información.</p>
Huella de Carbono	Menor a 3.384 kgCO ₂ equ/kgH ₂	- Cálculo de huella de carbono del producto ¹¹ (PCF) verificado por un auditor acreditado. Este debe contar con todos los cálculos debidamente fundamentados en valores medidos en la planta o en cifras de referencia debidamente citadas con su fuente. Dentro de este balance también se deben tener en cuenta las emisiones de CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs y SF ₆ , incluyendo su relación en CO ₂ equ. El cálculo se debe realizar siguiendo lo establecido en el Acto Delegado (UE) 2023/1185.	<ul style="list-style-type: none"> - Factor de emisión directo de la energía eléctrica utilizada con información de tipo de fuente y uso de combustibles, si aplica. - Balance de planta: balance de masa, volumen y energía del proceso. Incluyendo todas las materias primas, entradas y salidas del sistema que puedan influir en el balance de huella de carbono

¹¹ Se deben tener en cuenta las demás disposiciones establecidas en el articulado del acto delegado (UE) 2023/1185 de la Comisión Europea en relación con el umbral de emisiones y a la metodología para evaluar la reducción de emisiones derivadas del uso de RFNBOs.

			<p>dentro del umbral de materialidad del 5%.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descripción de procesos de producción y distribución: documento con detalles técnicos y de operación de la planta junto con diagrama de instrumentación y control. - Reporte de criterios y atributos de la energía renovable consumida para su correcta contabilidad en el balance de emisiones, de acuerdo con las condiciones establecidas en el estándar. - En el caso de derivados, se debe incluir información sobre la fuente de las demás materias primas. En el caso del CO₂ se debe cumplir con los criterios establecidos en el Anexo I de la Directiva de la Comisión Europea 2003/87/EC. - Para garantizar los umbrales de materialidad se deben suministrar certificados de calibración de equipos de medición en el balance de planta y asociar cálculos de incertidumbres al valor final reportado de huella de carbono.
Compensación de la huella de carbono	No Aplica	No Aplica	No Aplica

Tabla 3 Requerimientos para la subcategoría Hidrógeno Carbono Neutral

Requerimientos del estándar TÜV Rheinland H2.21 para la subcategoría de Hidrógeno Carbono Neutral.			
Requerimiento	Hidrógeno Carbono Neutral	Requerimiento	Documentos sugeridos para comprobación en proyectos en Colombia
Fuente de energía	Todas aplican	- Verificación de las fuentes de la energía utilizada para la producción de hidrógeno. Aplican todas las fuentes, tanto fósiles, como no fósiles y aquellas de origen biológico como la biomasa o el biogás.	<ul style="list-style-type: none"> - Información contenida en PPA's firmados. - Reporte de cantidad de energía tomada de la red, así como composición de la matriz eléctrica del mercado de donde se toma la energía, junto con el factor de emisión de la red. - Auditoría presencial para la verificación de las conexiones directas que existan entre la planta de producción de hidrógeno y plantas de autogeneración eléctrica en sitio. - Reporte global de consumo eléctrico y de las fuentes asociadas a la proveniencia de la energía.
Adicionalidad	No aplica	No aplica	No Aplica
Correlación geográfica	No aplica	No aplica	No Aplica
Correlación temporal	No aplica	No aplica	No Aplica

<p>Huella de Carbono</p>	<p>Menor o igual a 0 kgCO₂equ/kgH₂</p>	<p>- Cálculo de huella de carbono del producto (PCF) verificado por un auditor acreditado. Este debe contar con todos los cálculos debidamente fundamentados en valores medidos en la planta o en cifras de referencia debidamente citadas con su fuente. Dentro de este balance también se deben tener en cuenta las emisiones de CH₄, N₂O, HFCs, PFCs y SF₆, incluyendo su relación en CO₂equ. El cálculo se debe realizar como resultado de un análisis de ciclo de vida por medio de ISO 14040/44 o mediante la estimación de la huella de carbono del producto por medio de la normativa ISO 14067.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Factor de emisión directo de la energía eléctrica utilizada con información de tipo de fuente y uso de combustibles, si aplica. - Balance de planta: balance de masa, volumen y energía del proceso. Incluyendo todas las materias primas, entradas y salidas del sistema que puedan influir en el balance de huella de carbono dentro del umbral de materialidad del 5%. - Descripción de procesos de producción y distribución: documento con detalles técnicos y de operación de la planta junto con diagrama de instrumentación y control. - Para garantizar los umbrales de materialidad se deben suministrar certificados de calibración de equipos de medición en el balance de planta y asociar cálculos de incertidumbres al valor final reportado de huella de carbono.
<p>Compensación de la huella de carbono</p>	<p>Permitida</p>	<p>- Verificación de que el total de la huella de carbono calculada sea compensada por medio de bonos de carbono. Totalidad de la huella de carbono calculada y verificada para compensación por medio de bonos de carbono</p>	<p>- Certificado de la transacción de los créditos de carbono equivalentes. Con enlace directo a la plataforma de registro donde se pueda identificar el historial de comercialización del bono de carbono, así como sus especificaciones técnicas.</p>

2.2 CERTILAC

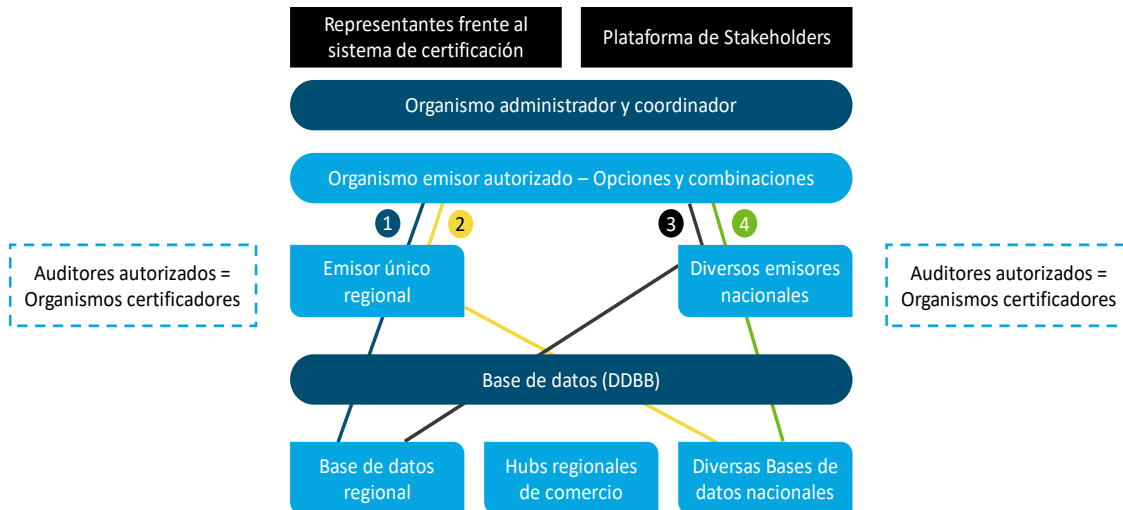
Analizar este esquema de certificación es crucial pues es una iniciativa que viene desarrollando e impulsando el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) junto a OLADE, y que cuenta con el apoyo de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Trinidad y Tobago, y Uruguay.

El objetivo de CertHILAC es garantizar la trazabilidad del producto, ofreciendo información detallada sobre la intensidad de carbono y la tecnología de producción, incluyendo atributos de sostenibilidad medioambiental y social que obedecen a las características de la región¹². Para lo anterior, después de definir una recomendación de esquema de certificación, el BID entrará a apoyar a los países en su implementación. Colombia, siendo uno de los países firmantes del apoyo a esta iniciativa deberá desplegar acciones que pongan en marcha este esquema, que sean confiables y eficientes en manejo de información, razón por la cual XM, su conocimiento y herramientas desarrolladas serán clave para el éxito de esta implementación.

En este caso en particular se parte de la base de un esquema que aún está en etapa de desarrollo y cuyos criterios, procedimientos y entidades involucradas están aún en fases de definición. Para la estructura de este esquema se plantearon 4 alternativas con configuraciones relacionadas con la estructura y la gobernanza del esquema. Particularmente dentro de los estudios que se adelantaron por parte del BID en el marco del desarrollo de este esquema se recomendó la implementación de la alternativa 3 (ver Figura 5).

¹² <https://www.iadb.org/en/news/idb-launches-clean-hydrogen-certification-system-and-sponsors-decarbonization-declaration>

Figura 5. Configuraciones propuestas para esquema CertHILAC.



Fuente: Elaboración propia con datos de: Guide for the Implementation of a hydrogen certification system In

En la alternativa 3 de la Figura 5, la cual fue seleccionada como la más apropiada para la implementación del esquema, la Organización Latinoamericana de Energía- OLADE sería la entidad encargada de coordinar y administrar el esquema, así como de gestionar la plataforma de registro de información regional (DDBB). Por otro lado, para cada país de la región se designaría un organismo certificador, el cual estaría encargado de realizar el proceso de auditoría con el fin de verificar el cumplimiento de los criterios, estándares y atributos establecidos por el esquema.

2.2.1 Pasos para la certificación

Teniendo en cuenta la configuración previamente descrita para CertHILAC y las implicaciones para su funcionamiento, se establecen los siguientes pasos que debería seguir el propietario de la planta o desarrollador del proyecto para optar por la certificación de su producto bajo este esquema.

2.2.1.1 Definir la categoría o mercado objetivo del hidrógeno producido

CertHILAC propone un esquema, a diferencia de los demás esquemas vigentes, sin etiquetas. En lugar de estas, propone dos categorías basadas en el mercado objetivo del hidrógeno producido, sea este para el *mercado local*, es decir América Latina y el Caribe, o *mercado europeo*. Según estas dos categorías se establecen criterios y atributos específicos que deben cumplir los productores de hidrógeno o sus derivados para certificarse bajo cada una de estas dos categorías.

Como se puede observar en la **Error! Reference source not found.**, tanto para la región LAC como para el mercado europeo existen requisitos comunes que se pueden encontrar en todos los estándares, como aquellos ligados al origen de la energía consumida en el proceso de producción de hidrógeno, la información sobre la planta de producción y el balance de huella de carbono del producto. Para el mercado europeo se establece un requisito adicional asociado con la correlación temporal, el cual busca junto con los otros atributos previamente mencionados cumplir con la regulación europea RED III, donde se especifican los criterios para la producción de combustibles renovables de origen no biológico

(RFNBO). Por otro lado, para la región LAC se establecen nuevos atributos cuyo objetivo es garantizar la sostenibilidad social y ambiental de los proyectos dadas las condiciones socioculturales y de biodiversidad de la región. En este sentido se incluyen seis atributos adicionales que amplían el alcance de la certificación.

La definición de este primer paso dependerá en mayor medida del mercado con el cual se busque comercializar el hidrógeno o sus derivados o la clase de incentivos a los cuales se busque acceder. Además, esta decisión tendrá un efecto directo en los límites de contabilidad de emisiones, ya que para cada mercado se establecen límites diferentes. En el caso de la categoría de la región LAC, se establecen unos límites de emisiones "*Cradle to Gate*", mientras que para el mercado europeo se establecen límites "*Cradle to Grave*", lo cual implica que las emisiones se deben medir a lo largo de toda la cadena de valor y que estas deben cumplir con los lineamientos establecidos por la regulación europea RED III para los RFNBO, como se detalla en el siguiente apartado.

De otro lado, para ambas categorías se establece una cadena de custodia potencial de "*Balance de Masa*", lo cual implicaría contar con una trazabilidad completa del producto físico y sus atributos en toda la cadena de valor. Particularmente para el mercado europeo sería necesario establecer sistemas robustos de información para garantizar la conservación de las características del producto desde el punto de producción hasta el usuario final.

Tabla 4 Atributos según la categoría del esquema CertHILAC

Atributos según el mercado objetivo del hidrógeno de acuerdo a la estructura de CertHILAC.		
Atributo	Mercado LAC	Mercado Europeo
Origen de la energía	✓	✓
Información de la planta de producción	✓	✓

Huella de carbono y alcance del balance de emisiones	✓	✓
Impacto social positivo en comunidades locales e indígenas	✓	✗
Uso sostenible del agua	✓	✗
Medidas para minimizar el impacto ambiental del proyecto	✓	✗
Tratamiento de aguas residuales	✓	✗
Cumplimiento con estándares internacionales de fuerza laboral	✓	✗
Uso responsable del suelo	✓	✗
Correlación temporal	✗	✓

2.2.1.2 Medición y verificación de atributos

Una vez definida la categoría bajo la cual se realizará el proceso de certificación, se debe realizar un reporte de cumplimiento de cada uno de los atributos correspondientes a la categoría seleccionada. En este sentido será necesario que se realice para ambas categorías un análisis de huella de carbono dentro de los límites de emisiones establecidos y se reporte información en relación con la planta de producción y las características de la energía usada para la producción de hidrógeno. Para el caso en particular de la región LAC, será necesario además demostrar cumplimiento con los atributos sociales y ambientales mencionados en la **Error! Reference source not found.**

Toda esta información deberá ser suministrada a la entidad certificadora designada para el país, quien será la encargada de realizar el proceso de verificación y validación de la información suministrada. Esta información será reportada en la plataforma de registro operada por el coordinador y administrador del esquema regional, y en caso de que se verifique el cumplimiento de manera satisfactoria de los umbrales y atributos, la entidad emisora, la cual para este caso sería la misma entidad certificadora, otorgaría el certificado al usuario.

En este aspecto es importante resaltar que gran parte de las reglas, umbrales y procedimientos aún están en fase de desarrollo, por lo que aún no existen lineamientos claros o una definición de las entidades certificadoras en cada país para verificar el cumplimiento de cada uno de los atributos requeridos en cada una de las categorías. Para el mercado europeo los criterios establecidos por RED III, la cual es una de las normativas de referencia del esquema, dan una línea clara de los umbrales y criterios de cumplimiento para la producción y comercialización de RFNBOs. Sin embargo, aún es necesario definir el tipo de metodologías en las cuales se basará CerHILAC para demostrar el cumplimiento de dichos atributos.

Tabla 5 Atributos según el mercado objetivo para CertHILAC

Atributos según el mercado objetivo del hidrógeno de acuerdo con la estructura de CertHILAC.				
Atributo	Mercado LAC y Mercado Europeo			
	Requerimiento		Documentos sugeridos para comprobación en proyectos en Colombia	
Información de la planta de producción	- Información de la tecnología de producción de hidrógeno utilizada.		<ul style="list-style-type: none"> - Reporte de características técnicas de la planta según fabricante e información de consumos específicos de energía y materias primas en operación real. - Capacidad nominal de la planta. - Ubicación - Balances de energía. - Proyecciones de consumo de energía y de producción de hidrógeno. - Diagramas de instrumentación y control. Certificados de calibración de los equipos y especificaciones técnicas. 	
Atributo	Mercado LAC		Mercado Europeo	
	Requerimiento	Documentos para su comprobación en proyectos en Colombia	Requerimiento	Documentos para su comprobación en proyectos en Colombia
Origen de la energía	- Verificación de las fuentes de la energía utilizada para la producción de hidrógeno.	<ul style="list-style-type: none"> - Información contenida en PPAs firmados. - Reporte de cantidad de energía tomada de la red, así como composición de la matriz eléctrica del mercado de donde se toma la energía, junto con el factor de emisión de la red. - Auditoría presencial para la verificación de las conexiones directas que existan entre la planta de producción de hidrógeno y plantas de autogeneración eléctrica en sitio. - Reporte global de consumo eléctrico y de las fuentes asociadas a la proveniencia de la energía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fuente de energía renovable de origen no biológico. - Correlación geográfica. - Adicionalidad <p>Nota: de acuerdo a las definiciones en RED III y los actos delegados (UE) 2023/1184 y 2023/1185 de la Comisión Europea.</p>	<p>Fuente de energía:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conexión directa entre las plantas de generación de energía y producción de hidrógeno. Comprobable mediante auditoría física, registro como auto-generador en sistema de información de ventanilla CREG 075. - Contrato PPA con planta de generación de electricidad de fuente renovable: Documento del contrato bilateral - Respaldo de la energía tomada de la red con certificados de energía renovable: Certificado de la transacción de las garantías de origen. - Verificación de que las garantías de origen de la energía estén asociadas a una planta de energía de generación de energía renovable de origen no biológico,

				<p>de acuerdo con la normativa RED III.</p> <p>Correlación geográfica:</p> <ul style="list-style-type: none">- Reporte de la ubicación asociada a la planta de generación de energía. <p>Adicionalidad:</p> <ul style="list-style-type: none">- Reporte de la fecha de puesta en operación comercial de la planta de generación de energía renovable.
--	--	--	--	---

<p>Huella de carbono y alcance del balance de emisiones</p>	<p>- Balance de huella de carbono siguiendo metodologías reconocidas a nivel internacional como ISO 14067, ISO 14040/44, ISO 19870 o metodología desarrollada por el IPHE.</p>	<p>- Reporte de medición y verificación de la huella de carbono por una entidad acreditada.</p>	<p>- Balance de huella de carbono siguiendo lo establecido en el Acto Delegado (EU) 2023/1185.</p>	<p>- Reporte de medición y verificación de la huella de carbono por una entidad acreditada. - Reporte de emisiones medidas de manera directa e indirecta, y referencia de valores estándar tomados para el balance en puntos de la cadena de valor para los cuales no se cuente con datos. Para este último caso citar fuentes válidas de organismos internacionales reconocidos o los valores disponibles en la directiva europea RED III. - Se deben tener en cuenta las demás disposiciones establecidas en el articulado del acto delegado (UE) 2023/1185 de la Comisión Europea en relación con el umbral de emisiones y a la metodología para evaluar la reducción de emisiones derivadas del uso de RFNBOs.</p>
<p>Impacto social positivo en comunidades locales e indígenas</p>	<p>- Verificación de procesos de consulta previa y cumplimiento de estándares reconocidos a nivel internacional.</p>	<p>- Reporte de auditoría por parte del organismo certificador en relación con el cumplimiento de los criterios y estándares definidos para estos atributos, basado en las mejores prácticas a nivel internacional.</p>	<p>No aplica</p>	<p>No aplica</p>
<p>Uso sostenible del agua</p>	<p>- Reporte de consumo de agua y su fuente. - Estudio de impacto en zonas con alto estrés hídrico.</p>	<p>Nota: La estructura actual del sistema aún no cuenta con los procedimientos o estándares que se deben seguir para verificar el cumplimiento de estos atributos.</p>		
<p>Medidas para minimizar el impacto ambiental del proyecto</p>	<p>- Plan de mitigación de impactos ambientales.</p>			

Tratamiento de aguas residuales	- Reporte de plan de manejo de aguas residuales de la planta de producción de hidrógeno. Diagrama de bloques del sistema de post tratamiento.			
Cumplimiento con estándares internacionales de fuerza laboral	- Reporte de cumplimiento con requisitos establecidos por los representantes del sistema.			
Uso responsable del suelo	- Reporte de los impactos del proyecto sobre los usos del suelo.			
Correlación temporal	- Certificado de energía renovable: verificación de fecha de inicio y finalización de producción de la energía reportada. - Reporte de histórico de consumo del sistema de medición de la planta de producción de hidrógeno. - Reporte de producción de hidrógeno de la planta de producción de hidrógeno.			- Reporte de producción y consumo de energía, y de garantías de origen asociadas.

3 Rol de XM en la aplicación de certificaciones

XM cuenta con amplias capacidades en términos de manejo de información y un portafolio de servicios enfocado en activos ambientales y certificación. El uso de estas capacidades hará que la aplicación de las certificaciones de hidrógeno en el país se realice de manera eficiente y segura.

3.1 EcoClic

EcoClic es una estrategia que representa un portafolio de servicios tecnológicos, especializados en activos ambientales, basados en tecnología blockchain y soportados en la experiencia de XM con el desarrollo de sistemas de registro y transaccionales, principalmente en el mercado de bonos de carbono y certificados de generación de energía renovable.

EcoClic es una solución que permite mejorar la trazabilidad, obtener interoperatividad entre sistemas de registro y comercio de activos ambientales, garantizar la seguridad de la información, disminución de los errores y dificultades generados por procesos manuales y obtención de reportes de información adecuados.

El portafolio de servicios tecnológicos agrupa plataformas tecnológicas especializadas en los servicios de control, registro y comercialización de activos ambientales. Los productos que están en esta línea son:

- **Karbonoa:** Plataforma de registro de proyectos y certificados de reducción de CO₂, que permite a las empresas

gestionar su huella de carbono de forma obligatoria o voluntaria o para no causar el impuesto al carbono.

- **EcoTrade:** Marketplace público que permite la compra y venta de activos ambientales, en diferentes categorías, para empresas y personas.
- **EcoRep:** Plataforma de registro y certificación de material transformado, en el marco de la economía circular, para empresas que buscan la neutralidad de materiales de forma obligatoria o voluntaria.
- **Biotrust:** Plataforma de registro de iniciativas y sus unidades de biodiversidad (créditos de biodiversidad y siembra de árboles) que les permite a las organizaciones aportar a la conservación, preservación y restauración de la biodiversidad.
- **EcoWass:** Plataforma que permite invertir en sistemas de suministro de agua potable a comunidades, a través de la adquisición de water tokens, y la certificación de beneficios para la generación de créditos de agua que le permitan a las empresas compensar su huella hídrica.
- **EcoGox:** Plataforma de registro y certificación de proyectos de energía renovable, que le permite a las empresas neutralizar o mitigar el impacto del consumo eléctrico en su huella de carbono.

En términos de la implementación de certificaciones de origen de hidrógeno se encuentra que varias de las plataformas de EcoClic son de gran utilidad para verificar los atributos requeridos, en especial *Karbonoa*, *EcoWass* y *EcoGox*, las cuales se describen con mayor profundidad a continuación.

3.1.1.1 *Karbonoa*

Es una plataforma para el registro de proyectos de reducción de emisiones de GEI y de sus resultados, lo que le permite a las organizaciones gestionar el impacto de sus emisiones. Como plataforma de registro independiente crea una nueva forma de relacionarse con las partes interesadas, mayor transparencia y cumplimiento con base en la tecnología blockchain que aporta seguridad y transparencia al mercado de carbono voluntario y asegura el cumplimiento de las normas establecidas por parte de los proyectos que tiene registrados.

Brinda un nuevo modelo de trabajo donde el registro es totalmente independiente del programa de certificación, aportando con ello transparencia a los procesos, y mejores mecanismos de trazabilidad y acceso a la información por parte de terceros.

La plataforma *Karbonoa* considera elementos tecnológicos que la diferencian, tales como el uso del blockchain, contar con una suite de back office para la autogestión de hasta el 70% de la plataforma por parte del cliente, y el análisis técnico de salvaguardas entre otros. Así mismo se destaca la facilidad de escalar y ajustar la plataforma casi de manera inmediata a las condiciones del mercado o las necesidades de un cliente en particular.

Las salvaguardas ambientales y sociales¹³ son medidas diseñadas para proteger y promover el bienestar de las comunidades y el medio ambiente en proyectos de desarrollo. Estas salvaguardas son aplicadas principalmente en

¹³ Salvaguardas ambientales: Se refieren a políticas, prácticas y procedimientos destinados a prevenir, minimizar o compensar los impactos adversos sobre el medio ambiente. Esto puede incluir la conservación de la biodiversidad, la gestión adecuada de los recursos naturales, la reducción de la contaminación y la mitigación del cambio climático.

Salvaguardas sociales: Se centran en la protección de los derechos humanos y el bienestar social de las comunidades afectadas por un proyecto. Esto implica consideraciones como el desplazamiento de personas, la participación comunitaria, el acceso a recursos básicos como el agua y la tierra, la equidad de género y el respeto a las culturas locales.

proyectos financiados por instituciones multilaterales, bancos de desarrollo y grandes corporaciones, especialmente aquellos que pueden tener impactos significativos en el entorno natural y en las poblaciones locales.

3.1.1.2 Rol de Karbonoa

En el mercado existe falta de transparencia en la certificación de los proyectos de mitigación del cambio climático y la emisión de créditos de carbono, que son gestionados por los diferentes estándares de certificación de carbono existentes, tanto nacionales como internacionales. En teoría, los programas de certificación y los sistemas de registro deberían ser independientes, sin embargo, en la práctica esto no ha sido así llevando a que se genere poca credibilidad, problemas legales, problemas de reputación entre otros. Por ello, contar con una plataforma como Karbonoa, sería de gran utilidad para verificar las compensaciones de carbono que se realicen al implementar los esquemas de certificación priorizados, en especial cuando se certifique la subcategoría de *Hidrógeno Carbono neutral* en el esquema de TÜV Rheinland H2.21.

3.1.1.3 EcoGox

EcoGox es una plataforma que permite determinar el origen de la energía renovable de la red para su asignación a un consumidor final en particular, a través de una certificación que se emite a su favor. Es así que en el marco general de la contabilidad de la huella de carbono por consumo de energía de una organización, que se haga aplicando las provisiones de esquemas como el del Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHGP) del World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) o de la norma de Gases de Efecto Invernadero ISO 14064, las emisiones asociadas al consumo de energía categorizadas en el “alcance 2”, se pueden disminuir mediante el uso de Certificados de Energía Renovable.

3.1.1.4 Rol EcoGox

EcoGox como plataforma de certificación y registro de energía renovable que presta su servicio a diferentes usuarios en diferentes países de la región latinoamericana, considera dentro de estos a los generadores de energía renovable, comercializadores de energía y de certificados y usuarios finales. Asimismo, la plataforma brinda información útil para actores interesados en el sector eléctrico y ambiental como gobiernos, instituciones de investigación, gremios y sociedad civil en general.

Dado que cada certificado que emite la plataforma considera los beneficios ambientales y sociales de la energía generada por la central eléctrica renovable (ej. reducción de emisiones, emisiones evitadas, remociones de gases), los consumidores finales de la energía de la red, pueden lograr mediante los certificados emitidos, la trazabilidad del origen de la energía que consumen.

Considerando la certificación y registro de los atributos de energía que hace EcoGox, es posible adaptar un anexo técnico a su Protocolo de certificación de energía, para incluir los atributos que se deberían certificar para la producción del hidrógeno, incluso los adicionales a la energía eléctrica en caso de que ello aplique.

3.2 Rol de XM en el flujo de certificación de TÜV Rheinland H2.21

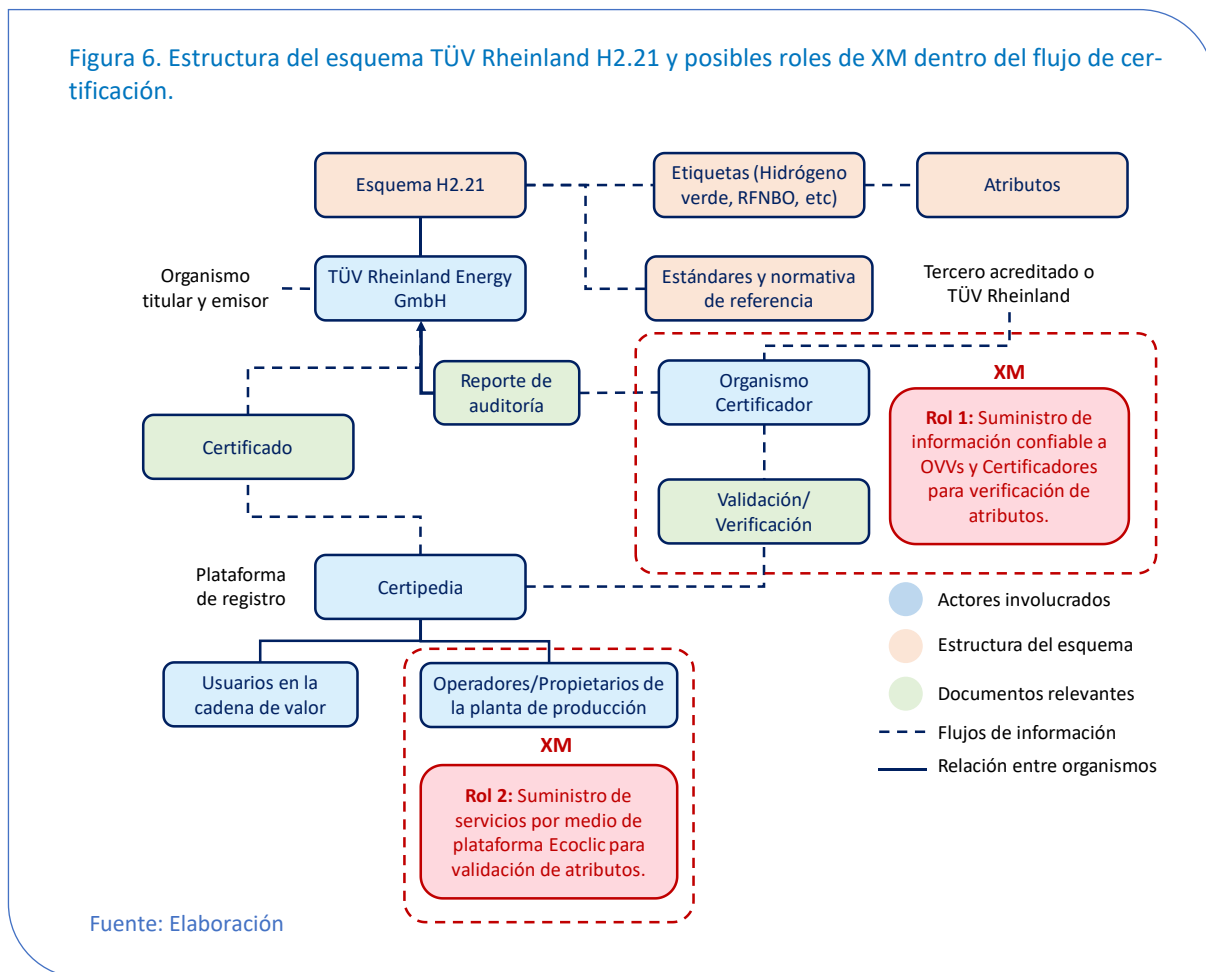
Este esquema cuenta con una estructura en la cual la entidad propietaria del esquema, en este caso TÜV Rheinland Energy GmbH, cumple además otras funciones en el flujo de certificación tales como organismo emisor, certificador y además propietario de la plataforma de registro de los certificados. El rol de otras entidades directamente asociadas con el flujo de certificación está limitado al de organismo certificador, para lo cual es necesario que estas se acrediten bajo los requerimientos establecidos por el estándar para este propósito.

Teniendo lo anterior en cuenta, las capacidades técnicas, y el alcance de mercado de las soluciones desarrolladas por XM en torno a la certificación de origen de la energía renovable (EcoGox) y al registro de iniciativas de reducción de emisiones de carbono (Karbonoa) bajo su sombrilla de servicios tecnológicos para los activos ambientales, así como la visión estratégica de la compañía, se determina que, para la aplicación de este esquema de certificación en Colombia el rol de XM estaría directamente asociado al proceso de **validación y verificación del cumplimiento de los atributos** establecidos para cada una de las subetiquetas evaluadas en este estudio. En este sentido, se pueden evidenciar dos posibles caminos:

- **Rol 1:** Desarrollo de alianzas estratégicas con entidades que puedan cumplir el rol de organismo certificador bajo el estándar H2.21 (aquellas con acreditación bajo ISO 14065:2020 o ISO 17029:2019), dentro de las que se encuentra la misma titular de la certificación, TÜV Rheinland. En este caso, el rol de XM estaría anclado al suministro de información confiable que sirva de respaldo en el proceso de validación y verificación, para el organismo certificador o los Organismos de validación y verificación (OVV).
- **Rol 2:** Desde XM desarrollar un producto orientado a los operadores/propietarios de las plantas de producción de hidrógeno, el cual cuente con las características exigidas por los organismos certificadores en el proceso de certificación, para la validación y verificación de los atributos.

Cabe resaltar que una de las fortalezas de XM es el desarrollo de plataformas de registro de información como lo son EcoGox y Karbonoa, por lo que se estudió la posibilidad de prestar dicho respaldo informático para el estándar H2.21; sin embargo, TÜV Rheinland ya cuenta con una plataforma de registro de certificados denominada Certipedia, por lo cual esta alternativa no resultaría razonable.

En la Figura 6 se puede observar la estructura general del esquema, el flujo de funcionamiento y las etapas de intervención de XM según los dos roles descritos anteriormente.



Por otro lado, al revisar cada una de las 3 subetiquetas, se resaltan los siguientes puntos principales en los cuales XM podría agregar valor facilitando el registro y verificación de los requisitos establecidos por el esquema:

- **Hidrógeno Verde:** En este caso, por medio de la plataforma EcoGox se podrían verificar de manera rápida y concisa el cumplimiento de los atributos asociados principalmente a la energía usada en la producción de hidrógeno. Esto teniendo la información registrada por los operadores de plantas de energía renovable que adelantan sus procesos de certificación de origen en dicha plataforma y aquella disponible en los demás sistemas de información gestionados por XM como operador del mercado eléctrico. En este sentido, a partir de las capacidades actuales se podrían verificar los atributos asociados con: la fuente de energía, la correlación geográfica y correlación temporal. Así mismo, se podrían brindar insumos clave para el balance de huella de carbono del producto.
- **RFNBO (RED II):** Al igual que en el caso anterior, para esta subetiqueta el papel de XM y en particular de EcoGox estará principalmente orientado hacia la validación y verificación de los criterios asociados a la energía renovable utilizada en la producción de hidrógeno. En esta categoría en particular se establecen requisitos más estrictos en relación con la correlación geográfica, temporal y además se incluye el criterio de adicionalidad, el cual no está presente para la certificación bajo la etiqueta de Hidrógeno Verde. En este caso es relevante tener en cuenta la temporalidad de las medidas establecidas para cada uno de los atributos, ya que en ciertos casos como en el de correlación temporal, se cambia el periodo de correlación de un mes calendario a una hora a partir de 2030.

- **Hidrógeno Carbono Neutral:** En este caso en particular, donde no se establecen criterios en relación con el origen de la energía, el principal atributo está relacionado a la correcta medición de la huella de carbono del producto y a su posterior compensación. Es por esto que para esta subetiqueta tiene una especial relevancia la plataforma Karbonoa, ya que, al ser una plataforma de registro de proyectos de carbono, lo cual les permitiría a los operadores de las plantas gestionar el impacto de sus emisiones de gases de efecto invernadero mediante créditos de carbono que compensen las emisiones asociadas a la producción de hidrógeno.

En conclusión, XM cuenta con plataformas de información confiable que permitirán realizar la validación y verificación del cumplimiento de los atributos necesarios para obtener las certificaciones. Por lo anterior, XM es un aliado clave para los organismos certificadores. Así mismo, se resalta que las capacidades disponibles de XM hacen que estas alternativas puedan ser implementadas en el corto plazo, estimando unos tiempos de implementación interna y adaptación de las plataformas de 1 año, para lo cual también es fundamental que se prioricen acciones enfocadas a cumplir este objetivo en la planeación estratégica y presupuestal anual de la organización.

3.3 Rol de XM en el flujo de certificación de CertHILAC

De acuerdo con la estructura propuesta en los recientes estudios adelantados por el BID, los roles de organismo emisor y certificador podrían ser ejercidos por una misma entidad para cada uno de los países. En este caso XM estaría directamente asociado al proceso de **certificación y registro de proyectos y sus atributos** establecidos en este estudio, teniendo en cuenta, dos posibles caminos:

- **Rol 1:** En la estructura descrita en la Figura 7 se designaría un ente certificador por país el cual a su vez tendría la facultad de acreditar diferentes entes auditores para los procesos de validación y verificación en el flujo de certificación. En este sentido, XM podría tomar la facultad de ente certificador y emisor para Colombia, teniendo en cuenta su experiencia en el manejo transparente y seguro de datos operativos y de mercado. Sin embargo, esta figura supondría el desarrollo de nuevas capacidades al interior de la compañía, tales como el establecimiento de una nueva división enfocada a la certificación bajo el esquema CertHILAC y la acreditación bajo normas de referencia para organismos certificadores como lo es la norma ISO 17065.

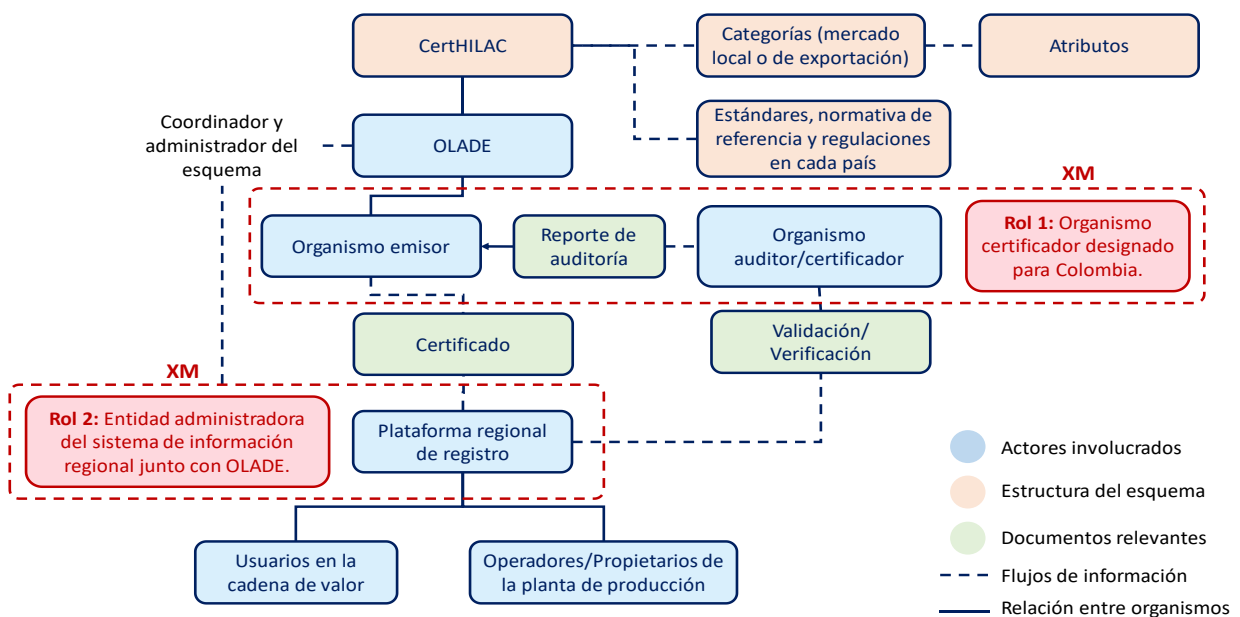
Así mismo, según la información disponible en relación con la determinación de los organismos certificadores para cada país, sería necesario justificar de manera sólida la idoneidad de XM para tomar esta posición en relación con otras entidades también de alta idoneidad para ocupar este rol, sin dejar de lado que XM tiene experiencia administrando su programa de certificación de energía EcoGox a nivel nacional e internacionalmente en Centro América y el Caribe.

Nota: Bajo el análisis realizado para la implementación de CertHILAC en Colombia surge la necesidad de clarificar las definiciones y roles del organismo certificador a nivel nacional. Ya que bajo las funciones descritas en la propuesta del esquema estas serían más del orden de un organismo acreditador como la ONAC, la cual tiene la función de acreditar a los organismos certificadores (tales como ICONTEC) a nivel nacional para certificar productos y servicios bajo estándares específicos. En este sentido, las funciones de lo que se establece en CertHILAC como organismo certificador podrían ser desarrolladas por la ONAC, y las que se establecen como organismos auditores serían llevadas a cabo por certificadores acreditados por la ONAC bajo los principios establecidos por CertHILAC. Así mismo, XM podría fungir como ente suministrador de la información confiable y certificada a los entes certificadores en su proceso de auditoría, y como plataforma única de registro de los certificados emitidos por cada una de estas entidades bajo el estándar CertHILAC.

- **Rol 2:** Dentro de la estructura propuesta para el esquema CertHILAC se resalta el rol de la OLADE como organismo coordinador y administrador regional del sistema. Esto a su vez abre la puerta a que también esta entidad sea la

encargada de operar la plataforma de registro de información, como parte de los estudios adelantados por el BID se sugiere que la OLADE contrate una entidad tercera con experiencia en el manejo de sistemas de información la cual la apoye en este aspecto. En este sentido, la experiencia de XM en el desarrollo de plataformas de registro de información en los diferentes ámbitos relacionados con la sostenibilidad, como es el caso de EcoGox y Karbonoa, plataformas de registro de certificados de energía renovable y de créditos de carbono, le darían una ventaja competitiva frente a otras alternativas presentes en la región. Por lo tanto, en este caso, el rol de XM estaría orientado hacia la operación de la plataforma regional de registro de información para el esquema CertHILAC, para lo cual los avances en la consolidación de la estructura del esquema serán fundamentales para determinar de manera precisa el procedimiento para lograr jugar esta figura dentro de este esquema.

Figura 7. Estructura de CertHILAC y posibles roles de XM dentro del flujo de certificación.



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, XM podría jugar un rol estratégico dentro de la estructura de CertHILAC tanto en relación con la implementación del esquema a nivel país, como a nivel región. Por lo tanto, es de alta relevancia que se adelanten acciones orientadas a materializar dichos roles en conjunto con las entidades que vienen liderando la iniciativa, en este caso el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Por otro lado, los tiempos de implementación en este caso estarían anclados al mismo desarrollo y materialización del esquema, el cual se espera tenga una versión inicial en los próximos meses. Una vez definido el esquema, desde la perspectiva del Rol 2 se estimarían unos tiempos de implementación de 1 a 2 años, considerando los retos en materia de implementación y financiamiento. En relación al Rol 1, los tiempos para su implementación estarían directamente asociados a las determinaciones del Ministerio de Minas y Energía, que en este caso es la entidad que representa al país ante CertHILAC, para la designación de la figura de Organismo Certificador para Colombia.

4 Propuesta de esquema de certificación Nacional

Según el Decreto 1476 de 2022, el Ministerio de Minas y Energía junto al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

están habilitados para desarrollar un esquema de certificación de origen del hidrógeno producido en Colombia, con el que se permita asegurar la unicidad y la trazabilidad de los insumos utilizados para la producción y su intensidad de emisiones asociadas, así como cualquier otro atributo relevante.

De acuerdo con las características de los esquemas analizados, se identificaron diversos elementos clave para la estructuración de un esquema de certificación nacional. Tomando dichas características en común, junto con las capacidades actuales de XM en materia de desarrollo de soluciones orientadas al mercado eléctrico, energía renovable y registro de proyectos de carbono, se establecen recomendaciones para la estructuración de un esquema de certificación nacional que permita certificar el origen del hidrógeno producido en los diferentes mercados en los que tendrá presencia. Este podría ser operado por las entidades de gobierno o desarrollado junto a terceros como es el caso de XM con capacidades para la implementación y operación de este tipo de estándares a nivel nacional.

4.1 Mercado Objetivo

Para la construcción de un esquema de certificación es fundamental entender en primer lugar el mercado objetivo del hidrógeno que se busca certificar. Para este ejercicio es necesario determinar cuáles son los consumidores potenciales del hidrógeno y/o derivados, y los requerimientos tanto de dichos consumidores, como de las regulaciones del país destino. En este sentido, se destacan dos mercados de alto interés: mercado interno (Colombia) y mercado de exportación (Unión Europea).

4.1.1 Mercado de exportación - Unión Europea

La Unión Europea proyecta una demanda interna de hidrógeno de 20 Mt/año a 2030, para lo cual se ha trazado objetivos con miras a autoabastecer 10 Mt/año e importar las restantes 10 Mt de países vecinos y de otras regiones, como lo es América Latina. En este sentido, el desarrollo de un estándar que permita validar el cumplimiento de los requerimientos establecidos por el mercado europeo es de alta relevancia, teniendo en cuenta las magnitudes que este mercado espera alcanzar en los próximos años.

Esta demanda estará principalmente orientada al cumplimiento de las metas establecidas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, para lo cual se han desplegado además una serie de incentivos y estrategias de financiamiento público con miras al cumplimiento de dichas metas. En este sentido, se construyó un marco de definiciones, criterios y atributos que debe cumplir el hidrógeno para ser considerado bajo el marco de dichos incentivos, el cual se establece en la directiva de energías renovables RED III y se complementa por medio de los dos actos delegados asociados a las reglas que debe cumplir la producción de Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBOs por sus siglas en inglés) y a la metodología para la medición de la huella de carbono de los RFNBOs en toda la cadena de valor, incluyendo la verificación de la reducción de emisiones respecto a los valores de referencia de los combustibles convencionales utilizados.

Vale la pena resaltar que, el cumplimiento de los criterios y atributos como RFNBO para el hidrógeno exportado hacia la Unión Europea, no es obligatorio. Por el contrario, deben ser cumplidos en los casos en que los actores en la cadena de valor del hidrógeno busquen obtener financiamiento público por parte de la Unión Europea para sus proyectos, así como para el cumplimiento de las cuotas de consumo de combustibles limpios establecidas por Europa. Por lo tanto, el no cumplimiento de dichos requisitos no restringe el comercio con dicha región, pero sí restringe la oportunidad de mercado, la cual paulatinamente migrará en su mayor proporción hacia el consumo de hidrógeno y derivados que cumplan las características de los RFNBO.

En conclusión, el mercado europeo tiene un gran potencial y proyecta un crecimiento acelerado de su demanda para

los próximos años, contando con una componente importante de importaciones de hidrógeno y derivados desde otras regiones bajo los lineamientos y definiciones establecidos para los RFNBO. Es por esto que el desarrollo de un estándar que permita validar y verificar los requerimientos y atributos establecidos para estos es de alta relevancia para habilitar vías mediante las cuales productores en Colombia puedan garantizar el cumplimiento de dichos atributos frente a compradores europeos.

4.1.2 Mercado Interno - Colombia

En Colombia la demanda de hidrógeno ha estado históricamente concentrado en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, las cuales suman un consumo aproximado de 130 kt/año de hidrógeno, el cual en su totalidad es autogenerado y usado en los procesos de refinación de combustibles. Por otro lado, otros sectores como el químico y de fertilizantes consumen una cantidad importante de derivados del hidrógeno como lo son el amoníaco y el metanol, los cuales son en gran medida importados desde países como Trinidad y Tobago. Colombia importa una gran proporción de los fertilizantes que se consumen en el país, lo cual suma a esa demanda indirecta de hidrógeno, en este caso en forma de urea y demás fertilizantes nitrogenados. Todo lo anterior suma una demanda total para el país que podría superar las 200 kt/año equivalentes de hidrógeno.

Según las metas establecidas en la Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia, se proyecta que la demanda de hidrógeno renovable y bajo en emisiones alcance las 1850 kt/año a 2050, con usos fundamentalmente en la industria y el transporte [3]. En línea con el desarrollo de la estrategia nacional de hidrógeno se inició el desarrollo de regulación enfocada a incentivar el desarrollo del mercado interno, resultado de esto fue la aprobación de la Ley 2099 de 2021 y sus decretos complementarios, dentro de los que se encuentra el Decreto 1476 de 2022. Ambos avances regulatorios establecieron las definiciones de Hidrógeno Verde¹⁴ e Hidrógeno Azul, así como el marco de incentivos y de procedimientos para la obtención de estos. Dentro de estos, se homologaron los incentivos tributarios existentes de la Ley 1715 de 2014 para las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, aplicables a los proyectos de Hidrógeno Verde y Azul.

Estos incentivos serán utilizados por diversos proyectos que cubren toda la cadena de valor del hidrógeno, principalmente aquellos enfocados en la producción. En este sentido, se han identificado algunas barreras para el otorgamiento de dichos incentivos, las cuales están asociadas en el caso de los "Proyectos de Hidrógeno Verde" (definición Decreto 1476 de 2022) principalmente a las garantías que se deben otorgar en relación con la proveniencia de la energía usada en la producción de hidrógeno. De manera tal que se puedan obtener de manera satisfactoria los incentivos.

Teniendo lo anterior en cuenta, se identifica un potencial importante de desarrollo de demanda interna para el país, así como una necesidad latente del mercado que podría ser solucionada por medio de un esquema de certificación enfocado en hacer las veces de un sello de confianza entre la entidad que otorga el certificado de obtención de los incentivos tributarios, en este caso la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), y la entidad o empresa que lo solicita.

¹⁴ Hidrógeno Verde de acuerdo con la Ley 1715 de 2014: Aquel producido a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, tales como la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, el calor geotérmico, la solar, la mareomotriz, entre otros; y se considera Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). También se considerará hidrógeno verde el producido con energía eléctrica autogenerada a partir de FNCER y energía eléctrica tomada del Sistema Interconectado Nacional (SIN), siempre y cuando la energía autogenerada con FNCER entrada al SIN sea igual o superior a la energía tomada del SIN; para este último caso, el Ministerio de Minas y Energía establecerá el procedimiento para certificar este balance a partir de los sistemas de medida ya establecidos en la regulación.

4.1.3 Atributos

Parte fundamental en la estructura de cada esquema de certificación son los atributos que se le asignan a las categorías o etiquetas bajo las cuales se otorgan los certificados de origen. Dentro de estos atributos se incluyen aquellos asociados con las fuentes de energía para la producción de hidrógeno, los umbrales de huella de carbono, el impacto social y ambiental de los proyectos, las condiciones de trabajo y seguridad, entre otros que pueden ser relevantes para el mercado objetivo, quien es en últimas el que establece la relevancia de cada atributo según los estándares de calidad que debe cumplir, las necesidades de sus clientes o las obligaciones establecidas por la regulación del mercado en el que opera.

De acuerdo con los dos mercados objetivos descritos previamente se identifican los atributos de mayor relevancia que en el caso europeo se exigen para los RFNBOs y en el caso colombiano se exigen para otorgar los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014 (ver **Error! Reference source not found.**). Estos requisitos se establecerían como la línea base en cada una de las categorías, con la posibilidad de agregar módulos adicionales de incentivos según las necesidades del consumidor del hidrógeno certificado.

Tabla 6 Atributos según las regulaciones del mercado objetivo

Atributos según el mercado objetivo - Recomendaciones para esquema XM.		
Atributo	Mercado Nacional (Definición Hidrógeno Verde Ley 1715 de 2014 y leyes y decretos complementarios)	Mercado Europeo (Definición de RFNBO RED III y actos delegados complementarios)
Origen de la energía	El hidrógeno debe ser generado a partir de energía proveniente de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). La energía puede ser autogenerada o tomada de la red, y la totalidad de la energía tomada de la red debe ser respaldada por medio de un contrato bilateral de suministro de energía respaldado a su vez con certificados de energía renovable.	La energía usada para la producción de hidrógeno debe provenir de fuentes renovables de origen no biológico según las definiciones de RED III. Esto se puede dar mediante conexión directa a la planta de generación de energía o tomando energía de la red bajo las condiciones establecidas en el artículo 3 y artículo 4 del acto delegado (UE) 2023/1184 de la Comisión Europea [4].
Adicionalidad	No definido	La planta de generación de energía renovable debe haber iniciado operación no más de 36 meses antes que la planta de producción de hidrógeno ¹⁵ . Excepciones: - El factor de emisión de la red es menor a 18 gCO ₂ equ/MJ (65 gCO ₂ equ/kWh). - La planta de producción de hidrógeno inicia su operación antes del 01/01/2028
Correlación Geográfica	No definido	Las plantas de energía renovable y de producción de hidrógeno se deben encontrar en la misma <i>Bidding Zone</i> o su equivalente según las disposiciones de RED III ¹⁶ .

¹⁵ Se deben tener en cuenta las demás disposiciones establecidas en el artículo 5 y artículo 8 del acto delegado (UE) 2023/1184 de la Comisión Europea.

¹⁶ Se deben tener en cuenta las demás disposiciones establecidas en el artículo 7 y artículo 8 del acto delegado (UE) 2023/1184 de la Comisión Europea

Correlación temporal	No definido	El hidrógeno y la energía renovable se deben producir dentro del mismo mes calendario ¹⁷ . Nota: A partir del 01/01/2030 debe ser dentro de la misma hora.
Umbral de huella de carbono	No definido ¹⁸	Se debe garantizar una reducción mínima del 70% respecto al valor comparador de 94 gCO ₂ eq/MJ, lo cual equivale a un umbral máximo de emisiones de 3.384 kgCO ₂ equ/kgH ₂ ¹⁹

4.1.4 Normativas y estándares de referencia

Las normativas y estándares de referencia son de alta relevancia para el desarrollo de un esquema coherente y con reconocimiento de todas las partes interesadas. En este sentido, estas van desde los estándares que respaldan las metodologías por medio de las cuales se mide y verifica el cumplimiento de cada uno de los atributos, hasta la idoneidad misma del esquema desarrollado frente al mercado objetivo que espera impactar. En este sentido, se han identificado diferentes normativas que pueden servir como punto de referencia para la estructuración de un esquema.

Tabla 7 Recopilación de estándares de referencia principales para el desarrollo de un esquema de certificación

Estándares de referencia - Recomendaciones para esquema XM.	
Estándar o normativa ²⁰	Aspectos relevantes que cubren
ISO 14040/44	Normativas de referencia para el análisis de ciclo de vida del producto. Se referencia en diversos esquemas voluntarios de certificación de origen del hidrógeno para la medición de la huella de carbono.
ISO 14067	Especifica los principios, requisitos y directrices para la cuantificación y el informe de la huella de carbono de un producto (HCP), de manera coherente con el análisis de ciclo de vida (ISO 14040 e ISO 14044). También referenciada en diversos estándares para la verificación del cumplimiento de los umbrales máximos de huella de carbono.

¹⁷ Se deben tener en cuenta las demás disposiciones establecidas en el artículo 6 y artículo 8 del acto delegado (UE) 2023/1184 de la Comisión Europea.

¹⁸ En el decreto 1476 de 2022 se establece la definición de Hidrógeno de Bajas Emisiones, según el cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Minas y Energía, son los encargados de establecer el umbral máximo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para considerar el hidrógeno como Hidrógeno de Bajas Emisiones.

¹⁹ Se deben tener en cuenta las demás disposiciones establecidas en el articulado del acto delegado (UE) 2023/1185 de la Comisión Europea en relación con el umbral de emisiones y a la metodología para evaluar la reducción de emisiones derivadas del uso de RFNBOs.

²⁰ En el caso del mercado europeo (RFNBOs), tanto la ISO 14040/44, como la ISO 14067 se pueden utilizar en conjunto con la metodología para evaluar la reducción de emisiones derivadas del uso de RFNBOs establecida en el acto delegado (UE) 2023/1185 de la Comisión Europea.

ISO 19870 ²¹	Metodología para determinar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción, acondicionamiento y transporte del hidrógeno hasta el punto de consumo. Esta normativa está basada tanto en la ISO 14067 como en ISO 14040/44.
ISO 14065	Especifica los principios y requisitos para los organismos que realizan funciones de validación y verificación de afirmaciones de información ambiental [5]. Referenciada en diferentes estándares como requisito que deben cumplir las organizaciones que busquen cumplir el rol de organismo certificador bajo un estándar de un tercero.
ISO 17029	Este documento contiene los principios generales y los requisitos para la competencia, la operación coherente y la imparcialidad de los organismos que realizan la validación/verificación (OVV) como actividades de evaluación de la conformidad. Este estándar es de alta relevancia para el establecimiento de los requisitos que deben cumplir los OVV en el flujo de certificación.
ISO 17065	Contiene requisitos relacionados a la competencia, la consistencia de las actividades y la imparcialidad de los organismos de certificación de productos, procesos y servicios. En diversos esquemas de certificación se referencia para establecer los requisitos que deben cumplir los organismos certificadores.
ISO 17011	Este documento especifica los requisitos de competencia, operación coherente e imparcialidad de los organismos de acreditación que evalúan y acreditan organismos de evaluación de la conformidad. Por medio de este estándar además se determina la idoneidad del estándar de certificación respecto al alcance reportado y su estructura. Esta acreditación es llevada a cabo por la ONAC en el caso de Colombia.
Normativa RED III y los actos delegados (UE) 2023/1185 y 2023/1184 de la Comisión Europea	Esta normativa establece los lineamientos y metodologías para la verificación de los atributos tanto del hidrógeno como de los derivados que se produzcan y se comercialicen como RFNBOs.

Así mismo, de acuerdo con los atributos que se establezcan en el esquema de certificación y a la estructura de gobernanza de este, será necesario referenciar un mayor número de normativas que permitan, como se mencionó anteriormente, dar garantías objetivas sobre la medición de los atributos y al mismo tiempo garantizar una operación transparente y articulada entre los diferentes actores incluidos en la cadena de certificación.

4.1.5 Categorías y reporte de atributos

El mundo ha venido transitando de los colores del hidrógeno y las etiquetas, hacia un sistema donde el foco principal está en el reporte objetivo y cuantitativo de los atributos asociados al hidrógeno, lo que quiere decir que más allá de

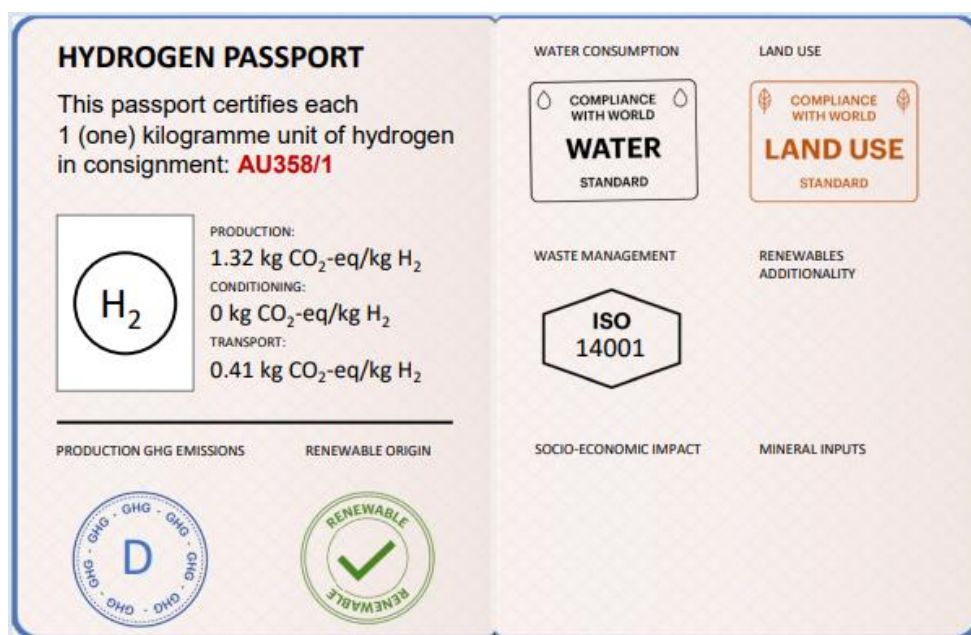
²¹ Se espera que la norma ISO 19870 replazce tanto la ISO 14067 e ISO 14040/44 como normativa de referencia para la metodología seguida en el cálculo de la huella de carbono de producto en la producción, acondicionamiento, transporte y demás eslabones de la cadena de valor del hidrógeno.

generar denominaciones como las vistas en diversos esquemas de certificación voluntaria donde se etiqueta al hidrógeno como RFNBO, hidrógeno verde, entre otros; se busca como eje central reportar el cumplimiento de los atributos directamente asociados al hidrógeno sin asociarlo directamente a una denominación específica o una etiqueta.

La Agencia Internacional de Energía en este sentido propone un pasaporte de producto para el hidrógeno y sus derivados, el cual permita de manera clara y resumida validar el cumplimiento de los atributos y requisitos establecidos por el mercado objetivo que consumirá dicho hidrógeno. Esto no sólo es de utilidad para los consumidores finales y los demás usuarios en la cadena de valor, sino además para los entes reguladores y gobiernos, para realizar una trazabilidad de manera más precisa y transparente de los atributos del hidrógeno comercializado y a su vez refinar el enfoque de las estrategias de financiamiento público enfocadas en esta industria.

Como se puede observar en la Figura 8 este pasaporte tendría un número de identificación que correspondería con el cual se le podría dar trazabilidad al producto a lo largo de toda la cadena de valor. En este sentido, por medio de tecnologías Blockchain como las ya implementadas en EcoGox y Karbonoa se podría contar con esta clase de características tecnológicas que aportan a la transparencia del certificado y contribuyen a evitar la doble contabilidad. Por otro lado, este pasaporte tendría para cada atributo un sello de conformidad, con toda la información de referencia necesaria para garantizar su validez. Así, en el caso de la huella de carbono, se contaría con el reporte de la misma y a su vez con el sello que garantiza su veracidad, así como las normativas de referencia usadas para su medición.

Figura 8. Sistema de pasaporte de hidrógeno propuesto por la Agencia Internacional de Energía.

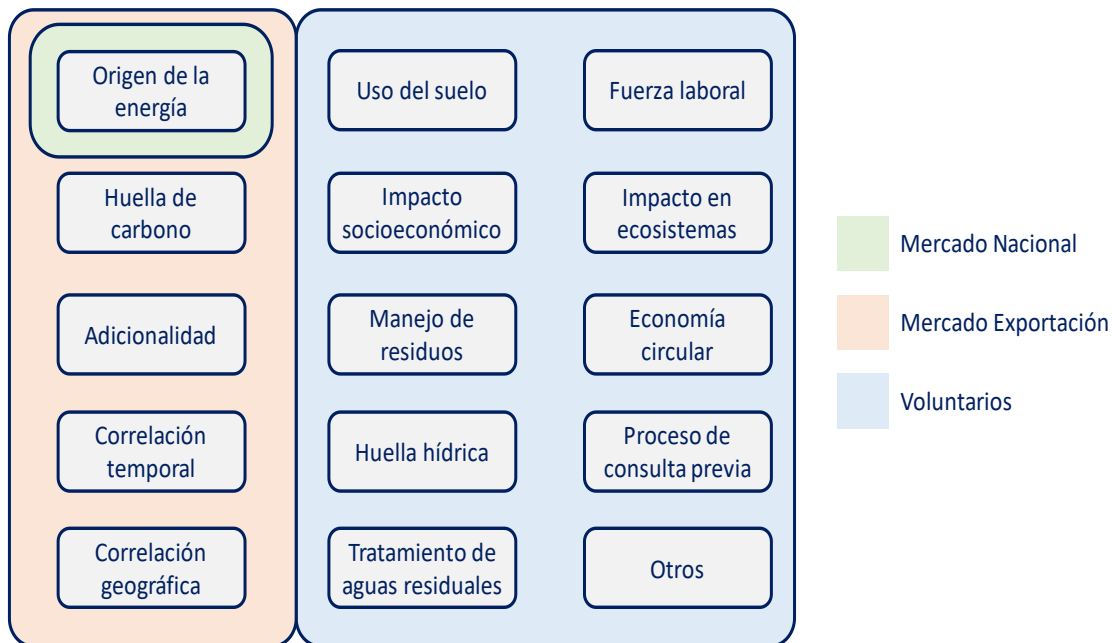


Fuente: Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity [10]

Esto a su vez abre la posibilidad de generar reportes con un alto nivel de flexibilidad, ya que, como se mencionó anteriormente, existen diferentes mercados objetivos, como el europeo o de exportación y el nacional; sin embargo, es necesario resaltar que los requisitos enunciados para cada uno de estos mercados está enmarcado en el otorgamiento de ayudas públicas o incentivos tributarios, es decir, es obligatorio cumplirlos para acceder a dichas ayudas e incentivos, pero no lo es para la comercialización misma del hidrógeno con otro tipo de consumidores que no

estén buscando obtener dichos beneficios económicos. En este sentido, el desarrollo de este concepto de pasaporte de producto permitiría abarcar mercados mucho más amplios donde los requerimientos son distintos sin la necesidad de crear nuevas definiciones o etiquetas.

Figura 9. Estructura de categorías y atributos requeridos según el mercado objetivo.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 se puede observar la que sería la estructura de las categorías propuestas con los atributos que se asignarían al pasaporte de producto antes descrito. Se destacan la categoría del mercado de exportación o mercado europeo (RFNBO RED II), y el mercado nacional. En ambas se señalan como requisitos base aquellos que establece el ente regulador como obligatorios para el acceso satisfactorio a los incentivos y ayudas económicas disponibles para cada uno de ellos. Por otro lado, se abre la puerta a la inclusión de criterios adicionales según las necesidades del usuario del hidrógeno, donde además de los atributos base se incluyen aquellos asociados a los impactos socioambientales de los proyectos, el manejo de residuos, huella hídrica, entre otros.

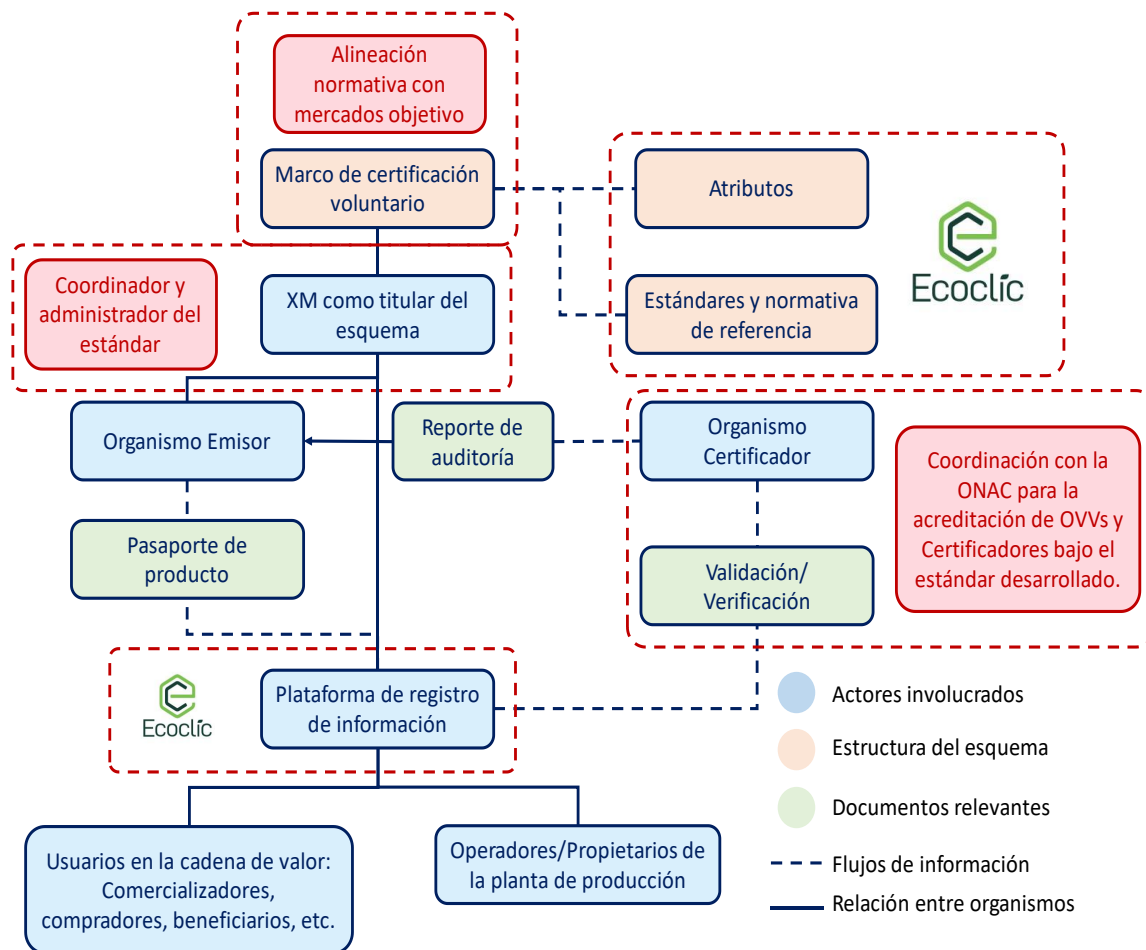
4.1.6 Estructura y gobernanza del esquema

Un punto fundamental en la formulación de esquemas de certificación voluntaria de hidrógeno es la estructura y gobernanza del mismo, ya que estos dos aspectos definen los roles que debe cumplir cada entidad y a su vez establece los flujos de información en toda la cadena del certificado. Teniendo esto en cuenta, se propone un esquema basado en una plataforma de registro única de información a la cual tengan acceso todos los usuarios o partes interesadas de la cadena de valor del hidrógeno, desde los consumidores hasta organismos de carácter gubernamental.

En este sentido como se puede observar en la **Error! Reference source not found.**, XM sería el organismo titular del esquema y administrador de la plataforma de registro, en la cual diferentes entidades certificadoras registrarían los reportes de cumplimiento de los propietarios de las plantas de producción y demás actores en la cadena de valor del

hidrógeno conforme a los atributos definidos ya sea para el mercado nacional, europeo u otros mercados con requisitos diferentes a estos. En este caso además XM sería el encargado de realizar la emisión del pasaporte de producto, donde se podría consultar los atributos con los que cumple el hidrógeno, así como toda la información y documentación de respaldo.

Figura 10. Estructura y gobernanza de esquema propuesto para XM.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.7 Precertificación y certificación

Dentro de los esquemas de certificación voluntaria se logró identificar dos tipos de procesos de evaluación de cumplimiento: la precertificación y la certificación. El primero está asociado a la evaluación y validación previa de las características de los proyectos de producción de hidrógeno y derivados. Este tipo de evaluaciones buscan validar que el diseño de las plantas de producción esté acorde a los requerimientos que establecen los mercados objetivos como el nacional o el europeo. Particularmente en estos dos casos, donde se otorgan incentivos tributarios o ayudas públicas de financiamiento a los proyectos que cumplen con los criterios establecidos para Hidrógeno Verde y RFNBOs respectivamente, es necesario realizar este tipo de validaciones, ya que el cumplimiento o no cumplimiento de dichos requisitos supone un efecto importante sobre la rentabilidad de estos.

En este mismo sentido, los procesos de precertificación o de evaluación previa de cumplimiento ayudan a dar certidumbre a los inversionistas sobre la viabilidad de obtener los incentivos y ayudas públicas en las etapas de construcción y operación. Por otro lado, los procesos de certificación se llevan a cabo de manera ex-post, una vez el proyecto está operativo y cuenta con datos a partir de los cuales se puede certificar una cantidad específica o lote de producto.

4.1.8 Proceso de reconocimiento por parte de los mercados objetivo

Además de garantizar el cumplimiento de los atributos y requerimientos que establecen los mercados objetivos, es necesario que el esquema desarrollado cuente con el reconocimiento de las entidades oficiales de los mercados objetivos. Por lo tanto, una vez desarrollado el esquema, es necesario surtir un proceso de reconocimiento por parte de las entidades reguladoras.

Para el caso de Colombia, en el cual la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) es la encargada de otorgar los certificados de beneficios tributarios para los proyectos de hidrógeno, es necesario que dicha entidad reconozca el esquema que se desarrolle por parte de XM y de validez al pasaporte de producto como una vía de verificación de cumplimiento de las características establecidas para la obtención del incentivo tributario. EcoClic, siendo el portafolio de activos ambientales de XM para la trazabilidad no solo de energía y carbono sino también de agua, biodiversidad y material transformado, puede ser una solución interesante para la trazabilidad de los otros atributos ambientales y sociales relacionados con la producción del hidrógeno.

Así mismo, otras entidades relevantes para este mercado son el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los cuales son los encargados de dar las señales de política pública y de establecer los procedimientos técnicos por medio de los cuales se puede verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el marco normativo. Adicionalmente, a través del Decreto 1476 de 2022, estos ministerios están encargados de definir el nivel de emisiones para catalogar el Hidrógeno bajo en emisiones en Colombia. Una vez este nivel este determinado, el pasaporte deberá reflejar este límite y los desarrolladores podrán a través de XM y sus plataformas certificar su cumplimiento.

En cuanto al mercado europeo, es necesario surtir un proceso de reconocimiento por parte de la comisión europea del esquema de certificación para acreditar que el mismo tiene una estructura, una gobernanza y, en general, unas características que permiten validar que los reportes de cumplimiento que se den bajo dicho estándar están acordes a los requerimientos que exige el espacio de la Unión Europea, específicamente para los RFNBOs. Dicho reconocimiento sería determinante para lograr exportaciones efectivas de hidrógeno y derivados desde Colombia al mercado europeo bajo la definición de RFNBO, y que esto a su vez permita que los actores en la cadena de valor, desde el productor, hasta el operador logístico encargado del transporte del hidrógeno hasta su punto de destino, puedan acceder de manera satisfactoria a las ayudas e incentivos que se han venido desarrollando en esta región en particular enfocados al hidrógeno sostenible.

Actualmente, organizaciones como CCEE (Cámara de Comercialización de Energía Eléctrica de Brasil), CertifHy, REDcert, ISCC y KZR INiG System, están adelantando procesos de reconocimiento por parte de la comisión europea²². Este proceso a pesar de que no es obligatorio, le permitirá a los esquemas reconocidos tener una ventaja competitiva frente a los demás. En el caso específico de un esquema desarrollado por XM para la certificación de hidrógeno y derivados al mercado europeo bajo la categoría de RFNBO, el reconocimiento por parte de la comisión europea del esquema supondría ventajas importantes no sólo para XM como compañía, sino en general para la competitividad del hidrógeno

²² Actualmente estos organismos están a espera de recibir el visto bueno a nivel técnico por parte de la Comisión Europea para el reconocimiento de sus esquemas de certificación en el espacio de la Unión Europea [8].

exportado a la Unión Europea.

En este proceso de reconocimiento no sólo es importante la estructura del esquema y sus características, sino además la homologación de conceptos entre mercados. Esto está asociado principalmente en el caso de los RFNBOs, a las diferencias entre definiciones del mercado eléctrico de donde se produce el hidrógeno, en este caso Colombia, y donde se consume, en este caso Europa. Conceptos como el de Zonas de Oferta o Bidding Zones no cuentan actualmente con un equivalente en el mercado colombiano, por lo tanto, es necesario desde los entes reguladores trabajar en la homologación de términos que permita suministrar información válida al mercado europeo.

5 Análisis de proyectos en operación

En 2023 Colombia publicó por primera vez la base de proyectos de hidrógeno y sus derivados, en un trabajo realizado para la Agencia Internacional de Energía (IEA). En esta base de datos se identificaron 28 proyectos en desarrollo destinados a distintos usos y desarrollados tanto por empresas nacionales como internacionales. En particular, la mayoría de esos proyectos se planean desarrollar en la región caribe, seguido por proyectos en región andina y algunos en el valle del cauca.

Del análisis de la base de datos se evidencia una importante dinámica del mercado orientada a la exportación. Los proyectos de gran escala suman más de 13 GW de electrólisis y se enfocan en el mercado extranjero. De otro lado, las plantas de mediana escala (~10 MW) se enfocan en suplir la demanda local.

La inversión prevista para los proyectos que entrarán en funcionamiento antes de 2030 es de 3,3 BUSD. Esta cantidad es inferior al objetivo de inversión de 5,5 BUSD establecido en la Hoja de Ruta; sin embargo, si se incluyen los proyectos con horizonte 2040 se eleva a más de 20 BUSD logrando que Colombia se vuelva un país activo en el mercado del hidrógeno nacional e internacional.

De los 28 proyectos reportados se tiene contemplado el uso de electrolizadores en 18 de ellos, 13 proyectos se basan en electrolizadores PEM, mientras que los cinco restantes incorporan electrolizadores alcalinos. Es importante resaltar que, para garantizar la viabilidad a largo plazo de estos proyectos, es crucial formular un plan que garantice el suministro de electrolizadores, el despliegue de infraestructura compartida para exportar derivados como el amoníaco y el metanol y estrategias de financiamiento que faciliten la decisión final de inversión.

5.1 Análisis de proyectos en operación/construcción

En los últimos años se han venido desarrollando diferentes proyectos piloto y de escala industrial de producción de hidrógeno y derivados en Colombia. Estos han tenido una relevancia importante para la maduración del sector y son el punto focal para el desarrollo de nuevas capacidades en aspectos como lo es la certificación de origen. En la **Error! Reference source not found.** se pueden observar los proyectos operativos y en construcción de escala piloto e industrial. En ella se realiza un análisis comparativo de cada uno de los proyectos y se evalúan aspectos específicos de gran relevancia para determinar su nivel de preparación para surtir un proceso de certificación de origen del hidrógeno.

En particular se resalta que todos los proyectos mapeados cuentan con fecha de entrada en operación anterior al 01/01/2028, por lo tanto, en ninguno de los proyectos analizado sería necesario cumplir el criterio de adicionalidad establecido por RED III para la producción de RFNBOs. Por otro lado, podemos observar que para la mayoría de los casos la configuración establecida para el suministro de energía contempla la conexión directa a una planta de autogeneración de energía renovable, así como la conexión a la red como fuente de respaldo. En este punto en particular es importante resaltar que sólo el proyecto Prothium cuenta con un contrato bilateral de energía tipo PPA con certificados de origen de la energía para respaldar la proveniencia de la energía utilizada por el electrolizador. En

este mismo aspecto, también se resalta que el proyecto piloto propiedad del Grupo EPM cuenta con un 100% de energía eléctrica autogenerada en la planta mediante combustión del biogás, procedente de la digestión de los lodos de las aguas residuales. En este sentido, es importante resaltar que dicha electricidad cumpliría los criterios establecidos a nivel nacional en relación a la definición de Hidrógeno Verde de la Ley 1715 de 2014; sin embargo, no cumpliría con los requisitos establecidos para la producción de RFNBO (Combustibles Renovables de Origen No Biológico) bajo las normas establecidas por la directiva europea RED III, la cual establece que esta clase de combustibles deben ser producidos a partir de energía proveniente de una fuente renovable de origen no biológico, característica que el biogás no cumple.

En cuanto al cálculo de la huella de carbono, se resalta que ninguno de los proyectos ha adelantado aún el proceso de balance de la huella de carbono del hidrógeno producido; sin embargo, la mayoría cuenta con la información base para realizar este tipo de análisis, por lo tanto uno de los puntos fundamentales para adelantar un proceso de certificación en cada uno de los proyectos estaría asociado al cálculo de este atributo y verificarlo bajo los requerimientos de los mercados objetivos a los cuales se busque comercializar el hidrógeno o su derivado.

Teniendo en cuenta lo anterior, así como la demás información disponible, se establece la siguiente priorización en relación con los proyectos para el desarrollo de un piloto de certificación:

- **Prothium:** Este proyecto cumple con todos los requerimientos establecidos por el mercado nacional bajo la definición de Hidrógeno Verde de la Ley 1715 de 2014. En este mismo sentido, vale la pena resaltar que el proyecto surtió de manera satisfactoria el proceso de obtención de incentivos tributarios frente a la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, proceso mediante el cual se acreditó que la planta y sus unidades funcionales cumplen los criterios para ser objeto de dichos incentivos tributarios. Esto es de alta relevancia, ya que representa el respaldo de una autoridad estatal en relación con el cumplimiento de dichos requisitos técnicos. Por otro lado, se resalta a este proyecto como el de mayor capacidad de producción, lo cual es de alta relevancia, ya que permitiría entender las implicaciones de la certificación en una operación de escala industrial. Así como analizar la certificación de derivados, dado que uno de los usos del hidrógeno producido será la generación de amoniaco.
- **Planta piloto Power to Gas:** Este proyecto cumple con los criterios y atributos establecidos tanto por el mercado nacional, como por el mercado europeo para la producción, tanto de Hidrógeno Verde, como de RFNBOs. Al igual que en el caso del proyecto Prothium, se resalta la producción de metano sintético, el cual podría ser certificado como RFNBO dado el caso en que se garantice que el CO₂ utilizado sea biogénico. Así mismo, su ubicación en el departamento de La Guajira, abre un espectro de oportunidades para construir conocimiento alrededor de las capacidades que se deben construir para la certificación de hidrógeno y derivados en la región.
- **Planta piloto Promigas:** Se resalta que este es el único proyecto piloto a nivel nacional que produce hidrógeno para la inyección a la red de gas natural y su comercialización. Esto es de alta relevancia para el desarrollo de un proceso de certificación, ya que se cuenta con toda la cadena de valor integrada, desde la producción hasta el consumo. A partir de este piloto es posible construir conocimiento en particular alrededor de las alternativas de cadena de custodia y determinar estrategias para el cumplimiento que exige cada una de dichas alternativas.
- **Planta piloto Grupo EPM:** Este proyecto al igual que la planta piloto de Promigas supone un caso de estudio importante para los usos enfocados en blending con gas natural o biogás. Al igual que los anteriores proyectos, esta cuenta cumple con la gran mayoría de atributos y criterios establecidos tanto para el mercado nacional, como el mercado europeo; sin embargo, para este último, la fuente de energía no cumpliría los criterios establecidos, ya que se debe garantizar que sea una fuente renovable de origen no biológico

Tabla 8 Resumen de análisis de proyectos en operación y construcción

Características de proyectos en operación y construcción.				
Característica	Proyectos de producción analizados			
Nombre del proyecto	Proyecto Piloto del Grupo EPM para la producción de hidrógeno de bajas emisiones en la PTAR Aguas Claras	Planta piloto Power to Gas: Hidrógeno y metano	Prothium	Piloto exploratorio de producción de H2 verde y su inyección a las redes de gas natural
Entidad propietaria y/o operadora de la planta de producción	Grupo EPM y Aguas Nacionales Filial EPM	Universidad de Antioquia y Universidad de la Guajira	Opex S.A.S y Hevolucion S.A.S	Promigas SA ESP
Fecha de puesta en operación	28 de febrero de 2024	23 de agosto de 2023	3 de junio de 2024	18 de marzo de 2022
Cumplimiento criterio de adicionalidad establecido en RED III para producción de RFNBO ²³	✓	✓	✓	✓
Producción anual estimada (kg)	1825	107	340000	1574
Tecnología	Electrolizador tecnología AEM	Electrolizador tecnología AEM	Electrolizador Alcalino	Electrolizador PEM
Capacidad nominal de la tecnología (kg/hr)	0.21	0.04	41.60	0.18
Uso final	- Blending con biogás. - Blending con gas natural. - Movilidad	- Generación de calor - Producción de metano sintético.	- Producción de amoníaco. - Movilidad.	- Blending con gas natural.
Ubicación geográfica	Bello - Antioquia	Riohacha - Guajira	Medellin - Antioquia	Cartagena - Bolívar
Consumo anual estimado de energía para producción de hidrógeno (MWh)	219	3.5	22000	193
Configuración para el suministro de energía	Autogeneración 100% (sin conexión a la red)	Autogeneración + Conexión a la Red	Autogeneración + Conexión a la Red	Autogeneración + Conexión a la Red

	Origen de la energía	Biogás	Energía solar y eólica.	Energía hidroeléctrica de Pequeñas Centrales	Energía solar
Fuente de energía	Renovable de origen no biológico según definición de RED III	✗	✓	✓	✓
	Fuente No Convencional de Energía Renovable (FNCER) según Ley 1715 de 2014	✓	✓	✓	✓
	El respaldo de energía tomada de la red se soporta mediante un PPA renovable con certificados de origen de la energía o algún medio equivalente	No Aplica	✗	✓	✗
	Cuenta con balances de masa, energía y/o volumen del proceso.	✗	✓	✓	✓
Huella de Carbono	Cuenta con los diagramas de instrumentación y control, y especificaciones técnicas de los equipos de medición.	✓	✓	✓	✓

²³ La planta de generación de energía renovable debe haber iniciado operación no más de 36 meses antes que la planta de producción de hidrógeno. Se exime del cumplimiento de este requisito a los proyectos en los que la planta de producción de hidrógeno inicia su operación comercial antes del 01/01/2028, así como aquellos que se encuentran ubicados en zonas donde el factor de emisión de la red es menor a 18 gCO₂equ/MJ (65 gCO₂equ/kWh).

	Ha realizado medición de huella de carbono bajo algún estándar o metodología reconocida internacionalmente como ISO 14040/44 o ISO 14067	✗	✗	✗	✗
	Cuenta con un manual de monitoreo y operación de la planta	✓	✓	✓	✓

Conclusiones

- Se realizó un análisis a profundidad de los requerimientos que deben cumplir los operadores y desarrolladores de proyectos para certificar el hidrógeno producido o sus derivados bajo los esquemas TÜV Rheinland H2.21 y CertHILAC. En este mismo ejercicio se elaboraron tablas orientadoras que asocian atributos y requerimientos, con las acciones y documentación para demostrar su cumplimiento ante los entes certificadores. Dentro de este análisis se evaluaron los potenciales roles que puede jugar XM como operador del mercado eléctrico nacional y desarrollador de diversas soluciones tecnológicas de sostenibilidad en su plataforma EcoClic, en el flujo de certificación de cada uno de los esquemas mencionados.
- Una acción imperativa por llevar a cabo para lograr la exportación de RFNBOs hacia el mercado europeo está asociada con la homologación de conceptos entre mercados eléctricos. Un ejemplo de esto son las Zonas de Ofertas o *Bidding Zones*, las cuales no están definidas en Colombia y por lo tanto es necesario establecer un equivalente según las características del mercado nacional, de manera tal que sea posible verificar atributos como la correlación geográfica. Esta labor debe involucrar a entidades como la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) y el operador del mercado eléctrico XM, así como los demás actores involucrados en la cadena de valor del hidrógeno, para lo cual la Asociación Hidrógeno Colombia sería el representante del sector productivo.
- En relación con el desarrollo de un esquema nacional de certificación, es necesario tener en cuenta para el caso de las exportaciones a regiones como la europea la necesidad de obtener reconocimiento del estándar por parte de la Comisión Europea. Para esto, se debe surtir una solicitud formal mediante la cual se realizará un análisis técnico del esquema y si puede ser reconocido para la certificación de RFNBOs.
- En el esquema nacional se proponen dos categorías de certificación: Hidrógeno Verde (que cumpla con la regulación colombiana según ley 2099 para facilitar la obtención de incentivos tributarios de los proyectos), RFNBO (Con cumplimiento de los requisitos establecidos por la normativa europea RED III). Por otro lado, se propone tener un esquema flexible basado en un pasaporte de producto, donde no se etiqueta al hidrógeno, sino que se reportan los atributos asociados al mismo de manera transparente. Esto permite abarcar mercados más amplios e ir implementando de manera ágil nuevos atributos o requerimientos que exija el mercado.
- El desarrollo de verificaciones previas o precertificaciones de las plantas puede acelerar las inversiones en los proyectos de hidrógeno. Se recomienda que XM en la estructuración de su estándar tenga en cuenta este tipo de verificaciones. Si bien el proyecto aún está en fase de diseño, este tipo de verificaciones facilitarían las inversiones verificando que los proyectos cumplen con los requisitos, ya sea para la producción de hidrógeno verde según la regulación colombiana (para obtener los incentivos tributarios) o para demostrar cumplimiento bajo los criterios de los RFNBOs en los mercados extranjeros como lo es la Unión Europea.

Referencias

- [1] Asociación Hidrógeno Colombia, “Colombia un país estratégico para el futuro del hidrógeno,” Bogotá, Nov. 2023. Accessed: Apr. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.hidrogenocolombia.com/wp-content/uploads/2023/10/H2Col-Reporte-de-proyectos.pdf>
- [2] ISO - International Organization for Standardization, *ISO/TS 19870:2023(en) Hydrogen technologies — Methodology for determining the greenhouse gas emissions associated with the production, conditioning and transport of hydrogen to consumption gate*. ISO, 2023.
- [3] Ministerio de Minas y Energía de Colombia, “Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia,” 2021.
- [4] Comisión Europea, “Acto Delegado (UE) 2023/1184 de la Comisión Europea,” Feb. 2023.
- [5] International Organization for Standardization, “ISO 14065:2020(es) Principios generales y requisitos para los organismos que realizan la validación y la verificación de la información ambiental,” <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14065:ed-3:v1:es>.
- [6] Comisión Europea, “Q&A implementation of hydrogen delegated acts,” Mar. 2024.
- [7] XM, “Factor emisión matriz energética 2021,” <https://www.xm.com.co/noticias/4591-factor-emision-matriz-energetica-2021>.
- [8] European Commission, “Voluntary Schemes,” https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en.
- [9] N. Hartmann, V. Pradelli, J. Sebastián Márquez, C. Gischler, E. Fernando Boeck Daza, and P. Galeano, “Guide for the implementation of a hydrogen certification system in Latin America and the Caribbean.”
- [10] International Energy Agency, “Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity,” Apr. 2023. [Online]. Available: www.iea.org



Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices
Bonn and Eschborn, Germany

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

E info@giz.de
I www.giz.de

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

The International Hydrogen Ramp-up Programme (H2Uppp) of the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) promotes projects and market development for green hydrogen in selected developing and emerging countries as part of the National Hydrogen Strategy.