

Propuestas Normativas para la cadena de valor del hidrógeno verde

Documento de propuesta normativa
para la reglamentación de la cadena
de valor del hidrógeno verde, con
énfasis en calidad y seguridad en cada
eslabón

Imprint

As a federally owned enterprise, GIZ supports the German Government in achieving its objectives in the field of international cooperation for sustainable development.

Published by:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices
Bonn and Eschborn

Köthener Str. 2-3
10963 Berlin

T +49 30 338424 186

E info@giz.de

I www.giz.de

Author/Responsible Editors

Hinicio Colombia and Espinel Abogados
Bogotá, Colombia

Design/layout, etc.:

flmh – Labor für Politik und Kommunikation GmbH

Publication Date

04.02.2026, Bogotá

This study is published by H2-diplo. H2-diplo is implemented by GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH) on behalf of the German Federal Foreign Office and is financed by the International Climate Initiative (Internationale Klimaschutzinitiative, IKI). The opinions and recommendations expressed do not necessarily reflect the positions of the commissioning institutions or the implementing agency.

Contenido

IMPRINT	2
CONTENIDO	3
01. LISTA DE ABREVIATURAS	6
02. CONTEXTO Y MARCO LEGAL DEL ANÁLISIS DE IMPACTO NORMATIVO – AIN	
8	
1.1. Contexto.....	8
1.2. Marco Legal	12
1.2.1. Recomendación OCDE sobre Política y Gobernanza Regulatoria	12
1.2.2. CONPES 3816 de 2014	13
1.2.3. Decreto 1595 de 2015 del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo	14
1.2.4. Decreto 1468 de 2020 del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo	14
1.2.5. Guía Metodológica del Análisis de Impacto Normativo del Departamento Nacional de Planeación.	15
1.2.6. Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC)	17
1.2.7. Comité Técnico 259 del ICONTEC sobre Hidrógeno en Colombia	17
03. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	19
2.1. Definición del problema de la seguridad en la cadena de valor del hidrógeno	19
2.1.2. Problema principal	20
2.1.3. Descripción del Problema de la Seguridad en la Cadena de Valor del Hidrógeno	20
2.1.4. Fundamento en Objetivos Legítimos (Acuerdo OTC)	21
○ Protección de la salud o seguridad humana:	22
○ Protección de la vida o salud animal o vegetal	23
○ Seguridad nacional	23
2.1.5. Causas	23
2.1.6. Consecuencias identificadas	34
2.2. Descripción del Problema de la Calidad en la Cadena de Valor del Hidrógeno	37
2.2.2. Descripción del problema de la Calidad en la Cadena de Valor del Hidrógeno	38
2.2.3. Fundamento en Objetivos Legítimos (Acuerdo OTC)	39
2.2.4 Causas	41
2.2.5. Consecuencias identificadas	46
2.3. Actores Involucrados	48
2.3.1 Marco Institucional en Discusión	48
2.3.2. Articulación Público-Privada	49

2.4. Definición de objetivos	60
2.4.1. Definición de objetivos para la seguridad del hidrógeno y sus derivados.	61
2.4.1.1. Objetivo general	61
2.4.1.2. Objetivos directos	61
2.4.2. Definición de objetivos para la calidad del hidrógeno y sus derivados	64
2.4.2.1 Objetivo general	64
2.4.2.2 Objetivos directos	64
04. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	67
3.1. Conducta en la que se espera incidir	67
3.2. Seguridad en la cadena de valor del hidrógeno	68
3.2.1. Sentido de la intervención.....	68
3.2.2. Presentación de alternativas.....	68
3.3. Calidad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados	71
3.3.1. Sentido de la intervención.....	71
3.3.2. Presentación de alternativas.....	71
05. SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	74
4.1. Enfoque metodológico para la evaluación de alternativas	74
4.1.1. Construcción del AMC	75
4.1.2. Definición de criterios e indicadores	75
4.1.4. Criterios de evaluación y ponderación para la calidad del hidrógeno y sus derivados.	78
06. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS.....	81
5.1. Análisis de alternativas para la seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados.....	81
5.2. Análisis de impactos para la seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. (AMC)	84
5.2.1. Línea de base (Business as usual).....	84
5.2.2. Esquema de difusión y fortalecimiento de capacidades.....	85
5.2.3. Esquema de obligatoriedad progresiva (basado en riesgo y uso)	85
5.2.4. Esquema de obligatoriedad total	86
5.2.5. Síntesis comparativa y recomendación para seguridad	87
5.3. Análisis de alternativas para la calidad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados.....	87
5.4. Análisis de impactos para la calidad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados (AMC).....	90
5.4.1 Línea de base (<i>Business as usual</i>).....	90
5.4.2. Fortalecimiento técnico y transferencia de conocimiento	91
5.4.3. Modelo habilitante con incentivos e infraestructura nacional de calidad	91
5.4.4. Regulación obligatoria inmediata sobre pureza y etiquetado	92
5.4.5. Síntesis comparativa y recomendación	92

5.5. Conclusión del capítulo	92
07. TOMA DE DECISIÓN	94
6.1. Fundamentación general de la decisión	94
6.2. Verificación de límites materiales de constitucionalidad de las alternativas seleccionadas para seguridad y calidad	95
6.3. Verificación preliminar de discrecionalidad y proporcionalidad (artículo 44 del CPACA) de las alternativas seleccionadas para seguridad y calidad	96
6.4. Test de proporcionalidad de las alternativas seleccionadas para seguridad y calidad ..	96
6.5. Conclusión de la toma de la decisión.	97
08. IMPLEMENTACIÓN, CUMPLIMIENTO Y EVALUACIÓN EXPOST	99
7.1. Implementación	99
7.1.1. Implementación para la seguridad del hidrógeno y sus derivados	99
7.1.2. Implementación para la calidad del hidrógeno y sus derivados.	101
7.2. Cumplimiento y mecanismos de control	102
7.2.1. En materia de seguridad	102
7.2.2. En materia de calidad	103
7.3. Evaluación ex post	103
09. REPORTE DE CONSULTA A ACTORES RELEVANTES	105
8.1. Consulta técnica sectorial (realizada)	105
8.1.1. Principales observaciones y su incorporación en el AIN	105
8.2. Consulta pública del AIN y del proyecto normativo	106
8.3. Síntesis del proceso y próximos pasos	107
10. ANEXOS	108

01. Lista de abreviaturas

AEM	Anion Exchange Membrane
AIN	Análisis de Impacto Normativo
AMC	Análisis Multicriterio
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
ANDI	Asociación Nacional de Empresarios de Colombia
ATEX	Atmosphères Explosibles
BAU	Business as usual (línea base)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BMWe	Ministerio Federal de Economía y Energía de Alemania
CGH₂	Compressed Gaseous Hydrogen
CH₃OH	Metanol
CO	Monóxido de Carbono
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CPACA	Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
CTN	Comité Técnico de Normalización
DNBC	Dirección Nacional de Bomberos de Colombia
DNP	Departamento Nacional de Planeación
ECOH₂	Plataforma de registro y trazabilidad del hidrógeno de bajas emisiones
EPC	Engineering, Procurement and Construction
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GTC	Guía Técnica Colombiana
H₂	Hidrógeno
H₂S	Hidrógeno
HAZID	Hazard Identification
HAZOP	Hazard and Operability Study
HRS	Hydrogen Refueling Station
HSE	Health, Safety and Environment

IEC	International Electrotechnical Commission
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas
INM	Instituto Nacional de Metrología
INS	Instituto Nacional de Salud
ISO	International Organization for Standardization
IVC	Inspección, Vigilancia y Control
LH₂	Hidrógeno Líquido
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MinCIT	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo
MinSalud	Ministerio de Salud y Protección Social
MinTrabajo	Ministerio del Trabajo
MinTransporte	Ministerio de Transporte
MME	Ministerio de Minas y Energía
NH₃	Amoniaco
NTC	Norma Técnica Colombiana
NFPA	National Fire Protection Association
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OIML	Organización Internacional de Metrología Legal
OMC	Organización Mundial del Comercio
ONAC	Organismo Nacional de Acreditación de Colombia
OTC / TBT	Obstáculos Técnicos al Comercio
PEM	Proton Exchange Membrane
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PSA	Pressure Swing Adsorption
PtX	Power-to-X
SAF	Sustainable Aviation Fuels
SICAL	Subsistema Nacional de la Calidad
SIC	Superintendencia de Industria y Comercio
SMR	Steam Methane Reforming
SNGRD	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
SOEC	Solid Oxide Electrolysis Cell
SST	Seguridad y Salud en el Trabajo
UNGRD	Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética

02. Contexto y marco legal del Análisis de Impacto Normativo – AIN

1.1. Contexto

La lucha contra el cambio climático ha impulsado a la comunidad internacional a adoptar medidas urgentes orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y promover un modelo energético más sostenible y resiliente. En este escenario, los países enfrentan el reto de asegurar un suministro energético seguro, competitivo y bajo en carbono, capaz de satisfacer las demandas del desarrollo económico sin comprometer la estabilidad ambiental ni la justicia social.

En este marco, el hidrógeno de bajas emisiones¹ emerge como un vector energético estratégico para la descarbonización, dado su potencial para reducir emisiones en sectores de difícil abatimiento, como la industria pesada, el transporte de carga y la producción de insumos químicos. Su versatilidad le permite transferir atributos renovables a cadenas de valor intensivas en combustibles fósiles, facilitando la sustitución progresiva de insumos contaminantes y aportando soluciones para el almacenamiento de energía y la integración de fuentes renovables intermitentes.

Colombia reconoce al hidrógeno de bajas emisiones como vector estratégico para la descarbonización y la competitividad (Ley 1715 de 2014; Ley 2099 de 2021; Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia, 2021, CONPES 4075 de 2022, Ley 2294 de 2022, CONPES 4118 de 2023, CONPES 4129 de 2023, Hoja de Ruta de la Transición Justa, 2025).

La Hoja de Ruta del Hidrógeno de Colombia (2021) define los pilares estratégicos para posicionar al hidrógeno como un vector esencial de la transición energética, orientado a fortalecer el objetivo país, la reducción de emisiones, el crecimiento económico, la transición justa y el desarrollo territorial inclusivo. En materia de producción, prevé la instalación de entre 1 y 3 GW de capacidad en electrólisis y 4 GW provenientes de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), con costos estimados de 1,7 USD/kg para proyectos consolidados y 2,4 USD/kg para nuevas plantas de 50 mil toneladas de hidrógeno (H₂). En cuanto a la demanda proyectada hacia 2030, se estima la incorporación de 1.500 a 2.000 vehículos livianos, 1.000 a 1.500 vehículos pesados y la

¹ Nota aclaratoria: Dentro del contexto de este Análisis de Impacto Normativo (AIN), se entiende como hidrógeno de bajas emisiones aquel que es producido a partir de electrólisis del agua y electricidad producida por fuentes no convencionales de energía renovable. Aunque las condiciones de seguridad y calidad no dependen de los atributos ambientales de la molécula producida, el alcance de este AIN y sus documentos anexos se centra en la cadena de valor del hidrógeno electrolítico. Se aclara también que otras denominaciones de hidrógeno se usarán siempre que la referencia bibliográfica que se mencione lo requiera.

puesta en marcha de 50 a 100 estaciones de recarga públicas, además de que el 40% del hidrógeno utilizado en la industria provenga de fuentes de bajas emisiones.

Por su parte, la Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa (2025) reconoce al hidrógeno como una oportunidad estratégica para la descarbonización de la economía, en particular del sector industrial, al promover la reindustrialización y diversificación productiva mediante la producción de fertilizantes, amoníaco, metanol, acero y combustibles sintéticos (como los *Sustainable Aviation Fuels* – SAF por sus siglas en inglés), con aplicaciones adicionales en la agricultura. Junto a la bioenergía y la geotermia, el hidrógeno forma parte del enfoque de nuevos energéticos que busca avanzar en las metas de acción climática y transición justa, contribuyendo a una inserción sostenible y equitativa de Colombia en la economía del carbono reducido.

En Colombia, la regulación técnica en materia de seguridad y calidad se desarrolla en el marco del Subsistema Nacional de la Calidad (SICAL), establecido por el Decreto 1595 de 2015, mediante el cual se modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo (Decreto 1074 de 2015) en coherencia con las recomendaciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) sobre política y gobernanza regulatoria, que promueven decisiones basadas en evidencia, análisis de impacto normativo y gestión proporcional del riesgo.

El desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno de bajas emisiones plantea retos técnicos y regulatorios en materia de seguridad y calidad. A diferencia de los combustibles convencionales, el hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido y altamente inflamable, lo que implica riesgos particulares de fuga, explosión y fragilización de materiales metálicos (*embrittlement*), además de operaciones bajo condiciones de alta presión (hasta 700 bar en aplicaciones vehiculares). En conjunto, estos riesgos derivan en requerimientos específicos de diseño, selección de materiales y sistemas de control. Asimismo, la pureza del hidrógeno es crítica, ya que contaminantes como Monóxido de Carbono (CO), Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) o humedad pueden comprometer el rendimiento y la vida útil de tecnologías clave como:

- Electrolizadores, para la producción de H₂.
- Celdas de combustible, que generan electricidad y agua a partir del hidrógeno, con alternativas tecnológicas como PEM (*Proton Exchange Membrane*).
- Sistemas vehiculares, como *Fuel Cell Electric Vehicles* (FCEV por sus siglas en inglés), que dependen de la calidad del gas para garantizar eficiencia y durabilidad.

Cada eslabón de la cadena, producción, compresión, almacenamiento, transporte y uso final requiere condiciones específicas; sin embargo, a nivel sistémico, estas condiciones deben garantizar interoperabilidad y compatibilidad entre los distintos eslabones, evitando riesgos y asegurando eficiencia operativa.

Aunque el análisis se centra en hidrógeno, el estudio técnico considera también los derivados del hidrógeno, como el amoníaco (NH₃) y el metanol (CH₃OH), debido a su relevancia como vectores energéticos y su potencial aplicación en distintos segmentos de la cadena de valor (aplicaciones industriales, marítimas y en infraestructuras portuarias y de transporte). El amoníaco es un

compuesto tóxico, corrosivo y altamente volátil, con riesgo de liberación de vapores nocivos y efectos severos sobre salud y medio ambiente, lo que exige sistemas de contención hermética, ventilación controlada y protocolos de emergencia específicos. El metanol, por su parte, es un

líquido inflamable con punto de ebullición bajo y alta miscibilidad en agua, lo que incrementa riesgos de incendio y contaminación en caso de fugas, además de requerir medidas específicas para su manipulación en grandes volúmenes. Ambos presentan propiedades fisicoquímicas que demandan condiciones específicas de seguridad, compatibilidad con materiales y regulación diferenciada.

El desarrollo de nuevos proyectos de hidrógeno y sus derivados, impulsados por la Hoja de Ruta del Hidrógeno y políticas públicas orientadas a la descarbonización, se realiza actualmente bajo esquemas de control y verificación que se apoyan en normas generales y estándares internacionales, los cuales son adoptados de manera voluntaria o contractual según las características de cada iniciativa. Esto se aborda parcialmente mediante la aplicación de normas transversales diseñadas para procesos industriales intensivos, que establecen lineamientos de seguridad y calidad aplicables al contexto del hidrógeno. Entre ellas se incluyen las directivas ATEX², que regulan equipos y procedimientos en atmósferas explosivas, las normas eléctricas internacionales (IEC³, NFPA⁴) para instalaciones en entornos de riesgo, y los protocolos de gestión de riesgos industriales, como análisis HAZOP y planes de contingencia. Estas normas, aunque no específicas para hidrógeno, se adaptan para cubrir riesgos asociados a su alta inflamabilidad, operación a presión y potencial explosivo. Asimismo, los esquemas de licenciamiento ambiental y permisos operativos contribuyen a garantizar la evaluación de impactos y la adopción de medidas preventivas en proyectos. A nivel privado, los desarrolladores implementan procedimientos internos de seguridad y control de calidad, con verificaciones internas y, en algunos casos, validaciones de tercera parte dentro de acuerdos de interoperabilidad. Además, las tendencias de mercado impulsan la adopción voluntaria de estándares internacionales específicos, como ISO 14687 para pureza del hidrógeno y ISO 19884⁵ para almacenamiento, fortaleciendo la confianza entre actores y facilitando la integración en cadenas globales.

La experiencia internacional ofrece valiosas referencias para el fortalecimiento del marco regulatorio colombiano en materia de seguridad y calidad del hidrógeno. En Alemania, el Gobierno Federal formuló en 2023 una Hoja de Ruta Nacional de Normalización Técnica en Hidrógeno, liderada por el Ministerio Federal de Economía y Energía (BMWe), con una estructura organizativa compuesta por 39 grupos de trabajo, 12 subcomités y 5 comités principales, que abarcan toda la cadena de valor del hidrógeno. Este proceso, que involucró a más de 600 expertos de la industria, la academia, el sector público y la sociedad civil, permitió la revisión de más de 850 normas, la identificación de 180 brechas normativas y la financiación de 23 proyectos piloto orientados a

² [ATEX](#). Agencia Nacional de Minería

³ [IEC](#) Comisión Electrotécnica Internacional

⁴ [NFPA](#) National Fire Protection Association

⁵ [ISO 19884](#)

fortalecer un marco técnico seguro, coherente y alineado con los estándares europeos e internacionales.

Por su parte, Chile, mediante el Decreto Supremo N.º 13 de 2024⁶ estableció requisitos mínimos de seguridad aplicables a todas las etapas del ciclo de vida de las instalaciones de hidrógeno,

desde el diseño hasta el cierre definitivo, definiendo las responsabilidades de los actores involucrados y asegurando un control efectivo del riesgo. Este reglamento, basado en la norma NFPA 2⁷, se elaboró mediante un proceso participativo que integró consultas públicas, mesas técnicas y cooperación interinstitucional, reflejando un modelo de gobernanza inclusivo y sustentado en evidencia.

En Corea del Sur, la Ley de Promoción de la Economía del Hidrógeno y Gestión de la Seguridad del Hidrógeno (2021)⁸ otorgó al Ministerio de Comercio, Industria y Energía la facultad de designar una institución especializada en seguridad del hidrógeno, encargada de la investigación normativa y tecnológica, el desarrollo de programas educativos, la cooperación internacional y la promoción de la innovación aplicada en materia de seguridad industrial. Este enfoque integral ha posicionado a Corea como referente asiático en gobernanza técnica y gestión del conocimiento.

Aunque estos países presentan mercados del hidrógeno más avanzados que el colombiano, sus experiencias constituyen referentes estratégicos para orientar la evolución regulatoria nacional, demostrando que una regulación efectiva requiere instituciones técnicas sólidas, marcos normativos graduales y una articulación constante entre gobierno, industria y comunidad científica.

A medida que Colombia consolide los objetivos trazados en la Hoja de Ruta del Hidrógeno y en la Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa, se integrarán nuevos proyectos y será posible avanzar hacia un modelo regulatorio integral, que combine la protección de la seguridad y la salud pública con la promoción de la innovación, la inversión y la competitividad internacional.

Estas experiencias internacionales, en conjunto, delinean una hoja de ruta anticipada que ofrece lecciones y buenas prácticas para que Colombia transite hacia una regulación técnica moderna, coherente y adaptada a su contexto económico y tecnológico.

En este marco, los problemas regulatorios identificados, junto con sus causas y consecuencias, fue el resultado del análisis efectuado por el equipo consultor y de la validación participativa realizada en el taller técnico desarrollado el 3 de octubre de 2025, que contó con la participación de 44 representantes del ecosistema nacional del hidrógeno, entre ellos el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la UPME, la GIZ, Ecopetrol, Promigas, TransMilenio, el ICONTEC, el ONAC, la ANDI, la Asociación Colombiana de Hidrógeno y diversas empresas y centros de investigación. Este espacio permitió contrastar hallazgos técnicos,

⁶ [Ley Chile - Decreto 13 24-JUN-2024 MINISTERIO DE ENERGÍA - Biblioteca del Congreso Nacional](#)

⁷ [NFPA 2 Desarrollo del Código](#)

⁸ [Hydrogen Economy Promotion And Hydrogen Safety Management Act](#)

consensuar los criterios de evaluación y ponderar la relevancia de las causas identificadas, asegurando que el AIN refleje una visión integral y representativa del sector.

Cabe aclarar que, si bien a este AIN se le solicitó desarrollar el análisis desde la óptica del hidrógeno de bajas emisiones, desde el punto de vista técnico-regulatorio es obligatorio referirse al hidrógeno como molécula, dado que las disposiciones aplican a todas sus formas de producción. No obstante, la orientación de la política pública, así como la coherencia con los incentivos y tendencias internacionales, se dirige expresamente hacia el hidrógeno de bajas emisiones, propósito que enmarca las referencias y el alcance del presente análisis.

1.2. Marco Legal

1.2.1. Recomendación OCDE sobre Política y Gobernanza Regulatoria

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) promueve, dentro de sus principios de buenas prácticas regulatorias, que las decisiones de regulación se adopten de manera objetiva, imparcial y consistente, con el fin de fortalecer la confianza pública y la calidad institucional. Para ello, enfatiza que el proceso normativo debe basarse en evidencia técnica verificable, libre de sesgos o influencias externas, y orientado a generar resultados efectivos y proporcionales en relación con los objetivos de política pública.

En este marco, el Consejo sobre Política y Gobernanza Regulatoria de la OCDE propone un conjunto de recomendaciones orientadas a elevar los estándares de calidad de las normas mediante la mejora continua en el diseño, aplicación y evaluación de los marcos regulatorios. Dichas recomendaciones buscan que los gobiernos consoliden una gobernanza regulatoria efectiva, que permita alcanzar mejores resultados económicos, sociales y ambientales, minimizando cargas innecesarias y gestionando adecuadamente los riesgos asociados a la intervención regulatoria.

Particularmente, la cuarta recomendación de la “Recomendación del Consejo sobre Política y Gobernanza Regulatoria” (OCDE, 2012) establece la necesidad de integrar el Análisis de Impacto Normativo (AIN) en las etapas iniciales del proceso de formulación de políticas públicas. Su propósito es garantizar que los proyectos normativos se diseñen con base en un análisis comparativo de alternativas, evaluando si la regulación es realmente necesaria y cuál es la forma más efectiva, eficiente y proporcional para alcanzar las metas propuestas.

Este enfoque es relevante en sectores emergentes e intensivos en innovación, como el del hidrógeno y sus derivados, donde la OCDE resalta la conveniencia de adoptar diseños regulatorios basados en el riesgo (*risk-based regulatory design*). Dicho enfoque propone que las exigencias normativas se estructuren de manera diferenciada y acorde al nivel de riesgo asociado a las distintas etapas de la cadena de valor del hidrógeno (producción, almacenamiento, transporte y uso final), evitando esquemas regulatorios uniformes que puedan obstaculizar el desarrollo tecnológico o generar barreras innecesarias a la inversión. En este sentido, la regulación basada en el riesgo permite priorizar la gestión de riesgos relevantes para la seguridad, el medio ambiente y la salud pública, sin desincentivar la innovación ni el despliegue de nuevas tecnologías limpias.

La OCDE sugiere, además, que el AIN sea participativo e incorpore herramientas metodológicas que permitan valorar integralmente los impactos de las medidas propuestas. Entre ellas se destacan:

- **Evaluación ex ante:** examina la pertinencia, eficacia y eficiencia de la regulación proyectada, comparando las distintas alternativas de solución desde una perspectiva financiera, económica y social.
- **Análisis costo-beneficio:** identifica y cuantifica los impactos positivos (beneficios) y negativos (costos) asociados a la regulación, con el fin de establecer si los beneficios que se obtienen compensan los costos que se generan. Su virtud principal es que debilita la probabilidad de los reguladores tomen decisiones sobre la base de la intuición (Sunstein, 2018), dejando de lado los impactos negativos que puede generar las regulaciones en la sociedad, generando cargas administrativas excesivas para los privados e incluso, impulsando la informalidad de la economía, al buscar “escapar” de la regulación⁹.
- **Análisis costo-efectividad:** evalúa el impacto de la regulación en función de los costos, especialmente cuando los beneficios no pueden monetizarse.
- **Análisis multicriterio:** permite abordar problemas de decisión complejos combinando objetivos cuantitativos y cualitativos, integrando en la evaluación los costos y beneficios no monetarios para una toma de decisiones equilibrada.

En el caso particular de este AIN, y considerando el nivel de desarrollo de la información económica y técnica disponible, se adopta el análisis multicriterio como la metodología principal para la evaluación ex ante conforme se establece en el capítulo 4. Esta elección se fundamenta en que dicho enfoque es reconocido por la OCDE como una herramienta válida y suficiente para comparar alternativas regulatorias cuando los beneficios y costos no pueden monetizarse plenamente, permitiendo una valoración integral de factores de seguridad, sostenibilidad, competitividad, innovación y viabilidad técnica, elementos centrales en un diseño regulatorio basado en el riesgo del uso del hidrógeno.

De esta forma, el análisis multicriterio es una base metodológica transparente, proporcional y coherente con los estándares internacionales, asegurando la solidez técnica del proceso decisorio y la legitimidad del instrumento regulatorio propuesto.

1.2.2. CONPES 3816 de 2014

El Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), mediante el Documento 3816 de 2014, estableció los lineamientos para institucionalizar y promover el Análisis de Impacto Normativo (AIN) dentro del proceso de emisión de normas por parte de las entidades del Poder Ejecutivo Nacional (Departamento Nacional de Planeación – DNP, 2014).

Con el propósito de mejorar la calidad regulatoria y fortalecer la gobernanza institucional, el documento dispuso la creación del Comité para la Mejora Normativa, integrado por el Departamento Administrativo de la Función Pública, el Departamento Administrativo de la Presidencia de la República y el Departamento Nacional de Planeación (DNP).

⁹ Montes T., K. (s.f.). **Fundamentos económicos para la regulación**. Documento académico.

El CONPES 3816 promovió la adopción de mecanismos para mantener actualizado el inventario normativo y garantizar el principio de racionalización regulatoria, mediante la formulación anual del Plan Anual de Análisis de Impacto Normativo (PAAIN), concebido como herramienta de planificación y priorización de los proyectos normativos que requieren evaluación ex ante.

1.2.3. Decreto 1595 de 2015 del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

Con el fin de implementar las recomendaciones del CONPES 3816 de 2014 y consolidar una política de mejora normativa, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT) expidió el Decreto 1595 de 2015, mediante el cual se modificaron las disposiciones del Subsistema Nacional de la Calidad, integrando las mejores prácticas internacionales en materia reglamentaria.

Este decreto, a través de su artículo 3, incorporó al Decreto 1074 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo) el concepto de Análisis de Impacto Normativo, definido como: *“Evaluación que evidencia tanto los resultados deseados como los impactos probables, positivos y negativos, que se generan como consecuencia de la propuesta o modificación de un reglamento técnico.”*

Asimismo, en la sección 6, dedicada al procedimiento para la elaboración y expedición de reglamentos técnicos, los artículos 2.2.1.7.6.2 y 2.2.1.7.6.3 precisan los objetivos, lineamientos y contenidos que debe incluir el AIN, fortaleciendo su rol como instrumento previo a la adopción normativa.

De esta manera, el AIN se consolida como un instrumento técnico y jurídico esencial para las entidades reguladoras, que permite sustentar con evidencia la necesidad, pertinencia y proporcionalidad de una intervención estatal. Este documento debe elaborarse mediante una metodología estructurada, reflejar la posición de los actores interesados, comparar alternativas y ser objeto de consulta pública a través de los medios institucionales. Su finalidad última es determinar si la norma propuesta es necesaria, viable y eficaz para resolver el problema identificado.

Adicionalmente, el Decreto 1595 introdujo el Plan Anual de Análisis de Impacto Normativo (PAAIN), previsto en el artículo 2.2.1.7.6.4, como mecanismo de planificación anticipada y participación ciudadana temprana, que orienta la priorización de proyectos normativos de alto impacto.

1.2.4. Decreto 1468 de 2020 del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

El Ministerio de Comercio, Industria y Turismo expidió el Decreto 1468 del 12 de noviembre de 2020, que adiciona y modifica disposiciones del Decreto 1074 de 2015, con el propósito de reforzar la aplicación del Análisis de Impacto Normativo (AIN) en la expedición de reglamentos técnicos.

Este decreto introdujo una clasificación del AIN en dos modalidades:

- AIN simple, para regulaciones de bajo impacto o con efectos desregulatorios, y
- AIN completo, para proyectos normativos de mayor complejidad o que impliquen cargas significativas para los regulados.

En este contexto, el presente AIN se clasifica como un AIN completo, dado el nivel de complejidad técnica y regulatoria que implica la regulación del hidrógeno y sus derivados, así como la interacción con estándares internacionales, múltiples actores sectoriales y la potencial creación de obligaciones de cumplimiento para los agentes del mercado.

El Decreto 1468 también fortaleció los mecanismos de consulta pública nacional e internacional, la revisión metodológica por parte del Departamento Nacional de Planeación (DNP), la notificación a la Organización Mundial del Comercio (OMC) cuando las medidas puedan constituir obstáculos al comercio, y la obligación de mantener inventarios públicos de reglamentos técnicos y AIN. Con ello se busca consolidar un sistema de regulación transparente, basado en evidencia y en estándares internacionales de calidad regulatoria.

1.2.5. Guía Metodológica del Análisis de Impacto Normativo del Departamento Nacional de Planeación.

El Departamento Nacional de Planeación (DNP), en el marco del proyecto *“Incorporando el uso del Análisis de Impacto Regulatorio en el Proceso de Toma de Decisiones de Colombia”*, diseñó en noviembre de 2015 la primera versión de la Guía Metodológica de Análisis de Impacto Normativo (AIN).

Esta iniciativa respondió a las recomendaciones de la OCDE (2013), que identificó la ausencia de una política integral y de una visión de *gobierno completo*¹⁰ en materia de mejora regulatoria. Para subsanar esta brecha, el DNP implementó dos acciones principales:

- Programa piloto de AIN, aplicado a problemáticas reales en entidades como la Comisión de Regulación de Agua Potable, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, la Unidad de Regulación Financiera, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.
- Elaboración de la Guía Metodológica de AIN, concebida como un manual práctico para orientar a los reguladores en la aplicación uniforme y efectiva del instrumento.

La Versión 2.0 de la guía, publicada en marzo de 2021, adoptó buenas prácticas internacionales, particularmente de México y Australia, introduciendo un sistema diferenciado de aplicación del AIN según el tipo de riesgo, el nivel de impacto y las implicaciones de la medida regulatoria. De acuerdo con esta versión:

El AIN completo se compone de siete etapas y se aplica a nuevas regulaciones o modificaciones con efectos significativos sobre los regulados. Este AIN se ha elaborado como un análisis completo. El AIN simple consta de cinco etapas, orientadas a medidas que reducen cargas o simplifican requisitos. Ambas modalidades garantizan proporcionalidad, transparencia y rigor técnico, fortaleciendo la toma de decisiones basada en evidencia y la participación ciudadana.

Las etapas del AIN, que van desde la definición del problema regulatorio hasta la consulta pública son las siguientes (Gráfico 1).

¹⁰ Expresión de la OCDE en análisis realizado.



Gráfico 1. Etapas análisis de impacto normativo. Tomado de: Departamento Nacional de Planeación (2021)

Etapas del AIN completo

1	Problema	En esta etapa se identifica con claridad el problema que necesita ser solucionado; también se presenta la evidencia de su magnitud y alcance.
2	Objetivos	Se definen los objetivos, las metas y los resultados que se espera obtener con la intervención del Gobierno.
3	Alternativas	Se identifican y describen un grupo de alternativas viables para la solución del problema.
4	Análisis y evaluación de alternativas	Se lleva a cabo una evaluación adecuada y un análisis de los beneficios y costos de cada alternativa viable.
5	Conclusiones y alternativa elegida	Se explica cuál es la alternativa elegida, esta será en la que los beneficios sean mayores a los costos.
6	Implementación y monitoreo	Se provee información sobre cómo sería implementada, monitoreada y revisada la alternativa elegida.
7	Consulta Pública	Se debe permitir la participación de los usuarios y grupos de interesados con la situación. Es transversal en toda la elaboración del AIN.

Fuente: Elaboración propia - DNP, GME.

Gráfico 2. Etapas Análisis de Impacto Normativo Completo. Tomado de: Departamento Nacional de Planeación (2021)

Las etapas del AIN simple son las siguientes:

Tabla 3.11
Etapas del AIN simple

1	Problema	Se explica la problemática que se resolverá con la modificación de la regulación.
2	Objetivos	Se definen los alcances de la modificación que se va a implementar: ¿qué se quiere lograr?
3	Justificación de la necesidad	Se deben explicar las razones por las cuales la modificación es necesaria, relacionando los beneficios y costos que puede implicar.
4	Implementación y monitoreo	Se deben definir los indicadores a través de los cuales la regulación será evaluada a futuro.
5	Consulta Pública	Se debe permitir la participación de los usuarios y grupos de interesados con la situación. Es transversal en toda la elaboración del AIN.

Fuente: Elaboración propia - DNP, GME.

Gráfico 3. Etapas Análisis de Impacto Normativo Simple. Tomado de: Departamento Nacional de Planeación (2021)

Así, el AIN se consolida como una herramienta clave para elevar la calidad de la regulación en Colombia, promoviendo la transparencia, la eficiencia normativa y la evaluación de resultados, mediante la aplicación de metodologías ex ante y ex post.

1.2.6. Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC)

El Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC), que se adoptó en Colombia con la Ley 170 de 1994, pretende asegurar que los reglamentos técnicos, normas y procedimientos de evaluación de la conformidad no generen obstáculos innecesarios al comercio internacional.

El acuerdo dispone que los Estados Parte deberán notificar a los miembros de la Organización Mundial del Comercio (OMC) los proyectos de reglamentos técnicos o procedimientos de evaluación propuestos, otorgando un plazo no inferior a sesenta (60) días para observaciones. Este mecanismo de transparencia permite la participación internacional en la construcción normativa, fomentando la convergencia regulatoria y la adopción de estándares internacionales que promuevan la competitividad y la seguridad.

1.2.7. Comité Técnico 259 del ICONTEC sobre Hidrógeno en Colombia

El Comité Técnico 259 “Hidrógeno”, coordinado por el ICONTEC, tiene como ámbito la normalización para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas y equipos de producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno, e incluye los equipos para su uso en sistemas de transporte (vehículos, barcos, etc.). El comité se encuentra activo, y constituye un pilar técnico para la futura reglamentación de seguridad y calidad en la cadena de valor del hidrógeno (ICONTEC, 2025).

En particular, el Comité Técnico 259 administra y adapta un corpus normativo que cubre los principales eslabones de la cadena, entre otras:

- **Estaciones de llenado (HRS) y dispensado:** NTC-ISO 19880-1 (requisitos generales), 19880-3 (válvulas), 19880-5 (mangueras) y 19880-8 (control de calidad del H₂).
- **Calidad de combustible:** NTC-ISO 14687 (especificaciones de producto para aplicaciones vehiculares y estacionarias).
- **Conectividad/operación del suministro:** NTC-ISO 17268 (conector de llenado gaseoso).
- **Vehículos y almacenamiento a bordo:** NTC-ISO 19881 (contenedores de combustible), 19882 (dispositivos de alivio de presión) y la serie NTC-ISO 12619 (partes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15) sobre componentes del sistema de combustible CGH₂.
- **Seguridad de vehículos:** NTC 6674 (seguridad de vehículos de hidrógeno).
- **Producción:** NTC-ISO 22734 (electrólisis del agua) y NTC-ISO 16110-1/-2 (generadores por procesamiento de combustibles; seguridad y métodos de ensayo).
- **Acondicionamiento/purificación:** NTC-ISO-TS 19883 (PSA—seguridad).
- **Almacenamiento alternativo y criogénico:** NTC-ISO 16111 (hidruros metálicos), NTC-ISO 13984 (interfaz de llenado LH₂) y 13985 (tanques LH₂ para vehículos terrestres).
- **Transporte por tuberías (guía):** GTC 401 (sistemas de tuberías para hidrógeno).
- **Terminología y celdas de combustible estacionarias:** NTC 6694 (terminología) y NTC-IEC 62282-3-100 (sistemas estacionarios—seguridad).
- **Guía transversal de seguridad:** GTC-ISO-TR 15916 (consideraciones básicas de seguridad del hidrógeno).

Este acervo técnico complementa las políticas de mejora regulatoria y los procedimientos de AIN establecidos en los Decretos 1595 de 2015 y 1468 de 2020, y reduce riesgos de incompatibilidades técnicas, con el fin de alinear la infraestructura nacional con prácticas internacionales y facilitar la evaluación de la conformidad. Por ello, el presente AIN reconoce al Comité Técnico 259 como actor de referencia e identifica ámbitos prioritarios (Estaciones de recarga – HRS por sus siglas en inglés, calidad del combustible, seguridad vehicular, producción por electrólisis, almacenamiento y tuberías) que requieren armonización y/o fortalecimiento conforme a las normas listadas. La referencia detallada de cada norma se incluye en el inventario anexo.

03. Definición del problema

Para definir la pertinencia de intervenir en materia de calidad y seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados, es necesario identificar las condiciones actuales y potenciales que podrían impactar este mercado, así como los riesgos que comprometen objetivos legítimos de protección estatal, tales como la vida, la salud y el medio ambiente. La regulación, por tanto, debe estructurarse con base en evidencia y análisis técnico, procurando solucionar un problema público real o potencial, pero evitando la imposición de cargas regulatorias excesivas o injustificadas que limiten el desarrollo del sector y la innovación tecnológica.

2.1. Definición del problema de la seguridad en la cadena de valor del hidrógeno



Gráfico 4. Árbol de problemas seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados.

2.1.2. Problema principal

La expansión de iniciativas de hidrógeno y sus derivados, aumenta la exposición a riesgos técnicos y ambientales asociados a las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno, los cuales pueden manifestarse en las distintas etapas de la cadena de valor.

2.1.3. Descripción del Problema de la Seguridad en la Cadena de Valor del Hidrógeno

Actualmente, la gestión de sustancias peligrosas, incluidos el hidrógeno y sus derivados, se encuentra regulada a través de disposiciones generales aplicables a diferentes sectores. Estas normas abordan aspectos de seguridad industrial, ambiental y ocupacional, y su aplicación al hidrógeno y derivados depende de la interpretación y adaptación de tales normas por parte de los actores involucrados.

En este contexto, el desarrollo de nuevos proyectos de hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados en Colombia, impulsado por las políticas públicas y los acuerdos internacionales sobre transición energética y descarbonización, se realiza actualmente bajo esquemas de control y verificación que se apoyan en normas generales y estándares de seguridad aplicables. Aunque se han adoptado Normas Técnicas Colombianas (NTC) basadas en estándares internacionales, su aplicación es de carácter voluntario. Esta condición favorece una adopción heterogénea de criterios de seguridad entre proyectos, con niveles dispares de exigencia técnica y metodológica. Colombia no cuenta con un esquema nacional de certificación, acreditación y verificación que permita validar independientemente el cumplimiento de dichas normas, ni con protocolos oficiales que orienten su implementación práctica en proyectos de hidrógeno y sus derivados. En este escenario, la trazabilidad y la validación de las medidas de seguridad implementadas varían según los procedimientos internos de cada desarrollador. Esto puede dar lugar a diferencias técnicas entre proyectos y a distintos enfoques en la adopción de buenas prácticas sectoriales.

A esta situación se suma la dispersión normativa existente en materia de seguridad industrial, ambiental y ocupacional, distribuida entre distintos sectores regulatorios (energía, ambiente, trabajo, salud e industria) sin mecanismos claros de coordinación, jerarquización o integración específicos para el hidrógeno. Esta fragmentación genera vacíos regulatorios, solapamientos de competencias y ambigüedad sobre la aplicabilidad de los marcos existentes, lo que dificulta tanto la actuación de las autoridades como la planificación regulatoria por parte de los desarrolladores. Paralelamente, el Estado enfrenta limitaciones presupuestales, técnicas y de talento humano especializado, que restringen su capacidad para realizar inspecciones, auditorías técnicas o verificaciones de conformidad sobre instalaciones, equipos y procedimientos de seguridad asociados a proyectos de hidrógeno.

Como resultado, la gestión de la seguridad del hidrógeno y sus derivados en Colombia principalmente de la autorregulación empresarial, reflejada en la implementación de procedimientos internos de seguridad, control de calidad y protocolos privados para la atención de emergencias. En ausencia de un sistema institucional específico de inspección, vigilancia y control (IVC), los desarrolladores complementan estas prácticas con validaciones de tercera parte dentro de acuerdos de interoperabilidad entre privados, lo que aporta trazabilidad técnica y confianza entre

actores. Aunque no existen protocolos públicos estandarizados para la gestión de emergencias ni mecanismos oficiales de verificación, los privados han desarrollado esquemas propios de manejo de contingencias, que forman parte de sus procedimientos internos y de los requisitos asociados a la permisología para operar. Estas prácticas incluyen planes de respuesta ante incidentes, análisis de riesgos (HAZOP) y sistemas de seguridad adaptados a las características fisicoquímicas del hidrógeno y sus derivados. Lo anterior, fortalece la gestión preventiva y genera confianza técnica entre actores del sector, principalmente en el ámbito privado, pero no redonda en un sistema institucional específico de inspección, vigilancia y control. En este escenario, se limita la capacidad del Estado para garantizar condiciones adecuadas de protección por lo que plantea desafíos relevantes para la sostenibilidad, aceptación social y escalamiento seguro del hidrógeno como vector energético estratégico para el país.

2.1.4. Fundamento en Objetivos Legítimos (Acuerdo OTC)

El desarrollo de nuevos proyectos de hidrógeno y sus derivados en Colombia, impulsados por políticas públicas que promueven la descarbonización, avanza en un contexto en que los mecanismos de vigilancia, control y seguimiento por parte del Estado, sobre la aplicación de medidas de seguridad adecuadas en los diferentes eslabones de su cadena de valor se apoyan principalmente en marcos generales y no específicos para este tipo de proyectos.

El Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio (OMC) aprobado mediante la Ley 170 de 1994, establece que los reglamentos técnicos deberán fundarse en la protección de un objetivo legítimo que justifique la intervención del Estado.

En relación con los objetivos legítimos asociados a la seguridad en la cadena de valor del hidrógeno, el informe de la OCDE "*Diseño regulatorio basado en riesgos para el uso seguro del hidrógeno*"¹¹, publicado el 24 de julio de 2023, destaca que la regulación logre un equilibrio entre seguridad, innovación y desarrollo económico, evitando generar barreras innecesarias al comercio o desincentivos tecnológicos.

La OCDE advierte que los enfoques normativos excesivamente prescriptivos pueden frenar la innovación y encarecer los proyectos, mientras que una regulación basada en riesgos (*Risk-Based Regulation*) permite adaptar los requisitos técnicos a la magnitud real del riesgo, considerando los avances científicos y tecnológicos. Este principio coincide con lo dispuesto en el artículo 2.2 del Acuerdo OTC, según el cual los reglamentos técnicos no deberán restringir el comercio más de lo necesario para alcanzar un objetivo legítimo de protección.

En este sentido, el informe recomienda que los estados adopten marcos regulatorios proporcionales al riesgo, apoyados en evidencia científica, cooperación interinstitucional y armonización con normas internacionales, con el fin de garantizar seguridad sin obstaculizar la transición energética.

Asimismo, la OCDE identifica cuatro pilares para una regulación eficaz del hidrógeno:

¹¹ https://www.oecd.org/en/publications/risk-based-regulatory-design-for-the-safe-use-of-hydrogen_46d2da5e-en.html. Consultado el 10 de noviembre de 2025.

- Diseño regulatorio proporcional, centrado en resultados y adaptativo al avance tecnológico.
- Evaluación integral de riesgos, que considere la seguridad, la salud, el ambiente y la confianza pública.
- Fortalecimiento institucional, mediante roles claros, capacidades técnicas y coordinación interinstitucional.
- Comunicación transparente y participación pública, para reducir la brecha entre percepción social y evidencia científica.

Bajo este enfoque, el desarrollo normativo colombiano debe alinearse con los principios del Acuerdo OTC y las recomendaciones de la OCDE, de modo que la intervención regulatoria asegure simultáneamente la protección de la vida, la salud, el ambiente y la seguridad nacional, garantizando proporcionalidad, coherencia técnica y competitividad internacional.

En este contexto, los objetivos legítimos involucrados en la seguridad de la cadena de valor del hidrógeno son:

- **Protección de la salud o seguridad humana:**

El hidrógeno y sus derivados presentan riesgos inherentes de alta explosividad que requieren estrictas medidas de protección en entornos industriales y operativos. Su manipulación implica riesgos potenciales para los trabajadores, las comunidades cercanas y las instalaciones o activos, por lo que la prevención de riesgos directos para las personas constituye un objetivo legítimo esencial.

Las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno exigen controles técnicos rigurosos a lo largo de la cadena de valor (producción, acondicionamiento, almacenamiento, transporte y uso final) para evitar fugas, incendios o explosiones. La infraestructura existente (por ejemplo, redes de gas natural) puede adaptarse al hidrógeno, pero requiere ajustes específicos en detección, ventilación, monitoreo y materiales.

Conforme a la “*Guía de mejores prácticas en la seguridad de procesos del hidrógeno limpio y de bajas emisiones*”¹² del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la protección de la salud y seguridad de los trabajadores demanda políticas integrales de gestión del riesgo que incluyan identificación de peligros, evaluación preventiva y control técnico, así como planes de emergencia, simulacros y protocolos de supervisión.

Tanto la OCDE como el BID coinciden en que los marcos regulatorios deben fundamentarse en evidencia científica, enfoques basados en el nivel riesgo y mecanismos de cooperación interinstitucional que aseguren la compatibilidad con normas internacionales como ISO, IEC, NFPA, entre otras.

En consecuencia, la protección de la salud y seguridad humana en el contexto del hidrógeno y sus derivados debe apoyarse en estándares verificables y auditables por parte del Estado, garantizando una operación confiable y segura en toda la cadena de valor.

¹² <https://publications.iadb.org/es/guia-de-mejores-practicas-en-la-seguridad-de-procesos-en-la-cadena-de-valor-del-hidrogeno-limpio-y>. Consultado el 10 de noviembre de 2025.

- **Protección de la vida o salud animal o vegetal**

Este objetivo legítimo busca prevenir impactos adversos sobre el entorno biológico derivados de las actividades asociadas al hidrógeno y sus derivados. Una gestión inadecuada de los riesgos puede generar afectaciones significativas sobre la flora, fauna y los ecosistemas, tanto por impactos directos de las operaciones como por fallas en los sistemas de control y respuesta.

Por ello, una inspección, vigilancia y control estatal insuficiente o fragmentado podría traducirse en contaminación, pérdida de biodiversidad y deterioro de ecosistemas estratégicos, contraviniendo los principios los compromisos internacionales en materia de cambio climático y desarrollo sostenible.

- **Seguridad nacional**

La seguridad nacional, según la definición ampliada de la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de la ONU (ONU, 2024), abarca dimensiones ambientales, sociales y energéticas. En este contexto, la protección de la infraestructura crítica y de la seguridad energética es un componente fundamental de la estabilidad estatal.

El desarrollo del hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados están estrechamente vinculado con los sectores eléctrico, industrial y de transporte, considerados estratégicos para la descarbonización y la transición energética justa. Sin embargo, la ausencia de mecanismos efectivos de vigilancia, control y seguimiento por parte del Estado sobre la aplicación de medidas de seguridad en su cadena de valor puede poner en riesgo la integridad operativa de las instalaciones, la seguridad industrial y ambiental, y la continuidad del suministro energético.

Por tanto, la seguridad operativa del hidrógeno y sus derivados no puede entenderse únicamente como una responsabilidad de los desarrolladores, sino como una función compartida del Estado orientada a asegurar la protección del interés público, fortalecer la estabilidad económica y social, y contribuir con una transición energética segura, resiliente y sostenible.

2.1.5. Causas

La expansión de iniciativas de hidrógeno y sus derivados, aumenta la exposición a riesgos técnicos y ambientales asociados a las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno. Esto se presenta en un contexto caracterizado por la incorporación de actores con distintos niveles de experiencia en el sector energético y en consideraciones como el manejo de sustancias peligrosas, así como la aplicación voluntaria de estándares técnicos y la ausencia de criterios institucionales homogéneos para la gestión de la seguridad.

Causa directa A. Entrada de actores con diferentes niveles de experiencia en el desarrollo de proyectos de hidrógeno y derivados, lo que puede afectar la correcta implementación de medidas técnicas y operativas.

El desarrollo del ecosistema del hidrógeno en Colombia ha propiciado la participación de actores con trayectorias y capacidades técnicas diversas. Algunas empresas del sector energético

tradicional, como Ecopetrol y Promigas, cuentan con experiencia consolidada en el diseño, construcción y operación de infraestructuras energéticas complejas, así como en la gestión de seguridad industrial, manejo de combustibles, gases y otros energéticos bajo condiciones de riesgo. Estas organizaciones disponen de sistemas maduros de gestión de riesgos, protocolos de seguridad, análisis de peligros de proceso (HAZOP), planes de emergencia y esquemas de verificación interna y externa, lo que les permite abordar el hidrógeno como una extensión de prácticas ya consolidadas en el sector.

El impulso a la transición energética ha incentivado la entrada de nuevos desarrolladores, integradores tecnológicos y actores provenientes de sectores con menor experiencia en el manejo de sustancias peligrosas o en la operación de instalaciones energéticas de alto riesgo. Estos actores, si bien aportan innovación y dinamismo al mercado, no siempre cuentan con capacidades equivalentes en materia de seguridad industrial, gestión de integridad mecánica, análisis de riesgos de proceso o respuesta ante emergencias.

La diversidad en los niveles de experiencia técnica y operativa se refleja en enfoques variados para la identificación y mitigación de riesgos, lo que puede dar lugar a diferencias en la aplicación de medidas de seguridad a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. Esto puede manifestarse en variaciones en el diseño, operación y mantenimiento de los proyectos, así como en la exposición a riesgos técnicos y ambientales asociados a las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno y sus derivados.

Causa indirecta A1: Complejidad técnica en su desarrollo y operación, derivada de las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno y sus derivados, incluyendo riesgo de fuga por alta difusividad, amplio rango de inflamabilidad, baja energía de ignición, fragilización de materiales, operación a alta presión, y riesgos adicionales como toxicidad e inflamabilidad de sus derivados.

La gestión de la seguridad en proyectos de hidrógeno y sus derivados está influida por la complejidad técnica asociada a las propiedades fisicoquímicas de la molécula y de sus productos derivados. El hidrógeno, por ejemplo, presenta alta difusividad y baja densidad molecular, lo que puede incrementar la probabilidad de fugas y dificultar su detección temprana en comparación con otros gases combustibles. Además, su amplio rango de inflamabilidad en aire y su baja energía mínima de ignición pueden aumentar la probabilidad de ignición ante fuentes energéticas reducidas, incluidas descargas electrostáticas o fallas menores en equipos eléctricos.

Desde el punto de vista de la integridad de los materiales, el hidrógeno puede generar fenómenos de fragilización en ciertos aceros y aleaciones, afectando la resistencia mecánica de tuberías, recipientes a presión y componentes críticos, especialmente bajo condiciones de operación a alta presión o ciclos térmicos variables. Estas características requieren considerar criterios avanzados de selección de materiales, diseño, inspección y mantenimiento, que no siempre están plenamente incorporados en las prácticas industriales convencionales.

A lo anterior se suman los riesgos específicos asociados a los derivados del hidrógeno, como el amoníaco, el metanol o los combustibles sintéticos, que introducen peligros adicionales

relacionados con toxicidad, corrosividad, inflamabilidad o reactividad química. La coexistencia de estos riesgos en sistemas integrados de producción, almacenamiento, transporte y uso final incrementa la complejidad operativa y puede requerir la aplicación de metodologías especializadas de análisis de riesgos de proceso, diseño y gestión de emergencias.

En consecuencia, la complejidad técnica inherente a estos proyectos es un factor que contribuye a la diversidad de enfoques en la aplicación de medidas de seguridad y puede influir en la exposición a riesgos técnicos y ambientales.

Causa indirecta A2: Políticas públicas que impulsan el hidrógeno como herramienta de descarbonización a través de incentivos, para desarrollar proyectos de hidrógeno y derivados en segmentos de uso final, más allá del ámbito industrial.

En Colombia, el desarrollo del hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados ha sido impulsado por un conjunto de políticas públicas y marcos normativos que reconocen su potencial como vector estratégico para la descarbonización y la competitividad nacional. Instrumentos como la Ley 1715 de 2014 introdujeron incentivos fiscales orientados a facilitar la inversión en fuentes no convencionales de energía (FNCER), mediante deducciones en renta, exclusión de IVA y depreciación acelerada. Posteriormente, la Ley 2099 de 2021 actualizó este marco, definiendo el hidrógeno verde como una fuente no convencional de energía renovable (FNCER) y el hidrógeno azul como una FNCER, permitiendo aplicar los incentivos de la citada Ley 1715. Igualmente, la Ley 2099 estableció condiciones para la integración del hidrógeno verde y azul en el mercado eléctrico y declarando de utilidad pública la producción, el uso y el almacenamiento de este tipo de hidrógeno y sus derivados. Posteriormente la Ley 2294 de 2023 (Plan Nacional de Desarrollo), incluyó el hidrógeno blanco como una FNCER y el Decreto 1597 de 2024 introdujo la definición de hidrógeno de bajas emisiones como todo hidrógeno producido o extraído mediante tecnologías o métodos que generen bajos niveles de emisiones de carbono, independientemente del proceso utilizado. Los incentivos aplicables a las FNCE y a las FNCER, incluido el hidrógeno azul, verde, blanco, se complementan con lineamientos estratégicos definidos en la Hoja de Ruta del Hidrógeno (2021) y el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026, los cuales proyectan explícitamente la integración del hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados en segmentos de uso final como el transporte público, la movilidad sostenible, la producción agrícola y la exportación de energéticos limpios. En este contexto, la política pública ha buscado ampliar el alcance del hidrógeno más allá de aplicaciones industriales tradicionales, promoviendo su adopción en sectores con mayor interacción con la ciudadanía.

La política se ha robustecido con la expedición de los Decretos 1476 de 2022 y 1597 de 2024, que reglamentan aspectos asociados a la producción, certificación de origen, almacenamiento y uso del hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados. En particular, el Decreto 1597 de 2024 establece lineamientos para la gestión y promoción del hidrógeno de bajas emisiones, crea la plataforma ECOH2 para el registro y trazabilidad de proyectos, y habilita esquemas de certificación de origen basados en criterios de emisiones de gases de efecto invernadero, incorporando explícitamente aplicaciones en movilidad sostenible y otros usos energéticos distintos al industrial.

De manera complementaria, la política pública ha priorizado la diversificación de aplicaciones del hidrógeno mediante el impulso de pilotos y proyectos en transporte urbano, *blending* con gas natural y producción de fertilizantes de bajas emisiones. En 2025 se presentó para consulta, el CONPES de la Política Nacional de Hidrógeno de Bajas Emisiones, que articula la estrategia nacional en cinco ejes: inversión y reducción de costos, impulso a la demanda, infraestructura, actualización regulatoria y formación de talento humano; y fija metas ambiciosas de producción y uso de hidrógeno de bajas emisiones y derivados en sectores como el transporte de carga, la aviación, la industria siderúrgica, cementera y de fertilizantes. Este documento también promueve el desarrollo de cadenas productivas asociadas a amoníaco, metanol y combustibles limpios, con un enfoque en descarbonización y exportación.

Asimismo, el Ministerio de Minas y Energía ha avanzado en la regulación de derivados específicos, como el Combustible Sostenible de Aviación (SAF), mediante la elaboración de un proyecto de reglamento técnico de calidad para su producción y consumo, que incluye disposiciones sobre mezclas voluntarias con combustibles fósiles y el registro obligatorio de productores e importadores, con el fin de asegurar trazabilidad, calidad y seguridad operativa en su cadena de suministro¹³.

En conjunto, este marco de políticas e incentivos ha acelerado la entrada de proyectos de hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados en segmentos de uso final con mayor exposición al público y al entorno urbano, ampliando el alcance tecnológico y territorial de estas iniciativas. Sin embargo, esta expansión se produce en un contexto en el que el desarrollo de marcos de seguridad y mecanismos de verificación no es homogéneo, lo que se refleja en enfoques diversos para la aplicación de medidas de seguridad y puede relacionarse con un aumento de riesgos técnicos y ambientales asociados a las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno y sus derivados.

Causa indirecta A3: Asimetrías de información técnica y de gestión del riesgo entre los distintos actores de la cadena de valor.

El desarrollo del hidrógeno y sus derivados en Colombia involucra una cadena de valor diversa, que abarca desde productores y proveedores de tecnología hasta transportadores, operadores de infraestructura, autoridades locales y usuarios finales. Estos actores cuentan con distintos niveles de conocimiento técnico, experiencia operativa y capacidades de gestión del riesgo. En este contexto, se presentan asimetrías significativas de información técnica respecto a las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno, los riesgos asociados a su manejo y las medidas de seguridad requeridas en cada etapa del proyecto, lo que dificulta la adopción de criterios homogéneos de prevención y control.

Estas asimetrías se ven acentuadas por la falta de lineamientos técnicos compartidos, guías operativas estandarizadas de uso común entre los actores, así como por la ausencia de mecanismos efectivos de difusión del conocimiento, por lo que la selección e interpretación de

¹³ Se encuentra en debate el Proyecto de Ley 451 de 2024 Cámara / 152 de 2025 Senado busca consolidar el desarrollo del ecosistema del hidrógeno y sus derivados, incluyendo definiciones para hidrógeno verde, azul, blanco y derivados como amoníaco, metanol y combustibles sintéticos, así como incentivos para su producción, almacenamiento, transporte, usos y exportación.

normas técnicas internacionales depende de las decisiones de cada desarrollador. Como resultado, los actores con mayor trayectoria en el sector energético o químico tienden a implementar esquemas avanzados de gestión del riesgo, mientras que nuevos entrantes o actores provenientes de sectores no industriales pueden no identificar plenamente los riesgos específicos del hidrógeno o aplicar referencias técnicas incompletas o no plenamente compatibles con el contexto nacional.

Adicionalmente, la ausencia de plataformas públicas que consoliden información técnica, lecciones aprendidas, incidentes y buenas prácticas, así como la limitada articulación entre entidades sectoriales, reguladores, organismos del Sistema Nacional de la Calidad y autoridades territoriales, restringe el aprendizaje colectivo y la transferencia de capacidades. Esta fragmentación informativa dificulta la evaluación integral de riesgos a lo largo de la cadena de valor y refuerza una gestión de la seguridad basada en esfuerzos individuales, en lugar de un enfoque sistémico y coordinado, incrementando la probabilidad de brechas en la aplicación de medidas de seguridad entre proyectos y usos finales.

Causa directa B: Carácter voluntario y cobertura limitada de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) en materia de seguridad para el hidrógeno y sus derivados.

El desarrollo del mercado del hidrógeno y sus derivados en Colombia avanza en un contexto en el que las Normas Técnicas Colombianas (NTC) relacionadas con la seguridad de este vector energético tienen carácter voluntario y una cobertura limitada frente a los distintos eslabones de su cadena de valor. De acuerdo con el Decreto 1595 de 2015, las NTC solo adquieren obligatoriedad cuando una disposición reglamentaria las incorpora expresamente, situación que hasta el momento no ha ocurrido en materia de seguridad del hidrógeno y sus derivados.

Según el documento técnico “251709_PCOGIZ25045_Documento de Soporte Técnico – Producto 1”, anexo al presente documento, el inventario normativo colombiano sobre hidrógeno evidencia un avance significativo en la adopción y adaptación de estándares internacionales por parte del ICONTEC, en el marco del Plan de Normalización del Hidrógeno iniciado en 2021. Este proceso se desarrolla mediante el Comité Técnico de Normalización CTN 259 – Hidrógeno, conformado por grupos de trabajo en producción, transporte y estaciones de servicio, y uso vehicular, para apoyar la implementación del hidrógeno como alternativa energética estratégica.

Hasta la fecha, se han elaborado 39 Normas Técnicas Colombianas (NTC) asociadas directamente al hidrógeno y existen 7 proyectos normativos adicionales en consulta pública, de los cuales tres corresponden a actualizaciones de normas previamente publicadas. El documento señala que la mayor parte de las NTC vigentes se concentran en el segmento de movilidad (vehículos y estaciones de servicio), lo que refleja el liderazgo del sector transporte en la adopción de estándares internacionales y los objetivos planteados a la Hoja de Ruta del Hidrógeno en 2021. Sin embargo, persisten vacíos en las etapas de producción, acondicionamiento y aplicaciones industriales.

En resumen, el marco técnico nacional avanza hacia una armonización con los estándares ISO, contribuyendo a consolidar un sistema normativo coherente con las mejores prácticas internacionales en seguridad, calidad y gestión de riesgos para el desarrollo del hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados en Colombia.

En cuanto a la aplicación de normas técnicas, Colombia ha avanzado en la adopción de normas aplicables en la cadena de valor del hidrógeno. Al analizar normas que aplican de forma transversal a dicha cadena, se identifica la GTC-ISO-TR 15916:2015. Esta guía técnica tiene un carácter metodológico o informativo, sirve como referencia básica para la seguridad en sistemas de hidrógeno, incluyendo almacenamiento, transporte y uso en aplicaciones industriales y energéticas, así como los riesgos.

En cuanto a la producción de hidrógeno mediante electrólisis, se ha dado adopción del marco internacional con la NTC-ISO 22734:2019 que aborda exclusivamente tecnologías de electrólisis alcalina (ALK) y de membrana de intercambio protónico (PEM). No obstante, persisten brechas frente a estándares que incorporan criterios avanzados de seguridad funcional, análisis de riesgos y que aborden tecnologías emergentes como AEM y SOEC.

En materia de acondicionamiento, Colombia cuenta únicamente con la NTC-ISO-TS 19883, que regula aspectos de seguridad en sistemas de purificación por adsorción. Sin embargo, se identifican vacíos normativos en cuanto a la selección de materiales para alta presión y temperatura, así como en el diseño estructural de equipos sometidos a condiciones severas, como compresores, colectores térmicos o intercambiadores de calor.

Respecto al almacenamiento, existen dos normas habilitantes: la NTC-ISO 16111:2018, aplicable a sistemas de hidruros metálicos, y la NTC-ISO 24431:2016, relativa a la inspección visual y operativa de cilindros, y NTC 6025-4:2019 que establece una metodología para la evaluación de la fragilización por hidrógeno en aceros, útil como referencia para análisis de materiales. Sin embargo, se resalta que el almacenamiento gaseoso de alta presión que corresponde al tipo de almacenamiento de mayor aplicación a nivel industrial no se aborda con las NTCs actuales.

Finalmente, en el ámbito del transporte específico para hidrógeno, se presenta la GTC 401:2023 establece lineamientos generales para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de transporte por ductos y está basado principalmente en referencias de gas natural.

Lo anterior evidencia la cobertura limitada de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) en materia de seguridad para el hidrógeno y sus derivados, lo que conduce a que los desarrolladores recurran de forma autónoma a la implementación de normas internacionales de manera parcial o adaptada según sus capacidades técnicas y el alcance de cada proyecto.

Causa indirecta B1: El plan de trabajo del Comité 259 del ICONTEC se encuentra alineado con la Hoja de Ruta del Hidrógeno del 2021 la cual se encuentra desactualizada, pese a que contempla mecanismos de actualización conforme a las necesidades tecnológicas.

El ya citado Comité Técnico 259 “Hidrógeno” del ICONTEC constituye el principal espacio nacional para la normalización técnica en materia de seguridad a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. Su ámbito comprende la adopción y adaptación de normas ISO relacionadas con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de producción, almacenamiento, transporte y uso de hidrógeno.

El plan de trabajo del Comité Técnico 259 se estructuró alineado con la Hoja de Ruta del Hidrógeno de 2021, documento de política pública que orienta el desarrollo de la economía del hidrógeno en Colombia pero que no está incorporado al ordenamiento jurídico colombiano mediante un acto de fuerza normativa. Adicionalmente, y según el reciente Análisis de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Nacional elaborado por la Asociación Hidrógeno Colombia (Gasca y Giraldo, 2025)¹⁴, la ejecución de dicho plan presenta rezagos frente a lo programado originalmente.

De acuerdo con el informe, la Hoja de Ruta establecía revisiones técnicas con una frecuencia mínima de tres (3) años, y hasta anuales en caso de cambios significativos en el mercado o la tecnología, pero estas actualizaciones no se han implementado¹⁵. En consecuencia, el instrumento no ha sido actualizado frente al desarrollo del mercado, los avances tecnológicos, normativos y de seguridad que han tenido lugar en los últimos años tanto a nivel nacional como internacional.

La Asociación Hidrógeno Colombia destaca que la falta de actualización y la limitada coordinación con las entidades de normalización del Subsistema Nacional de la Calidad respecto a los nuevos objetivos enfocados en las tecnologías *Power-to-X* (PtX) ha generado una brecha entre la agenda de normalización técnica y las necesidades reales del sector, particularmente en temas emergentes como la seguridad en el transporte criogénico de hidrógeno líquido y la manipulación de derivados como el amoníaco, cuya regulación técnica resulta crítica para el desarrollo seguro del mercado nacional.

Dicha desactualización y desarticulación limita la capacidad del Comité Técnico 259 para priorizar la adopción de nuevas Normas Técnicas Colombianas (NTC) que respondan a los desafíos actuales de seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. Además, se evidencia que la formalización del Comité de Seguimiento de la Hoja de Ruta del Hidrógeno, prevista en el instrumento estratégico de 2021, aún se encuentra en proceso de oficialización, lo cual ha afectado la coherencia entre la política pública, la normalización técnica, gobernanza, implementación de proyectos entre otros.

Como resultado, aunque la Hoja de Ruta del Hidrógeno prevé mecanismos de revisión conforme a la evolución tecnológica, la ausencia de su ejecución práctica ha mantenido al Comité Técnico 259 alineado con un instrumento estratégico estático, restringiendo la oportunidad y pertinencia de la normalización técnica nacional en materia de seguridad del hidrógeno y sus derivados.

¹⁴ <https://hidrogenocolombia.com/blog/conoce-el-nuevo-analisis-cuatro-anos-despues-informe-de-avance-de-la-hoja-de-ruta-del-hidrogeno-en-colombia/>. Consultado el 10 de noviembre de 2025.

¹⁵ El documento “Actualización de la Hoja de Ruta del Hidrogeno para la incorporación de las tecnologías PtX” de la GIZ realizó un análisis de tecnologías como el amoníaco, metanol, combustibles sintéticos, entre otras. El documento está pendiente a ser publicado.

Causa indirecta B2: No existe un marco que incentive la adopción de las NTC vigentes.

Aunque en Colombia se han adoptado diversas Normas Técnicas Colombianas (NTC) relacionadas con la seguridad del hidrógeno, producto de la creación del Comité Técnico 259 de ICONTEC, actualmente, la adopción de estas normas depende de la decisión de los agentes privados, sin que existan incentivos normativos o reglamentarios específicos para su aplicación. En el marco jurídico actual, ningún instrumento jurídico nacional exige de manera explícita su observancia, ni siquiera como guía técnica o requisito de habilitación para instalaciones o actividades relacionadas con el hidrógeno y sus derivados. Aunque se han adoptado normas técnicas relacionadas con el hidrógeno, existen aspectos clave para la seguridad y operación de los proyectos que no están incluidos en las NTC que se han desarrollado hasta la fecha.

El Decreto 1595 de 2015, que define el Subsistema Nacional de la Calidad, prevé la posibilidad de incorporar normas técnicas a la reglamentación técnica para dotarlas de obligatoriedad. Sin embargo, en el caso del hidrógeno, ninguna NTC vigente ha sido incorporada mediante resolución, reglamento o acto administrativo, por lo que carecen de fuerza vinculante. De igual forma, no existen referencias normativas en leyes, decretos o guías técnicas que recomienden o incentiven su aplicación voluntaria como criterio de seguridad o de gestión del riesgo.

En este contexto, los criterios técnicos de seguridad aplicables a los proyectos de hidrógeno y sus derivados pueden variar entre proyectos, en función de las prácticas y procedimientos adoptados por cada desarrollador. Esta diversidad refleja la autonomía de los actores en la gestión de riesgos y la adaptación de estándares internacionales al contexto local, pero también conduce a enfoques heterogéneos en la definición y aplicación de medidas de seguridad.

Causa directa C. Limitada claridad institucional sobre los procedimientos aplicables en materia de certificación, acreditación y homologación técnica relacionados con el uso de hidrógeno y sus derivados, porque las competencias y normas se encuentran dispersas entre diferentes entidades y marcos regulatorios.

El marco normativo vigente en materia de seguridad industrial y gestión del riesgo en Colombia no ha sido diseñado para abordar propiamente al hidrógeno de bajas emisiones como vector energético y sus derivados, sino que lo regula bajo la categoría general de sustancia peligrosa. En consecuencia, disposiciones como el Decreto 1609 de 2002 (transporte de mercancías peligrosas por carretera), el Decreto 1072 de 2015 (seguridad y salud en el trabajo) y la Resolución 1223 de 2014 (manejo de productos químicos) fueron diseñadas para contextos generales y no contemplan todas las particularidades tecnológicas y fisicoquímicas del hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados. En la práctica, las entidades competentes del Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Trabajo, ANLA, entre otras no cuentan con lineamientos específicos ni criterios uniformes que orienten la aplicación de normas de seguridad para el desarrollo de proyectos de hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados. Esto deriva en ausencia de lineamientos específicos, duplicidad normativa y falta de criterios uniformes lo que dificulta la interpretación y aplicación coherente de las normas y genera vacíos en la gobernanza técnica y regulatoria.

Esta situación ha generado incertidumbre normativa entre los actores públicos y privados respecto a qué regulaciones son aplicables en cada fase de la cadena de valor, especialmente en proyectos orientados a hidrógeno de bajas emisiones. No obstante, las empresas que ya operan en el país con experiencia en producción y comercialización de hidrógeno y derivados han investigado, adaptado y aplicado normatividad nacional e internacional acorde a las condiciones específicas de cada proyecto, asegurando estándares de seguridad y calidad. Cabe resaltar que los requerimientos de seguridad y calidad asociados a las propiedades fisicoquímicas de la molécula son los mismos, independientemente de su origen, sin relación directa con si el hidrógeno es o no de bajas emisiones.

El resultado es un vacío de articulación regulatoria: coexisten múltiples normas sectoriales que abordan riesgos parciales o generales (como la gestión de sustancias peligrosas o la seguridad de instalaciones industriales), pero ninguna establece con claridad e integralidad el manejo del hidrógeno conforme a su rol como vector energético y sus derivados. Además, no se han definido claramente las competencias de las entidades responsables del control y vigilancia en cada eslabón, lo que dificulta la verificación del cumplimiento de medidas de seguridad y la reacción coordinada ante potenciales emergencias tecnológicas.

Causa indirecta C1: Las disposiciones relacionadas con seguridad industrial, la gestión ambiental y la salud ocupacional se encuentran dispersas entre distintos sectores (MinAmbiente, MinTrabajo, MinEnergía, MinSalud, entre otros), sin mecanismos de coordinación técnica ni jerarquía regulatoria definida.

El marco normativo colombiano en materia de seguridad industrial, gestión ambiental y salud en el trabajo se encuentra conformado por un amplio conjunto de disposiciones sectoriales, expedidas de manera independiente por diversas entidades con competencias concurrentes. Ministerios como el de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente), Trabajo (MinTrabajo), Minas y Energía (MinEnergía) y Salud y Protección Social (MinSalud), así como entidades técnicas como la ANLA, la UPME y las Autoridades Ambientales Regionales, han emitido regulaciones y guías aplicables a la gestión del riesgo químico, la seguridad industrial y la prevención de accidentes mayores.

No obstante, dichas disposiciones fueron diseñadas de manera general o para sectores o actividades específicas, como hidrocarburos, minería o manufactura, y no contemplan las particularidades del hidrógeno como vector energético y sus derivados.

Esta dispersión normativa ha generado una regulación fragmentada, sin un marco de coordinación técnico claramente definido entre los sectores competentes. En la práctica, cada entidad interpreta y aplica sus competencias desde su propio ámbito, lo que conduce a superposición o vacíos de regulación, especialmente en temas transversales como el almacenamiento, el transporte, la manipulación y la seguridad de instalaciones asociadas al hidrógeno y sus derivados.

Por ello, el país carece de un marco institucional unificado que permita establecer lineamientos técnicos claros, evitar contradicciones entre normas y determinar qué autoridad lidera la regulación y vigilancia del hidrógeno y sus derivados, lo que influye en la aplicación de las normas existentes

y puede provocar interpretaciones y enfoques en la implementación de medidas de control y supervisión en dicha cadena.

Causa indirecta C2: Ausencia de guías prácticas, manuales o protocolos nacionales en materia de seguridad del hidrógeno y sus derivados adaptados al contexto tecnológico y operativo colombiano, así como la inexistencia de sistemas estandarizados de reporte, análisis y difusión de incidentes y cuasi-incidentes asociados al hidrógeno.

En Colombia no existen guías, manuales técnicos ni protocolos nacionales que orienten la aplicación práctica de las normas existentes de seguridad industrial, gestión ambiental y salud en el trabajo en el contexto del hidrógeno y sus derivados. El país cuenta con disposiciones generales en estas materias, aunque no dispone de instrumentos oficiales que interpreten, adapten o precisen cómo deben aplicarse dichas normas al desarrollo de proyectos de hidrógeno, de acuerdo con sus particularidades tecnológicas, operativas y de riesgo.

En la práctica, la implementación de medidas de seguridad puede variar entre proyectos, ya que cada desarrollador interpreta y adapta la normatividad general, incluidos estándares mínimos de seguridad industrial, ambiental y ocupacional, de acuerdo con sus propios criterios y capacidades técnicas. Esta variabilidad se ve acentuada por la ausencia de lineamientos específicos y sistematizados que permitan identificar las normas pertinentes para cada fase de la cadena de valor (producción, almacenamiento, transporte, distribución y uso) así como por la falta de parámetros homogéneos para la verificación de cumplimiento por parte de las autoridades competentes.

Asimismo, si bien existen protocolos operativos y manuales de respuesta a emergencias de carácter general aplicables a sustancias peligrosas, no se encuentra contenido específico para hidrógeno, y sus derivados. Esta situación resulta relevante considerando las características fisicoquímicas particulares del hidrógeno, como su alta difusividad, amplio rango de inflamabilidad y baja energía de ignición, que pueden requerir procedimientos diferenciados respecto de otras sustancias peligrosas. La ausencia de protocolos técnicos oficiales específicos para el hidrógeno y sus derivados limita la preparación adecuada de los cuerpos de socorro, autoridades ambientales, inspectores de trabajo, y demás entidades competentes, y reduce la capacidad institucional para prevenir, gestionar y responder de manera coordinada incidentes en proyectos de hidrógeno y sus derivados.

En consecuencia, la ausencia de guías técnicas oficiales específicas y armonizadas, incrementa la incertidumbre regulatoria y limita la posibilidad del Estado de ejercer una vigilancia y control efectivos sobre la aplicación de las medidas de seguridad a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados.

Causa indirecta C3: Escasa experiencia nacional por el bajo número de proyectos operativos, lo que dificulta establecer referencias locales de buenas prácticas o adaptación de normas internacionales.

Colombia cuenta con una industria de hidrógeno consolidada asociada a procesos de reformado de gas natural (SMR por sus siglas en inglés), esta actividad opera desde hace décadas bajo criterios y estándares de seguridad, diseño y operación ampliamente establecidos y adoptados en el país y a nivel internacional. Entre ellos se incluyen normas para la integridad mecánica de equipos a presión, manejo de atmósferas explosivas (ATEX), sistemas eléctricos (IEC, NFPA), protocolos de transporte de mercancías peligrosas (Decreto 1609 de 2002) y lineamientos para almacenamiento seguro. Estas prácticas ofrecen referentes valiosos en términos de trazabilidad, monitoreo de condiciones operativas y gestión del riesgo.

La experiencia nacional es considerablemente más limitada en proyectos de hidrógeno producido por electrólisis y en nuevos usos finales, especialmente en aplicaciones energéticas y de movilidad, donde los riesgos asociados a la operación intermitente y la integración con tecnologías como celdas de combustible difieren sustancialmente de los estándares aplicados al hidrógeno gris tradicional. En Colombia se han identificado más de 30 proyectos de hidrógeno de bajas emisiones, y algunos, como Protium (operativo) y Coral (en construcción), ya alcanzaron la decisión final de inversión, la mayoría de estas iniciativas aún se encuentran en etapas tempranas de ejecución o pruebas piloto. En consecuencia, el país no dispone todavía de suficiente experiencia operativa acumulada que permita establecer referencias locales de seguridad y desempeño.

Esta limitada madurez tecnológica y operativa dificulta la generación de evidencia práctica que sirva de base para la adaptación de normas internacionales, la formulación de protocolos técnicos nacionales y la definición de niveles aceptables de riesgo en el contexto colombiano. A diferencia de otros países donde la regulación del hidrógeno se ha construido sobre lecciones aprendidas de la operación industrial y la gestión de incidentes, Colombia aún se encuentra en una fase de aprendizaje experimental, con escasa retroalimentación empírica.

Esta situación también afecta la capacidad de las instituciones públicas para ejercer vigilancia, inspección y control técnico, ya que no existen parámetros locales de desempeño ni estudios de referencia que sustenten los criterios de evaluación. De igual manera, los desarrolladores y operadores carecen de orientación práctica nacional sobre la aplicación de medidas preventivas, diseño de instalaciones o gestión de emergencias.

Adicionalmente, si bien en Colombia se han desarrollado múltiples espacios de discusión, como eventos sectoriales, foros técnicos, talleres, mesas de trabajo y consultorías impulsadas por entidades públicas, cooperación internacional y actores privados, en los que se han abordado aspectos relacionados con la seguridad, la calidad y la gestión del riesgo del hidrógeno y sus derivados, el país aún carece de espacios oficiales, permanentes y especializados que permitan la sistematización y difusión continua de buenas prácticas, lecciones aprendidas y criterios técnicos homogéneos. La ausencia de estos mecanismos institucionalizados limita la consolidación de conocimiento colectivo, la transferencia efectiva de aprendizajes entre proyectos y la construcción progresiva de capacidades técnicas compartidas a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados.

En síntesis, aunque el país ha avanzado significativamente en la estructuración de proyectos, la experiencia operativa y los espacios de intercambio de conocimientos aún están en desarrollo, lo que influye en la consolidación de buenas prácticas a nivel nacional.

2.1.6. Consecuencias identificadas

Consecuencia A. Inconsistencias técnicas en la gestión de la seguridad de los proyectos de hidrógeno y sus derivados.

Los actores de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados adoptan de manera autónoma los estándares y lineamientos que consideran más adecuados, recurriendo a normas internacionales, especificaciones corporativas o normas y procedimientos internos. Esta situación impide asegurar la equivalencia técnica entre proyectos y genera enfoques disímiles para la gestión de riesgos críticos asociados al hidrógeno y sus derivados, tales como la prevención y detección de fugas, la definición de zonas clasificadas, la selección de materiales compatibles, la integridad mecánica, los protocolos de inspección y mantenimiento, y la preparación y respuesta ante emergencias.

Como resultado, se pueden presentar niveles heterogéneos de cumplimiento y criterios divergentes en las etapas de diseño, instalación, operación y mantenimiento de las instalaciones, lo que dificulta la homologación técnica entre proyectos y limita la capacidad de las autoridades competentes para realizar procesos de verificación estandarizados. La ausencia de parámetros comunes reduce la trazabilidad de las decisiones técnicas, obstaculiza la comparación objetiva entre proyectos y limita la posibilidad de identificar, replicar y escalar buenas prácticas de seguridad a nivel sectorial.

Adicionalmente, el plan de trabajo del Comité Técnico 259 de ICONTEC, se ha estructurado con base en los lineamientos de la Hoja de Ruta del Hidrógeno de 2021, instrumento de política pública que no ha sido objeto de actualización formal. En la medida que dicho Plan toma como referencia un marco estratégico que no incorpora los desarrollos tecnológicos más recientes, existe un riesgo de que la agenda de normalización técnica no refleje plenamente algunas tendencias emergentes del sector de hidrógeno a nivel internacional. Esta situación puede incidir en el ritmo de adopción de nuevas normas ISO y en la capacidad de asegurar una alineación oportuna con estándares internacionales en materia de seguridad. De acuerdo con el análisis de la Hoja de Ruta del Hidrógeno Nacional elaborado por la Asociación Hidrógeno Colombia, esta alineación podría no responder de manera integral a las necesidades actuales del sector, afectando la oportunidad de la agenda de normalización técnica para el ecosistema nacional del hidrógeno y sus derivados.

Consecuencia B: Incremento en la probabilidad de incidentes operativos con impactos ambientales, sociales y de seguridad pública.

Como consecuencia de la aplicación no uniforme de medidas de seguridad en los proyectos de hidrógeno y sus derivados se incrementa la probabilidad de incidentes operativos a lo largo de la cadena de valor, particularmente en contextos donde las instalaciones se ubican en proximidad a trabajadores, comunidades o infraestructuras críticas. La falta de criterios técnicos comunes y de esquemas de verificación estandarizados dificulta asegurar que todos los proyectos gestionen de

manera adecuada los riesgos inherentes a las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno, tales como su alta difusividad, amplio rango de inflamabilidad, baja energía de ignición y potencial de fragilización de materiales.

En este contexto, deficiencias en el diseño de sistemas de contención, ventilación, detección de fugas, clasificación de áreas, selección de materiales o planes de emergencia pueden derivar en liberaciones no controladas, incendios, explosiones o exposición del personal y de la población a sustancias peligrosas. Estos eventos, aun cuando sean de baja frecuencia, pueden generar impactos significativos sobre la seguridad y salud de las personas, afectaciones ambientales locales y daños a bienes e infraestructura, especialmente en aplicaciones de uso final como el transporte, la movilidad urbana o la producción de derivados con potencial tóxico o inflamable como el amoníaco.

Adicionalmente, la ausencia de lineamientos claros para la gestión integral del riesgo y de protocolos públicos de preparación y respuesta ante emergencias limita la capacidad de las autoridades y de los organismos de atención para actuar de manera coordinada y oportuna frente a un incidente. Esta situación aumenta la severidad potencial de los eventos, eleva los costos de mitigación y reparación, y puede generar efectos reputacionales negativos para los proyectos y para el sector en su conjunto, afectando la aceptación social y la continuidad del despliegue del hidrógeno y sus derivados en Colombia.

Consecuencia C: Pérdida de confianza de inversionistas y ciudadanía afectando la viabilidad de proyectos y el desarrollo del mercado del hidrógeno y derivados.

La diversidad de enfoques normativos y la posibilidad de que se adopten esquemas regulatorios poco alineados con la realidad tecnológica de Colombia, pueden generar señales contradictorias para los inversionistas. En ausencia de lineamientos nacionales compartidos, cada agente debe identificar, interpretar y adaptar por cuenta propia normas internacionales o generales, lo que incrementa los costos de cumplimiento, introduce incertidumbre jurídica y dificulta la planificación técnica y financiera de los proyectos. Esta situación puede traducirse en reprocesos, duplicidades en certificaciones, mayores cargas administrativas y retrasos en la obtención de permisos y autorizaciones.

Por otro lado, la adopción de marcos poco flexibles, sin proporcionalidad o reconocimiento de equivalencias internacionales, puede desincentivar la inversión al elevar innecesariamente la complejidad regulatoria y los costos de entrada al mercado. Normas poco flexibles o no alineadas con las características reales de los proyectos y tecnologías disponibles pueden excluir soluciones técnicamente viables, frenar la innovación y reducir el atractivo del país frente a otros mercados con esquemas regulatorios más predecibles y adaptativos.

Desde la perspectiva de la ciudadanía, tanto la falta de lineamientos específicos como la percepción de marcos poco adaptados afectan la confianza en la capacidad del Estado para gestionar adecuadamente los riesgos asociados al hidrógeno y sus derivados. Así mismo, la limitada visibilidad de mecanismos de control y verificación puede generar inquietudes en materia de seguridad y de impactos ambientales de los proyectos, mientras que la complejidad y dispersión de los marcos aplicables pueden contribuir a percepciones de falta de claridad institucional.

En conjunto, estos factores pueden incidir negativamente en la confianza social y de los inversionistas, afectar la viabilidad y aceptación de los proyectos y ralentizar la consolidación de un mercado nacional del hidrógeno y sus derivados sólido, competitivo y alineado con los objetivos de la transición energética.

Consecuencia D: Afectación a la legitimidad de las autoridades ante la ciudadanía en caso de incidentes asociados a una gestión percibida como insuficiente del riesgo.

La dispersión de competencias entre los sectores de energía, ambiente, trabajo, salud e industria influye en la forma en que se ejerce la supervisión sobre los proyectos en desarrollo. La fragmentación normativa y la falta de mecanismos formales de coordinación interinstitucional puede dar lugar a vacíos, superposiciones y ambigüedades sobre qué entidad es responsable de evaluar, verificar y hacer seguimiento a las condiciones de seguridad en cada eslabón de la cadena de valor.

En este contexto, las actuaciones de inspección, vigilancia y control tienden a desarrollarse de manera parcial, reactiva o asociada a eventos puntuales, más que bajo un esquema preventivo y sistemático de gestión del riesgo. A ello se suman las limitaciones presupuestales, la escasez de personal técnico especializado y la ausencia de metodologías estandarizadas para la verificación de estándares de seguridad, factores que pueden influir en la capacidad institucional para anticipar riesgos, auditar prácticas y coordinar respuestas ante incidentes.

Ante la eventual ocurrencia de accidentes o eventos de seguridad, derivado de estas debilidades, pueden traducirse en cuestionamientos públicos sobre la idoneidad del marco regulatorio y la actuación de las autoridades, afectando su legitimidad y credibilidad frente a la ciudadanía y los actores del sector. La percepción de una gestión insuficiente o desarticulada del riesgo no solo deteriora la confianza en las instituciones, sino que también incrementa la resistencia social a nuevos proyectos y dificulta la consolidación de políticas públicas de largo plazo. En el mediano y largo plazo, esta pérdida de legitimidad puede limitar la capacidad del Estado para liderar de manera efectiva la transición hacia una economía del hidrógeno segura, ordenada y socialmente aceptada.

2.2. Descripción del Problema de la Calidad en la Cadena de Valor del Hidrógeno



Gráfico 5. Árbol de problemas calidad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados

2.2.1. Problema principal

La expansión de proyectos de hidrógeno y sus derivados hacia nuevas aplicaciones de uso final, avanza con dificultades para acceder a la infraestructura de verificación de la calidad del hidrógeno

producido, lo que incrementa el riesgo de fallas operativas, con afectaciones al desempeño y a la confiabilidad de tecnologías que requieren rangos estrictos de calidad para su funcionamiento.

2.2.2. Descripción del problema de la Calidad en la Cadena de Valor del Hidrógeno

El desarrollo de proyectos de hidrógeno y sus derivados en Colombia, impulsado por las políticas de descarbonización y transición energética, se lleva a cabo en un contexto en que los mecanismos de control y verificación del cumplimiento de estándares de pureza del producto, no se encuentran plenamente institucionalizados ni disponibles de manera homogénea para los distintos actores del sector. Esta situación puede dar lugar a enfoques técnicos diversos en la gestión de la calidad del hidrógeno, generar dependencia de capacidades externas y evidenciar debilidades en la infraestructura y capacidades institucionales asociadas al cumplimiento de la calidad.

En principio, los criterios de calidad aplicables al hidrógeno y sus derivados constituyen un aspecto técnico-contractual, que los productores y compradores definen según los requerimientos del uso final. Por ello, no resulta viable ni eficiente establecer un único estándar obligatorio de pureza, pues ello podría encarecer innecesariamente los proyectos o restringir la innovación tecnológica. Por ejemplo, en procesos industriales como refinación o síntesis química se pueden tolerar impurezas de hasta ~2 mol % (98 % de pureza). En contraste, en aplicaciones vehiculares con celdas de combustible de tipo PEM, se exige una pureza mínima del 99,97% según ISO 14687-2¹⁶, con límites estrictos de impurezas: CO ≤ 0,2 ppm, compuestos de azufre ≤ 0,004 ppm, amoníaco ≤ 0,1 ppm, halógenos ≤ 0,05 ppm, humedad ≤ 5 ppm e hidrocarburos totales ≤ 2 ppm¹⁷.

Sin embargo, cuando el hidrógeno y sus derivados se destinan a aplicaciones de uso masivo o con carácter de servicio público, su calidad trasciende el ámbito privado y se convierte en un asunto de interés público y de relevancia. En estos casos, la ausencia de lineamientos uniformes de los parámetros técnicos, de capacidades e infraestructura de medición acreditada y esquemas de certificación reconocidos puede generar incertidumbre técnica y operativa. Por ejemplo, en el proyecto piloto conjunto entre [TransMilenio y Ecopetrol para movilidad con hidrógeno](#)¹⁸, la ausencia de estándares nacionales para medición de pureza, laboratorios acreditados y mecanismos de certificación generó incertidumbre técnica y retrasos en la validación de resultados ante terceros, incurriendo en costos adicionales por análisis y traslado de muestras a laboratorios en Estados Unidos. De igual forma, en los pilotos de [blending de hidrógeno con gas natural](#)¹⁹, no están claramente definidas las condiciones de mezcla ni los límites seguros considerando las restricciones de inflamabilidad, lo que incrementa los riesgos operativos.

En este contexto, el país presenta limitaciones significativas en materia de capacidades técnicas y de infraestructura metrológica especializada para el análisis y certificación de la pureza del

¹⁶ [ISO 14687](#)

¹⁷ Nota aclaratoria: Detalles específicos en las condiciones de pureza por tipo de aplicación se presentan en el Documento Técnico Soporte del presente AIN.

¹⁸ Información de piloto de movilidad disponible en: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/ecopetrol-ya-produce-hidrogeno-verde-de-la-mas-alta-pureza-para-bus-del-sitp-de-bogota>

¹⁹ Información piloto de *blending* de H2 con gas natural disponible en: https://www.surtigas.com.co/noticia_365_promigas-y-surtigas-ponen-en-marcha-piloto-de-produccion-de-hidrogeno-verde--365

hidrógeno, especialmente bajo esquemas de acreditación y reconocimiento internacional, con limitada disponibilidad de los equipos y de personal especializado necesarios para realizar análisis de pureza de hidrógeno, lo que representa una brecha crítica para el desarrollo del sector. Colombia no tiene una red nacional consolidada de laboratorios acreditados para certificar la calidad del hidrógeno y sus derivados conforme a estándares ampliamente aceptados, particularmente para aplicaciones que exigen altos niveles de pureza. En consecuencia, los desarrolladores de proyectos suelen recurrir a laboratorios en el exterior, lo que aumenta los costos, los tiempos de validación y la dependencia tecnológica. A ello se suma la limitada disponibilidad de personal técnico y auditores especializados, así como una articulación incipiente entre entidades que conforman el Subsistema Nacional de la Calidad y los ministerios con competencia sectorial, lo que dificulta la coordinación técnica y la planificación estratégica.

Desde el punto de vista normativo, **no se cuenta actualmente con instrumentos que establezcan de manera clara, obligatoria o incentivada la adopción homogénea de estándares internacionales de calidad del hidrógeno**, ni con mecanismos que garanticen la transparencia y verificabilidad de la información técnica asociada. En un contexto donde los mecanismos de control y verificación aún no están plenamente institucionalizados ni disponibles de forma uniforme para todos los actores, esta falta de directrices normativas contribuye a que persistan enfoques técnicos diferenciados, dificultando trazabilidad y comparabilidad. Asimismo, esto puede afectar el principio de protección al consumidor, previsto en el artículo 78 de la Constitución Política y la Ley 1480 de 2011, así como la confianza y aceptación social del hidrógeno como energético limpio y seguro.

Finalmente, las limitaciones en infraestructura y capacidades locales inciden en la competitividad del país frente a economías que ya cuentan con sistemas nacionales de calidad consolidados. En síntesis, el problema de la calidad del hidrógeno en Colombia se explica por una combinación de factores que afectan la trazabilidad y la consistencia técnica en toda la cadena de valor. Estos incluyen la limitada infraestructura metrológica acreditada, la dependencia de esquemas privados o externos para la verificación de la pureza, la heterogeneidad de requisitos según su uso final y una articulación institucional aún incipiente.

2.2.3. Fundamento en Objetivos Legítimos (Acuerdo OTC)

De conformidad con el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio (OMC), aprobado en Colombia mediante la Ley 170 de 1994, los reglamentos técnicos deben sustentarse en la protección de un objetivo legítimo que justifique la intervención del Estado.

En el caso de la calidad del hidrógeno y sus derivados, el objetivo legítimo aplicable es la prevención de prácticas que puedan inducir a error, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 2.2 del Acuerdo OTC, que reconoce la necesidad de proteger a los consumidores y garantizar la transparencia en las transacciones comerciales.

El desarrollo del mercado del hidrógeno en Colombia involucra diversas aplicaciones como producción de fertilizantes, amoníaco, metanol, acero y otras industrias emergentes como la

producción de combustibles sintéticos (SAF)²⁰, cada una con requerimientos técnicos de pureza y desempeño diferenciados. En la etapa actual de madurez del mercado, son principalmente los usuarios quienes definen las especificaciones de calidad necesarias para sus procesos, lo cual resulta consistente con el tamaño incipiente del mercado y la diversidad de aplicaciones.

No obstante, en la medida que el mercado se expanda, ya sea por un aumento de la demanda, por una mayor integración del hidrógeno en sectores de interés público o en actividades catalogadas como servicios públicos, la necesidad de intervención estatal se incrementa de manera proporcional. En ese escenario más avanzado, la definición de requisitos mínimos de información técnica, veraz, suficiente, trazable y comprobable contribuye a prevenir errores respecto de la composición, pureza o condiciones del producto, y a fortalecer la confianza en las transacciones, la competencia leal y la seguridad del usuario final.

De esta forma, aunque una regulación de calidad puede resultar prematura en la etapa actual, su adopción progresiva en el largo plazo constituye un instrumento razonable y proporcionado para acompañar la evolución del mercado, protegiendo los derechos de los consumidores y promoviendo un entorno transparente, confiable y equitativo.

Este objetivo encuentra sustento adicional en la Ley 1480 de 2011 (Estatuto del Consumidor), que reconoce el derecho de los consumidores a recibir información veraz, oportuna y verificable sobre los bienes y servicios ofrecidos en el mercado, así como la obligación de los productores y comercializadores de suministrarla de manera clara, completa y comprobable.

En este contexto, el objetivo legítimo de la regulación sobre calidad del hidrógeno y sus derivados no se limita a consideraciones técnicas, sino que también cumple una función económica y de competencia. En este sentido, el objetivo regulatorio se orienta a:

- Evitar que los consumidores o los operadores económicos sean inducidos a error respecto a las características, composición, pureza, poder energético o trazabilidad del hidrógeno y sus derivados, asegurando información técnica verificable y comprobable.
- Garantizar la transparencia y comparabilidad de la información técnica disponible, fortaleciendo la confiabilidad de las mediciones y reduciendo las asimetrías de información entre agentes con distintos niveles de capacidad técnica.
- Fomentar la confianza y la competencia leal mediante el fortalecimiento de esquemas de verificación independiente que eviten que la calidad del producto se convierta en un factor opaco o discrecional, susceptible de ser controlado por un número reducido de agentes con mayor capacidad tecnológica y financiera.
- Prevenir distorsiones de mercado en una etapa temprana del desarrollo del sector, evitando que la ausencia de parámetros mínimos de calidad y de mecanismos de verificación homogéneos derive, en el mediano plazo, en prácticas restrictivas de la competencia, en la creación de barreras de entrada para nuevos participantes o en esquemas de control indirecto de precios asociados al acceso exclusivo a capacidades de medición, certificación o validación técnica.
- Promover la creación de capacidades institucionales y técnicas en el país, incluyendo infraestructura metrológica, protocolos de medición y laboratorios especializados, de forma que el acceso a la verificación de la calidad del hidrógeno no dependa exclusivamente de

²⁰ Acorde a la Hoja de Ruta de Transición Energética Justa (2025).

actores dominantes o de proveedores externos, sino que se configure como un insumo habilitante para un mercado abierto, dinámico y eficiente.

En consecuencia, una eventual intervención regulatoria en materia de calidad se justificaría por la necesidad de prevenir prácticas que puedan inducir al engaño, error o confusión, asegurar la disponibilidad de la información veraz y trazable del producto, y fortalecer la transparencia y confianza del mercado. Todo ello en coherencia con los principios del Acuerdo OTC, la normativa nacional de protección al consumidor y las buenas prácticas internacionales en materia de calidad y comercio de energéticos limpios.

2.2.4 Causas

Causa directa A: La falta de lineamientos o protocolos uniformes sobre los parámetros operativos de producción del hidrógeno, puede incrementar la heterogeneidad en su composición.

La ausencia de lineamientos o protocolos uniformes para los parámetros operativos en la producción de hidrógeno puede incrementar la heterogeneidad en su composición, lo que representa un obstáculo importante para la expansión de proyectos hacia nuevas aplicaciones de uso final. Por ejemplo, parámetros operativos como la presión y temperatura de operación de los electrolizadores, la calidad del agua utilizada, el tipo de electrolito, la velocidad de flujo, los materiales de los componentes en contacto con el hidrógeno y los procedimientos de purga y limpieza influyen directamente en la composición final del hidrógeno producido y en la presencia de impurezas como humedad, monóxido de carbono, dióxido de carbono, amoníaco o hidrocarburos²¹.

La falta de protocolos uniformes durante la cadena de valor, que aseguren homogeneidad y precisión en los parámetros operativos, y la falta de procedimientos de muestreo y análisis validados, dificulta no solo que los laboratorios y organismos de certificación puedan verificar con la calidad del hidrógeno y el aseguramiento de condiciones operativas óptimas para la producción del hidrógeno con la calidad esperada. Esto se traduce en que los usuarios finales, especialmente en sectores que requieren altos niveles de pureza y control de contaminantes (como la movilidad con celdas de combustible), enfrentan dificultades para acceder a una infraestructura de verificación confiable, lo que incrementa el riesgo de fallas operativas, daños en equipos y pérdida de confiabilidad en las tecnologías asociadas. Por tanto, la estandarización de los parámetros operativos y la adopción de protocolos uniformes son fundamentales para garantizar la calidad, la seguridad y la aceptación comercial del hidrógeno y sus derivados en el mercado.

Causa Indirecta A1: Ausencia de prácticas estandarizadas para la verificación de la calidad en cada eslabón de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados

En Colombia la falta de criterios técnicos claros para el control de la calidad del hidrógeno y sus derivados se traduce en la inexistencia de lineamientos, guías técnicas y protocolos operativos que orienten la supervisión, control y verificación en los distintos eslabones de su cadena de valor. Esta

²¹ Becker, H. et al. (2023). Impact of impurities on water electrolysis: a review. Sustainable Energy & Fuels.

ausencia de instrumentos prácticos limita la capacidad de garantizar la pureza del hidrógeno para diferentes usos finales.

Si bien el país ha adoptado normas técnicas relacionadas con el hidrógeno, estas no abarcan integralmente todos los eslabones de la cadena de valor (producción, acondicionamiento, almacenamiento, transporte, distribución y uso final) ni cubren de manera completa los requisitos metrológicos, analíticos y operativos requeridos para asegurar una trazabilidad robusta. Como resultado, persisten vacíos técnicos que impiden una aplicación uniforme y verificable de los estándares existentes.

Además, la falta de criterios nacionales homogéneos impide que las distintas entidades apliquen procedimientos de seguimiento uniformes, lo que fragmenta la acción institucional y dificulta un control coordinado y efectivo. Los desarrolladores, por su parte, carecen de referencias oficiales sobre cómo implementar y reportar el cumplimiento de los estándares de calidad, lo que genera disparidad de prácticas, inconsistencias en la información y obstáculos para el seguimiento de resultados. En ausencia de protocolos específicos, no es posible verificar con precisión el cumplimiento de los parámetros de pureza, la validez de los métodos de ensayo ni la integridad de las cadenas de custodia de las muestras. Esto incrementa la heterogeneidad en la composición del hidrógeno producido y afecta la confiabilidad de las aplicaciones que requieren rangos estrictos de calidad.

Causa Indirecta A2: Insuficiente articulación institucional y coordinación entre entidades responsables.

Aunque en Colombia existen entidades clave como el Instituto Nacional de Metrología (INM), el ICONTEC, el ONAC, la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y el Ministerio de Minas y Energía, sus acciones no siempre están alineadas ni coordinadas de manera efectiva. Por ejemplo, aunque en la Hoja de Ruta del Hidrógeno se establecieron acciones explícitas para el ICONTEC, no se definieron funciones para el INM, ONAC o SIC en todos los ejes de desarrollo del hidrógeno.

A ello se suma que las funciones y capacidades del Sistema Nacional de la Calidad (SICAL) no han sido plenamente integradas en la definición de estándares, la verificación metrológica, la acreditación de laboratorios y la evaluación de la conformidad para hidrógeno y sus derivados. La articulación efectiva del SICAL con los instrumentos regulatorios emergentes del sector impulsa la capacidad del país para asegurar trazabilidad, uniformidad técnica y alineación con estándares internacionales.

La articulación institucional actual puede generar vacíos normativos, duplicidad de esfuerzos y retrasos en la adopción de estándares y protocolos técnicos, lo que dificulta la implementación de criterios homogéneos para la producción y verificación de la calidad del hidrógeno. Además, la ausencia de mesas técnicas interinstitucionales, la limitada participación en comités internacionales de normalización y la falta de intercambio sistemático de información entre los actores del ecosistema, impiden que se definan y apliquen parámetros operativos claros y consensuados. Esto repercute directamente en la variabilidad de los procesos productivos y en la calidad del hidrógeno disponible en el país.

Causa directa B: Limitada capacidad técnica y operativa para verificar la calidad del hidrógeno y sus derivados producidos en el país.

Colombia presenta actualmente capacidades técnicas, operativas y metrológicas aún insuficientes para verificar de manera independiente y trazable la calidad y pureza del hidrógeno y sus derivados producidos en el país. Esta limitación se presenta en un contexto de oferta incipiente de infraestructura de laboratorios acreditados, equipos de medición y calibración especializados aún limitados en alcance, personal con capacidades específicas escaso y metodologías de verificación que todavía no están plenamente armonizadas con los estándares internacionales.

En la práctica, la verificación de la calidad del hidrógeno y sus derivados recae principalmente en los productores, sin que exista un ecosistema externo (laboratorios y organismos de evaluación de la conformidad) suficientemente robusto que ejecute revisiones, auditorías y controles independientes con cobertura nacional. Esta situación reduce la credibilidad del sistema nacional de calidad, limita la capacidad de supervisión y compromete la confianza del país frente a mercados internacionales que exigen trazabilidad y certificación verificable bajo criterios de bajas emisiones y alta pureza.

Causa indirecta B1: Escasez significativa y alcance insuficiente de laboratorios acreditados y equipados para realizar ensayos de calidad del hidrógeno y sus derivados conforme a los estándares internacionales.

En Colombia existe un número limitado de acreditaciones relacionadas con el hidrógeno y no se ha consolidado una red nacional con cobertura y alcances suficientes para ensayos y calibraciones alineados con los estándares técnicos más exigentes (p. ej., purezas requeridas por celdas de combustible y control de contaminantes críticos). La infraestructura disponible se encuentra en una etapa inicial de desarrollo, y no cumple de forma plena y trazable parámetros de calidad como composición, pureza y concentración de impurezas en aplicaciones como movilidad, usos industriales o mezclas con gas natural.

Si bien existen equipos de cromatografía y sistemas de medición, su resolución, rangos de operación, condiciones de muestreo y trazabilidad no alcanzan todavía los niveles requeridos para asegurar comparabilidad internacional de resultados bajo esquemas reconocidos.

La oferta nacional de servicios de ensayo se ve limitada debido a que la acreditación en hidrógeno exige capacidades altamente especializadas (equipos, metodologías y personal calificado) que actualmente un número menor de instituciones poseen. La falta de una demanda consolidada y de un marco normativo que defina requisitos de calidad específicos impide generar señales claras de inversión, reduciendo aún más los incentivos para desarrollar capacidades metrológicas avanzadas orientadas al hidrógeno.

En consecuencia, esta combinación de capacidades técnicas insuficientes, ausencia de incentivos y falta de escalamiento del mercado limita de manera directa la disponibilidad de laboratorios nacionales acreditados, lo que perpetúa la dependencia de laboratorios extranjeros para la verificación de calidad. Esto incrementa los costos, ralentiza los procesos de certificación y retrasa

la consolidación de capacidades locales necesarias para garantizar soberanía metrológica en el sector del hidrógeno y sus derivados.

Causa indirecta B2: Escasez de personal técnico especializado en análisis de pureza y contaminantes del hidrógeno y sus derivados.

La disponibilidad de personal especializado en análisis de pureza y contaminantes es insuficiente y limita la capacidad del Estado y del sector privado para garantizar la trazabilidad y conformidad. Actualmente, no se cuenta con programas nacionales consolidados y suficientes de formación, certificación ni acreditación profesional orientados específicamente al control de calidad del hidrógeno, lo que dificulta consolidar competencias en metrología, aseguramiento de la calidad, evaluación de la conformidad y auditorías de tercera parte.

Esta brecha de capital humano obliga a recurrir a entrenamientos externos y referencias internacionales, incrementando costos y retrasando la internalización de capacidades. La escasez de personal técnico y auditores con acreditación específica para hidrógeno también limita la confiabilidad del sistema nacional de certificación, al reducir la disponibilidad de validación independiente de medición, muestreo y análisis.

Causa indirecta B3: Ausencia de mecanismos de control que garanticen la transparencia y confiabilidad de la información suministrada al consumidor sobre el hidrógeno y sus derivados, incluyendo la falta de sistemas de trazabilidad y reporte verificable de la calidad.

Colombia no cuenta con instrumentos normativos ni mecanismos de control que aseguren la confiabilidad y trazabilidad de la información técnica reportada por productores y comercializadores. Esta ausencia de mecanismos de control se traduce en la falta de sistemas efectivos de inspección, auditoría, rotulado y certificación pública, así como en la inexistencia de esquemas de trazabilidad y reporte verificable de la calidad del hidrógeno. En la etapa actual de madurez del mercado, las especificaciones de calidad del hidrógeno y sus derivados son definidas principalmente por los propios usuarios finales, quienes establecen las condiciones técnicas requeridas para sus procesos y aplicaciones particulares.

A medida que el mercado crezca, ya sea por el aumento de la demanda o por la incorporación del hidrógeno y sus derivados en sectores de interés público o actividades eventualmente catalogables como servicio público, esta situación podría generar mayores asimetrías de información y favorecer prácticas comerciales engañosas.

La información relativa a la pureza, composición química, poder energético, trazabilidad²², condiciones de almacenamiento y medidas de seguridad del hidrógeno no está sujeta a estándares uniformes de divulgación ni a procesos de verificación oficial, lo que impide garantizar su confiabilidad. La ausencia de mecanismos de control y de sistemas de trazabilidad limita la

²² Se refiere a la capacidad de seguir el recorrido completo del hidrógeno a lo largo de su cadena de valor, desde su producción hasta su consumo final, incluyendo transporte, almacenamiento, mezcla y distribución.

capacidad del Estado para ejercer una supervisión efectiva y proteger el derecho de los consumidores a recibir información veraz y suficiente, consagrado en el artículo 78 de la Constitución Política y en la Ley 1480 de 2011 (Estatuto del Consumidor).

Asimismo, en la medida en que aumente el consumo del hidrógeno y sus derivados y se amplíen sus aplicaciones, también se incrementa el riesgo de contravenir el objetivo legítimo de prevención de prácticas engañosas previsto en el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio (OMC), del cual Colombia es parte mediante la Ley 170 de 1994.

Causa directa C: Carácter voluntario y cobertura limitada de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) en materia de calidad del hidrógeno.

La normalización técnica de calidad del hidrógeno se encuentra sustentada en Normas Técnicas Colombianas (NTC) adoptadas por el ICONTEC, principalmente basadas en estándares internacionales como la NTC-ISO 14687:2019²³ la cual establece las especificaciones mínimas de calidad del hidrógeno destinado a aplicaciones vehiculares y estacionarias. Sin embargo, estas normas no tienen carácter obligatorio, por lo que su adopción depende de la voluntad y capacidad técnica de los desarrolladores.

Esta naturaleza voluntaria de las NTC genera una aplicación heterogénea de los estándares de pureza y calidad, dificultando la comparación entre proyectos y la verificación de conformidad por parte de las autoridades. A ello se suma que la cobertura normativa sigue siendo limitada, ya que las normas disponibles no abarcan de manera integral todos los eslabones de la cadena de valor, particularmente los asociados a la producción, acondicionamiento, almacenamiento, transporte y uso final del hidrógeno.

Como resultado, cada proyecto adopta metodologías de muestreo, análisis y control de calidad distintas, sin un marco común que garantice la equivalencia técnica de los resultados. En consecuencia, el país carece de una referencia unificada en cuanto a estándares de pureza del hidrógeno producido, lo que impide su verificación técnica por parte de las autoridades nacionales y limita su reconocimiento en mercados internacionales que exigen certificaciones verificables y comparables.

Causa indirecta C1: Las NTC no cubren de forma integral y diferenciada los requisitos de calidad según el uso final del hidrógeno y sus derivados (movilidad, industrial o blending, entre otros), lo que limita su aplicabilidad práctica.

Las Normas Técnicas Colombianas (NTC) vigentes en materia de calidad del hidrógeno han avanzado en la adopción y adaptación de estándares internacionales, pero aún presentan limitaciones para abordar de manera integral y diferenciada los requisitos específicos de pureza y composición según el uso final del hidrógeno y sus derivados. Si bien existen normas que establecen parámetros generales de calidad, estas no distinguen de forma clara las exigencias

²³ [NTC-ISO 14687:2019](#)

técnicas particulares para aplicaciones como la movilidad con celdas de combustible, el uso industrial, la inyección de hidrógeno en redes de gas natural (*blending*) o la producción de derivados sintéticos.

A nivel internacional, los estándares de calidad varían significativamente según la aplicación, considerando los requerimientos técnicos y de seguridad propios de cada segmento. La falta de una adaptación nacional diferenciada de estos criterios dificulta la definición de niveles mínimos de calidad o tolerancias alineadas con la finalidad tecnológica de cada proyecto en Colombia.

Esta ausencia de especificidad limita la aplicabilidad práctica de las NTC y obliga a los desarrolladores a interpretar o adaptar individualmente las normas internacionales, lo que genera variabilidad técnica entre proyectos y dificulta el seguimiento y comparación de resultados por parte de las autoridades competentes. Sin un marco que distinga los requisitos de calidad por uso final, el país enfrenta retos para consolidar un sistema de referencia común que permita verificar la coherencia técnica de los estándares voluntarios adoptados por cada actor y garantizar la confiabilidad de la información de calidad del hidrógeno producido.

En síntesis, la falta de diferenciación por aplicación final reduce la utilidad operativa de las NTC, limita la capacidad estatal de control y restringe la interoperabilidad técnica del hidrógeno colombiano frente a los estándares internacionales exigidos para cada segmento del mercado.

2.2.5. Consecuencias identificadas

Consecuencia A: Disminución del desempeño y reducción de la vida útil de los equipos y tecnologías asociadas al uso de hidrógeno fuera de los estándares de pureza requeridos.

El hidrógeno de baja pureza o con contaminantes fuera de especificación puede tener efectos negativos directos en los equipos y tecnologías que lo utilizan. Por ejemplo, en el caso de las celdas de combustible, las impurezas como monóxido de carbono, dióxido de carbono, humedad, azufre, amoníaco o hidrocarburos pueden afectar los catalizadores, reducir la eficiencia electroquímica y provocar daños irreversibles en los componentes internos de las celdas. Adicionalmente, la presencia de contaminantes puede acelerar la corrosión de tuberías, válvulas, tanques y sistemas de almacenamiento, afectando la seguridad y la vida útil de la infraestructura.²⁴

La falta de infraestructura de verificación de la calidad, derivada de las limitaciones identificadas, impide asegurar que el hidrógeno suministrado cumple con los estándares operativos requeridos. Sin una verificación sistemática y trazable de la calidad, los equipos pueden operar bajo condiciones que no son las óptimas, generando fluctuaciones en el desempeño, mayor consumo energético y menor fiabilidad operativa. El uso de hidrógeno fuera de especificación expone a los equipos y tecnologías a contaminantes y variabilidad en la composición, lo que reduce su

²⁴ Goodwin et al. (2010). *Fundamental Effects of Impurities on Fuel Cell Performance and Durability*. Rastogi (2024). *Impurities in H₂: A barrier to clean energy*. Zhou et al. (2024). *Impact of Impurity Gases on Hydrogen Embrittlement Behavior of Pipeline Steel*.

desempeño, acorta su vida útil y afecta la confiabilidad y competitividad de los proyectos de hidrógeno en Colombia.

Consecuencia B: Pérdidas económicas por cancelación de contratos, reemplazo de catalizadores y equipos, y sobrecostos por dependencia técnica del exterior para la verificación de la calidad del hidrógeno y sus derivados.

La ausencia de infraestructura nacional de calidad, sumada a la falta de laboratorios acreditados, equipos metrológicos especializados y esquemas de certificación reconocidos, obliga a los desarrolladores de proyectos de hidrógeno y sus derivados a recurrir a laboratorios y entidades extranjeras para validar la pureza del producto conforme a los estándares internacionales.

Esta dependencia del exterior genera sobrecostos significativos en los procesos de ensayo, auditoría y certificación, debido a los altos costos logísticos, la contratación de servicios técnicos internacionales y los mayores tiempos de respuesta. En consecuencia, los proyectos nacionales deben internalizar gastos adicionales para demostrar la calidad de su producto, reduciendo su rentabilidad y capacidad de atraer inversión. Esta situación afecta la competitividad del hidrógeno colombiano y sus derivados frente a países que cuentan con ecosistemas consolidados de certificación y metrología, donde los procesos de validación son más ágiles y menos costosos.

La dependencia tecnológica y metrológica del exterior también limita la autonomía técnica del país, retrasa el desarrollo de capacidades locales y dificulta la inserción de Colombia en la economía global del hidrógeno y sus derivados. A largo plazo, esta brecha estructural agrava las asimetrías competitivas con otras economías emergentes y perpetúa la vulnerabilidad del mercado nacional, que debe elegir entre trasladar los sobrecostos al consumidor o reducir sus márgenes de rentabilidad.

En consecuencia, la ausencia de capacidades nacionales para la verificación y certificación de la calidad del hidrógeno y sus derivados no solo encarece los proyectos, sino que limita su expansión, exportación y sostenibilidad económica, afectando la posición del país en el comercio internacional de energéticos limpios.

Consecuencia C: Dificultades para demostrar el cumplimiento de estándares internacionales de calidad del hidrógeno, lo que genera barreras técnicas al comercio exterior, pérdida de confianza de los agentes del mercado y afecta la inserción del hidrógeno colombiano en los mercados internacionales.

Los mercados internacionales, especialmente aquellos con regulaciones estrictas como la Unión Europea, Japón o Estados Unidos, exigen que el hidrógeno importado cumpla con normas reconocidas globalmente, como la ISO 14687:2019 o SAE J2719:2020 para pureza y composición, y que los certificados de calidad sean emitidos por laboratorios acreditados bajo esquemas internacionales²⁵. Cuando el país no puede garantizar, mediante procesos independientes y trazables, que su hidrógeno cumple con estos estándares, se generan varias barreras técnicas al

²⁵ GIZ, Quinetic. 2022. Especificaciones de calidad del hidrógeno como combustible y estado del sistema de certificación de productos de gas natural.

comercio exterior. Entre estas, sobresale el rechazo a productos que no cuentan con las certificaciones de calidad y se puede generar también desconfianza de los agentes del mercado como compradores, inversionistas y socios comerciales, quienes pueden preferir proveedores de países con sistemas de calidad robustos y reconocidos.

Adicionalmente, la Organización Mundial del Comercio (OMC), a través del Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC), reconoce que la falta de armonización y reconocimiento mutuo de estándares puede convertirse en una barrera no arancelaria, afectando la competitividad internacional de los productos.

En consecuencia, la imposibilidad de demostrar el cumplimiento de estándares internacionales no solo afecta la reputación y la confianza en el hidrógeno colombiano, sino que también limita su inserción en mercados globales, reduce las oportunidades de exportación y frena el desarrollo de una industria nacional competitiva y sostenible.

2.3. Actores Involucrados

Una vez identificado el problema y analizadas sus causas y consecuencias, es necesario determinar los actores involucrados con el fin de comprender su rol frente a la situación identificada y obtener información base que permita conocer la percepción de los grupos de interés, así como contar con elementos complementarios sobre su comportamiento y expectativas.

La regulación de la calidad y seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados no puede desarrollarse de manera aislada ni bajo una sola entidad pública. Su carácter transversal exige la articulación técnica y estratégica entre ministerios, agencias y autoridades con competencias en materia energética, ambiental, industrial, de transporte y gestión del riesgo, con el fin de comprender la necesidad de estándares comunes y coherentes que eviten duplicidades normativas y garanticen la seguridad en toda la cadena.

Esta articulación interinstitucional permite definir políticas y reglamentos técnicos compatibles con los objetivos nacionales de transición energética, sostenibilidad y competitividad industrial, asegurando que las medidas sean realistas, factibles y aplicables desde la perspectiva técnica y económica. Solo a través de esta cooperación y coherencia técnica se construye un marco regulatorio sólido, que fomente un desarrollo seguro, sostenible y competitivo del hidrógeno en Colombia.

2.3.1 Marco Institucional en Discusión

Actualmente cursa en el Congreso de la República el Proyecto de Ley 451 de 2024 de la Cámara – 152 del Senado, “Por medio del cual se promueve e incentiva el desarrollo del ecosistema del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia con el fin de garantizar una correcta transición energética y se dictan otras disposiciones” ponencia positiva para primer debate en el Senado de la República.

En trámite legislativo se propone la creación de una Comisión Técnica Intersectorial para la Gobernanza del Hidrógeno, encargada de la coordinación, articulación, impulso y seguimiento de los avances regulatorios y técnicos en el país, así como de la integración de esfuerzos públicos y privados a nivel nacional e internacional. De ser aprobada, dicha Comisión estaría confirmada de la siguiente manera:

“ARTÍCULO 8°. Comisión técnica intersectorial para Gobernanza del Hidrógeno: Dentro de los seis (6) meses siguientes a la expedición de la presente ley, créase la Comisión Intersectorial para la Gobernanza del Hidrógeno, en adelante la Comisión la cual tiene por objeto la coordinación, articulación, impulso y seguimiento de los avances del país y de los diferentes sectores de gobierno, a fin de propender por el desarrollo del mercado del Hidrógeno y/o sus derivados a nivel nacional e internacional, impulsar la transición energética justa, la descarbonización y la reindustrialización. La comisión técnica y de desarrollo sectorial estará integrada por los siguientes miembros:

- a) El (la) Ministro(a) de Minas y Energía, quien la presidirá.*
- b) El (la) Ministro(a) de Ambiente y Desarrollo Sostenible.*
- c) El (la) Ministro(a) de Hacienda y Crédito Público.*
- d) El (la) Ministro(a) de Agricultura y Desarrollo Rural,*
- e) El (la) Ministro(a) de Comercio, Industria y Turismo, o a quien delegue.*
- f) El (la) Ministro(a) de Transporte, o a quien delegue.*
- g) El (la) Director(a) del Departamento Nacional de Planeación.*

“Parágrafo. Los integrantes de la comisión técnica y de desarrollo sectorial podrán invitar, cuando se requiera a otros representantes del sector público o privado, para temas relacionados con la producción, comercialización, almacenamiento, transporte, usos y exportación del hidrógeno en Colombia.”

Cabe anotar que la Comisión Técnica Intersectorial para Gobernanza del Hidrógeno tendría la naturaleza de coordinación; la expedición de reglamentos técnicos, la vigilancia de mercado y la infraestructura de calidad seguirían radicadas en las entidades competentes.

Aunque el proyecto prevé la posibilidad de invitar actores adicionales, la ausencia de participación permanente de autoridades de SST, salud pública y gestión del riesgo podría limitar la capacidad de la Comisión para abordar integralmente la dimensión operativa de la seguridad del hidrógeno y sus derivados a lo largo de la cadena de valor.

2.3.2. Articulación Público-Privada

Para lograr una regulación coherente, técnicamente sólida y viable, es necesario integrar las capacidades del Estado, la academia, los centros de investigación, entidades acreditadas, gremios industriales, entidades privadas, sociedad civil impactada por los proyectos y la cooperación internacional. Estos actores cumplen funciones complementarias, todas esenciales para fortalecer la infraestructura nacional de calidad y la seguridad aplicada al hidrógeno y sus derivados.

Para efectos de claridad institucional, una eventual regulación de calidad y seguridad del hidrógeno y sus derivados puede organizarse en tres niveles: (i) política y coordinación, (ii) reglamentación técnica y calidad (infraestructura de la calidad –SICAL– y disciplina OTC/TBT), y (iii) inspección, vigilancia y control (IVC) y vigilancia de mercado. En el primer plano, el Ministerio de Minas y Energía, el Departamento Nacional de Planeación (DNP), la UPME y, de aprobarse el Proyecto de Ley 451 de 2024 de la Cámara – 152 del Senado citado, la Comisión Intersectorial allí prevista, cumplirían en funciones de orientación, coordinación y planeación. En el segundo plano, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT), en su rol de coordinación del marco de los Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) y del sistema de calidad, coordina la arquitectura de normalización, metrología y evaluación de la conformidad, con soporte técnico del ICONTEC, INM y ONAC y con la reglamentación técnica a cargo de la autoridad competente según el sector. En el tercer plano, la Superintendencia de Industria y Comercio ejerce la vigilancia de mercado y protección al consumidor frente al cumplimiento de reglamentos técnicos y la información suministrada, complementada por autoridades sectoriales y territoriales según el riesgo y el eslabón de la cadena.

Las tablas relacionadas a continuación resumen los roles de las diferentes entidades públicas y entidades de carácter privado identificadas en relación con la calidad y seguridad del hidrógeno y sus derivados.

➤ **Entidades Públicas**

La identificación de roles se presenta con fines analíticos y descriptivos, sin perjuicio de las competencias legales vigentes ni de eventuales ajustes institucionales que puedan definirse en etapas posteriores del proceso regulatorio.

ACTOR INSTITUCIONAL	FUNCIONES E INTERESES	FUNDAMENTO LEGAL	ROLES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DEL H ₂ Y SUS DERIVADOS
Ministerio de Minas y Energía	Ejerce la dirección del sector minero-energético y tiene como función formular, adoptar y coordinar las políticas, planes y programas para el aprovechamiento sostenible de los recursos energéticos del país. En ese marco, su rol frente al desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno consiste en definir los lineamientos de política y coordinación sectorial para la seguridad del hidrógeno como vector energético y promover la articulación interinstitucional con las autoridades competentes en calidad, metrología, reglamentación técnica e IVC.	Art. 2, 3, 4 y 9 del Decreto 0381 de 2012	Política/Coordinación (transversal): lineamientos sectoriales y articulación interinstitucional para seguridad y despliegue del hidrógeno como vector energético. Eslabones: producción, almacenamiento, transporte y distribución, uso final (en especial cuando el H₂ opere como energético). Nota: los instrumentos de calidad se operacionalizan

ACTOR INSTITUCIONAL	FUNCIONES E INTERESES	FUNDAMENTO LEGAL	ROLES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DEL H ₂ Y SUS DERIVADOS
			principalmente vía MinCIT–SICAL (reglamentos técnicos y evaluación de conformidad) y la vigilancia de mercado corresponde a la SIC.
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)	Tiene la función de formular y orientar la política ambiental del país, garantizando la protección, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. En el contexto de la cadena de valor del hidrógeno, su rol se centra en establecer los lineamientos ambientales aplicables a las actividades de producción, almacenamiento, transporte y uso, promoviendo la prevención de impactos, la gestión adecuada de riesgos y la compatibilidad de los proyectos con los principios de desarrollo sostenible. Además, ejerce la rectoría del Sistema Nacional Ambiental (SINA), coordinando con otras entidades para asegurar la coherencia entre la política energética y la política ambiental.	Ley 99 de 1993; Decreto 1076 de 2015; Decreto Ley 2811 de 1974	Transversal (toda la cadena): lineamientos ambientales, prevención y gestión de impactos y riesgos ambientales. Eslabones: producción; almacenamiento; transporte y distribución; uso final. Nota: emergencias y salud pública requieren articulación con SNGRD y autoridades de salud (no incluidas en este cuadro).
Ministerio de Hacienda y Crédito Público	Cumple un rol esencial en la definición de los instrumentos financieros y fiscales que impulsan la transición energética y la incorporación del hidrógeno como fuente energética estratégica. Su función consiste en diseñar y aplicar mecanismos de incentivos económicos, tributarios y presupuestales que promuevan la inversión en tecnologías limpias, así como en garantizar la sostenibilidad fiscal de las políticas públicas del sector energético. Además, participa en la asignación de recursos y en la estructuración de esquemas de financiamiento que faciliten el desarrollo	Ley 2099 de 2021; Ley 2294 de 2023 (PND)	Soporte transversal: diseño de incentivos y sostenibilidad fiscal. Sin rol primario en reglamentos técnicos, metrología, acreditación o IVC de calidad y seguridad.

ACTOR INSTITUCIONAL	FUNCIONES E INTERESES	FUNDAMENTO LEGAL	ROLES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DEL H ₂ Y SUS DERIVADOS
	competitivo y sostenible de la cadena de valor del hidrógeno en Colombia.		
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	Tiene la responsabilidad de formular y coordinar políticas que promuevan el desarrollo sostenible del sector agropecuario y el uso eficiente de insumos agrícolas. En el contexto del hidrógeno y sus derivados, su rol se relaciona con el aprovechamiento del amoníaco como fertilizante, fomentando su incorporación en la producción agrícola para reducir las emisiones y mejorar la sostenibilidad del campo colombiano. Asimismo, le corresponde articular acciones con los sectores energético e industrial para garantizar la disponibilidad, calidad y seguridad de estos insumos dentro de una transición hacia prácticas agrícolas más limpias y competitivas.	Art. 3. Decreto 1985 de 2013	Rol principalmente de política sectorial, no de metrología o IVC. Eslabón (uso final - agricultura/insumos): articulación sectorial sobre disponibilidad, calidad y seguridad de derivados (p. ej., amoníaco).
Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT)	Tiene la función de formular y ejecutar las políticas de desarrollo económico, industrial y comercial del país, promoviendo la competitividad y la innovación productiva. En el marco del desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno, su rol se orienta a impulsar el fortalecimiento del sector industrial nacional, fomentar la inversión y el comercio de tecnologías asociadas al hidrógeno y sus derivados, y apoyar la creación de estándares de calidad que faciliten su inserción en los mercados nacionales e internacionales, contribuyendo así a la consolidación de una economía baja en carbono. Además, coordina el Subsistema Nacional de la	Decreto 1595 de 2015; Decreto 1074 de 2015	Transversal (toda la cadena): coordinación del SICAL; liderazgo en reglamentación técnica relacionada con calidad y seguridad; articulación de normalización, metrología, acreditación y evaluación de la conformidad.

ACTOR INSTITUCIONAL	FUNCIONES E INTERESES	FUNDAMENTO LEGAL	ROLES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DEL H ₂ Y SUS DERIVADOS
	Calidad (SICAL); promueve la adopción de normas técnicas internacionales y la competitividad industrial; y, supervisa la elaboración de reglamentos técnicos.		
Ministerio de Transporte	Cumple el rol de formular y ejecutar la política de transporte, promoviendo la incorporación de energéticos limpios como el hidrógeno en la movilidad terrestre, marítima y aérea. Su función abarca la regulación técnica y operativa de los vehículos impulsados por hidrógeno, la definición de requisitos de seguridad para su circulación y abastecimiento, y la coordinación intersectorial para desarrollar infraestructura de transporte compatible con los objetivos de transición energética y reducción de emisiones.	Ley 1964 de 2019; Ley 2099 de 2021; Decreto 1079 de 2015; Resolución 40223 de 2021	Eslabón (transporte y distribución): requisitos operativos y de seguridad para transporte de sustancias peligrosas y logística asociada. Eslabón (uso final - movilidad/abastecimiento): requisitos de seguridad para vehículos e infraestructura de abastecimiento. Nota: respuesta a emergencias requiere articulación con SNGRD y organismos de socorro (no incluidos en este cuadro).
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCIENCIAS)	Tiene la responsabilidad de formular y coordinar las políticas nacionales de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. En relación con la cadena de valor del hidrógeno, su rol se orienta a fomentar la investigación aplicada, la transferencia tecnológica y la creación de ecosistemas de innovación que impulsen la producción, almacenamiento y uso del hidrógeno. Asimismo, promueve la articulación entre el sector público, la academia y la industria para fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas del país, para consolidar al hidrógeno como un eje de desarrollo sostenible y competitividad nacional.	Decreto 1449 de 2022; Ley 1838 de 2017	Soporte transversal: fortalecimiento de capacidades científicas y tecnológicas; I+D+i. Sin rol primario en reglamentos técnicos, metrología, acreditación o IVC.

ACTOR INSTITUCIONAL	FUNCIONES E INTERESES	FUNDAMENTO LEGAL	ROLES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DEL H ₂ Y SUS DERIVADOS
Departamento Nacional de Planeación (DNP)	Tiene la función de orientar, coordinar y evaluar las políticas públicas, planes y programas del Estado, asegurando la coherencia entre la planeación nacional y los objetivos de desarrollo sostenible. En el contexto del hidrógeno y sus derivados, su rol consiste en integrar esta cadena de valor dentro de la planificación económica y territorial del país, promover la articulación interinstitucional y garantizar que las decisiones normativas y de inversión se sustenten en análisis técnicos, económicos y sociales que favorezcan una transición energética ordenada, eficiente y equitativa.	Art. 3. Decreto 1893 de 2021.	Soporte transversal: coherencia de política pública, articulación interinstitucional y soporte metodológico (AIN). Sin rol primario en IVC, metrología o acreditación.
CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas)	Tiene la función de regular los servicios públicos de energía y gas para asegurar su prestación eficiente, continua y con calidad. Su rol se orienta a definir los criterios técnicos, económicos y tarifarios que garanticen la libre competencia, la protección de los usuarios y la sostenibilidad del mercado energético. Además, le corresponde promover condiciones regulatorias que faciliten la incorporación del hidrógeno como vector energético dentro del sistema nacional, asegurando su coherencia con los principios de eficiencia, seguridad y desarrollo sostenible.	Art. 73 y 74, Ley 142 de 1994; Art. 23, Ley 143 de 1994	Eslabón: transporte y distribución. Rol: Aplicación condicionada: participa cuando exista interacción del hidrógeno con redes/servicios públicos regulados (p. ej., blending o inyección en redes de gas), en la medida en que el marco jurídico habilite dicha integración. Alcance: no aplica a toda la cadena ni regula la “calidad del producto” como tal; su foco es la regulación económica y técnica de servicios públicos y de condiciones de acceso/operación cuando el hidrógeno se integre a mercados o infraestructuras reguladas.

ACTOR INSTITUCIONAL	FUNCIONES E INTERESES	FUNDAMENTO LEGAL	ROLES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DEL H ₂ Y SUS DERIVADOS
UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética)	Cumple el rol de planificar y orientar el desarrollo integral y sostenible del sector energético, promoviendo la incorporación de fuentes no convencionales de energía como el hidrógeno. Su función consiste en realizar estudios técnicos, prospectivos y de planificación que sirvan de base para la formulación de políticas y regulaciones, identificando oportunidades, barreras y necesidades de infraestructura. De esta manera, la UPME contribuye a asegurar una transición energética ordenada, eficiente y coherente con los objetivos de descarbonización y competitividad del país.	Ley 1715 de 2014; Ley 2099 de 2021	Soporte transversal: estudios técnicos, prospectivos y planeación como insumo para regulación. Sin rol primario en IVC, metrología o acreditación como insumo técnico voluntario, salvo cuando una NTC sea incorporada por referencia en un reglamento técnico u otro instrumento vinculante
Superintendencia de Industria y Comercio (SIC)	Tiene la función de velar por la protección de los derechos de los consumidores, la promoción de la libre competencia y la vigilancia del cumplimiento de las normas sobre calidad de bienes y servicios. En el contexto del hidrógeno y sus derivados, su rol consiste en supervisar que los productos, equipos e infraestructuras asociados cumplan con los reglamentos técnicos y normas de seguridad aplicables, garantizando que los usuarios reciban productos seguros, confiables y con información veraz, contribuyendo así al fortalecimiento de la confianza en el mercado del hidrógeno.	Ley 1480 de 2011; Decreto 4886 de 2011	Transversal (toda la cadena): vigilancia de mercado, protección al consumidor y competencia; verificación del cumplimiento de reglamentos técnicos aplicables a calidad y seguridad; control de información veraz y trazable.
Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)	Organismo Nacional de Normalización. Adopta y adapta Normas Técnicas Colombianas (NTC) basadas en estándares internacionales (ISO, IEC). En el marco del Comité 259 sobre hidrógeno, es el encargado de la	Decreto 1595 de 2015. Decreto 1074 de 2015	Transversal (toda la cadena): normalización técnica (NTC) como referencia para calidad y seguridad (voluntaria salvo incorporación a reglamento técnico); adopción/actualización

ACTOR INSTITUCIONAL	FUNCIONES E INTERESES	FUNDAMENTO LEGAL	ROLES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DEL H ₂ Y SUS DERIVADOS
	normalización relacionada con el diseño, construcción, operación, mantenimiento de los sistemas y equipos para producción, almacenamiento y transporte de hidrogeno. Incluye los equipos para su uso en sistemas de transporte. Adopta y actualiza las normas técnicas voluntarias que garantizan la calidad, seguridad y compatibilidad de los productos, procesos y servicios relacionados con el hidrógeno y sus derivados. Su función es fundamental para establecer estándares alineados con las mejores prácticas internacionales, facilitando la interoperabilidad tecnológica, la confianza del mercado y la adecuada implementación de la regulación técnica en el país.		de estándares internacionales; formulación de normas técnicas.
Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC)	Entidad encargada de evaluar y reconocer la competencia técnica de los organismos de evaluación de la conformidad, tales como laboratorios y certificadoras. En el contexto del hidrógeno y sus derivados, su rol consiste en garantizar la confiabilidad de los procesos de ensayo, calibración y certificación asociados a la calidad y seguridad de esta cadena de valor, fortaleciendo la infraestructura nacional de la calidad y asegurando que los productos y servicios cumplan con los estándares técnicos y regulatorios exigidos a nivel nacional e internacional.	Decreto 1595 de 2015. Decreto 1074 de 2015	Transversal (toda la cadena): acreditación de laboratorios y organismos de certificación e inspección para evaluación de la conformidad (ensayos, calibración, certificación) en calidad y seguridad. La ONAC acredita la competencia técnica de organismos de evaluación de conformidad; no certifica productos ni aprueba proyectos.
Instituto Nacional de Metrología (INM)	Tiene la función de garantizar la trazabilidad, exactitud y confiabilidad de las mediciones en el país, fortaleciendo la infraestructura metrológica nacional. En el contexto del hidrógeno y sus	Decreto 4175 de 2011; Decreto 062 de 2021	Transversal (toda la cadena): metrología y trazabilidad; desarrollo de métodos/patrones para medición de pureza/calidad y parámetros

ACTOR INSTITUCIONAL	FUNCIONES E INTERESES	FUNDAMENTO LEGAL	ROLES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DEL H ₂ Y SUS DERIVADOS
	derivados, su rol es desarrollar y mantener patrones de medición, métodos y procedimientos que respalden la calidad y seguridad en la producción, almacenamiento, transporte y uso del hidrógeno. De esta manera, el INM contribuye a asegurar la comparabilidad de resultados, la transparencia en el comercio y la confianza en los procesos industriales y regulatorios asociados a esta cadena de valor.		relevantes para seguridad; soporte técnico a esquemas de verificación. El INM define patrones, trazabilidad y métodos de medición; no aprueba proyectos ni ejerce IVC.
Ministerio del Trabajo	Autoridad rectora en salud y seguridad en el trabajo (SST); define y supervisa lineamientos de seguridad industrial y ocupacional aplicables a instalaciones, operación y mantenimiento.	Normativa de SST y Decreto Único del Sector Trabajo (D. 1072 de 2015)	Rol directo: Eslabones: producción, almacenamiento, uso final industrial y estaciones/operación. Rol: SST, inspecciones y exigencias de seguridad ocupacional.
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) / DNBC (Bomberos)	Coordinación de preparación y respuesta ante emergencias; planes y protocolos territoriales.	Régimen SNGRD Ley 1523 de 2012.	Rol directo: Transversal: preparación/planes, coordinación de respuesta, protocolos de emergencias y articulación territorial.
Ministerio de Salud/Instituto Nacional de Salud (INS)	Salud pública; evaluación de riesgos para población en usos masivos.	Ley 100 de 1993. Leyes y Decretos específicos: Normativa complementaria para la vigilancia, control y manejo de riesgos en salud.	Rol directo: Uso masivo/movilidad: lineamientos sanitarios cuando existan exposiciones relevantes; coordinación en eventos.

➤ Entidades Privadas

Los desarrolladores de proyectos y gremios desempeñan un papel esencial en la construcción de la normativa sobre hidrógeno y sus derivados, al aportar su experiencia práctica derivada del diseño, ejecución y operación de proyectos piloto.

Su conocimiento técnico y operativo contribuye a que las regulaciones sean viables, coherentes y efectivas en su aplicación, evitando la adopción de requisitos desproporcionados o incompatibles con las condiciones reales del mercado.

Las empresas privadas constituyen el principal grupo impactado por la intervención normativa, al ser quienes asumen los costos, riesgos y responsabilidades derivados de su implementación, pero también quienes aprovechan las oportunidades que surgen de un entorno regulatorio predecible y orientado al desarrollo tecnológico.

ACTOR PRIVADO	FUNCIÓN E INTERESES	ROL EN UNA EVENTUAL REGULACIÓN DE CALIDAD Y SEGURIDAD
Productores de hidrógeno (electrólisis/reformado y acondicionamiento: compresión, secado, purificación)	Producen y acondicionan el hidrógeno; definen/implementan sistemas de gestión de calidad y seguridad; cumplen requisitos de pureza, trazabilidad, medición y control de procesos.	Directo – potencial sujeto obligado: calidad/pureza, trazabilidad, monitoreo, reportes, planes de seguridad, auditorías/inspecciones.
Operadores de almacenamiento (tanques, cilindros, estaciones, almacenamiento en sitio)	Operan infraestructura de almacenamiento; gestionan integridad de equipos, seguridad de operación, mantenimiento y planes de contingencia.	Directo – potencial sujeto obligado (seguridad operacional, inspección/mantenimiento, integridad, protocolos).
Transportadores y operadores logísticos (carretero, multimodal; y eventualmente ductos si aplica)	Transportan H ₂ /derivados; gestionan riesgos de manejo, rutas, recipientes, y condiciones operativas.	Directo – potencial sujeto obligado (seguridad transporte, documentación, trazabilidad, capacitación, respuesta).
Usuarios industriales (refinerías, fertilizantes, química, acero, etc.)	Consumen H ₂ /derivados; definen especificaciones contractuales y requerimientos de seguridad; integran el H ₂ en procesos industriales.	Directo – potencial sujeto obligado (condicionado): cuando el esquema incluya obligaciones en punto de recepción/uso (controles, gestión de riesgos, compatibilidad).
Operadores de movilidad/uso masivo (flotas, estaciones de abastecimiento, operadores de servicios)	Operan aplicaciones con alta exposición pública; requieren calidad estable y seguridad reforzada.	Directo – potencial sujeto obligado (verificación de calidad en suministro, operación segura, protocolos, entrenamiento).
Fabricantes y proveedores de equipos críticos (electrolizadores, compresores, válvulas, tanques, tubería, dispensadores, sensores, sistemas de seguridad)	Diseñan/fabrican equipos; aportan fichas técnicas, límites de operación, certificaciones y mantenimiento.	Indirecto – cadena de suministro (según alcance del RT) (conformidad técnica, ensayos/certificación, seguridad por diseño, documentación).
EPC / integradores / constructores (ingeniería, procura y construcción)	Diseñan e implementan instalaciones; integran estándares y requisitos técnicos en ingeniería de detalle y construcción.	Indirecto – cadena de suministro (según alcance del RT) (diseño/instalación, comisionamiento, dossiers, gestión HSE).
Laboratorios privados de ensayo y calibración	Realizan análisis de pureza/calidad, calibración y mediciones; soportan	Habilitante – evaluación de conformidad (capacidad analítica, trazabilidad,

ACTOR PRIVADO	FUNCIÓN E INTERESES	ROL EN UNA EVENTUAL REGULACIÓN DE CALIDAD Y SEGURIDAD
	Habilitante – evaluación de conformidad (capacidad analítica, trazabilidad, participación en esquemas; acreditación cuando aplique). trazabilidad del producto.	participación en esquemas; acreditación cuando aplique).
Organismos privados de evaluación de conformidad (certificación/inspección)	Verifican cumplimiento de estándares, realizan inspecciones técnicas y certificación de sistemas/equipos/procesos.	Habilitante – evaluación de conformidad (independencia, competencia técnica, auditoría/inspección; acreditación cuando aplique).
Comercializadores / intermediarios / traders (si se configura mercado)	Gestionan contratos y especificaciones; distribuyen producto; informan características y trazabilidad.	Directo – potencial sujeto obligado (información veraz, trazabilidad documental, reclamos, cumplimiento de especificaciones).
Aseguradoras y reaseguradoras	Evalúan riesgo; incentivan buenas prácticas (condiciones de póliza); aportan señal de mercado sobre seguridad.	Indirecto relevante: (señales/incentivos de mercado; condiciones de póliza).
Gremios y asociaciones (Asociación Hidrógeno Colombia, Cámara ANDI–Naturgas, etc.)	Representan intereses colectivos; aportan insumos técnicos; articulan posiciones sectoriales; promueven adopción de estándares.	Indirecto relevante (incidencia, insumos técnicos, articulación).
Sociedad y comunidades locales	Se ven impactadas por proyectos (territorio, riesgos, ambiente); clave para aceptación social, participación y licenciamiento social.	Indirecto relevante (impacto alto) (aceptación social/participación; gestión de riesgo territorial).
Universidades, centros de investigación y formación técnica	Generan conocimiento, I+D, talento humano, validación técnica, formación y transferencia tecnológica.	Indirecto relevante (habilitante) (I+D, talento, metodologías).
Cooperación internacional (agencias, bancos, cooperación técnica)	Asistencia técnica, financiamiento, transferencia de estándares y buenas prácticas; apoyo a fortalecimiento institucional y de infraestructura de calidad.	Indirecto relevante (habilitante) (asistencia técnica/financiamiento/estándares).

Nota: La categoría asignada depende del diseño del instrumento. Los actores habilitantes no son obligados principales del desempeño de calidad del producto, pero pueden estar sujetos a requisitos de competencia técnica y acreditación para emitir resultados válidos. Los actores indirectos pueden quedar vinculados por contratos, especificaciones técnicas o exigencias de conformidad aplicables a equipos e instalaciones.

Una vez identificadas las entidades públicas y privadas que intervienen en el mercado del hidrógeno y sus derivados, con el fin de obtener la información relevante para el desarrollo de este AIN, se realizó un taller multisectorial de consulta, el 3 de octubre de 2025 con la participación de 44 representantes del ecosistema nacional del hidrógeno y sus derivados, entre ellos, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Industria Comercio y Turismo, la UPME, GIZ, Ecopetrol, Promigas, Transmilenio, ONAC, ICONTEC, ANDI y Centros de investigación.

El acuerdo de este taller fue un insumo para elaborar este problema, sus causas y consecuencias, la definición de las alternativas, su evaluación y la estimación de los impactos. Los insumos del taller se sistematizaron en matrices y fueron contrastados con fuentes documentales y criterios técnicos; ver Anexo 3.

2.4. Definición de objetivos

La definición de objetivos es una etapa central dentro del Análisis de Impacto Normativo, pues permite precisar qué se pretende alcanzar con la acción del Estado y de qué manera dicha intervención contribuirá a modificar la situación que se ha diagnosticado como problemática. Los objetivos del AIN se enfocan en el impacto esperado sobre el bienestar y en los cambios concretos que se busca generar en las causas y efectos del problema público. En esencia, estos objetivos dan respuesta a la pregunta clave: ¿cuál es la finalidad de la intervención estatal y qué transformación se busca promover?

Partiendo del deber del Estado de proteger los bienes jurídicos superiores (como la vida, la salud, el ambiente y la seguridad industrial), y de garantizar la adecuada aplicación de estándares de seguridad y calidad, los objetivos trazados buscan orientar el análisis del AIN hacia la identificación de riesgos, brechas y capacidades existentes, así como hacia la evaluación de cómo la acción pública podría contribuir a la protección del consumidor y del medio ambiente, en armonía con la política de transición energética del país. En materia de seguridad, los objetivos se orientan a establecer mecanismos que permitan al analizar las condiciones bajo las cuales el Estado puede cumplir sus funciones de vigilancia, control y seguimiento sobre la aplicación de medidas de seguridad adecuadas en los diferentes eslabones de su cadena de valor y prevenir incidentes que puedan comprometer la vida, la salud, la integridad de las instalaciones y la continuidad operativa del sector.

En materia de calidad, los objetivos se orientan a evaluar las condiciones existentes para la verificación de la calidad del hidrógeno y sus derivados, considerando las capacidades técnicas disponibles, los estándares aplicables según el uso final y las posibles barreras que afectan la confiabilidad operativa y la competitividad tecnológica de los proyectos, así como su inserción en mercados nacionales e internacionales.

La coordinación interinstitucional se busca promover la eficiencia regulatoria, incentivar la innovación tecnológica y avanzar hacia esquemas armonizados con estándares nacionales e internacionales, evitando cargas desproporcionadas que afecten el desarrollo del mercado del hidrógeno y sus derivados en Colombia.

En conjunto, estos objetivos constituyen el marco orientador para la construcción y evaluación de las alternativas de intervención presentadas en el capítulo siguiente. Dichas alternativas fueron diseñadas para responder de forma diferenciada a las causas identificadas, y para alinearse con la necesidad de fortalecer la competitividad, transparencia y confiabilidad del mercado del hidrógeno y sus derivados en Colombia.

Desde una perspectiva temporal, el análisis permite identificar que, en ausencia de intervención, las causas descritas pueden dar lugar a impactos de distinta naturaleza y alcance. En el corto plazo, estos se manifiestan principalmente a través de efectos directos, como la heterogeneidad en la aplicación de criterios técnicos, asimetrías de información y dificultades en la verificación de condiciones de seguridad y calidad. En el mediano plazo, la persistencia de estas situaciones puede derivar en impactos intermedios asociados a la acumulación progresiva de brechas técnicas e institucionales, incrementando la exposición a riesgos, la incertidumbre regulatoria y las barreras operativas para el desarrollo de proyectos. Finalmente, en el largo plazo, estos efectos pueden consolidarse en impactos estructurales sobre la seguridad de las personas y las instalaciones, la confiabilidad de las tecnologías, la protección del ambiente y la competitividad del mercado del hidrógeno y sus derivados. Los objetivos definidos en esta sección se orientan a interrumpir dicha progresión, abordando de manera gradual y proporcional las causas identificadas.

2.4.1. Definición de objetivos para la seguridad del hidrógeno y sus derivados.

2.4.1.1. Objetivo general

Mejorar la gestión de los riesgos técnicos y ambientales asociados a las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno y sus derivados, a lo largo de las distintas etapas de la cadena de valor, reduciendo de manera proporcional la probabilidad y severidad de accidentes.

El objetivo general se formula en términos del cambio deseado frente al problema principal identificado, y se orienta a mejorar la gestión de los riesgos técnicos y ambientales asociados al hidrógeno y sus derivados. En particular, reconoce que las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno, como su alta difusividad, amplio rango de inflamabilidad y baja energía de ignición, generan riesgos que pueden manifestarse de manera diferenciada a lo largo de las distintas etapas de su cadena de valor, desde la producción hasta el uso final.

En este sentido, el objetivo general busca orientar la acción pública hacia la reducción de la exposición a dichos riesgos mediante una gestión adecuada y proporcional, considerando la diversidad de tecnologías, actores y contextos de aplicación, y dejando abierto el análisis sobre la conveniencia y el alcance de posibles intervenciones regulatorias o no regulatorias en las etapas posteriores del AIN.

2.4.1.2. Objetivos directos

En coherencia con el objetivo general para la seguridad del hidrógeno y sus derivados, los objetivos directos que se enuncian a continuación buscan dar respuesta a las causas estructurales y brechas técnicas identificadas en materia de seguridad a lo largo de la cadena de valor. Estos objetivos se

formulan con base en un enfoque de gestión del riesgo y en los principios de evidencia, proporcionalidad, transparencia y mejora continua, de conformidad con el Decreto 1468 de 2020 y las buenas prácticas de la OCDE para la gestión regulatoria basada en riesgos.

Objetivo Directo-A. Impulsar el desarrollo de las capacidades técnicas y de gestión del riesgo de los actores que participan en iniciativas de hidrógeno y sus derivados, y mejorar la disponibilidad y el intercambio de información técnica relevante, con el fin de promover una gestión alineada de los riesgos asociados en las distintas etapas de la cadena de valor.

Este objetivo se orienta a abordar las diferencias en los niveles de experiencia técnica, conocimiento especializado y capacidades de gestión del riesgo entre los distintos actores que participan en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. La entrada de nuevos desarrolladores, integradores tecnológicos y operadores, junto con la complejidad técnica asociada a las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno y de sus derivados, exige capacidades específicas para la identificación, evaluación y mitigación de riesgos técnicos y ambientales en cada etapa del proyecto.

En este contexto, la disponibilidad limitada de información técnica compartida, la existencia de asimetrías de conocimiento y la ausencia de mecanismos sistemáticos de intercambio de experiencias, lecciones aprendidas y buenas prácticas pueden dar lugar a enfoques heterogéneos en la gestión de la seguridad. El objetivo busca, por tanto, promover condiciones que permitan una gestión del riesgo más alineada entre los distintos actores, fortaleciendo la base técnica y el acceso a información relevante y reconociendo la diversidad de tecnologías, usos y contextos operativos presentes en el desarrollo del hidrógeno y sus derivados.

Objetivo Directo-B: Fortalecer la coherencia, pertinencia y uso efectivo de las normas técnicas, guías, estándares y demás instrumentos de soporte técnico aplicables a la gestión de seguridad del hidrógeno y sus derivados, de manera que orienten una gestión del riesgo más consistente y técnicamente alineada a lo largo de la cadena de valor, considerando la evolución tecnológica y las particularidades de los distintos usos y aplicaciones.

Este objetivo se orienta a abordar las limitaciones asociadas al carácter voluntario, la cobertura parcial y el uso heterogéneo de los instrumentos técnicos actualmente disponibles en materia de seguridad del hidrógeno y sus derivados, incluidas las Normas Técnicas Colombianas y otros estándares de referencia internacional. Si bien el país ha avanzado en la adopción y adaptación de normas técnicas, su aplicación no es uniforme a lo largo de la cadena de valor ni abarca de manera integral todas las tecnologías, etapas y usos finales, lo que puede traducirse en enfoques disímiles para la gestión del riesgo entre proyectos.

El objetivo busca mejorar la coherencia y pertinencia con la que dichos instrumentos técnicos se usan como referencia para la identificación, evaluación y mitigación de riesgos, considerando la evolución tecnológica del sector y la diversidad de aplicaciones del hidrógeno y sus derivados. De esta forma, se pretende contribuir a una gestión del riesgo más homogénea y técnicamente alineada, sin presuponer la adopción de mecanismos regulatorios específicos ni la obligatoriedad

de instrumentos concretos, dejando abierto el análisis sobre las alternativas más adecuadas para alcanzar dicho propósito.

***Objetivo Directo-C:** Promover mayor claridad y articulación institucional en la aplicación de los marcos normativos, procedimientos técnicos y mecanismos de certificación, acreditación y homologación relacionados con la seguridad del hidrógeno y sus derivados, con el fin de facilitar una gestión coherente de los riesgos a lo largo de la cadena de valor, incluida la coordinación para preparación y respuesta ante emergencias, cuando aplique.*

Este objetivo se orienta a abordar las dificultades derivadas de la dispersión de competencias, la superposición de disposiciones sectoriales y la ausencia de criterios claramente articulados entre las entidades responsables de la seguridad industrial, la gestión ambiental, la salud en el trabajo y la supervisión técnica de proyectos de hidrógeno y sus derivados. La aplicación fragmentada de los marcos normativos y procedimientos existentes puede generar incertidumbre sobre los requisitos aplicables en cada etapa de la cadena de valor, así como enfoques disímiles en la verificación del cumplimiento de medidas de seguridad.

En este contexto, el objetivo busca mejorar la claridad institucional y la coordinación técnica entre las autoridades competentes, así como la comprensión y aplicación de los mecanismos de certificación, acreditación y homologación técnica existentes, de manera que se facilite una gestión del riesgo más coherente y predecible para los distintos actores, sin anticipar ajustes regulatorios específicos ni redefinir competencias, y dejando abierto el análisis sobre las alternativas más adecuadas para atender estas brechas de gobernanza técnica.

Horizonte temporal e indicadores asociados a los objetivos específicos

Para efectos del presente AIN, los horizontes temporales asociados a los objetivos se definen de manera referencial, de acuerdo con la naturaleza de los cambios esperados y sin constituir compromisos regulatorios. En este sentido, se consideran: corto plazo (0 a 18 meses), mediano plazo (18 a 36 meses) y largo plazo (36 a 60 meses).

OBJETIVO DIRECTO	PLAZO	INDICADORES PROPUESTOS
Impulsar el desarrollo de las capacidades técnicas y de gestión del riesgo de los actores que participan en el desarrollo y operación de iniciativas de hidrógeno y sus derivados, así como mejorar la disponibilidad y el intercambio de información técnica relevante, con el fin de promover una gestión alineada de los riesgos asociados en las distintas etapas de la cadena de valor.	Corto y mediano plazo 0 – 36 meses	• Porcentaje de proyectos de hidrógeno que aplican metodologías formales de identificación y gestión del riesgo. • Número de personas/cuerpos de respuesta capacitados por año (bomberos, autoridades, operadores). • Porcentaje de proyectos con análisis HAZOP/HAZID u equivalente.
Fortalecer la coherencia, pertinencia y uso efectivo de los instrumentos técnicos disponibles en materia de seguridad del hidrógeno y sus derivados, de manera que orienten una gestión del riesgo más homogénea a lo largo de la cadena de valor, considerando la evolución tecnológica y las particularidades de los distintos usos y aplicaciones.	Mediano plazo 18 – 36 meses	• Grado de alineación entre los criterios técnicos de seguridad aplicados por los proyectos y los estándares técnicos de referencia reconocidos. • Reducción de divergencias técnicas identificadas entre proyectos comparables a lo largo de la cadena de valor. • Número de NTC/guías técnicas actualizadas o priorizadas por eslabón.

OBJETIVO DIRECTO	PLAZO	INDICADORES PROPUESTOS
Promover mayor claridad y articulación institucional en la aplicación de los marcos normativos, procedimientos técnicos y mecanismos de certificación, acreditación y homologación relacionados con la seguridad del hidrógeno y sus derivados, con el fin de facilitar una gestión coherente de los riesgos a lo largo de la cadena de valor.	Mediano y largo plazo 18 - 60 meses	• Nivel de claridad percibida sobre competencias institucionales y procedimientos aplicables en seguridad del hidrógeno y sus derivados, por parte de actores públicos y privados. • Disminución de casos de interpretaciones divergentes o requerimientos contradictorios entre entidades competentes.

Los indicadores y horizontes temporales se presentan de manera indicativa, con el fin de ilustrar los resultados esperados asociados a cada objetivo, y podrán ajustarse en función de la alternativa de intervención que eventualmente se adopte.

2.4.2. Definición de objetivos para la calidad del hidrógeno y sus derivados

2.4.2.1 Objetivo general

Contribuir a que los proyectos de hidrógeno y sus derivados puedan cumplir de manera confiable los estándares de calidad requeridos por sus aplicaciones de uso final, mediante la reducción de las barreras asociadas al acceso a la verificación de la calidad del hidrógeno producido, favoreciendo así la confiabilidad operativa y la competitividad tecnológica.

El objetivo general se formula en términos del cambio deseado frente al problema principal identificado en materia de calidad del hidrógeno y sus derivados, y se orienta a mejorar las condiciones bajo las cuales los proyectos pueden demostrar de manera confiable el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos por sus aplicaciones de uso final. En particular, reconoce que la calidad del hidrógeno no es un atributo único ni homogéneo, sino que depende de los requerimientos técnicos específicos de cada tecnología y uso final, los cuales suelen estar definidos en estándares internacionales y especificaciones técnicas ampliamente aceptadas por el mercado.

En este contexto, el acceso limitado a mecanismos adecuados de verificación de la calidad constituye una barrera relevante para la confiabilidad operativa de las tecnologías que dependen de rangos estrictos de pureza y control de contaminantes, así como para la competitividad de los proyectos que buscan integrarse en cadenas de valor nacionales e internacionales. El objetivo general, por tanto, busca orientar la acción pública hacia la reducción de dichas barreras, desde una perspectiva analítica y proporcional, dejando abierto el análisis sobre la pertinencia y el alcance de eventuales alternativas regulatorias o no regulatorias que puedan contribuir al logro de este propósito.

2.4.2.2 Objetivos directos

Objetivo Directo-A. Fortalecer la coherencia técnica de los parámetros operativos de producción del hidrógeno, de acuerdo con los requerimientos de calidad asociados a los distintos usos finales, con el fin de reducir la heterogeneidad en su composición y facilitar el cumplimiento verificable de especificaciones técnicas.

Este objetivo se orienta a abordar la heterogeneidad observada en la composición del hidrógeno producido, derivada de la ausencia de referencias técnicas suficientemente coherentes en los parámetros operativos de producción, especialmente en un contexto en el que el hidrógeno se destina a usos finales con requerimientos de calidad diferenciados. La falta de alineación técnica en estos parámetros puede dificultar la obtención de composiciones estables y compatibles con los rangos exigidos por determinadas tecnologías, aún cuando existan estándares internacionales de referencia.

En este sentido, el objetivo busca mejorar la coherencia técnica con la que se definen y aplican los parámetros operativos de producción, considerando las especificaciones de calidad asociadas a los distintos usos finales, de manera que se reduzca la variabilidad en la composición del hidrógeno y se facilite la verificación del cumplimiento de estándares operativos. Este enfoque permite atender la causa del problema y reconoce que la gestión de la calidad del hidrógeno depende tanto de las condiciones de producción como de su articulación con los requerimientos técnicos de las aplicaciones finales.

Objetivos Directos-B: *Promover condiciones técnicas y operativas para la verificación de la calidad del hidrógeno y sus derivados a lo largo de la cadena de valor, con el fin de favorecer el cumplimiento confiable de los estándares aplicables y reducir asimetrías de información para los distintos actores y usuarios finales y aumentar la confiabilidad de los resultados.*

Este objetivo se orienta a abordar las limitaciones técnicas y operativas actualmente existentes para la verificación de la calidad del hidrógeno producido en Colombia, las cuales se manifiestan en la ausencia de capacidades suficientes para realizar ensayos de pureza y contaminantes conforme a los estándares técnicos aplicables, la escasez de personal especializado y la falta de prácticas estandarizadas de verificación a lo largo de la cadena de valor. Estas limitaciones dificultan la comprobación objetiva del cumplimiento de los rangos de calidad requeridos por las distintas aplicaciones de uso final y restringen la confiabilidad de la información técnica disponible para desarrolladores, operadores y consumidores.

Asimismo, la inexistencia de mecanismos que permitan asegurar la transparencia, trazabilidad y verificabilidad de la información sobre la calidad del hidrógeno y sus derivados puede generar asimetrías de información y reducir la confianza en el desempeño de las tecnologías que dependen de especificaciones estrictas de calidad. En este contexto, el objetivo busca mejorar las condiciones que permiten la verificación efectiva de la calidad, considerando las particularidades de cada eslabón de la cadena de valor, de manera que el análisis posterior del AIN pueda evaluar de forma informada la pertinencia y proporcionalidad de distintas alternativas de intervención.

Objetivos Directos-C: *Mejorar la pertinencia y utilidad práctica de referencias técnicas (NTC y estándares internacionales preferentemente voluntarios en esta etapa) disponibles en materia de calidad del hidrógeno y sus derivados, considerando la diversidad de usos finales*

y requerimientos asociados, con el fin de facilitar su aplicación efectiva como referencia técnica a lo largo de la cadena de valor.

Este objetivo se orienta a abordar las limitaciones derivadas del carácter voluntario y de la cobertura parcial de las Normas Técnicas Colombianas aplicables a la calidad del hidrógeno y sus derivados, particularmente en lo que respecta a la diferenciación de requisitos según los distintos usos finales. Si bien existen estándares internacionales ampliamente utilizados en esquemas contractuales y técnicos, la ausencia de referencias nacionales que aborden de manera integral las necesidades específicas de aplicaciones como la movilidad, los usos industriales o el *blending* puede restringir la aplicabilidad práctica de los instrumentos técnicos disponibles.

En este contexto, el objetivo busca mejorar la pertinencia y claridad con la que dichos instrumentos técnicos pueden ser utilizados como referencia para orientar decisiones técnicas, contractuales y operativas en materia de calidad, atendiendo las particularidades de cada eslabón de la cadena de valor y de cada tipo de aplicación. Este enfoque permite fortalecer la utilidad técnica de las referencias existentes, dejando abierto el análisis sobre las alternativas más adecuadas para atender las brechas identificadas.

Horizonte temporal e indicadores asociados a los objetivos específicos

Para efectos del presente AIN, los horizontes temporales asociados a los objetivos se definen de manera referencial, de acuerdo con la naturaleza de los cambios esperados y sin constituir compromisos regulatorios. En este sentido, se consideran: corto plazo (0 a 18 meses), mediano plazo (18 a 36 meses) y largo plazo (36 a 60 meses).

Objetivo directo	Plazo	Indicadores propuestos
Mejorar la coherencia técnica de los parámetros operativos de producción del hidrógeno, de acuerdo con los requerimientos de calidad asociados a los distintos usos finales, con el fin de reducir la heterogeneidad en su composición y facilitar el cumplimiento verificable de estándares operativos.	Corto y mediano plazo 0 – 36 meses	• Variación en la composición del hidrógeno producido respecto de los rangos de calidad requeridos por los distintos usos finales. • Porcentaje de proyectos que reportan alineación entre parámetros operativos de producción y especificaciones de calidad asociadas al uso final. • Reducción de rechazos técnicos o ajustes operativos derivados de incumplimientos de calidad en etapas posteriores de la cadena de valor.
Promover condiciones técnicas y operativas para la verificación de la calidad del hidrógeno y sus derivados a lo largo de la cadena de valor, con el fin de favorecer el cumplimiento confiable de los estándares aplicables y reducir asimetrías de información para los distintos actores y usuarios finales.	Mediano plazo 18 – 36 meses	• Proporción de proyectos que cuentan con acceso efectivo a mecanismos de verificación de la calidad conforme a estándares aplicables. • Nivel de confianza de los actores y usuarios finales en la información sobre calidad del hidrógeno suministrado (medido mediante consultas o encuestas). • Reducción de asimetrías de información reportadas entre productores, comercializadores y usuarios finales.
Mejorar la pertinencia y utilidad práctica de los instrumentos técnicos disponibles en materia de calidad del hidrógeno y sus derivados, considerando la diversidad de usos finales y requerimientos asociados, con el fin de facilitar su aplicación efectiva como	Mediano y largo plazo 18 - 60 meses	• Grado de aplicabilidad percibida de los instrumentos técnicos disponibles para distintos usos finales del hidrógeno y sus derivados. • Disminución de divergencias técnicas en la interpretación de requisitos de calidad entre proyectos con usos finales comparables.

referencia técnica a lo largo de la cadena de valor.		• Incremento en el uso de referencias técnicas consistentes como base para acuerdos técnicos y contractuales.
--	--	---

Los indicadores y horizontes temporales se presentan de manera indicativa, con el fin de ilustrar los resultados esperados asociados a cada objetivo, y podrán ajustarse en función de la alternativa de intervención que eventualmente se adopte como resultado del AIN. Una vez identificado el problema, sus causas y consecuencias y, con base en ello, determinado los objetivos, es necesario establecer la forma en que estos podrán alcanzarse.

Para estos efectos, a continuación, se presentan por separado las alternativas propuestas para (i) seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados y, (ii) calidad del hidrógeno y sus derivados. En ambos casos se parte de una línea de base y se contrasta con opciones de creciente intensidad regulatoria, privilegiando enfoques graduales y basados en riesgo.

04. Selección de alternativas

3.1. Conducta en la que se espera incidir

En el contexto actual, la gestión del hidrógeno y sus derivados se desarrolla bajo marcos generales y prácticas heterogéneas, lo que puede traducirse en diferencias en la aplicación de criterios de seguridad a lo largo de la cadena de valor. Asimismo, pueden presentarse inconsistencias en los parámetros de pureza, en la trazabilidad metrológica y en la veracidad y comparabilidad de la información técnica del producto, aspectos relevantes para la protección del consumidor, la interoperabilidad industrial y la confianza del mercado.

En este sentido, el presente AIN tiene como propósito evaluar, de manera objetiva y proporcional, la necesidad de una eventual intervención pública regulatoria o no regulatoria y, en su caso, cuál sería el diseño más adecuado para gestionar los riesgos identificados. En ejercicios exploratorios previos se ha planteado la hipótesis de que una intervención podría ser más pertinente en materia de seguridad que de calidad; no obstante, esta hipótesis constituye un insumo de partida y debe ser verificada mediante el análisis objetivo del AIN, sin anticipar la decisión final.

A continuación, se presentan las alternativas de intervención, a partir de las cuales se analizarán los impactos esperados, diferenciados pero articulados para los componentes de seguridad y calidad.

3.2. Seguridad en la cadena de valor del hidrógeno

3.2.1. Sentido de la intervención

El propósito de la intervención es proteger la vida, la seguridad humana y el ambiente, garantizando una gestión integral del riesgo a lo largo de la cadena de valor (producción, acondicionamiento, almacenamiento, transporte y uso). La intervención debe reducir la heterogeneidad actual de prácticas, dotar de previsibilidad a los proyectos y fortalecer las capacidades del Estado para inspeccionar, vigilar y controlar.

3.2.2. Presentación de alternativas

(i) Línea de base – No intervención (Business as usual)

La línea de base corresponde al escenario en el cual no se adopta ninguna medida regulatoria nueva y se mantiene el estado actual del sector. Bajo este escenario, las actividades de producción, acondicionamiento, almacenamiento, transporte y uso del hidrógeno y sus derivados continúan operando con los instrumentos normativos generales vigentes, estándares voluntarios y prácticas industriales existentes, sin establecer o proponer requisitos adicionales específico para este vector energético.

En la práctica, el “estado actual” se caracteriza por la aplicación de marcos normativos transversales (seguridad industrial, ambiental, ocupacional y transporte de sustancias peligrosas) y por la dependencia de estándares internacionales y Normas Técnicas Colombianas (NTC) adoptadas de manera voluntaria o por exigencias contractuales, sin que exista un marco específico y vinculante en material de seguridad para hidrógeno y derivados. Así, la gestión de la seguridad se implementa de forma heterogénea entre proyectos, con diferencias técnicas asociadas a la interpretación y adaptación de los desarrolladores, y con brechas técnicas en la estandarización de procedimientos por eslabón de la cadena de valor.

Asimismo, en este escenario se mantienen limitaciones reales en materia de inspección, vigilancia y control (IVC), derivadas de capacidades institucionales y metodologías de verificación aún no plenamente desarrolladas para riesgos asociados al hidrógeno y sus derivados. La supervisión tiende a apoyarse en instrumentos generales y en actuaciones puntuales, sin un esquema preventivo y sistemático específicamente diseñado para este tipo de instalaciones y operaciones.

Adicionalmente, bajo la línea de base no existe un sistema nacional unificado de trazabilidad que permita consolidar información comparable sobre calidad y seguridad a lo largo de la cadena. La ausencia de incidentes reportados de manera sistemática y la falta de un repositorio o esquema estandarizado de reporte y aprendizaje institucional dificultan la identificación y gestión preventiva de riesgos emergentes, especialmente en un contexto de crecimiento del sector.

Desde la perspectiva metodológica del AIN, esta línea de base representa la situación previa a cualquier acción estatal y permite estimar, con mayor claridad, los costos, riesgos, capacidades

institucionales y resultados que serían atribuibles a las alternativas de intervención (regulatorias o no regulatorias), diferenciando los componentes de seguridad y calidad según corresponda.

(ii) Esquema de difusión y fortalecimiento de capacidades

Esta opción se fundamenta en el uso de instrumentos no regulatorios, tales como difusión, fortalecimiento de capacidades y pedagogía, sin expedición de instrumentos normativos, sin el establecimiento de requisitos ni adopción de referencias técnicas como obligatorias.

Parte del diagnóstico de que una proporción relevante de los riesgos asociados al hidrógeno y sus derivados se ve amplificada por asimetrías de información, diferencias en capacidades técnicas entre desarrolladores, operadores y autoridades, y por la dispersión de marcos aplicables (ambiental, laboral, seguridad industrial, transporte de sustancias peligrosas) que deben interpretarse y aplicarse a un vector energético emergente. En particular, se identifican brechas en: (i) conocimiento técnico especializado sobre propiedades y riesgos del hidrógeno; (ii) criterios prácticos para aplicar normas generales a cada eslabón de la cadena de valor; y (iii) capacidades operativas para inspección, preparación y respuesta ante emergencias.

Con base en lo anterior, la alternativa propone organizar, sistematizar y difundir, por eslabón de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados, los estándares internacionales pertinentes y las referencias técnicas más utilizadas, con el objetivo de nivelar capacidades y reducir incertidumbre interpretativa.

Como componente central, se plantea la elaboración y divulgación de un compendio informativo, que consolide la regulación general vigente (ambiental, laboral, seguridad industrial y transporte de sustancias peligrosas) y compile las normas técnicas voluntarias con mayor pertinencia como referencias. Esta guía tendría un propósito estrictamente orientador, facilitando la identificación y comprensión de obligaciones existentes y reduciendo la dispersión regulatoria identificada.

Asimismo, la alternativa contempla la implementación de un programa nacional de formación dirigido a operadores, autoridades territoriales y cuerpos de respuesta ante emergencias, y producción de materiales pedagógicos orientados a fortalecer capacidades técnicas y operativas. Estas acciones podrían ser lideradas por el Ministerio de Minas y Energía en articulación con entidades de formación y normalización y con las instancias de gestión del riesgo, según corresponda.

Es importante aclarar que ninguno de los productos de esta alternativa crea obligaciones, modifica el marco vigente, constituye reglamento técnico o interpretación oficial. Su finalidad es exclusivamente (i) facilitar la compilación, comprensión y aplicación de la normatividad vigente, (ii) promover la adopción informada de referencias técnicas voluntarias, y (iii) fortalecer capacidades de gestión del riesgo, sin imponer nuevas obligaciones normativas.

En este enfoque, el Estado actúa principalmente como facilitador de información y cooperación desde una perspectiva metodológica sin establecer obligaciones nuevas de carácter normativo. Desde la perspectiva metodológica del AIN, esta alternativa representa un curso de acción de intervención mínima, basado en instrumentos blandos o no coercitivos.

(iii) Esquema de obligatoriedad progresiva (basado en riesgo y uso)

Este enfoque, condicionado a que el análisis comparado del AIN concluya que una intervención regulatoria es necesaria y proporcional, se alinea con el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC/OMC) y el Decreto 1595 de 2015, y describe un esquema regulatorio gradual o modelo “basado en desempeño” (*performance-based*) que permite ajustar las exigencias técnicas al riesgo real y al grado de exposición de cada etapa o aplicación. De adoptarse, el proceso podría priorizar los módulos que inciden directamente en la seguridad operativa (por ejemplo, electrólisis a gran escala, almacenamiento gaseoso, transporte presurizado, estaciones de repostaje y manejo de derivados como el amoníaco y el metanol, combustibles sintéticos SAF, combustibles marítimos entre otros), e incorporar calendarios de adopción con periodos de transición, esquemas de equivalencia internacional y evaluación ex post, conforme a criterios de riesgo, complejidad técnica o madurez del mercado.

Así mismo, en caso de justificarse la intervención, esta alternativa podría incluir la formulación de protocolos nacionales de verificación y control en campo, junto con el fortalecimiento de las competencias institucionales para ejercer funciones de inspección, vigilancia y seguimiento técnico. Lo anterior implicaría acciones de formación de talento humano especializado, así como la consolidación de capacidades de evaluación de la conformidad que permitan verificar el cumplimiento de los estándares exigidos.

Desde la perspectiva metodológica del AIN, esta alternativa describe un modelo de intervención normativa que combina elementos de regulación obligatoria con un principio de gradualidad, cuya implementación (incluidos protocolos, calendario y equivalencias) dependería del resultado del AIN sobre necesidad, proporcionalidad y viabilidad.

(iv) Obligación total inmediata

Esta alternativa plantea de manera hipotética, la adopción inmediata de un marco regulatorio obligatorio aplicado a todos los eslabones de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. Bajo este esquema, los requisitos técnicos de seguridad y calidad se establecerían de forma uniforme y concurrente, sin etapas transitorias ni diferenciación por niveles de riesgo, uso o madurez tecnológica. En coherencia con su carácter obligatorio, este enfoque requeriría la implementación inmediata de mecanismos de inspección, vigilancia y control, así como esquemas de evaluación de la conformidad para verificar el cumplimiento de los estándares exigidos.

En este enfoque, la regulación incorporaría desde el inicio el conjunto de disposiciones técnicas disponibles, incluyendo normas técnicas nacionales y estándares internacionales aplicables,

lineamientos de diseño, requisitos de operación, procedimientos de verificación y obligaciones de cumplimiento para los distintos agentes del sector.

No obstante, la adopción simultánea de requisitos para todos los eslabones, usos y tecnologías podría no ser consistente, en principio, con el estándar del Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC/OMC), de evitar medidas más restrictivas de lo necesario para alcanzar un objetivo legítimo, en la medida en que impondría exigencias uniformes sin una diferenciación basada en riesgo y sin sustentar que se trata de la alternativa menos restrictiva disponible. Asimismo, este enfoque podría superar las capacidades actuales del Sistema Nacional de la Calidad, al demandar de forma inmediata infraestructura metrológica, laboratorios con información analítica pertinente y personal especializado para la inspección y verificación, organismos de evaluación de la conformidad acreditados, cuya disponibilidad para cubrir integralmente toda la cadena debe acreditarse con el diagnóstico de capacidades del AIN.

En ausencia de periodos de transición, la aplicación inmediata y uniforme de exigencias podría generar barreras técnicas al comercio y sobrecostos relevantes para los agentes, especialmente nuevos entrantes, además de aumentar el riesgo de incumplimiento generalizado, lo que a su vez comprometería la efectividad del esquema de inspección, vigilancia y control (IVC) y la viabilidad de implementación. Desde la perspectiva metodológica del AIN, esta alternativa representa un modelo de intervención normativa de máximo alcance, al implementar en forma integral e inmediata instrumentos obligatorios para toda la cadena desde el inicio.

3.3. Calidad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados

3.3.1. Sentido de la intervención

El interés público se ancla en la transparencia y confiabilidad de la información técnica del producto y en la protección al consumidor, además de la competitividad del sector. La intervención debe construir capacidades nacionales de metrología, ensayo, acreditación y certificación, y establecer instrumentos que permitan informar de manera veraz y verificable al usuario final, especialmente cuando el uso sea masivo o de servicio público.

3.3.2. Presentación de alternativas

(i) Línea de base - No intervenir.

La línea de base corresponde al escenario en el cual no se introduce ninguna medida regulatoria nueva en materia de calidad del hidrógeno y sus derivados. Bajo este escenario, se mantienen las condiciones actuales del mercado, la adopción de normas de calidad continúa siendo voluntaria conforme a los instrumentos y prácticas vigentes. La evaluación de la pureza y composición del hidrógeno y sus derivados se realiza a través de los mecanismos actualmente disponibles, incluyendo, cuando corresponda, la utilización de servicios de laboratorios fuera del país.

La ausencia de intervención implica que no se modifican los procedimientos actuales ni se crean obligaciones adicionales para la industria o para las entidades encargadas de la supervisión.

(ii) Fortalecimiento técnico y transferencia de conocimiento.

Esta alternativa se basa en la utilización de instrumentos no regulatorios orientados a mejorar las capacidades técnicas nacionales relacionadas con la calidad del hidrógeno y sus derivados. Bajo este enfoque, el Estado impulsaría acciones de formación, divulgación y transferencia de conocimiento dirigidas a los actores de la cadena de valor.

Esta alternativa plantea consolidar, paso a paso, capacidades nacionales: actualización y adquisición de equipos, formación de personal técnico y auditores, y cooperación con redes internacionales. Desde la perspectiva metodológica del AIN, esta alternativa constituye un curso de acción de intervención mínima, enfocado en la construcción de capacidades y en la difusión de conocimiento, sin modificar las obligaciones regulatorias actuales ni introducir requisitos técnicos vinculantes.

(iii) Modelo habilitante con incentivos e infraestructura de calidad.

Esta alternativa contempla un conjunto de instrumentos no coercitivos y medidas habilitantes para fortalecer la infraestructura nacional necesaria para asegurar la calidad del hidrógeno y sus derivados. Bajo este enfoque, el Estado implementaría mecanismos que facilitan el acceso a equipos de medición, capacidades metrológicas, acreditación de laboratorios, formación especializada y sistemas de evaluación de la conformidad, sin establecer requisitos técnicos obligatorios ni configurar obligaciones de cumplimiento para los agentes.

El modelo combina instrumentos de fomento económico, tributario y de cooperación técnica con acciones dirigidas al fortalecimiento de la infraestructura nacional de calidad. En particular, contempla la acreditación de laboratorios y organismos de certificación, el desarrollo de protocolos de muestreo y ensayo diferenciados por uso final, y la consolidación de un sistema nacional de información, reporte y trazabilidad alineado con estándares internacionales, con fines habilitantes y de fortalecimiento de capacidades, sin carácter vinculante.

Desde la perspectiva metodológica del AIN, esta alternativa representa un enfoque habilitante, centrado en cerrar brechas técnicas y de infraestructura. Permite avanzar en el desarrollo de capacidades nacionales y en el apoyo institucional para el aseguramiento de la calidad, sin introducir, en esta etapa, obligaciones regulatorias ni anticipar la adopción de medidas vinculantes cuya necesidad aún debe ser evaluada en el AIN.

(iv) Regulación obligatoria inmediata de pureza y etiquetado.

Esta alternativa plantea la adopción de requisitos técnicos obligatorios aplicables de manera inmediata para la determinación de la pureza del hidrógeno, valores de referencia únicos, caracterización de sus impurezas y la información mínima que debería ser suministrada al usuario final a través del etiquetado²⁶. De esta manera, el modelo considera la incorporación directa de

²⁶ El etiquetado constituye el mecanismo mediante el cual se pone a disposición del usuario final información visible, clara y verificable sobre las características del producto. En Colombia, esta obligación se ha desarrollado principalmente en reglamentos técnicos aplicables a combustibles fósiles (como gasolina, diésel y mezclas con biocombustibles), donde el rotulado es esencial para informar sobre parámetros de calidad, composición y condiciones de seguridad. Actualmente no existe un esquema equivalente para el hidrógeno y sus derivados; sin embargo, en un escenario de expansión del

estándares técnicos disponibles, nacionales o internacionales, que permitan definir los umbrales de pureza y los elementos de información técnica que deben estar incluidos en el etiquetado del hidrógeno y sus derivados.

Igualmente, contempla la formulación de procedimientos de verificación asociados a la aplicación de estos requisitos, así como la identificación de las entidades que serían responsables de su implementación y supervisión.

Desde la perspectiva metodológica del AIN, esta alternativa representa un esquema de intervención normativa inmediata, en el cual se establecen obligaciones técnicas sin incluir periodos de transición o mecanismos de gradualidad.

mercado, el etiquetado podría convertirse en una herramienta clave para transparentar aspectos como pureza, tipo de producción, condiciones de almacenamiento y trazabilidad, armonizando prácticas con otros energéticos regulados y fortaleciendo la protección al consumidor y la comparabilidad técnica entre proyectos.

05. Selección de la metodología

4.1. Enfoque metodológico para la evaluación de alternativas

Dada la limitada disponibilidad de información para monetizar impactos en esta etapa del mercado del hidrógeno y sus derivados, se empleará un **Análisis Multicriterio (AMC)** como herramienta para comparar, de manera conjunta, criterios cualitativos y cuantitativos aplicables a las alternativas de seguridad y calidad del hidrógeno y sus derivados, de efectividad, costo, competitividad, trazabilidad e implementabilidad de cada alternativa tanto en seguridad como en calidad del hidrógeno y sus derivados.

El análisis de alternativas y la evaluación de impactos se desarrollarán bajo este enfoque, reconocido por la OCDE, la Comisión Europea y las Guías Nacionales de Análisis de Impacto Normativo (AIN) del Departamento Nacional de Planeación (DNP) como un instrumento idóneo cuando no es posible monetizar integralmente los costos y beneficios. En consecuencia, la selección del AMC responde a una restricción de información y monetización, y no a una preferencia por instrumentos cualitativos.

El AMC es una metodología estructurada de evaluación que permite comparar y ordenar alternativas con base en múltiples criterios previamente definidos, asignando pesos relativos y evaluaciones sistemáticas a cada opción. Su propósito es integrar información heterogénea, cuantitativa y cualitativa, para determinar, de manera transparente y trazable, cuál alternativa aporta mayor valor público bajo principios de racionalidad regulatoria. De esta manera, el AMC actúa como un instrumento neutral que no presupone la conveniencia de una intervención determinada, es una metodología que organiza la evidencia disponible para ponderar criterios económicos, sociales, jurídicos y técnicos. Ello permite identificar la alternativa que genera mayores beneficios netos para el bienestar general, respetando los principios de necesidad, proporcionalidad, eficacia y coherencia regulatoria.

En el caso de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados, el AMC considerará de manera integrada la interdependencia entre seguridad, calidad y competitividad, ejes convergentes en la normativa internacional y fundamentales para garantizar la protección de la vida, la salud, la seguridad industrial, la veracidad de la información al consumidor y el acceso a mercados. El desarrollo de la metodología se nutre de tres fuentes principales:

- **Revisión documental de normas nacionales e internacionales** (ISO, IEC, NFPA, OMI, NTC) y de la literatura técnica sobre gestión de riesgos y evaluación de la conformidad;
- **Consultas** técnicas especializadas con expertos de entidades públicas, privadas y gremiales del sector energético, incluyendo miembros del SICAL (INM, ONAC, ICONTEC); y
- **Taller multisectorial de consulta**, desarrollado el 3 de octubre de 2025 con la participación de 44 representantes del ecosistema nacional del hidrógeno, entre ellos el Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la UPME, GIZ, Ecopetrol, Promigas, TransMilenio, ONAC, ICONTEC, ANDI, y centros de investigación. Este espacio permitió consensuar criterios de evaluación y ponderaciones de relevancia técnica.

4.1.1. Construcción del AMC

La construcción del AMC para el análisis de alternativas y la evaluación de impactos, que se describe el siguiente capítulo, se desarrollará en tres etapas principales:

- **Definición de criterios e indicadores:** Se identificarán los criterios aplicables a la evaluación de seguridad y calidad, en coherencia con los objetivos legítimos del Estado en materia de protección de la vida, la salud, la seguridad humana y ambiental, y la transparencia del mercado (Acuerdo OTC – OMC; Decreto 1595 de 2015).
- **Cálculo de valor ponderado:** Se asignarán puntajes por alternativa según su desempeño frente a cada criterio. El resultado total permitirá una comparación objetiva y trazable, integrando consideraciones técnicas, jurídicas y económicas.
- **Validación (no definición) de criterios y ponderación a partir de los insumos del taller de consulta:** El taller multisectorial de consulta permitió recoger percepciones cualitativas de los actores públicos, privados y académicos sobre la pertinencia de los criterios de evaluación y las alternativas. La información obtenida se utilizará como insumo técnico de validación y contraste; sin embargo, la ponderación final de los criterios no se ha sometido ni se somete a la decisión de los participantes, con base en la revisión normativa, la literatura especializada y las buenas prácticas internacionales.

El proceso participativo garantizó transparencia, participación y coherencia entre la evidencia técnica y las percepciones del sector, consolidando el AIN como una herramienta de política pública orientada al aprendizaje regulatorio y la mejora continua.

4.1.2. Definición de criterios e indicadores

Para evaluar las alternativas regulatorias y efectuar la evaluación de impactos en materia de seguridad y calidad del hidrógeno y sus derivados, se define un conjunto de criterios que permiten valorar, de manera estructurada y comparable, el aporte de cada opción al problema público identificado. Estos criterios se seleccionaron con base en las buenas prácticas internacionales de análisis regulatorio (OCDE, 2023), las obligaciones del país en materia de reglamentos técnicos y transparencia (Acuerdo OTC/OMC) y las capacidades institucionales actuales del Estado colombiano, incluidas las del SICAL.

La construcción de estos criterios se fundamenta en tres insumos principales: (i) la revisión normativa y técnica disponible; (ii) consultas especializadas realizadas durante el proceso de elaboración del AIN; y (iii) el taller técnico participativo con actores sectoriales, que permitió validar (no definir) la pertinencia y relevancia de los criterios para ambos componentes: seguridad industrial y calidad del producto.

Cada criterio incorpora una justificación específica y una ponderación relativa, con el fin de reflejar su importancia en la reducción del riesgo, el aseguramiento de la calidad, la coherencia institucional y la viabilidad de implementación. La suma total de ponderaciones asciende al 100%, priorizando aquellos aspectos que tienen mayor impacto en la seguridad operativa, la integridad del producto y la efectividad de la intervención regulatoria.

Los criterios seleccionados fueron aplicados de manera individualizada, mediante indicadores diferenciados para seguridad y para calidad, según el componente evaluado, dado que su naturaleza es diferente.

Los criterios seleccionados son los siguientes:

- **Efectividad para seguridad y calidad:** Evalúa el grado en que cada alternativa reduce los riesgos inherentes a la seguridad del hidrógeno y sus derivados (explosividad, fugas, fallas operativas) y mejora la pureza, confiabilidad y trazabilidad del producto.
- **Seguridad jurídica y coherencia normativa:** Mide la claridad, estabilidad y coherencia del marco regulatorio frente a estándares internacionales, compromisos del país y principios de necesidad, proporcionalidad y transparencia (Acuerdo OTC–OMC; Decreto 1595/2015).
- **Competitividad y armonización internacional:** Determina la capacidad de cada alternativa para facilitar la inserción del país en mercados globales, permitir la equivalencia técnica y evitar barreras técnicas al comercio mediante armonización con estándares internacionales.
- **Impacto social, ambiental y aceptación pública:** Evalúa los efectos sobre sostenibilidad, beneficios sociales, percepción de riesgo, confianza pública, transparencia y aceptación social de la tecnología.
- **Costos y eficiencia regulatoria (empresas y Estado):** Mide las cargas económicas, operativas y administrativas para empresas y para el Estado, incluyendo CAPEX/OPEX, adecuaciones técnicas, certificaciones, inspecciones y fortalecimiento del SICAL.

4.1.3. Criterios de evaluación y ponderación para la seguridad del hidrógeno y sus derivados

La selección de criterios y su ponderación responden al objetivo metodológico del AIN de comparar alternativas en función de su capacidad para gestionar un riesgo público asociado a la seguridad del hidrógeno y sus derivados, bajo principios de necesidad, proporcionalidad, eficacia y coherencia regulatoria. En este componente, la ponderación prioriza los criterios que se relacionan de manera más directa con la prevención de incidentes y la protección de la vida e integridad de las personas, así como con la viabilidad jurídica e institucional de cualquier curso de acción.

Si bien el marco general considera ocho criterios aplicables al análisis integral de seguridad y calidad, para el componente de seguridad se emplea un subconjunto de seis criterios, por dos razones principales. Primero, porque la seguridad exige concentrar la evaluación en dimensiones asociadas a la reducción del riesgo operativo y a la gestión de seguridad industrial a lo largo de la cadena de valor, evitando introducir factores que, aunque relevantes, no inciden directamente en la ocurrencia o seriedad de incidentes. Segundo, porque variables como trazabilidad, innovación e infraestructura de calidad (metrología y evaluación de la conformidad), tienen un rol más determinante en el componente de calidad, donde su contribución técnica es más directa y medible.

La ponderación se definió para reflejar: (i) la centralidad del objetivo de seguridad (prevención de accidentes mayores) en el análisis; (ii) la importancia de la certeza jurídica y coherencia normativa para asegurar cumplimiento, atraer inversión y dar estabilidad al esquema; (iii) la necesidad de armonización internacional para evitar barreras técnicas y facilitar interoperabilidad; y (iv) la incorporación de consideraciones de impacto social y ambiental, costos e implementabilidad, como salvaguardas para evitar alternativas ineficientes o inviables. Los insumos del taller técnico participativo y las consultas sectoriales se utilizaron para validar la pertinencia y operatividad de los criterios; no obstante, la ponderación final se estableció por el equipo técnico con base en revisión normativa, literatura especializada y buenas prácticas internacionales.

La siguiente tabla define cada criterio y su ponderación para la seguridad del hidrógeno y sus derivados:

Tabla 1. Criterios de evaluación y ponderación. Elaboración propia con base en revisión normativa, taller técnico participativo y consultas sectoriales (OCDE, OMC, DNP, ICONTEC, MME, ANDI, Asociación Colombiana del Hidrógeno).

ID	Criterio	Justificación	Peso
1	Seguridad de los proyectos	Asegura la adopción de medidas adecuadas de gestión de riesgos, que minimicen riesgos de explosividad, fugas o fallas a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno y derivados. Se le asigna el mayor peso (25%) porque la protección de la vida, la integridad de las personas y la prevención de accidentes mayores constituyen el objetivo principal de la intervención regulatoria y la razón de ser del AIN.	25%
2	Seguridad jurídica	Proporciona certeza normativa y coherencia con compromisos internacionales. Este criterio corresponde a los efectos potenciales de la medida sobre la sostenibilidad, la equidad y la aceptación social de la tecnología, elementos centrales en una transición energética justa. Durante el taller técnico participativo no se realizó una evaluación específica de sostenibilidad ambiental o social, sino una valoración general basada en la revisión documental y en las percepciones expresadas por los actores sectoriales. Aún así, se le otorga también un peso de 25% porque la previsibilidad regulatoria y la coherencia con el ordenamiento interno e internacional son condiciones necesarias para la viabilidad de cualquier esquema de seguridad y para atraer inversión de largo plazo.	25%
3	Competitividad y armonización internacional	Favorece la inserción en mercados globales y evita barreras técnicas al comercio. Este criterio evalúa la capacidad de la medida para facilitar la inserción del país en los mercados globales del hidrógeno y sus derivados, promover el reconocimiento mutuo de certificaciones y evitar barreras técnicas al comercio (en cumplimiento del Acuerdo OTC de la OMC, Ley 170 de 1994). Se le asigna un peso intermedio-alto (20%) porque la armonización internacional es clave para atraer inversión y garantizar interoperabilidad tecnológica; sin embargo, su efecto es más indirecto y de mediano plazo frente al problema público, en la medida en que depende de que primero se consoliden las condiciones internas de seguridad, calidad y certeza normativa.	20%
4	Impacto social y ambiental	Promueve sostenibilidad y aceptación pública de la tecnología. Este criterio corresponde a los efectos potenciales de la medida sobre la sostenibilidad, la equidad y la aceptación social de la tecnología, elementos centrales en una transición energética justa. Se le asigna un peso medio (10%) porque, aunque estos impactos son relevantes, en la fase actual del mercado de hidrógeno y sus derivados, la evidencia disponible es principalmente cualitativa y de largo plazo. El AIN los incorpora como condicionante de legitimidad y licencia social, pero sin desbordar el foco principal en la reducción de riesgos de seguridad.	10%
5	Costos y eficiencia regulatoria	Evalúa cargas económicas y administrativas para empresas y Estado. Mide los impactos económicos y administrativos derivados de la implementación de reglamentos técnicos, tanto para el Estado como para los agentes privados. Se asigna un peso medio (10%) porque la eficiencia regulatoria debe equilibrarse con el principio de precaución y la protección del interés público: es	10%

ID	Criterio	Justificación	Peso
		deseable minimizar cargas y evitar sobreregulación, pero el objetivo principal del instrumento es salvaguardar la seguridad y la calidad del producto, incluso si ello implica costos adicionales razonables y proporcionados al riesgo.	
6	Implementabilidad institucional	Evalúa la capacidad del Estado para poner en marcha la alternativa, considerando la distribución de responsabilidades entre las entidades competentes y la disponibilidad de capacidades técnicas, operativas y metrológicas necesarias para su implementación. Incluye el análisis de gobernanza interinstitucional, la existencia o necesidad de mecanismos de coordinación y la suficiencia del talento humano para ejercer funciones de inspección, vigilancia, control y evaluación de la conformidad. Se le otorga un peso medio (10%) porque una medida normativamente sólida pero inejecutable no genera resultados; sin embargo, la falta de capacidades puede ser abordada gradualmente mediante esquemas de implementación progresiva, por lo que su peso se mantiene por debajo de los criterios directamente asociados a la reducción del riesgo (seguridad de los proyectos) y a la certeza normativa (seguridad jurídica).	10%

4.1.4. Criterios de evaluación y ponderación para la calidad del hidrógeno y sus derivados.

Para evaluar las alternativas regulatorias y los impactos económicos en materia de calidad del hidrógeno y sus derivados, se define un conjunto de criterios que permiten medir, de manera consistente y comparable, la capacidad de cada opción para asegurar niveles adecuados de pureza, trazabilidad, veracidad de la información y confiabilidad metrológica. Estos criterios se estructuran con base en buenas prácticas internacionales de infraestructura de la calidad²⁷, en las obligaciones del Estado relacionadas con la protección del consumidor y la transparencia del mercado (Ley 1480 de 2011; Acuerdo OTC/OMC), y en el estado actual de las capacidades del SICAL. La ponderación asignada refleja la importancia relativa de cada dimensión en la construcción de un sistema de calidad robusto, verificable y alineado con los estándares requeridos para la competitividad y el acceso a mercados internacionales.

La siguiente tabla define cada criterio y su ponderación para la seguridad del hidrógeno y sus derivados:

Tabla 2. Criterios de evaluación y ponderación. Elaboración propia con base en revisión normativa, taller técnico participativo y consultas sectoriales (OCDE, OMC, DNP, ICONTEC, MME, ANDI, Asociación Colombiana del Hidrógeno).

ID	Criterio	Justificación	Peso
1	Calidad (pureza, trazabilidad,	Este criterio evalúa la capacidad de cada alternativa para mejorar la trazabilidad, comparabilidad y verificabilidad de la información sobre pureza, composición, estabilidad y consistencia metrológica del hidrógeno y sus derivados, independientemente de si ello se logra con instrumentos voluntarios, habilitantes	30%

²⁷ Dentro de las que se encuentran ISO; y otras referenciadas anteriormente.

ID	Criterio	Justificación	Peso
	confiabilidad metrológica)	u obligatorios. Es fundamental para la protección del consumidor, la interoperabilidad técnica entre aplicaciones y la integridad de las cadenas de suministro. Se asigna el mayor peso (30%) porque la calidad y su verificabilidad constituyen el problema público identificado; ello no implica un mandato implícito de imponer requisitos técnicos obligatorios, sino priorizar alternativas que reduzcan la asimetría de la información y mejoren la confiabilidad de las mediciones.	
2	Seguridad jurídica (coherencia normativa, veracidad de información)	Evalúa la claridad, consistencia y predictibilidad del marco normativo, así como la capacidad institucional para exigir información veraz, verificable y no engañosa sobre el producto. Una mayor seguridad jurídica reduce costos de transacción, fortalece la confianza del mercado y evita barreras innecesarias al comercio. Recibe 30% porque, en un mercado emergente, la certidumbre regulatoria es determinante para atraer inversión y viabilizar esquemas de aseguramiento de la que las obligaciones de calidad. Este criterio no presupone regulación obligatoria, pues puede existir mejora mediante lineamientos, guías, esquemas contractuales estandarizados, o reglamentos técnicos según concluya el AIN.	30%
3	Competitividad y armonización internacional	Mide la capacidad de cada alternativa para alinear al país con estándares y prácticas internacionales (ej. ISO, IEC, OIML), y promover el reconocimiento y comparabilidad, reduciendo el riesgo de barreras técnicas al comercio. Su peso es 10% porque, aunque es relevante para el comercio exterior y la reputación internacional del hidrógeno colombiano y sus derivados, sus beneficios se materializan a mediano plazo y dependen de avances previos en medición, trazabilidad e información contable. La armonización no implica necesariamente adopción obligatoria de estándares, sino su uso como referencia y compatibilidad con marcos internacionales.	10%
4	Infraestructura nacional de calidad (ensayos, acreditación, metrología)	Evalúa la disponibilidad y solidez de capacidades habilitantes: laboratorios y su eventual acreditación, infraestructura metrológica, organismos de evaluación de la conformidad y mecanismos de trazabilidad necesarios para verificar pureza y calidad en el país y reducir dependencia externa. Es indispensable para verificar pureza y calidad dentro del país y evitar dependencia de certificadores extranjeros. Recibe 10% porque, es un habilitador esencial e instrumental: su existencia posibilita diversas opciones (voluntarias o regulatorias) sin predeterminar la adopción de obligaciones.	10%
5	Costos y eficiencia regulatoria	Analiza los costos económicos y administrativos para empresas y Estado asociados a la implementación de las medidas de calidad. Considera CAPEX/OPEX, tiempos de cumplimiento y cargas operativas. Se asigna 10% , porque la eficiencia regulatoria debe equilibrarse con objetivos de calidad y trazabilidad del producto. Incluye e; riesgo de sobre regulación y de incurrir en costos elevados (por ejemplo, exigir niveles de pureza o verificación sofisticada) sin evidencia suficiente de necesidad o proporcionalidad, lo cual podría afectar la entrada de nuevos participantes e innovación.	10%

ID	Criterio	Justificación	Peso
6	Impacto social y aceptación (confianza pública, transparencia)	Evalúa la contribución de cada alternativa a la confianza del usuario final, la transparencia en el mercado y la aceptación social del hidrógeno y sus derivados. Este criterio refleja la importancia de información veraz para decisiones de consumo y la necesidad de evitar riesgos reputacionales. Se asigna 10% , porque, aunque relevante, suele ser consecuencia del adecuado desempeño en calidad verificable, infraestructura y seguridad jurídica. La transparencia puede lograrse también con instrumentos no regulatorios, como reportes voluntarios, estándares de mercado, esquemas de certificación privada o acuerdos sectoriales, sin asociarse necesariamente a etiquetado obligatorio.	10%

06. Análisis de Alternativas y Evaluación de Impactos

El presente capítulo integra, en un mismo marco analítico, tanto la comparación de alternativas regulatorias como la evaluación de sus impactos, conforme a la metodología Análisis Multicriterio (AMC) descrita en el capítulo anterior. El AMC permite valorar simultáneamente criterios cualitativos y cuantitativos de efectividad, costos, competitividad, trazabilidad e implementabilidad, identificando la alternativa que genera mayores beneficios netos para Colombia en términos de seguridad industrial, protección del usuario final y calidad del hidrógeno y sus derivados.

La evaluación se desarrolla bajo el principio de proporcionalidad regulatoria, garantizando que cada medida sea coherente con el nivel de riesgo y las capacidades institucionales disponibles.

5.1. Análisis de alternativas para la seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados.

El análisis de alternativas en materia de seguridad aplica la metodología de Análisis Multicriterio (AMC) previamente descrita, permitiendo comparar de forma estructurada el desempeño de cada opción frente a los riesgos inherentes a la producción, acondicionamiento, almacenamiento, transporte y uso del hidrógeno y sus derivados. Los criterios y ponderaciones utilizados reflejan las prioridades identificadas por el Estado y los actores del sector: protección de la vida y la integridad de las personas, coherencia normativa, interoperabilidad técnica, eficiencia regulatoria e implementabilidad institucional.

A partir de estos criterios, se asignaron puntajes cualitativos a cada alternativa, lo que permite obtener un valor ponderado total para comparar su contribución a la reducción del riesgo y al fortalecimiento del sistema de seguridad industrial del país.

Tabla 3. Ponderación Análisis Multicriterio – Seguridad del hidrógeno y sus derivados. Elaboración propia.

ID	Criterio	Alternativa 1: Business as usual	Alternativa 2: Difusión de capacidades	Alternativa 3: Obligatoriedad paulatina	Alternativa 4: Obligatoriedad total
1	Seguridad de los proyectos (25%)	1	2	4	2
2	Seguridad jurídica (25%)	1	2	4	4
3	Competitividad y armonización internacional (20 %)	2	3	3	2
4	Impacto social y ambiental (10 %)	2	4	4	3
5	Costos y eficiencia regulatoria (10 %)	4	4	3	1
6	Implementabilidad institucional (10%)	4	4	1	1
	Total	1,9	2,8	3,4	2,4

Nota metodológica (puntajes 1–4): Los puntajes asignados a cada alternativa (escala 1–4, donde 1 representa el menor desempeño relativo y 4 el mayor) provienen del análisis comparado del equipo técnico del AIN. Para su construcción se utilizaron (i) la revisión normativa y documental, (ii) evidencia técnica disponible y (iii) los insumos del taller multisectorial, empleados para validar la pertinencia de los criterios y contrastar supuestos sobre desempeño e implementabilidad. La asignación final de puntajes fue definida y justificada por el equipo técnico para asegurar trazabilidad, replicabilidad y consistencia del ejercicio.

En **seguridad de los proyectos**, la Alternativa 1 (Business as usual) obtiene el puntaje más bajo (1) porque mantiene la voluntariedad, la heterogeneidad de prácticas y la ausencia de verificación estatal, lo que no corrige los riesgos operativos actuales. La Alternativa 2 (Difusión de capacidades) mejora parcialmente este panorama (2), al promover buenas prácticas, pero sin mecanismos obligatorios de gestión del riesgo. La Alternativa 3 (Obligatoriedad paulatina) recibe el puntaje más alto (4), al introducir requisitos graduales al riesgo y fortalecer la supervisión. La Alternativa 4 (Obligatoriedad total) obtiene un puntaje intermedio (2), considerando que, aunque eleva formalmente las exigencias, su aplicación sin diferenciación es desproporcionada y no garantiza mejoras reales en seguridad.

En **seguridad jurídica**, la Alternativa 1 puntúa bajo (1) debido a la ausencia de lineamientos obligatorios y la incertidumbre resultante. La Alternativa 2 obtiene un puntaje moderado (2) por generar mayor claridad técnica, aunque sin obligatoriedad. La Alternativa 3 alcanza el puntaje máximo (4) gracias a su enfoque gradual y predecible que armoniza con el marco internacional. La Alternativa 4 también obtiene (4), pues la obligatoriedad genera claridad normativa, aunque con riesgos de sobrerregulación.

Respecto a **competitividad y armonización internacional**, la Alternativa 1 recibe un puntaje bajo (2), ya que la adopción voluntaria no garantiza la compatibilidad con estándares internacionales. La Alternativa 2 mejora (3), al promover la difusión de normas globales. La Alternativa 3 obtiene también (3), por incorporar obligaciones alineadas con normas internacionales²⁸, aunque de manera progresiva. La Alternativa 4 se evalúa con (2) porque, aunque exige cumplimiento inmediato, su falta de gradualidad puede generar incompatibilidades prácticas con tecnologías emergentes no contempladas en normas vigentes.

En **impacto social y ambiental**, la Alternativa 1 recibe un puntaje bajo (2) al no aportar mejoras verificables en seguridad pública o sostenibilidad. La Alternativa 2 obtiene un desempeño alto (4) gracias a que la difusión de capacidades mejora la cultura de seguridad y la información al público. La Alternativa 3 también se califica con (4), al reducir riesgos de manera efectiva y fortalecer la confianza pública. La Alternativa 4 recibe un puntaje intermedio (3), porque incrementa formalmente las exigencias, pero su implementación forzada podría generar resistencia social y barreras para pilotos e innovación.

²⁸ Dentro de las normas internacionales resaltan aquellas de instituciones como ISO, IEC y NFPA.

En **costos y eficiencia regulatoria**, la Alternativa 1 y la Alternativa 2 reciben puntajes altos (4), ya que implican bajos costos inmediatos para empresas y Estado, aunque no reducen los riesgos. La Alternativa 3 obtiene un puntaje medio (3), dado que introduce costos adicionales, pero estos son proporcionales al riesgo y permiten mejoras sostenidas en seguridad. La Alternativa 4 recibe el puntaje más bajo (1), porque impone altos costos de adecuación, recertificación y verificación sin diferenciar niveles de riesgo, generando sobreregulación.

Finalmente, en **implementabilidad institucional**, la Alternativa 1 y la Alternativa 2 obtienen los puntajes más altos (4) por ser de fácil adopción con la capacidad institucional actual. La Alternativa 3 cae a (1) debido a los requerimientos de fortalecimiento del SICAL, la inspección especializada y la coordinación interinstitucional, aunque esto es manejable de forma gradual. La Alternativa 4 también recibe (1), ya que su implementación inmediata es inviable en términos de metrología, talento humano y capacidades de vigilancia.

Tabla 4. Resultados por Alternativa – Seguridad del hidrógeno y sus derivados. Elaboración propia.

Alternativa	Total
1. Business as usual	1,9
2. Difusión de capacidades	2,8
3. Obligatoria paulatina	3,4
4. Obligatoria total	2,4

Los resultados del AMC muestran diferencias claras en la capacidad de cada alternativa para mejorar la seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados:

- **Alternativa 1. Business as usual:** Mantiene la adopción voluntaria de normas sin obligatoriedad, sin inspección, control y seguimiento por parte del Estado. Su bajo costo inmediato se ve contrarrestado por el aumento en la exposición a riesgos con la proliferación de proyectos, falta de uniformidad en prácticas operativas y ausencia de capacidades y verificación técnica y control estatal. No resuelve el problema público ni fortalece las capacidades nacionales de respuesta.
- **Alternativa 2. Difusión y fortalecimiento de capacidades:** Representa una mejora incremental mediante formación técnica, guías y mapeo de normas. Es de bajo costo y prepara el terreno para obligaciones futuras, sin mecanismos verificables de seguridad ni gestión integral del riesgo.
- **Alternativa 3. Obligatoria paulatina basada en riesgo:** Introduce un enfoque progresivo según el nivel de exposición: producción, almacenamiento, transporte y uso final. Fortalece la inspección, control y seguimiento por parte del Estado y sus capacidades técnicas. Favorece la implementación de medidas integrales de gestión de riesgo, refuerza la interoperabilidad técnica y permite transiciones ordenadas.
- **Alternativa 4. Obligatoria total:** Impone cargas uniformes y elevadas, sin diferenciar riesgo ni madurez tecnológica. No necesariamente garantiza homogeneidad formal, es desproporcionada y difícilmente implementable en el corto plazo.

Resultado: La Alternativa 3 (obligatoriedad paulatina) alcanza el mejor desempeño integral en seguridad, al equilibrar efectividad en reducción de riesgos, viabilidad técnica y sostenibilidad institucional. Las alternativas 1 y 2 muestran un impacto estructural limitado: la primera no corrige el problema público y la segunda solo crea condiciones habilitantes. La alternativa 4, aunque incrementa formalmente las exigencias, presenta sobreregulación, altos costos de cumplimiento. y baja implementabilidad en la etapa actual del mercado.

5.2. Análisis de impactos para la seguridad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. (AMC)

La evaluación de impactos para cada alternativa se presenta siguiendo los criterios definidos en el Análisis Multicriterio (AMC). Las valoraciones de riesgo (bajo, medio, alto) se utilizan con fines comparativos y reflejan el desempeño relativo a cada alternativa frente a la reducción de riesgos de seguridad, coherencia normativa, alineación internacional, costos y viabilidad de implementación.

5.2.1. Línea de base (Business as usual).

- **Efectividad: Riesgo alto.** Mantiene la dispersión de prácticas y no introduce mecanismos adicionales orientados a reducir de manera sistemática la probabilidad de incidentes.
- **Seguridad jurídica y coherencia normativa: Riesgo alto.** La ausencia de medidas nuevas mantiene los niveles de incertidumbre técnica y normativa asociados a la aplicación de los marcos generales.
- **Competitividad y armonización internacional: Riesgo medio-alto.** La ausencia de criterios uniformes y verificables puede limitar la comparabilidad del hidrógeno colombiano frente a mercados con exigencias técnicas más estandarizadas.
- **Impacto social, ambiental y aceptación pública: Riesgo medio-alto.** La limitada verificabilidad y uniformidad puede afectar la confianza de comunidades y de autoridades locales respecto de la gestión de la seguridad.
- **Costos y eficiencia regulatoria (empresas y Estado): Riesgo bajo en el corto plazo, alto en el largo plazo.** No introduce costos inmediatos asociados a nuevas exigencias, pero podría aumentar la exposición a costos futuros en caso de incidentes, fallas o ajustes posteriores.
- **Implementabilidad institucional: Riesgo bajo.** No requiere capacidades adicionales del Estado, aunque tampoco genera mejoras respecto de la situación actual.

En síntesis, esta alternativa sirve como línea base para la comparación y permite estimar el desempeño del sector bajo condiciones vigentes; su valoración refleja que, frente al problema de seguridad analizado, ofrece menor capacidad relativa de mitigación que otras alternativas analizadas.

Nota metodológica (escala de riesgo): Para efectos del AMC, la calificación de riesgo bajo/medio/alto se asigna de manera comparativa según el desempeño esperado de cada alternativa frente a cada criterio. Riesgo alto indica que, bajo la alternativa, persiste una alta probabilidad de mantener o agravar el problema (baja capacidad de mitigación y/o alta incertidumbre de cumplimiento); riesgo medio indica una mitigación parcial o condicionada (resultados moderados, dependientes de implementación y capacidades); y riesgo bajo indica una mayor capacidad de mitigación (reducción significativa del riesgo y mayor coherencia/viabilidad), considerando el estado actual del mercado y de las capacidades institucionales. Esta escala no equivale a una medición probabilística, sino a una valoración cualitativa estructurada para comparación entre alternativas.

5.2.2. Esquema de difusión y fortalecimiento de capacidades.

Esta opción se centra en cerrar brechas de información y mejorar la cultura de seguridad mediante guías técnicas, actividades de capacitación, difusión de estándares internacionales y sistematización normativa orientada a agentes públicos y privados.

- **Efectividad: Riesgo medio.** Contribuye a homogeneizar prácticas y elevar el nivel básico de conocimiento, pero no reduce de forma estructural los riesgos porque carece de obligaciones verificables y mecanismos de control.
- **Seguridad jurídica y coherencia normativa: Riesgo medio.** Genera mayor claridad respecto a estándares y buenas prácticas, pero no establece un marco obligatorio ni plenamente predecible.
- **Competitividad y armonización internacional: Riesgo medio.** Mejora el entendimiento y uso de estándares internacionales, pero la adopción sigue siendo voluntaria y desigual entre actores.
- **Impacto social, ambiental y aceptación pública: Riesgo bajo-medio.** El aumento de información y capacitación fortalece la percepción pública de seguridad y transparencia, pero la ausencia de verificación limita la confianza plena.
- **Costos y eficiencia regulatoria (empresas y Estado): Riesgo bajo.** Implica costos moderados y principalmente de carácter formativo, sin cargas regulatorias obligatorias para las empresas.
- **Implementabilidad institucional: Riesgo bajo.** Puede implementarse con las capacidades actuales mediante cooperación técnica y articulación interinstitucional, sin requerir ampliaciones significativas de talento humano o infraestructura.

En conclusión, esta alternativa constituye una condición habilitante de corto plazo, indispensable para preparar al mercado y a las autoridades para esquemas de mayor exigencia. Sin embargo, por sí sola es insuficiente para abordar de manera estructural el problema de seguridad identificado al no incorporar mecanismos verificables de gestión del riesgo ni obligaciones diferenciadas por nivel de exposición. Además, no genera los incentivos necesarios para inversiones sostenidas en infraestructura técnica, evaluación de la conformidad o innovación industrial.

5.2.3. Esquema de obligatoriedad progresiva (basado en riesgo y uso)

Esta alternativa introduce requisitos obligatorios de forma gradual, priorizando los eslabones y aplicaciones de mayor riesgo, como electrólisis de gran escala, almacenamiento gaseoso, transporte presurizado, estaciones de abastecimiento HRS y manejo de derivados energéticos (amoníaco, metanol, SAF) e incorporando fases posteriores para segmentos de menor exposición. El enfoque permite una transición ordenada y proporcional, articulada con la capacidad institucional existente.

- **Efectividad: Riesgo bajo.** Reduce de manera significativa los riesgos operativos al establecer obligaciones claras, verificables y diferenciadas según nivel de exposición. Introduce protocolos uniformes, mejora la prevención y disminuye la probabilidad de incidentes severos.
- **Seguridad jurídica y coherencia normativa: Riesgo bajo.** Proporciona un marco predecible y gradual, coherente con estándares internacionales. La obligatoriedad por fases brinda certidumbre normativa y facilita la planificación empresarial.
- **Competitividad y armonización internacional: Riesgo bajo-medio.** Alinea al país con estándares internacionales, mejora la interoperabilidad técnica y genera confianza para la inversión extranjera. Su implementación por fases acelera la convergencia internacional sin generar rigideces prematuras.

- **Impacto social, ambiental y aceptación pública: Riesgo bajo.** El establecimiento de obligaciones verificables fortalece la confianza ciudadana, reduce incertidumbre sobre la seguridad del hidrógeno, mejora la percepción social de la tecnología y contribuye a una transición energética sostenible.
- **Costos y eficiencia regulatoria (empresas y Estado): Riesgo medio.** Existen costos asociados al cumplimiento, certificaciones, adecuaciones y fortalecimiento institucional; sin embargo, estos son acordes al nivel de riesgo y distribuidos en el tiempo. Disminuyen costos futuros derivados de fallas, accidentes o recertificaciones.
- **Implementabilidad institucional: Riesgo medio.** Requiere fortalecer capacidades técnicas, metrológicas y de inspección, pero su implementación gradual permite que el Estado amplíe infraestructura y talento humano sin generar sobrecargas inmediatas.

En síntesis, el AMC identifica esta alternativa como la más equilibrada en términos de relación costo–beneficio, alineación con estándares internacionales y viabilidad institucional. Ofrece la mejor combinación entre reducción efectiva de riesgos, previsibilidad regulatoria, competitividad técnica y sostenibilidad operativa, constituyéndose en la alternativa con mejor desempeño relativo para el desarrollo seguro del mercado de hidrógeno y sus derivados, de acuerdo con los criterios y ponderaciones del AMC.

5.2.4. Esquema de obligatoriedad total

La imposición inmediata y simultánea de todas las normas técnicas aplicables al hidrógeno y sus derivados, sin fases, diferenciación por riesgo ni preparación institucional, resulta desproporcionada frente al estado actual del mercado y las capacidades del Estado. Si bien incrementa formalmente las exigencias, no asegura una mejora real en la gestión del riesgo ni en la calidad del producto.

- **Efectividad: Riesgo medio–alto.** Aunque la obligatoriedad total eleva formalmente las exigencias, la cobertura parcial, dispersa y no armonizada de las NTC dificulta garantizar un cumplimiento efectivo y uniforme. La falta de criterios diferenciados por riesgo genera rigidez regulatoria sin una reducción proporcional de los riesgos operativos.
- **Seguridad jurídica y coherencia normativa: Riesgo alto.** La aplicación generalizada e inmediata puede generar inseguridad jurídica debido a la inexistencia de un marco transicional, requisitos no adaptados a tecnologías emergentes y vacíos de coordinación institucional. Además, puede contradecir principios de proporcionalidad y necesidad.
- **Competitividad y armonización internacional: Riesgo medio–alto.** La rigidez regulatoria puede introducir sesgos a favor de tecnologías que ya cuentan con normas, excluyendo o desincentivando soluciones avanzadas que aún no están normalizadas, afectando la interoperabilidad y la competitividad del país en mercados internacionales que operan bajo esquemas basados en desempeño y equivalencias técnicas.
- **Impacto social, ambiental y aceptación pública: Riesgo medio.** Aunque la obligatoriedad total podría mejorar la percepción de rigor regulatorio, su implementación sin capacidades estatales adecuadas favorece el incumplimiento, sanciones inequitativas y pérdida de confianza pública ante fallas no verificadas.
- **Costos y eficiencia regulatoria (empresas y Estado): Riesgo muy alto.** Impone cargas económicas significativas, incluyendo adecuaciones urgentes, recertificaciones, paradas técnicas y potenciales incompatibilidades tecnológicas. Para el Estado, exige un despliegue inmediato de capacidades de inspección, vigilancia, control y metrología que hoy no existen.
- **Implementabilidad institucional: Riesgo alto.** La limitada infraestructura del SICAL, la escasez de personal especializado y la ausencia de mecanismos robustos de coordinación interinstitucional hacen inviable su implementación inmediata. La probabilidad de incumplimiento generalizado es elevada.

En síntesis, el AMC considera esta alternativa como prematura, de alto costo, baja eficiencia regulatoria y limitada capacidad real de mitigación de riesgos. Su adopción en la etapa actual del

mercado del hidrógeno generaría sobreregulación, incertidumbre técnica y económica, y una carga institucional insostenible, sin lograr mejoras proporcionales en seguridad ni calidad.

5.2.5. Síntesis comparativa y recomendación para seguridad

El análisis multicriterio (AMC) aplicado exclusivamente al componente de seguridad muestra que:

- **La línea de base** es insuficiente para resolver el problema público en materia de seguridad y mantiene un nivel elevado de riesgo.
- **El esquema de difusión y fortalecimiento de capacidades** es un paso necesario para mejorar prácticas de seguridad, pero no genera cambios estructurales sin medidas obligatorias.
- **La obligatoriedad progresiva basada en riesgo y uso** ofrece la mejor combinación de efectividad, proporcionalidad de costos, competitividad técnica e implementabilidad institucional en seguridad.
- **La obligatoriedad total inmediata** resulta desproporcionada en el contexto actual y puede generar riesgos de frenar innovación e inversión sin asegurar mejoras reales en seguridad.

Conclusión del análisis multicriterio (AMC): Con base en los resultados comparativos del AMC, se identifica un enfoque secuencial que:

1. Inicie con el esquema de difusión y fortalecimiento de capacidades como fase preparatoria en seguridad, y
2. Avance hacia la obligatoriedad progresiva, concentrándose en los eslabones de mayor riesgo y articulando evaluaciones ex post y equivalencias internacionales.

5.3. Análisis de alternativas para la calidad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados

En este capítulo se presentan las alternativas regulatorias evaluadas para abordar el problema público asociado a la calidad del hidrógeno, siguiendo la metodología del Análisis Multicriterio (AMC) definida previamente. Las alternativas permiten comparar distintos grados de intervención regulatoria, desde la continuidad del esquema voluntario hasta modelos con exigencias obligatorias, y su capacidad para asegurar especificaciones técnicas verificables, fortalecer el Sistema Nacional de Calidad (SICAL) y generar confianza en usuarios, inversionistas y socios comerciales.

El análisis considera los criterios definidos para este componente, incluyendo la efectividad técnica, la seguridad jurídica, la competitividad internacional, la disponibilidad de infraestructura de calidad, los costos de implementación y la viabilidad institucional. Esta aproximación permite identificar cuál alternativa ofrece una mejor relación costo-beneficio y contribuye de manera más robusta a consolidar un mercado de hidrógeno confiable, seguro y competitivo.

Tabla 5. Ponderación Análisis Multicriterio – Calidad del Hidrógeno y sus Derivados. Elaboración propia.

ID	Criterio	Alternativa 1: Business as usual	Alternativa 2: Difusión técnica	Alternativa 3: Oblig. paulatina / habilitante	Alternativa 4: Obligatoria total
1	Calidad - pureza, trazabilidad, confiabilidad metrológica (30%)	1	2	4	2
2	Seguridad jurídica - coherencia normativa,	1	3	4	2

ID	Criterio	Alternativa 1: Business as usual	Alternativa 2: Difusión técnica	Alternativa 3: Oblig. paulatina / habilitante	Alternativa 4: Obligatoria total
	veracidad de información (30%)				
3	Competitividad y armonización internacional (10%)	2	3	4	3
4	Infraestructura nacional de calidad – ensayos, acreditación, metrología (10%)	1	3	4	3
5	Costos y eficiencia regulatoria (10%)	4	4	2	1
6	Impacto social y aceptación – confianza pública, transparencia (10%)	2	2	4	3
	Total	1,5	2,7	3,8	2,2

Nota metodológica (escala de riesgo): Para efectos del AMC, la calificación de riesgo (bajo/medio/alto) se asigna de manera comparativa según el desempeño esperado de cada alternativa frente a cada criterio. Riesgo alto indica que, bajo la alternativa, es probable que persistan o se acentúen los factores que originan el problema evaluado en ese criterio (por ejemplo, brechas de capacidad, debilidad de verificación, asimetrías de información o incertidumbre institucional), ya sea por baja capacidad de mitigación o por alta incertidumbre de implementación. Riesgo medio indica una mitigación parcial o condicionada, dependiente de supuestos de implementación, coordinación o fortalecimiento de capacidades. Riesgo bajo indica mayor capacidad de mitigación y coherencia/viabilidad relativa, considerando el estado actual del mercado y de las capacidades institucionales.

Esta escala no equivale a una medición probabilística, sino a una valoración cualitativa estructurada para comparar alternativas, sin presuponer que la mitigación requiera necesariamente intervención regulatoria: en particular, para el componente de calidad, el AMC reconoce que las brechas pueden ser principalmente de capacidades e infraestructura (SICAL, metrología, laboratorios, evaluación de la conformidad y talento humano), por lo que alternativas habilitantes pueden reducir riesgos sin imponer obligaciones técnicas.

La **Alternativa 1 (Business as usual)** obtuvo calificaciones bajas en los criterios de calidad (1), seguridad jurídica (1), infraestructura de calidad (1) e impacto social (2), debido a que la adopción voluntaria de estándares no garantiza uniformidad en especificaciones de pureza, medición o trazabilidad, manteniendo altos niveles de incertidumbre técnica y ausencia de verificabilidad. Aunque presenta menores costos regulatorios (4), esta reducción de cargas no se traduce en mejoras reales de calidad, limitando la confianza del mercado y la competitividad técnica del país.

La **Alternativa 2 (Difusión técnica)** evidencia un avance moderado respecto al escenario base. La provisión de guías, mapeo normativo y fortalecimiento conceptual permite mejorar la comprensión técnica del sector, lo que se refleja en puntajes intermedios en calidad (2), seguridad jurídica (3), competitividad internacional (3), infraestructura de calidad (3) y aceptación social (2). No obstante, la ausencia de requisitos obligatorios impide garantizar verificabilidad metrológica o capacidad de fiscalización, y mantiene un alto nivel de discrecionalidad en la aplicación de normas, motivo por el cual esta alternativa obtiene también un puntaje alto en costos (4), pues no genera obligaciones adicionales. Su contribución es habilitante, pero insuficiente para cerrar las brechas estructurales de calidad.

La **Alternativa 3 (Obligatoriedad paulatina / habilitante)** presenta el mejor desempeño general en todos los criterios técnicos y regulatorios. Esta alternativa establece requisitos obligatorios de manera gradual, acompañados de fortalecimiento institucional y disponibilidad progresiva de infraestructura metrológica y de certificación. Por ello recibe puntajes máximos en calidad (4), seguridad jurídica (4), competitividad internacional (4) e infraestructura de calidad (4), al crear condiciones verificables de pureza, trazabilidad y medición, alineadas con normas internacionales²⁹. Obtiene el puntaje más alto en impacto social (4), ya que las obligaciones claras y verificables aumentan la transparencia del mercado y la confianza del usuario. En costos obtiene un puntaje intermedio (2), pues requiere inversiones y adecuaciones tanto para empresas como para el Estado, aunque estos costos son proporcionales y escalonados.

La **Alternativa 4 (Obligatoriedad total)** presenta un comportamiento mixto. Aunque aumenta formalmente las exigencias técnicas, su aplicación inmediata en un contexto de capacidades institucionales aún incipientes puede relacionarse con ineficiencia y sobrerregulación. Esto se refleja en puntajes moderados en competitividad internacional (3), infraestructura de calidad (3) e impacto social (3), así como puntajes bajos en calidad (2) y seguridad jurídica (2), debido a la posibilidad de exigir normas que no se pueden verificar en el corto plazo o que no están armonizadas con el nivel real del mercado nacional. Obtiene el puntaje más bajo en costos (1), porque la imposición simultánea de múltiples estándares genera cargas elevadas para empresas y para el Estado, sin garantizar un aumento proporcional en la calidad del producto.

En conjunto, los puntajes muestran que la **Alternativa 3** es la única que ofrece un equilibrio adecuado entre **calidad verificable, progresividad institucional, competitividad internacional y costos proporcionados**, convirtiéndose, según los resultados del AMC, en la alternativa con mejor desempeño relativo para abordar el problema público identificado en materia de calidad del hidrógeno y sus derivados.

Tabla 6. Resultados del Análisis Multicriterio – Calidad del Hidrógeno y sus Derivados. Elaboración propia.

Alternativa	Total
1. Business as usual	1,5
2. Difusión técnica	2,7
3. Oblig. paulatina / habilitante	3,8
4. Obligatoria total	2,2

La aplicación de los criterios de evaluación y ponderación muestran lo siguiente:

- **Alternativa 1. Business as usual:** Comprobación de pureza y trazabilidad a esquemas privados o internacionales de adopción voluntaria, manteniendo dependencia tecnológica y sobre costos por recertificación en el exterior. Limita la competitividad, el seguimiento y control estatal y el acceso a mercados.
- **Alternativa 2. Difusión técnica:** Fortalece el conocimiento sobre estándares de pureza, muestreo y etiquetado, mejorando prácticas y transparencia, pero sin mecanismos obligatorios de verificación.
- **Alternativa 3. Habilitante con obligatoriedad paulatina:** Establece progresivamente la evaluación de la conformidad y la adopción de normatividad, impulsando la creación de capacidades locales de ensayo, acreditación y metrología. Permite transiciones según la disponibilidad de infraestructura técnica y la verificación estatal sobre el cumplimiento de estándares de pureza del hidrógeno producido.

²⁹ Dentro de las normas internacionales se encuentran ISO, IEC y OIML.

- **Alternativa 4. Obligatoria total:** Exigiría cumplimiento inmediato de todas las normas técnicas, con altos costos para laboratorios y operadores. Sin la madurez del SICAL, sería de baja viabilidad y riesgo de incumplimiento generalizado.

Resultado: La **Alternativa 3** (habilitante con obligatoriedad progresiva) obtiene el mayor puntaje ponderado (3,8 según la tabla), por lo que presenta el mejor desempeño relativo en el AMC para el componente de calidad. Este resultado debe interpretarse, desde la metodología del AMC, como una recomendación de intervención prioritaria de carácter habilitante, centrada en cerrar brechas de capacidades del SICAL (metrología, ensayos, acreditación y verificación), y no como una decisión de imponer regulación inmediata o total sobre calidad.

En línea con el diagnóstico, la prioridad en calidad es fortalecer capacidades e infraestructura para asegurar mediciones confiables y comparables; solo una vez consolidadas dichas capacidades sería procedente evaluar ex post, con evidencia adicional, si existe necesidad y proporcionalidad de avanzar hacia mecanismos obligatorios (p. ej., etiquetado, trazabilidad u otros). En este sentido, el curso de acción recomendado se entiende como una intervención consistente con el AIN en la medida en que estructura un plan habilitante y evaluable, sin anticipar la adopción de obligaciones técnicas vinculantes.

5.4. Análisis de impactos para la calidad en la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados (AMC)

El presente análisis se estructura a partir de los criterios definidos previamente, efectividad para calidad, seguridad jurídica, competitividad y armonización internacional, costos y eficiencia regulatoria, infraestructura nacional de calidad e impacto social, y examina los efectos esperados en términos económicos, operativos, institucionales y de aceptación pública. Asimismo, incorpora consideraciones sobre la disponibilidad de infraestructura metrológica, la capacidad de certificación nacional, la madurez del mercado y las implicaciones para el consumidor final.

Este capítulo compara el desempeño relativo de las alternativas bajo un enfoque de proporcionalidad y evidencia, identificando aquellas que generan mejoras verificables en calidad del producto y confianza del mercado sin imponer cargas excesivas ni sobrerregulación. El resultado permite orientar la selección de la alternativa que mejor balancea viabilidad técnica, competitividad internacional e incentivos para el desarrollo industrial del hidrógeno y sus derivados en Colombia.

5.4.1 Línea de base (*Business as usual*)

En ausencia de intervención, la verificación de pureza, composición y trazabilidad del hidrógeno y sus derivados continuaría dependiendo en gran medida de laboratorios y servicios de certificación ubicados en el exterior.

- **Efectividad: Riesgo alto.** No existen mecanismos obligatorios de verificación, lo que permite variabilidad en calidad, ausencia de trazabilidad y riesgo de información no verificable.
- **Seguridad jurídica y coherencia normativa: Riesgo alto.** Falta marco obligatorio de calidad y etiquetado; persisten vacíos normativos y alto grado de discrecionalidad.

- **Competitividad y armonización internacional: Riesgo alto.** La ausencia de infraestructura acreditada y protocolos nacionales limita la compatibilidad con normas internacionales y el acceso a mercados exigentes.
- **Impacto social, ambiental y aceptación pública: Riesgo medio-alto.** La falta de información verificable afecta la confianza del consumidor y dificulta la evaluación de impactos reales.
- **Costos y eficiencia regulatoria: Riesgo medio.** Menores cargas iniciales, pero mayores costos futuros por dependencia del exterior y procesos duplicados de certificación.
- **Implementabilidad institucional: Riesgo alto.** Las autoridades carecen de herramientas para supervisar, verificar o sancionar información de calidad.

En síntesis, esta alternativa sirve como línea de referencia, pero no resuelve el problema público identificado ni permite el desarrollo competitivo y confiable del hidrógeno en el país,

5.4.2. Fortalecimiento técnico y transferencia de conocimiento

Esta alternativa se concentra en cerrar brechas mediante la formación de talento humano, adquisición de equipos, cooperación internacional, interoperabilidad con estándares globales y el fortalecimiento inicial del Instituto Nacional de Metrología, ICONTEC, ONAC y laboratorios universitarios o privados.

- **Efectividad: Riesgo medio.** Mejora capacidades y metodologías, pero aún no garantiza verificación obligatoria ni homogeneidad en calidad del producto.
- **Seguridad jurídica y coherencia normativa: Riesgo medio.** Permite preparar lineamientos y guías, pero todavía no otorga certeza regulatoria plena.
- **Competitividad y armonización internacional: Riesgo medio-bajo:** Aumenta compatibilidad técnica con estándares globales, aunque sin obligatoriedad aún limitada.
- **Impacto social, ambiental y aceptación pública: Riesgo medio.** Mejora percepción y conocimiento, pero no asegura información verificable para el consumidor.
- **Costos y eficiencia regulatoria: Riesgo medio-bajo.** Costos razonables para empresas; inversión inicial moderada para el Estado con alto efecto habilitante.
- **Implementabilidad institucional: Riesgo medio-bajo.** Altamente implementable y escalable; fortalece capacidades sin sobrecargar al Estado.

Es una alternativa habilitante, pero insuficiente por sí sola para garantizar calidad verificable sin medidas adicionales.

5.4.3. Modelo habilitante con incentivos e infraestructura nacional de calidad

Esta alternativa introduce incentivos económicos y de cooperación internacional para acelerar la acreditación de laboratorios, fortalecer al Instituto Nacional de Metrología, articular el SICAL para el hidrógeno y establecer protocolos de muestreo, ensayo, reporte y trazabilidad diferenciados por uso final (movilidad, industrial, energético).

- **Efectividad: Riesgo bajo.** Permite verificar pureza y composición con infraestructura nacional acreditada.
- **Seguridad jurídica y coherencia normativa. Riesgo bajo:** Se consolida un marco reglamentario gradual, claro y alineado con la OMC/OTC y Decreto 1595/2015.
- **Competitividad y armonización internacional: Riesgo bajo.** Acelera la equivalencia técnica con normas internacionales y facilita exportación y comercio sostenible.
- **Impacto social, ambiental y aceptación pública: Riesgo bajo.** Aumenta la confianza ciudadana mediante información veraz y trazable.

- **Costos y eficiencia regulatoria: Riesgo medio.** Requiere inversiones iniciales moderadas, pero reduce costos futuros y mejora eficiencia del mercado.
- **Implementabilidad institucional: Riesgo medio-bajo.** Requiere articulación del SICAL, pero es gobernable y permite implementación gradual.

Es la alternativa más equilibrada, con alta efectividad y sostenibilidad institucional.

5.4.4. Regulación obligatoria inmediata sobre pureza y etiquetado

Impone requisitos técnicos uniformes desde el inicio para todas las aplicaciones, sin etapas habilitantes previas ni fortalecimiento previo del SICAL.

- **Efectividad: Riesgo medio.** Formalmente exige calidad, pero sin infraestructura para verificarla genera incumplimientos y datos no confiables.
- **Seguridad jurídica y coherencia normativa: Riesgo medio-bajo.** Proporciona reglas claras, pero apresura su aplicación sin capacidades suficientes.
- **Competitividad y armonización internacional: Riesgo medio.** Puede alinear estándares, pero el riesgo de incumplimiento afecta reputación internacional.
- **Impacto social, ambiental y aceptación pública: Riesgo medio-bajo.** Mejor información podría beneficiar al usuario, pero puede ser riesgosa si no es verificable.
- **Costos y eficiencia regulatoria: Riesgo alto.** Impone cargas significativas a empresas y al Estado; riesgo de sobre-regulación.
- **Implementabilidad institucional: Riesgo alto.** El país no cuenta hoy con la infraestructura nacional de calidad necesaria para cumplir o hacer cumplir los requisitos.

Esta alternativa resulta prematura y puede generar efectos adversos.

5.4.5. Síntesis comparativa y recomendación

El análisis multicriterio (AMC) evidencia que la prioridad debe centrarse en fortalecer el Sistema Nacional de la Calidad (SICAL) y en desarrollar capacidades nacionales de ensayo, certificación y metrología, apoyadas por incentivos económicos, cooperación internacional y esquemas graduales de implementación.

Una vez consolidada esta infraestructura, el país podrá avanzar hacia medidas obligatorias de etiquetado, trazabilidad y veracidad de la información al consumidor, en cumplimiento de la Ley 1480 de 2011 y el Acuerdo OTC/OMC.

Recomendación: La alternativa habilitante con incentivos e infraestructura nacional de calidad es la más efectiva, sostenible y coherente con las capacidades institucionales actuales. Debe complementarse, previa evaluación ex post y disponibilidad de capacidades técnicas suficientes, con regulación obligatoria escalonada cuando existan condiciones técnicas suficientes para garantizar su cumplimiento.

5.5. Conclusión del capítulo

El Análisis Multicriterio (AMC) aplicado de manera integrada a la seguridad y a la calidad del hidrógeno y sus derivados muestra que las alternativas de obligatoriedad progresiva basada en riesgo (para seguridad) y modelo habilitante con incentivos e infraestructura nacional de calidad

(para calidad) son las que, según los resultados del AMC, ofrecen la mejor relación entre efectividad técnica, proporcionalidad de costos, competitividad internacional e implementabilidad institucional. Ambas alternativas muestran una mayor capacidad para reducir de forma verificable los riesgos, fortalecer la confianza del mercado y consolidar capacidades nacionales, evitando al mismo tiempo los efectos adversos de la sobrerregulación o de la inacción regulatoria.

En contraste, la línea de base (Business as usual) y los esquemas centrados exclusivamente en difusión técnica o fortalecimiento de capacidades se valoran como condiciones necesarias, pero no suficientes: mejoran el nivel de información y preparación del sector, pero no corrigen de manera estructural el problema público, al carecer de obligaciones exigibles, mecanismos de evaluación de la conformidad y herramientas efectivas de inspección, vigilancia y control. Por su parte, los esquemas de obligatoriedad total e inmediata resultan desproporcionados frente al estado actual del mercado y las capacidades del SICAL, generan cargas regulatorias elevadas y presentan alta probabilidad de incumplimiento generalizado, sin garantizar mejoras equivalentes en seguridad ni calidad.

En consecuencia, el capítulo concluye que la **política regulatoria para el hidrógeno y sus derivados debe adoptar un enfoque secuencial y basado en riesgo**, que combine: (i) una fase inicial de difusión, fortalecimiento de capacidades y desarrollo de infraestructura nacional de calidad, y (ii) la introducción gradual de obligaciones técnicas y de evaluación de la conformidad, priorizando los eslabones y usos de mayor riesgo y madurez tecnológica. Este enfoque es consistente con las buenas prácticas de la OCDE, con el principio de proporcionalidad previsto en el Acuerdo OTC/OMC y con las capacidades institucionales actuales del Estado colombiano.

Bajo este marco, la alternativa de obligatoriedad progresiva en seguridad y el modelo habilitante con incentivos para la calidad se configuran como la base técnica y jurídica para una eventual propuesta regulatoria que se desarrolla en los capítulos siguientes, orientada a construir un mercado de hidrógeno seguro, trazable, competitivo y alineado con las mejores prácticas internacionales, al servicio del interés público y de la transición energética del país.

07. Toma de decisión

6.1. Fundamentación general de la decisión

La toma de decisión constituye la fase final del AIN, en la cual se selecciona la alternativa que, con base en la evidencia técnica³⁰, jurídica y económica recopilada en este documento, resulta más adecuada, necesaria y proporcional para atender el problema público identificado.

A partir de la comparación de las cuatro alternativas (*business as usual*, esquema de difusión, esquema de obligatoriedad paulatina y esquema de obligatoriedad total) mediante el análisis multicriterio y la validación participativa desarrollada en el taller técnico, se identifican las siguientes alternativas, como las de mejor desempeño relativo para la seguridad y calidad analizados:

- **Seguridad del hidrógeno y sus derivados:** La Alternativa 3 (esquema de obligatoriedad paulatina) según los resultados del AMC, alcanza el mejor desempeño integral, al equilibrar efectividad en reducción de riesgos, viabilidad técnica y sostenibilidad institucional. Las alternativas 1 y 2 muestran un impacto limitado frente al riesgo de seguridad (la primera mantiene el estado actual y la segunda se concentra en habilitación sin mecanismos de exigibilidad), mientras que la alternativa 4, aunque incrementa formalmente las exigencias, presenta riesgos de sobrerregulación, mayores costos y baja implementabilidad en la etapa actual del mercado.
- **Componente de calidad del hidrógeno:** La Alternativa 3 (enfoque habilitante con gradualidad condicionada) obtiene el mayor puntaje ponderado por lo que presenta el mejor desempeño relativo. Este resultado debe interpretarse como una recomendación de intervención prioritaria habilitante, enfocada en cerrar brechas de capacidades del SICAL (metrología, ensayos, acreditación y verificación), sin que ello implique una decisión de imponer regulación inmediata o total sobre calidad. Solo una vez consolidadas dichas capacidades sería procedente evaluar ex post, con evidencia adicional, si existe necesidad y proporcionalidad de avanzar hacia mecanismos obligatorios.

En consecuencia, el curso de acción recomendado a partir de la alternativa seleccionada se concibe con dos líneas de acción articuladas: (i) para seguridad del hidrógeno y sus derivados, la estructuración de un esquema gradual basado en riesgo, con periodos de transición, verificación e implementación progresiva; y (ii) para calidad del hidrógeno, un plan habilitante de fortalecimiento de infraestructura y capacidades, con evaluación posterior sobre la eventual necesidad de medidas obligatorias.

³⁰ Para mayor profundización técnica se sugiere revisar el Documento técnico de Soporte, anexo a este AIN que presenta un análisis y priorización de normas técnicas de seguridad, diferenciadas por eslabón de la cadena de valor para el hidrógeno, metanol y amoniaco.

Para el componente de seguridad del hidrógeno y sus derivados, el curso de acción contempla, en caso de adoptarse por la autoridad competente, una hoja de ruta técnica y jurídica que incluya: (a) clasificación de riesgos por eslabón de la cadena de valor; (b) identificación de normas y estándares aplicables como referencias técnicas; (c) definición de mecanismos de evaluación de la conformidad y fortalecimiento de capacidades; y (d) articulación interinstitucional con normalización, metrología, acreditación y vigilancia de mercado, conforme a competencias.

6.2. Verificación de límites materiales de constitucionalidad de las alternativas seleccionadas para seguridad y calidad

En observancia del principio de supremacía constitucional y de la jurisprudencia de la Corte Constitucional, se realizó una revisión preliminar de compatibilidad constitucional de las alternativas seleccionadas respeta los límites materiales de constitucionalidad, así:

Aspecto de control constitucional	Resultado de la verificación
Reserva de ley	En principio, las alternativas pueden implementarse mediante instrumentos del Ejecutivo en desarrollo de la potestad reglamentaria (art. 189.11 C.P.) y de competencias legales sectoriales, en la medida en que se limiten a desarrollar marcos legales existentes dentro de competencias atribuidas (p. ej., lineamientos operativos, esquemas de gradualidad, reglamentos técnicos cuando proceda y mecanismos de evaluación de la conformidad dentro del SICAL). Si el diseño final incorporara creación de nuevas autoridades, establecimiento de regímenes sancionatorios nuevos no previstos, restricciones sustantivas adicionales o instrumentos que requieran habilitación legal expresa, será necesario actualizar la verificación y evaluar si se configura materia de reserva de ley.
Afectación del núcleo esencial de derechos	Las alternativas no deberían afectar el núcleo esencial de la libertad económica, el derecho al trabajo o la libre competencia si las medidas se diseñan y aplican conforme a necesidad, proporcionalidad y razonabilidad, con enfoque basado en riesgo y gradualidad. Se reconoce que podrían imponer cargas o restricciones; su compatibilidad dependerá del diseño final, del sustento de riesgo y de salvaguardas para evitar barreras injustificadas, especialmente para nuevos entrantes.
Finalidad constitucional y objetivo legítimo	Las alternativas persiguen fines constitucionalmente legítimos: protección del consumidor e información veraz (art. 78 C.P.), protección del ambiente (arts. 79 y 80 C.P.) y dirección/intervención del Estado en la economía cuando sea necesario (art. 334 C.P.), además de gestión del riesgo y seguridad. La referencia al Acuerdo OTC/TBT opera como parámetro de consistencia internacional y buena práctica regulatoria (evitar barreras innecesarias), no como fuente de finalidad constitucional.
Confianza Legítima y Transición	En regulación económica, por regla general no existen “derechos adquiridos” frente a la inmutabilidad del marco regulatorio. Sin embargo, ambas alternativas contemplan transición razonable y adaptación progresiva (en seguridad por gradualidad; en calidad por fortalecimiento habilitante previo), lo que contribuye a proteger expectativas legítimas (confianza legítima) y reduce impactos desproporcionados, especialmente en un sector emergente.
Coherencia con objetivos públicos	Las alternativas son compatibles, en términos de orientación, con metas de transición energética y descarbonización (incluido el PND y lineamientos sectoriales), siempre que el instrumento resultante mantenga coherencia, coordinación interinstitucional, enfoque basado en riesgo y proporcionalidad. Esta alineación no sustituye la carga de justificar la medida con evidencia, ni su consistencia con la disciplina OTC/TBT cuando implique reglamentos técnicos.

Conclusión: Con base en esta revisión preliminar, las alternativas seleccionadas resultan en principio compatibles con la Constitución, condicionada a que su diseño final respete la distribución de competencias, supere un análisis de proporcionalidad y cuente con mecanismos de transición razonable. De requerirse componentes con reserva de ley o cambios institucionales sustantivos, la verificación deberá actualizarse conforme al contenido definitivo del instrumento.

6.3. Verificación preliminar de discrecionalidad y proporcionalidad (artículo 44 del CPACA) de las alternativas seleccionadas para seguridad y calidad

De conformidad con el artículo 44 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo (CPACA), se revisó la decisión frente a los límites materiales de legalidad:

Aspecto de control de legalidad	Resultado de la verificación
Proporcionalidad de la decisión frente a los hechos	La medida seleccionada es proporcional al nivel de riesgo identificado en la cadena de valor del hidrógeno. No impone obligaciones superiores a la magnitud del problema regulatorio.
Adecuación a los fines de la norma habilitante	La decisión es adecuada para cumplir los fines previstos en la Ley 1715 de 2014 y el Decreto 1595 de 2015, al fortalecer la infraestructura de calidad y promover la adopción segura del hidrógeno.
Idoneidad y necesidad	La regulación progresiva es el medio menos lesivo y más idóneo para alcanzar los objetivos públicos, comparado con la inacción o la obligatoriedad total.
Razonabilidad	Los medios empleados son razonables en relación con los fines perseguidos y permiten un equilibrio entre la protección de bienes jurídicos superiores y el desarrollo económico.

Conclusión: Las medidas son constitucionalmente legítimas, ya que desarrollan los fines sociales del Estado, protege bienes jurídicos superiores y mantiene la libertad económica dentro de los límites del interés público. De manera preliminar, las alternativas seleccionadas se encuentran ajustadas a los límites materiales del artículo 44 del CPACA (adecuación a los fines de la norma habilitante y proporcionalidad frente a los hechos), en la medida en que su diseño final mantenga la gradualidad y se justifique con evidencia del riesgo.

6.4. Test de proporcionalidad de las alternativas seleccionadas para seguridad y calidad

De acuerdo con la jurisprudencia de la Corte Constitucional (Sentencias C-093/2001, C-835/2003, C-022/2019, entre otras), se realizó una evaluación preliminar de proporcionalidad de las alternativas seleccionadas, condicionada al contenido definitivo del instrumento y a su implementación efectiva, con los siguientes resultados:

Elemento	Evaluación
Idoneidad	Seguridad (Alternativa 3 – obligatoriedad paulatina): resulta idónea para contribuir a la gestión del riesgo y a la reducción de la probabilidad/severidad de incidentes en la cadena del hidrógeno y sus derivados, en la medida en que incorpora un enfoque basado en riesgo, gradualidad y mecanismos verificables. Calidad (Alternativa 3 – enfoque habilitante con gradualidad condicionada): la idoneidad se entiende principalmente en términos de fortalecimiento de capacidades e infraestructura del SICAL (metrología, ensayos, acreditación y evaluación de la conformidad) y reducción de asimetrías de información, sin presuponer obligaciones técnicas inmediatas.
Necesidad	Seguridad: con base en el análisis comparado del AIN, la alternativa seleccionada se considera necesaria en términos relativos, dado que alternativas menos intensas (p. ej., solo difusión/capacidades) presentan limitaciones para asegurar una gestión consistente del riesgo a lo largo de la cadena, mientras que alternativas más intensas (obligatoriedad total) pueden generar cargas desproporcionadas e inejecutabilidad.

Elemento	Evaluación
	Calidad: la necesidad se justifica en la priorización de medidas habilitantes frente a un diagnóstico centrado en brechas de capacidades; se considera que fortalecer infraestructura de calidad es el medio menos gravoso para mejorar verificabilidad y comparabilidad en la etapa actual del mercado, dejando la adopción de obligaciones técnicas para una evaluación ex post si llegare a demostrarse necesidad y proporcionalidad.
Proporcionalidad en sentido estricto	Seguridad: los beneficios esperados (reducción de exposición a riesgos, mayor consistencia operativa y mejor capacidad de verificación) superan las cargas, en la medida en que el esquema incorpora gradualidad, periodos de transición y focalización por riesgo. Calidad: los beneficios del enfoque habilitante (reducción de dependencia externa, fortalecimiento institucional y mejora de confiabilidad de mediciones) superan los costos iniciales de creación/fortalecimiento de capacidades, al evitar imponer cargas obligatorias generalizadas en una etapa donde la principal brecha es técnica e institucional.

Conclusión: En consecuencia, de manera preliminar, las alternativas seleccionadas satisfacen el juicio de proporcionalidad en los términos señalados y son coherentes con el mandato del artículo 44 del CPACA de asegurar que las decisiones discrecionales sean adecuadas a los fines y proporcionales a los hechos, sin que ello sustituya la justificación detallada que deberá acompañar el diseño definitivo de los instrumentos.

6.5. Conclusión de la toma de la decisión.

Con base en el AMC, la revisión preliminar de constitucionalidad y legalidad y la evaluación preliminar de proporcionalidad, el AIN concluye que las siguientes alternativas mejor satisfacen los fines constitucionales, legales, económicos y técnicos de la intervención:

En el componente de seguridad, la Alternativa 3 (esquema de obligatoriedad paulatina) es la opción que mejor satisface, en términos relativos, los fines constitucionales, legales, económicos y técnicos asociados a la gestión del riesgo, al combinar efectividad, gradualidad y viabilidad de implementación. Su adopción permitiría: (i) introducir progresividad regulatoria basada en riesgo, evitando choques abruptos en un mercado en desarrollo; (ii) fortalecer la protección de bienes jurídicos relevantes (vida, salud, seguridad industrial y ambiente); (iii) mejorar la previsibilidad y coordinación institucional para la verificación y el cumplimiento; y (iv) mantener consistencia con buenas prácticas regulatorias y con la disciplina internacional aplicable (OTC/TBT), evitando cargas desproporcionadas.

En el componente de calidad, el resultado del AMC para la Alternativa 3 debe interpretarse como una recomendación de intervención prioritaria habilitante, orientada a cerrar brechas de capacidades del SICAL (metrología, ensayos, acreditación y evaluación de la conformidad) y a mejorar la verificabilidad y comparabilidad de la información técnica, sin presuponer la adopción inmediata de requisitos obligatorios. Una vez consolidadas estas capacidades, podrá evaluarse ex post —con evidencia adicional— si existe necesidad y proporcionalidad de avanzar hacia mecanismos obligatorios de calidad.

En consecuencia, la toma de decisión sustenta una hoja de ruta con dos líneas de acción articuladas: (i) para seguridad, el diseño e implementación gradual de instrumentos obligatorios basados en riesgo, con periodos de transición y mecanismos verificables; y (ii) para calidad, el fortalecimiento habilitante de infraestructura y capacidades, con evaluación posterior sobre la conveniencia de obligaciones vinculantes. La eventual expedición de instrumentos normativos

(incluidos reglamentos técnicos cuando proceda) se desarrollará por la autoridad competente y deberá mantener coherencia competencial, proporcionalidad y viabilidad institucional.

08. Implementación, Cumplimiento y Evaluación ExPost

7.1. Implementación

Para efectos del Análisis de Impacto Normativo, la implementación de una eventual intervención en materia de seguridad y calidad del hidrógeno y sus derivados se concibe como un proceso gradual y diferenciado, que podría desarrollarse de manera específica para cada componente, considerando la necesidad de una secuencia progresiva de acciones y la articulación entre las entidades con competencias sectoriales y técnicas, en particular aquellas que integran el Subsistema Nacional de la Calidad (SICAL).

Desde esta perspectiva, el análisis de implementación tiene como propósito evaluar la viabilidad de esquemas progresivos y proporcionales que permitan estimar en qué medida la acción pública podría contribuir a una gestión más segura y a condiciones verificables de calidad del hidrógeno y sus derivados a lo largo de la cadena de valor.

Este enfoque no implica la adopción anticipada de decisiones regulatorias ni la definición de arreglos institucionales definitivos, los cuales, de ser el caso, deberán establecerse en etapas posteriores del proceso de decisión pública, una vez evaluadas las alternativas de intervención.

En coherencia con la toma de decisión del AIN, la implementación se estructura así:

Seguridad: un esquema de obligatoriedad paulatina basado en riesgo, con fases y periodos de transición.

Calidad: un enfoque habilitante centrado en cierre de brechas del SICAL (metrología, ensayos, acreditación y evaluación de la conformidad), dejando cualquier exigibilidad obligatoria para una evaluación ex post si llegare a demostrarse necesidad y proporcionalidad.

7.1.1. Implementación para la seguridad del hidrógeno y sus derivados.

La implementación en materia de seguridad se concibe, para efectos del AIN, como un proceso gradual y diferenciado que podría debe priorizar la reducción de riesgos críticos (fugas, explosiones, fragilización, incendios) en cada eslabón de la cadena de valor, bajo un enfoque preventivo, proporcional y basado en riesgo, que involucre de manera articulada a las autoridades competentes, la industria y los cuerpos de respuesta.

Con el fin de evaluar la viabilidad de una eventual intervención, se plantea de manera indicativa el siguiente esquema de fases:

Fase 1 – Difusión y fortalecimiento (0–18 meses):

- Inventario y priorización por eslabón, de normas y referencias técnicas nacionales e internacionales aplicables a la seguridad ³¹.
- Identificación y clasificación de temas críticos que, en función de su relevancia para la gestión del riesgo, que podrían ser considerados para una eventual incorporación regulatoria (detección de fugas, ventilación, calibración de equipos, materiales compatibles, entre otros).
- Espacios de intercambio de buenas prácticas y lecciones aprendidas (sin carácter vinculante)
- Materiales de referencia y formación (modulos, fichas técnicas), no obligatorios, orientados a nivelar capacidades de operadores, autoridades territoriales y respuesta a emergencias.
- programas de capacitación y simulacros (interoperabilidad), como insumo para diagnosticar capacidades de respuesta.

Nota Metodológica: Los documentos de referencia elaborados en esta fase no constituyen reglamentos técnicos ni criterios obligatorios de IVC, salvo que posteriormente sean incorporados mediante el instrumento jurídico competente.

Fase 2 – Adopción progresiva (18–36 meses):

- Integración sistemática de metodologías de análisis de riesgos de procesos como HAZID, HAZOP y SIL, en el diseño y evaluación de proyectos, particularmente en instalaciones de mayor complejidad o exposición.
- Evaluación de la conveniencia de incorporar de manera gradual normas técnicas críticas para instalaciones de alto riesgo, tales como (electrólisis, compresión, almacenamiento criogénico, transporte presurizado y HRS), con periodos de transición y enfoque de desempeño.
- Desarrollo de protocolos nacionales de preparación y respuesta (emergencia) y de un esquema de información de incidentes, como insumos para la gestión del riesgo y el aprendizaje institucional, con definición de alcance y gradualidad.
- Análisis de posibles esquemas de gobernanza y distribución de funciones institucionales, cuya definición corresponderá a etapas posteriores del proceso regulatorio.

Fase 3 – Consolidación y mejora continua (36–60 meses):

- Evaluación de los resultados de las medidas implementadas y revisión periódica de los estándares técnicos adoptados.

³¹ El Documento técnico de Soporte, anexo a este AIN, presenta un análisis y priorización de normas técnicas de seguridad, diferenciadas por eslabón de la cadena de valor para el hidrógeno, metanol y amoníaco.

- Integración progresiva de indicadores de seguridad en los sistemas de supervisión sectorial.

Evaluación de la conveniencia de avanzar hacia mayores niveles de exigibilidad en segmentos de mayor exposición al riesgo, conforme a la evidencia técnica disponible y la capacidad institucional existente.

Entidades con competencia o participación potencial: Ministerio de Minas y Energía, UPME, organismos del Sistema Nacional de la Calidad (ICONTEC, ONAC, INM), Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Superintendencia de Industria y Comercio, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Transporte, Ministerio de Salud, autoridades territoriales, cuerpos de respuesta, según la alternativa de intervención que eventualmente se adopte (UNGRD, DNBC), además de actores privados identificados como participantes de la cadena de valor del Hidrógeno y sus derivados, según corresponda.

7.1.2. Implementación para la calidad del hidrógeno y sus derivados.

Para efectos del Análisis de Impacto Normativo, la implementación en materia de calidad se concibe como un proceso progresivo cuya prioridad es asegurar la confiabilidad metrológica, la trazabilidad y la comparabilidad internacional de los resultados de ensayo, considerando el fortalecimiento gradual de las capacidades técnicas del país antes de valorar la conveniencia de eventuales esquemas de certificación o exigibilidad obligatoria.

Con el fin de analizar la viabilidad de una posible intervención, se plantea de manera indicativa el siguiente esquema de fases:

Fase 1 – Fortalecimiento institucional (0–18 meses):

- Mapeo y priorización de normas de calidad aplicables³², considerando su pertinencia según los distintos usos finales del hidrógeno y sus derivados.
- Fortalecimiento de la agenda de normalización del Comité Técnico 259 de ICONTEC como responsable de la normalización en materia de hidrógeno, para identificar brechas, equivalencias y prioridades nacionales.
- Diseño de un programa de fortalecimiento: metrología, sobre muestreo, etiquetado y ensayo, ruta de acreditación de laboratorios (ONAC) y requerimientos técnicos (INM). Materiales de referencia (no vinculantes) sobre muestreo/ensayo como insumo para homogenizar prácticas.

Fase 2 – Implementación progresiva (18–36 meses):

- Habilitación progresiva de laboratorios con capacidades pertinentes (ensayos de pureza, humedad, oxígeno, monóxido de carbono y otros contaminantes relevantes según su uso)
- Desarrollo de esquemas voluntarios acuerdos de reconocimiento mutuo (ARM) con organismos internacionales reconocidos, como mecanismo para facilitar la comparabilidad y aceptación de resultados de ensayo.

³² El Documento técnico de Soporte y el Inventario Normativo, ambos anexos a este AIN, presentan el mapeo y priorización de estándares de calidad aplicables a cada eslabón de la cadena de valor del hidrógeno y derivados. Dentro del Documento se detallan normas como NTC-ISO 14687 de pureza del hidrógeno.

- Desarrollo de esquemas de certificación de producto y etiquetado como instrumentos de mercado para fortalecer la transparencia y la confianza en la calidad del hidrógeno (si se considera útil).

Fase 3 – Consolidación (36–60 meses):

- Revisión de desempeño del sistema habilitante (metrología, ensayos, acreditación, certificación voluntaria).
- Evaluación ex-post e la necesidad y proporcionalidad de avanzar hacia mayores niveles de exigibilidad en materia de calidad y etiquetado según madurez del mercado, la evidencia técnica disponible y la capacidad institucional existente.
- Integración de información sobre calidad del hidrógeno en los reportes técnicos como insumo de mercado y política pública (sin imponer obligaciones nuevas, salvo justificación posterior).

Entidades con competencia o participación potencial: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (coordinación SICAL), INM, ONAC, ICONTEC y Superintendencia de Industria y Comercio (vigilancia de mercado), con articulación sectorial del Ministerio de Minas y Energía.

7.2. Cumplimiento y mecanismos de control

Para efectos del AIN, el cumplimiento se promoverá mediante un enfoque de acompañamiento, autorregulación y supervisión basada en riesgo, evitando cargas desproporcionadas y fortaleciendo la cultura de seguridad y calidad dentro del ecosistema del hidrógeno. Los mecanismos específicos dependerán del instrumento que eventualmente se adopte y de la distribución de competencias.

7.2.1. En materia de seguridad

El control se basará en criterios técnicos de inspección, priorizando los proyectos con mayor exposición o complejidad tecnológica.

Instrumentos potenciales:

- Protocolos de verificación basados en riesgo (herramientas técnicas), evitando que documentos pedagógicos se conviertan en requisitos implícitos.
- Sistema de reporte de incidentes y cuasi-incidentes: inicialmente voluntario o gradual, con evaluación de conveniencia de obligatoriedad por nivel de riesgo.
- Sistema de información para aprendizaje institucional.
- Esquemas de equivalencia/aceptación de certificaciones emitidas por organismos acreditados, cuando aplique.
- Auditorías/inspecciones por organismos de evaluación de la conformidad acreditados, según diseño.

La facultad de control y verificación en seguridad se distribuye entre autoridades sectoriales y de IVC según el eslabón (trabajo, transporte, ambiente y entidades territoriales), mientras que el SICAL (MinCIT–INM–ONAC–ICONTEC) habilita la infraestructura de evaluación de conformidad; el MME cumple un rol de coordinación sectorial y articulación.

Indicadores de cumplimiento:

- Tasa de incidentes y cuasi-incidentes/año. Este permite medir de manera objetiva la efectividad de las estrategias de inspección y prevención, reflejando tanto la seguridad operativa como la madurez institucional en la gestión del riesgo.
- % de instalaciones auditadas según nivel de riesgo.
- Tiempo promedio de respuesta a emergencias.

7.2.2. En materia de calidad

El control de calidad se enfocará en garantizar la confiabilidad de los ensayos, la trazabilidad metrológica y la validez de resultados, principalmente mediante capacidades habilitantes

Instrumentos clave:

- Mecanismos de reconocimiento de resultados de ensayo nacionales e internacionales.
- Registro público de laboratorios acreditados y organismos de certificación.
- Supervisión por muestreo del cumplimiento de especificaciones de pureza y etiquetado.
- Si existieran esquemas voluntarios de certificación/etiquetado: repositorio público de certificados para transparencia (sin convertirlo en exigencia obligatoria).

Indicadores de cumplimiento:

- % de ensayos realizados en laboratorios acreditados.
- N.º de certificados de conformidad emitidos con reconocimiento internacional como indicador de madurez del sistema de evaluación de la conformidad en el largo plazo³³.
- Tiempos y costos promedio de certificación.

7.3. Evaluación ex post

Se recomienda establecer un **mecanismo técnico de seguimiento continuo y revisión periódica, con evaluaciones estructurales cada 3–5 años**, que permita evaluar la efectividad de las medidas adoptadas en materia de seguridad y calidad del hidrógeno y sus derivados, basado en indicadores verificables y procesos participativos de consulta con el sector público y privado.

Este mecanismo no implica la creación de nuevas obligaciones regulatorias por sí mismo, plantea la consolidación de un espacio técnico de evaluación continua que asegure la mejora progresiva del marco técnico, la actualización de normas y la alineación con los estándares internacionales emergentes.

La revisión deberá considerar:

- La evolución de los incidentes e impactos económicos, sociales y ambientales relacionados con el hidrógeno y sus derivados.
- El grado de cumplimiento y efectividad de las medidas técnicas aplicadas.
- La retroalimentación proveniente del sector industrial, académico y de las comunidades.

³³ Se trata de un indicador a largo plazo. El certificado de conformidad es la evaluación de la conformidad es el proceso mediante el cual se determina si un producto, servicio, sistema o persona cumple con los requisitos especificados en un reglamento técnico o en una norma técnica.

- La incorporación de innovaciones tecnológicas y mejores prácticas internacionales.

Se recomienda que el seguimiento y revisión periódica esté a cargo de un **Comité Técnico Interinstitucional de Seguimiento para la Seguridad y Calidad del Hidrógeno**, liderado por el Ministerio de Minas y Energía, con participación del Instituto Nacional de Metrología, ONAC, ICONTEC, ANDI, Ministerio de Comercio Industria y Turismo, y asociaciones representantes del sector privado, orientado a monitorear avances, identificar brechas y recomendar ajustes técnicos o programáticos, sin perjuicio de las competencias sectoriales vigentes en materia de seguridad industrial, ambiental y gestión del riesgo químico.

Este sistema de revisión técnica continúa permitirá mantener la coherencia entre los objetivos de protección de la vida, la salud y el ambiente, y la competitividad e innovación del sector del hidrógeno y sus derivados.

La regulación que se adopte en materia de seguridad y calidad del hidrógeno y sus derivados deberá cumplir, de manera estricta, con los requisitos de participación ciudadana y consulta pública previstos en el ordenamiento jurídico colombiano. La Constitución Política, en su artículo 2°, establece como uno de los fines esenciales del Estado facilitar la participación de todos en las decisiones que los afectan y en la vida económica, política, administrativa y cultural de la Nación.

La Guía para la Consulta Pública en el Proceso de Producción Normativa (DNP, 2023) define la consulta pública como un instrumento de gobernanza regulatoria orientado a fortalecer la confianza entre el Estado y los actores involucrados; mejorar la transparencia y calidad técnica de las normas; corregir asimetrías de información; promover la co-creación normativa; y facilitar la implementación, el cumplimiento y la evaluación futura. La guía distingue dos momentos de participación:

- a) **Consulta previa o técnica**, dirigida a sectores estratégicos o expertos para fortalecer el diagnóstico y la formulación del AIN.
- b) **Consulta final o pública**, una vez culminado el AIN, que permite recoger aportes amplios sobre la propuesta normativa antes de su expedición.

La elaboración del presente Análisis de Impacto Normativo (AIN) incorporó un proceso de participación previa o técnica, orientado a fortalecer el diagnóstico, validar el análisis multicriterio y examinar la viabilidad técnica y jurídica de las alternativas regulatorias evaluadas.

09. Reporte de consulta a actores relevantes

8.1. Consulta técnica sectorial (realizada)

Durante la formulación de este AIN se adelantó una consulta técnica multisectorial que combinó un panel de discusión sobre seguridad y calidad en proyectos piloto de hidrógeno y varias mesas de trabajo temáticas. Participaron entidades públicas, organismos del SICAL, gremios, empresas con proyectos piloto y academia, entre ellas, entre otras:

- Ministerio de Minas y Energía
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo
- UPME
- ONAC – Organismo Nacional de Acreditación de Colombia
- ICONTEC – Comité Técnico 259 (Hidrógeno)
- ANDI – Cámara de Hidrógeno
- Ecopetrol, Promigas y empresas desarrolladoras de proyectos de hidrógeno y derivados
- TransMilenio (proyecto piloto de bus urbano a hidrógeno)
- Universidades y centros de investigación

El panel y las mesas permitieron contrastar la experiencia práctica de proyectos piloto (movilidad, pruebas industriales y plantas piloto) con el marco normativo vigente, identificando brechas en infraestructura de laboratorios, homologación de vehículos, capacidades de respuesta a emergencias y coordinación institucional, así como la necesidad de adoptar estándares internacionales (ISO, NFPA, SAE, etc.) como punto de partida para el desarrollo de normas técnicas colombianas.

Los insumos de esta consulta se incorporan de manera directa en el diagnóstico, en la definición de criterios del análisis multicriterio (AMC), y contrastar supuestos de implementación. La definición final de criterios, ponderaciones y conclusiones del AIN fue realizada por el equipo técnico con base en revisión documental, criterios metodológicos y evidencia disponible.

8.1.1. Principales observaciones y su incorporación en el AIN

De la consulta técnica sectorial se derivan, de forma sintetizada, los siguientes hallazgos y su reflejo en el AIN:

1. **Uso de normas internacionales y creación de NTC:** Los proyectos piloto han operado aplicando normas internacionales³⁴ adaptadas al contexto colombiano, lo que impulsó la creación del Comité Técnico 259 de ICONTEC y un conjunto de NTC para hidrógeno, especialmente en movilidad. Esto se refleja en el énfasis del AIN en la armonización internacional y en la propuesta de una obligatoriedad paulatina de normas priorizadas, en lugar de una obligatoriedad total inmediata.

³⁴ Dentro de las que se encuentran NFPA, ISO, SAE, ASTM.

2. **Brechas en infraestructura de calidad y laboratorios:** Se evidenció la ausencia de laboratorios acreditados para verificar la pureza del hidrógeno y sus impurezas críticas, así como fallas de trazabilidad metrológica que obligan a enviar muestras al exterior. El AIN incorpora estas brechas en el análisis de calidad y propone, como condición previa a exigencias obligatorias, un modelo habilitante con fortalecimiento del SICAL, inversión en laboratorios y acreditación por etapas.
3. **Gestión de la seguridad y necesidad de enfoque basado en riesgo:** Los proyectos piloto han manejado la seguridad con estándares equivalentes a instalaciones de alto riesgo, pero en un entorno sin regulación específica y con gran complejidad para articular múltiples autoridades. Se identifican riesgos críticos en fugas, transporte y operaciones de trasvase. Esto sustenta la decisión de separar claramente seguridad y calidad en el análisis, priorizar eslabones de mayor riesgo y recomendar la alternativa de obligatoriedad progresiva acompañada de guías técnicas, capacitación y fortalecimiento de capacidades de respuesta a emergencias.
4. **Calidad diferenciada según uso final e imposibilidad de un estándar único:** Los participantes coincidieron en que los requerimientos de calidad varían según el uso (movilidad, industria, *blending*, derivados), y que en muchos casos la calidad se define contractualmente entre productor y comprador. Un estándar único de pureza podría generar sobrecostos o incompatibilidades con esquemas industriales ya consolidados. El AIN adopta un enfoque diferenciado por aplicaciones, propone que la regulación en calidad sea inicialmente habilitante y se concentre en trazabilidad, información veraz y capacidades verificación, especialmente en usos de interés público.
5. **Importancia de incentivos y de no sobre regular un mercado emergente:** La viabilidad de los pilotos ha dependido de incentivos fiscales y de esquemas flexibles. Se advirtió que una regulación prematura y rígida —por ejemplo, obligatoriedad total sin capacidades técnicas— podría frenar inversiones y proyectos piloto. Esto se refleja en la valoración negativa de la alternativa de obligatoriedad total, en la insistencia en una implementación gradual, y en las recomendaciones sobre incentivos para desarrollar infraestructura metrológica y de certificación antes de imponer obligaciones estrictas.
6. **Necesidad de coordinación interinstitucional y espacios técnicos permanentes.** Se propuso crear una mesa técnica nacional para el manejo seguro del hidrógeno y sus derivados, así como mecanismos de coordinación entre ministerios, SICAL, gremios y desarrolladores, para evitar duplicidades y construir regulación informada por la experiencia de los pilotos. El AIN recoge esta recomendación en el capítulo de implementación, cumplimiento y evaluación ex post, proponiendo un Comité Técnico Interinstitucional de Seguimiento como instancia de articulación y revisión periódica.

En conjunto, estas observaciones respaldan la recomendación de avanzar hacia un marco regulatorio gradual, habilitante y basado en riesgo, que fortalezca primero las capacidades técnicas e institucionales nacionales y, a partir de ellas, introduzca obligaciones de seguridad y calidad proporcionales al nivel de madurez del mercado del hidrógeno y sus derivados.

8.2. Consulta pública del AIN y del proyecto normativo

Una vez el Ministerio de Minas y Energía cuente con la propuesta de instrumento(s) correspondiente(s) de conformidad con la decisión final del proceso se llevará a cabo la consulta

pública final a través del Sistema Único de Consulta Pública – SUCOP, por el término y condiciones previstos en la normatividad aplicable y los lineamientos vigentes. La consulta pública incluirá:

- Publicación simultánea del AIN y del proyecto de regulación.
- Recepción de comentarios mediante SUCOP.
- Mesas de socialización técnica (seguridad, metrología, calidad, trazabilidad).
- Matriz de respuestas con trazabilidad conforme al artículo 8 de la Ley 1437 de 2011.

Los resultados de esta etapa serán incorporados en el expediente regulatorio antes de la expedición del acto administrativo definitivo.

8.3. Síntesis del proceso y próximos pasos

La participación técnica previa permitió validar el diagnóstico, fortalecer el análisis multicriterio y sustentar la elección del esquema de obligatoriedad progresiva para seguridad y del modelo habilitante para calidad. Entre los resultados principales se destacan:

- Alinear las recomendaciones con las capacidades reales del SICAL.
- Evitar esquemas de obligatoriedad inmediata sin capacidades.
- Priorizar infraestructura técnica nacional antes de exigir trazabilidad plena.
- Definir de una hoja de ruta clara para seguridad y habilitante para calidad.

El proceso continuará con la consulta pública en SUCOP, asegurando transparencia, participación amplia y trazabilidad conforme a los estándares nacionales y de la OCDE.

10. Anexos

Hacen parte del presente documento los siguientes anexos:

Anexo 1: Documento de Soporte técnico.

Anexo 2: Inventario Normativo.

Anexo 3: Memoria del Taller de Socialización

11. Bibliografía

- Decreto 1074 de 2015 (2015, 26 de mayo) presidente la República. Diario oficial No. 49523 <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30019935>
- OCDE (2014), Estudio de la OCDE sobre la política regulatoria en Colombia: Más allá de la simplificación administrativa, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264201965-es>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social – CONPES. (2014). Mejora normativa: Análisis de Impacto Normativo (Documento CONPES 3816). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3816.pdf>
- OCDE (2012), Recomendación del Consejo sobre Política y Gobernanza Regulatoria, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264209046-es>
- Ministerio de Minas y Energía. (2019). Documento de Análisis de Impacto Normativo – AIN: Reglamentación técnica para el transporte de materiales radiactivos. Grupo de Asuntos Nucleares. https://www.minenergia.gov.co/documents/7831/AIN_TRANSPORTE_CONTRACTUAL.pdf
- Departamento Nacional de Planeación. (2021). Guía metodológica para la elaboración de Análisis de Impacto Normativo (AIN) (Versión 2.0). https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/ModernizacionEstado/ERel/Guia_Metodologica_AIN.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2023). Diagnóstico base para la Transición Energética Justa. Gobierno de Colombia. https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2._Diagn%C3%B3stico_base_para_la_TEJ.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2025). Hoja de ruta para la Transición Energética Justa de Colombia https://minenergia.gov.co/documents/13272/Hoja_de_ruta_transicion_energetica_justa_TEJ_2025.pdf
- International Energy Agency. (2025). Global Energy Review 2025. IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5b169aa1-bc88-4c96-b828-aaa50406ba80/GlobalEnergyReview2025.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2021). Inventario nacional de emisiones y absorciones atmosféricas de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp->

[content/uploads/2025/05/Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones Atmosféricas de Colombia.pdf](content/uploads/2025/05/Inventario_Nacional_de_Emisiones_y_Absorciones_Atmosfericas_de_Colombia.pdf)

- Ministerio de Minas y Energía. (2021). Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia. https://www.minenergia.gov.co/documents/5861/Hoja_Ruta_Hidrogeno_Colombia_2810.pdf
- Sánchez-Peñuela Lejarraga, J. B. (2022). Estrategias nacionales sobre hidrógeno: una visión comparada. <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/424/SA%CC%81NCHEZ-PEN%CC%83UELA%20LEJARRAGA.pdf>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social – CONPES. (2022). Política de transición energética (Documento CONPES 4075). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4075.pdf>
- Decreto 1595 de 2015 (2015, 5 de agosto) Presidente de la República. Diario oficial No. 49595. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30019980#>



Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag



Implemented by

