



Instituto Nacional de
Metrología de Colombia



Investigación
que impulsa,
productividad
que crece

Hoja de ruta

*para el desarrollo de capacidades de
medición en calidad de gases*



BOGOTÁ
2026

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA

María del Rosario González Márquez

Directora General

José Álvaro Bermúdez Aguilar

Secretario General

Laura Lorena Rivera Roa

Jefe de Oficina Asesora de Planeación

Edna Julieth Villarraga Farfán

Subdirectora de Metrología Química y Biología

Jairo Gustavo Ayala Forero

Subdirector de Metrología Física

Alexandra Hernández Moreno

Subdirectora de Servicios Metrológicos y Atención al Ciudadano

Redacción

Carlos Ernesto Camargo Moreno

Jessyka Maria Padilla Reyes

Juliana Serna Saiz

Julian Herney Pulido Vargas

Revisión

Jhon Emerson Leguizamon Guerrero

Erika Bibiana Pedraza Guevara

Edna Julieth Villarraga Farfán

Diseño y diagramación

Valentina Ospina Rodríguez

Para mayor información, contacte a:

Instituto Nacional de Metrología

Av. Cra. 50 No. 26 – 55 Int. 2 CAN

Bogotá D.C – Colombia

Tel: +57 1 254 22 22

www.inm.gov.co

2026

Tabla de contenido

01.	Resumen	06
02.	Contexto nacional	10
	2.1	Calidad de las mediciones en fuentes móviles y fijas 11
	2.2	Calidad de las mediciones para Calidad del aire 13
	2.3	Calidad de las mediciones de gases energéticos 15
03.	Marco metrológico y alineación internacional	16
04.	Necesidades actuales de la medición de gases	19

05.	Cooperación y partes interesadas	24
	5.1	Cooperación internacional con el PTB 26
	5.1.1	Resultados y conclusiones del taller regional de intercambio de experiencias respecto los desarrollos metrológicos en gases 27
	5.2	Relacionamiento con actores del SICAL 29
	5.3	Relacionamiento con productores, proveedores y usuarios de gases 30
	5.4	Relacionamiento con institutos pares 32
	5.5	Opciones de desarrollo propuestas por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas - BIPM 34
	5.6	Fortalecimiento de Capacidades y Transferencia de Conocimiento: Cooperación Técnica con el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) 35
06.	Estrategia del INM y líneas de acción	36
07.	Plan de implementación e hitos	43
08.	Conclusiones	46
09.	Anexos	48
	Anexo A.	Técnicas analíticas y principios de medición 49
		1. Técnicas cromatográficas 50
		2. Técnicas espectrométricas 51
		3. Aseguramiento de la validez de los resultados 53
	Anexo B.	Producción y certificación de Materiales de Referencia de mezclas de gases 54
	Anexo c.	Benchmark internacional de Materiales de Referencia Certificados 58
10.	Referencias	63

01.

Resumen

La medición de gases en Colombia es fundamental desde dos perspectivas interdependientes: la ambiental, que busca garantizar la calidad del aire para preservar la vida, y la energética, que impulsa el desarrollo tecnológico mediante el uso de gases como fuentes de energía. Sin embargo, el aprovechamiento de estos beneficios conlleva retos importantes, como lo es el aseguramiento de la calidad de las mediciones que soporten el control de las emisiones de gases, generadas por actividades energéticas y fuentes antropogénicas.

En este contexto, se evidencia la importancia de determinar la calidad de los gases mediante métodos de medición aptos para el fin previsto, el uso de materiales de referencia certificados y otras herramientas metrológicas. Esto garantiza la obtención de resultados válidos y trazables, necesarios para cumplir la normativa aplicable, como soporte a la toma de decisiones, proteger el medio ambiente y asegurar la eficiencia en los usos energéticos e industriales.

El proceso de certificación de un lote de materiales de referencia certificados (MRC) debe seguir estrictamente los requisitos de la norma ISO 17034. Este proceso implica una planificación rigurosa, la preparación y homogeneización de las mezclas, y la evaluación de la homogeneidad y la estabilidad del lote, la caracterización del gas y la asignación del valor del mensurando de interés. Estas mezclas deben cumplir con los requerimientos técnicos y proveer trazabilidad metrológica a las mediciones en las cuales sean empleadas.

La implementación de un laboratorio de gases en el Instituto Nacional de Metrología de Colombia (INM) se concibe como un proyecto integral que abarca cinco pilares fundamentales: (i.) La capacitación especializada del personal con expertos internacionales; (ii.) La adquisición de equipos analíticos esenciales; (iii.) La adecuación de la infraestructura física; (iv.) La adquisición de MRC provenientes de institutos de metrología internacionales como, por ejemplo, del NIST (National Institute of Standards and Technology) de Estados Unidos, NPL (National Physical Laboratory) de Reino Unido y VSL (Van Swinden Laboratorium) de Países Bajos; y (v.) El desarrollo de las capacidades de medición de mezclas de gases. Todo esto con el propósito de proveer Materiales de Referencia Certificados nacionales garantizando la trazabilidad metrológica en sectores críticos como emisiones vehiculares, calidad del aire, fuentes fijas y gases energéticos.

El INM ha emprendido una serie de acciones para fortalecer las capacidades de medición de gases en el país. Una de las iniciativas clave es la cooperación

internacional con el PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Instituto de Metrología de Alemania para el periodo 2024-2027, enmarcada en la estrategia de hidrógeno verde (H₂v). Esta colaboración busca fortalecer capacidades técnicas a través de entrenamiento especializado, intercambio de experiencias y la formulación de proyectos conjuntos, con el objetivo de respaldar desde el punto de vista metrológico la emergente economía del hidrógeno en Colombia y garantizar el cumplimiento normativo.

A nivel regional, el INM promovió un taller de intercambio de experiencias con los institutos nacionales de metrología de América Latina (Brasil, México, Uruguay y Argentina). Este espacio permitió compartir buenas prácticas en metrología de gases, con especial énfasis en hidrógeno verde, gas natural y biogás.

Adicionalmente, el INM ha establecido un relacionamiento activo con productores, proveedores y usuarios de gases. Estos acercamientos han permitido identificar brechas en trazabilidad metrológica y oportunidades de colaboración para la implementación de normas de calidad (ISO/IEC 17025, ISO 17034), el desarrollo conjunto de MRC y la prestación de servicios de medición que soporten la certificación de las mezclas de gases. Esta articulación con el sector productivo y las entidades regulatorias consolida una red de cooperación público-privada esencial para fortalecer la infraestructura de la calidad nacional en el campo de los gases y así, obtener independencia metrológica con respecto a otros países, satisfacer las necesidades de los usuarios para dar

soporte al marco regulatorio existente y fortalecer la competitividad del país.

La implementación de esta hoja de ruta, que contempla infraestructura, desarrollo de capacidades, formación de talento humano y el desarrollo de MRC, requiere un compromiso institucional sostenido, inversión continua y una gestión colaborativa efectiva. La articulación con el sector productivo, los organismos reguladores y las redes de metrología internacionales será clave para crear un ecosistema metrológico sólido. El resultado trascenderá el fortalecimiento del INM, impactando positivamente la innovación industrial, la protección ambiental y la salud de la población colombiana.

La estrategia se despliega a través de hitos críticos organizados en cuatro líneas en desarrollo. La línea de talento humano busca generar las capacidades y competencias del personal mediante el entrenamiento especializado y participación en espacios internacionales. Paralelamente, en infraestructura y capacidades, se antepone la adquisición y puesta en marcha de sistemas analíticos, la adecuación de los laboratorios y la participación en comparaciones internacionales. Por otro lado, la línea de desarrollo de materiales de referencia (MR) se centra en la priorización de capacidades, el desarrollo y validación de métodos y la producción piloto de los primeros MR gaseosos nacionales, así como la implementación de un esquema para medir mezclas de terceros. Finalmente, la cooperación y articulación es fundamental, con hitos orientados a establecer

soporte al marco regulatorio existente y fortalecer la competitividad del país.

La implementación de esta hoja de ruta, que contempla infraestructura, desarrollo de capacidades, formación de talento humano y el desarrollo de MRC, requiere un compromiso institucional sostenido, inversión continua y una gestión colaborativa efectiva. La articulación con el sector productivo, los organismos reguladores y las redes de metrología internacionales será clave para crear un ecosistema metrológico sólido. El resultado trascenderá el fortalecimiento del INM, impactando positivamente la innovación industrial, la protección ambiental y la salud de la población colombiana.

La estrategia se despliega a través de hitos críticos organizados en cuatro líneas en desarrollo. La línea de talento humano busca generar las capacidades y competencias del personal mediante el entrenamiento especializado y participación en espacios internacionales. Paralelamente, en infraestructura y capacidades, se antepone la adquisición y puesta en marcha de sistemas analíticos, la adecuación de los laboratorios y la participación en comparaciones internacionales. Por otro lado, la línea de desarrollo de materiales de referencia (MR) se centra en la priorización de capacidades, el desarrollo y validación de métodos y la producción piloto de los primeros MR gaseosos nacionales, así como la implementación de un esquema para medir mezclas de terceros. Finalmente, la cooperación y articulación es fundamental, con hitos

02.

Contexto nacional

En general, en Colombia las mediciones de la calidad de los gases se pueden clasificar dependiendo de la fuente que los genera, el uso del gas y el punto en el que se miden. Con respecto a las fuentes que los generan, se pueden nombrar las fuentes móviles que son aquellas que, como su nombre lo indica, tienen un motor propio que les permite desplazarse (1). La emisión de estas fuentes se da debido a la quema de combustibles fósiles que genera gases como monóxido y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre e hidrocarburos (2). Por otra parte, las fuentes fijas están situadas en un lugar determinado e inamovible y emiten los contaminantes a través de una chimenea (1).

Con respecto al uso del gas, las industrias emplean el gas natural como combustible para generar energía. Este gas es una mezcla de hidrocarburos, compuesta principalmente por gas metano (70 %-90 %), seguido de otros componentes como etano, propano, butano, entre otros (3). La calidad del gas natural es fundamental para asegurar la eficiencia de la combustión, ya que la presencia de concentraciones altas de impurezas disminuye su poder calorífico (4). Además, la importancia de contar con una atmósfera apta para la vida obliga a establecer puntos estratégicos para medir su calidad; estos son conocidos como estaciones de monitoreo de calidad de aire y su objetivo es vigilar las concentraciones de gases efecto invernadero, material particulado, entre otros (5).

Entendiendo este contexto, se hace necesario asegurar la calidad de los gases utilizados como combusti-

bles, así como aquellos emitidos por las diferentes fuentes antropogénicas. En este sentido, es fundamental destacar el rol del Subsistema Nacional de la Calidad (SICAL) en el aseguramiento de la calidad de las mediciones de gases en Colombia, las cuales soportan tanto las actividades de control de emisiones como su uso en el sector energético.

A continuación, para cada grupo de gases, se presenta la articulación de los diferentes actores que conforman el Subsistema Nacional de la Calidad, partiendo del ámbito regulatorio y continuando con los aspectos de la normalización, la acreditación, la metrología, la inspección, vigilancia y control, la evaluación de la conformidad y finalmente, con los usuarios.

2.1

Calidad de las mediciones en fuentes móviles y fijas

Colombia cuenta con una consolidada regulación en temas ambientales, dentro de la cual es importante mencionar la resolución 762 de 2022 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que establece los límites máximos permitidos para emisiones contaminantes en prueba estática para las fuentes móviles terrestres. Estos límites dependen del año modelo de la fuente, el tipo de motor, la cantidad de ruedas y el tipo de combustible. Esta resolución regula la emisión máxima de monóxido de carbono estableciéndose entre 0.8 % - 5 %, dependiendo de la fuente de emisión; así mismo, para hidrocarburos establece un

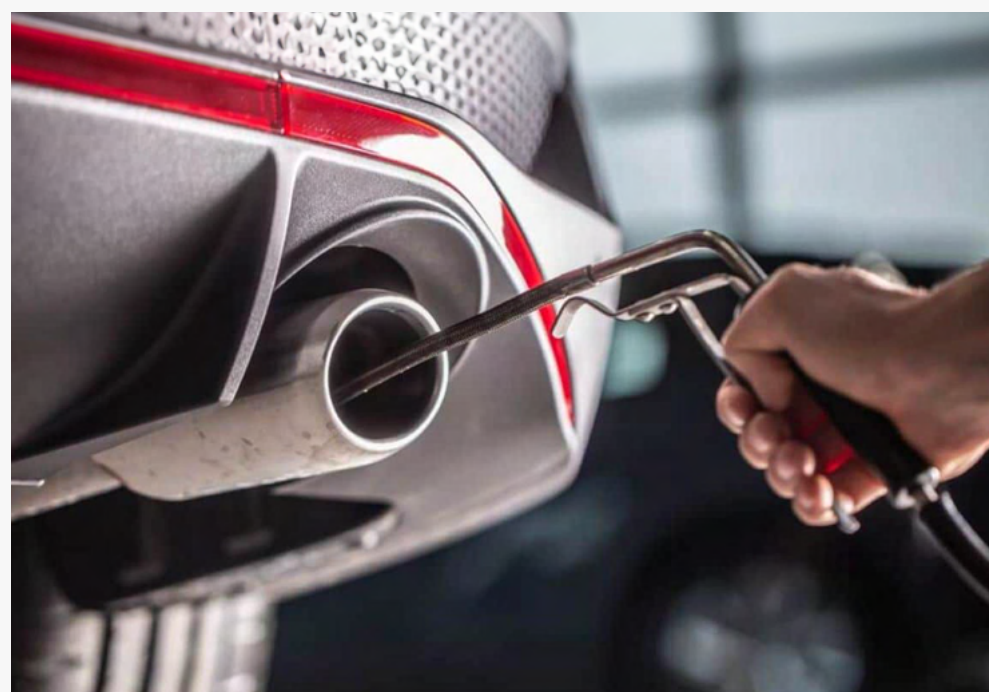
intervalo entre 160 mg/kg y 10.000 mg/kg. Con respecto a otros gases contaminantes, se menciona que la concentración de oxígeno no debe exceder el 5 % y la de dióxido de carbono no debe ser inferior a 7 %, ya que se considera que la muestra está diluida (6).

De acuerdo con la Ley 99 de 1993, las instituciones responsables de la inspección, vigilancia y control de las emisiones de fuentes fijas y móviles son las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y las autoridades ambientales de los departamentos, municipios y distritos, como las Secretarías de Ambiente y los Departamentos Administrativos de Gestión del Medio Ambiente (8). Estas entidades realizan sus actividades de acuerdo con las Normas Técnicas Colombianas emitidas por el Organismo Nacional de Normalización ICONTEC y los lineamientos definidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de acuerdo con lo establecido en el artículo 2.2.8.9.1.2 del decreto 1076 de 2015.

Por otra parte, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, a través del decreto 1595 de 2015 (9), estableció que los Organismos Evaluadores de la Conformidad (OEC) deben estar acreditados por el Organismo Nacional de Acreditación (ONAC) con respecto a un documento normativo para realizar las actividades de evaluación de la conformidad frente a un reglamento técnico.

Fuentes móviles

Para el caso de las emisiones de fuentes móviles, la resolución 3768 de 2013 (10) estableció que los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA), que hacen la tarea de evaluadores de la conformidad, deben contar con la acreditación del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) (10). Esta acreditación se otorga con respecto a la norma NTC-ISO/IEC 17020 (11) y el documento normativo NTC 5375 (12), que a su vez establece que, de acuerdo con el tipo de vehículo, las emisiones de gases de escape deben verificarse mediante los procesos establecidos en las NTC 4231 para fuentes que utilizan como combustible Diesel y las NTC 4983 y NTC 5365 para fuentes que utilizan gasolina y gas o gasolina, respectivamente (13; 14; 15).



Weyo - Freepik

Así mismo, los CDA deben contar con una certificación vigente expedida por el IDEAM, en la cual se indica que cumple con las exigencias en materia de revisión de contaminantes con base en las NTC establecidas (10). Para esto, el IDEAM emitió el documento “Protocolo de revisión y seguimiento a organizaciones del proceso de mediciones generadas por fuentes móviles - Organismos de Evaluación de la Conformidad OEC” (16), con el propósito de establecer lineamientos, criterios y procedimiento de las evaluaciones para la autorización y seguimiento a los laboratorios ambientales, fabricantes, ensambladores, importadores, y comercializadores de fuentes móviles.

Finalmente, es importante mencionar que el decreto 1595 de 2015 establece que los instrumentos de medición que se utilizan con el propósito de “Realizar actividades que puedan afectar la vida, la salud o la integridad física, la seguridad nacional o el medio ambiente” están sujetos a controles metrológicos, lo cual incluye su calibración por parte de laboratorios acreditados por el ONAC (9).

Fuentes fijas

Con respecto a las fuentes fijas, la resolución 909 de 2008 estableció el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas (7; 17), el cual establece los procedimientos de evaluación de emisiones, proporciona los métodos de medición de referen-

cia para fuentes fijas, expone las directrices para los estudios de emisiones atmosféricas y fija los lineamientos para la vigilancia y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas (7; 17). Este documento debe ser aplicado por las autoridades ambientales, los organismos evaluadores de la conformidad y por los titulares de fuentes fijas. Es importante mencionar que los OEC deben contar con la acreditación por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (17).

2.2

Calidad de las mediciones para calidad del aire

Los límites máximos permitidos de calidad del aire en Colombia fueron establecidos por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial a través de la resolución 2254 de 2017 (18). En este documento se indican las concentraciones máximas por gas dependiendo del tiempo de exposición; es así como, para el monóxido de carbono se tienen límites entre 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para tiempos de 1 y 8 horas, respectivamente. Para el dióxido de nitrógeno los límites se establecieron en 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual) y 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 hora), para el ozono de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 horas) y para el dióxido de azufre los límites son 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 horas) y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 horas) (19).

Al igual que con las emisiones de fuentes fijas y fuentes móviles, la protección y el control de la calidad

del aire en Colombia está enmarcado en la ley 99 de 1993 (8), reglamentado por el decreto 1076 de 2015 (20). Con la resolución 651 de 2010 el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial creó el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire -SISAIRE “como fuente principal de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la contaminación del aire” (21).

Igualmente, esta resolución menciona que las autoridades ambientales o las personas jurídicas que deban reportar la información de la calidad del aire deben hacerlo de acuerdo con los procedimientos establecidos en el documento “Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire”, emitido por el Ministerio en el año 2010 (21). Este documento comprende los manuales de diseño y operación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad de aire en Colombia (22; 23).

El manual de diseño incluye las generalidades sobre los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA), su descripción, las etapas para su diseño y los pasos para la revisión inicial y la fase final de la elaboración del diseño (22). Así mismo, expone los parámetros de diseño, los criterios para hacer modificaciones y los recursos necesarios para el montaje, operación y seguimiento de los sistemas de vigilancia (22); por último, presenta la clasificación de áreas-fuente de contaminación y validez de la información obtenida de los monitoreos (22).

Por su parte, el manual de operaciones abarca los lineamientos para la operación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en Colombia (23). Presenta los tipos de sistemas, de acuerdo con su tecnología, y describe en detalle los sistemas manuales, automáticos e híbridos, incluyendo los elementos en común, como el programa de control, el aseguramiento de la calidad del aire, el análisis de la información y la generación de reportes (23).



Calidad del aire, Red de monitoreo, Estaciones automatizadas - www.car.gov.co

Los lineamientos establecidos en el protocolo deben ser implementados y cumplidos por las autoridades ambientales que diseñen, implementen operen o administren Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire; así mismo, las universidades, operadores privados, centros de investigación y empresas consultoras, entre otros que realicen actividades de diseño u operación deben cumplir obligatoriamente con el protocolo (21).

2.3

Calidad de las mediciones de gases energéticos

El artículo 10 del decreto 2119 de 1992 creó la Comisión de Regulación Energética, con el propósito de regular el ejercicio de las actividades del sector energético para asegurar la disponibilidad de una oferta energética en Colombia (24). Este artículo fue modificado por el artículo 13 del decreto 10 de 1995, el cual cambió el nombre de la comisión a Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y estableció la función de definir y hacer operativos los criterios técnicos de calidad, confiabilidad y seguridad del servicio de energía (25).

Con respecto a la calidad de los gases utilizados para usos energéticos, la CREG emitió la resolución 071 de 1999 en la cual se estableció el Reglamento Único de Transporte de Gas Natural, incluyendo la calidad del gas natural, con respecto al contenido de sulfuro de hidrógeno, azufre, dióxido de carbono, nitrógeno,

oxígeno y vapor de agua (26). En el año 2018, la CREG publicó la resolución 50 de 2018 por la cual se complementaron las especificaciones de calidad para la intercambiabilidad de gases (27). El numeral 6.3 de este documento establece que el contenido máximo total de sulfuro de hidrógeno es de 6 mg/m³, de azufre 23 mg/m³ y de vapor de agua de 97 mg/m³. Con respecto a otros gases como dióxido de carbono, nitrógeno, gases inertes y oxígeno se especifican fracciones de volumen máximas de 2 %, 5 %, 5 % y 0.1 %, respectivamente (27).

Las actividades de inspección, vigilancia y control las realiza la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, a aquellos actores que intervienen a lo largo de la cadena de abastecimiento del gas natural, de acuerdo con lo establecido en la ley 142 de 1994 (28), la cual fue modificada parcialmente por la ley 689 de 2001 (29) y que es reglamentada por el decreto 1369 de 2020 (30). Los criterios de inspección están basados en las resoluciones definidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas, mencionadas previamente.

Finalmente, el Organismo Nacional de Acreditación otorga la acreditación a los laboratorios que evalúan la conformidad de la combustión del gas natural domiciliario utilizado por gasodomésticos, bajo la norma ISO/IEC 17025 (31), con respecto a numeral 6.9.2 “Ensayos” de la Norma Técnica Colombiana NTC 3531 Artefactos domésticos que emplean gases combustibles para la producción instantánea de agua caliente (32).

03.

Marco metrológico y alineación internacional

La metrología aplicada al análisis de gases es la ciencia que hace trazables y confiables las mediciones de compuestos gaseosos y sus propiedades, las cuales son cruciales en calidad de productos, control ambiental (estaciones de monitoreo ambiental, emisiones desde fuentes fijas y móviles) y sector energético. En búsqueda por promover y avanzar la comparabilidad global de las mediciones en gases, el Departamento de Química del BIPM coordina las comparaciones de las capacidades de los Institutos Nacionales de Metrología en materia de estándares de gases, necesarias para establecer sistemas de medición globalmente uniformes para gases atmosféricos y de importancia ambiental, siguiendo las estrategias del CCQM, su Grupo de Trabajo sobre Análisis de Gases (GAWG) y su Grupo de Trabajo sobre Relaciones Isotópicas (IRWG), en apoyo a las prioridades nacionales en materia de energía y medio ambiente. En particular, este Departamento proporciona y coordina comparaciones de estándares nacionales de medición para:

- Gases de efecto invernadero, demostrando consistencia en los niveles requeridos para respaldar las prioridades nacionales en materia de energía y medio ambiente.
- Gases importantes que afectan la calidad del aire, demostrando consistencia en los niveles requeridos para respaldar las prioridades nacionales en materia de salud y medio ambiente.

Recientemente, durante la reunión 51° del GAWG se propuso la conformación de un nuevo grupo de trabajo denominado “Desarrollo de capacidades y transferencia de conocimientos sobre metrología del gas” cuyo objetivo sería proveer: (i) cursos virtuales en metrología en gases, (ii) desarrollo de documentos guía, (iii) escuela de verano en metrología en gases, entre otros. Es así como el Instituto Nacional de Metrología de Colombia (INM) manifestó su interés de participar en este naciente grupo de trabajo junto con otros institutos de la región como INTI (Argentina), LATU (Uruguay) y CENAM (México).

A nivel regional, se cuenta con el grupo de trabajo en metrología en química del Sistema Interamericano de Metrología (SIM), del cual son miembros los Institutos nacionales de metrología e Institutos designados de las Américas, que cumplan con los requerimientos del acuerdo de reconocimiento mutuo (CIPM MRA) en el campo de la metrología química y biología. Es así como algunos países de la región cuentan con avances en metrología en gases que se apalancan con el fortalecimiento de la infraestructura metrológica para la eficiencia energética, calidad del aire y gases de efecto invernadero a través de la formación técnica, apoyo a la adopción de estándares internacionales, intercambio de conocimiento entre organismos técnicos e institutos nacionales de metrología y el aumento de la comunicación interinstitucional.

Estos desarrollos tienen lugar en el marco de proyectos de cooperación y alianzas estratégicos, tales como la Red de Metrología para Energías Renovables

– ReMEDEMSIM conformada por países latinoamericanos con el fin de facilitar el intercambio de experiencias, capacitaciones y seminarios en aspectos relacionados con la metrología en apoyo a las energías renovables. Así mismo, el desarrollo de las capacidades de medición ha permitido que institutos de la región participen en comparaciones clave y estudios piloto en la unidad de cantidad de sustancia en matrices gaseosas, donde las temáticas abarcan gases de efecto invernadero, calidad del aire y ozono. Este es el caso del Laboratorio de calidad del aire – Calaire de la Universidad Nacional de Colombia, instituto designado por el INM desde el 2023 en la magnitud cantidad de sustancia para la medición de ozono por fotometría, el cual participó en la comparación clave BIPM.QM-K1 Ozone at ambient level (33).

04.

Necesidades actuales de la medición de gases

El fortalecimiento de las capacidades de medición en gases en Colombia responde a una necesidad transversal que involucra aspectos regulatorios, ambientales, industriales, energéticos y de seguridad. En este contexto, las necesidades identificadas no se limitan a la disponibilidad de instrumentación analítica, sino que se centran en la confiabilidad, trazabilidad y aseguramiento de la calidad de los datos que soportan la formulación, implementación y seguimiento de políticas públicas, así como la operación segura y eficiente de procesos industriales y energéticos.

Desde la perspectiva ambiental, la vigilancia de la calidad del aire y el control de emisiones de fuentes fijas y móviles constituyen una de las principales demandas de medición de gases en el país. El marco regulatorio vigente exige resultados técnicamente sólidos para contaminantes como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono troposférico y gases de efecto invernadero, los cuales son utilizados como insumo para la activación de alertas ambientales, la evaluación del cumplimiento normativo y la definición de medidas de intervención. Sin embargo, en el contexto nacional persisten brechas asociadas a la disponibilidad de materiales de referencia certificados, a la armonización de métodos analíticos y a la capacidad de los laboratorios para demostrar trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI), particularmente en mediciones a bajas concentraciones.

En este ámbito, se identifica una necesidad recurrente de acceso oportuno a materiales de referencia certifi-



Weyo - Freepik

El fortalecimiento de las capacidades de medición en gases en Colombia responde a una necesidad transversal que involucra aspectos regulatorios, ambientales, industriales, energéticos y de seguridad. En este contexto, las necesidades identificadas no se limitan a la disponibilidad de instrumentación analítica, sino que se centran en la confiabilidad, trazabilidad y aseguramiento de la calidad de los datos que soportan la formulación, implementación y seguimiento de políticas públicas, así como la operación segura y eficiente de procesos industriales y energéticos.

Desde la perspectiva ambiental, la vigilancia de la calidad del aire y el control de emisiones de fuentes fijas y móviles constituyen una de las principales demandas de medición de gases en el país. El marco regulatorio vigente exige resultados técnicamente sólidos para contaminantes como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono troposférico y gases de efecto invernadero, los cuales son utilizados como insumo para la activación de alertas ambientales, la evaluación del cumplimiento normativo y la definición de medidas de intervención. Sin embargo, en el contexto nacional persisten brechas asociadas a la disponibilidad de materiales de referencia certificados, a la armonización de métodos analíticos y a la capacidad de los laboratorios para demostrar trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI), particularmente en mediciones a bajas concentraciones.

En este ámbito, se identifica una necesidad recurrente de acceso oportuno a materiales de referencia certificados que permitan garantizar la comparabilidad de las mediciones realizadas por las redes de monitoreo y los laboratorios ambientales del país. La dependencia de patrones importados, sumada a los costos y a las barreras logísticas para su adquisición, limita la frecuencia de los controles de calidad y afecta la confianza en los resultados. Esto resalta la importancia de avanzar hacia el desarrollo de capacidades nacionales para la certificación de mezclas de gases, con aplicabilidad directa en el monitoreo ambiental y el control de emisiones.

Por otra parte, el sector energético plantea exigencias específicas en la medición de gases, asociadas tanto a combustibles convencionales como a nuevos vectores energéticos. En el caso del gas natural, la determinación de parámetros de calidad como el poder calorífico, la composición y el contenido de impurezas resulta crítica para la eficiencia energética, la integridad de la infraestructura y la correcta facturación del servicio. De manera similar, el desarrollo del biogás y su eventual inyección en redes de transporte requiere caracterizaciones confiables de metano y de compuestos que pueden afectar la operación de los sistemas y la seguridad de los usuarios.



frimufilms - Freepik

En este mismo contexto se enmarca el hidrógeno de bajas emisiones, cuyo desarrollo en el país introduce retos metrológicos de alta complejidad técnica, particularmente en lo relacionado con la evaluación de pureza e impurezas traza. Aunque se trata de un mercado emergente, sus exigencias en términos de calidad del gas, especialmente para aplicaciones en celdas de combustible y usos industriales, evidencian limitaciones actuales en la infraestructura analítica nacional. La ausencia de capacidades para medir impurezas críticas a niveles muy bajos constituye una barrera técnica para su adopción a mayor escala y para su eventual inserción en mercados internacionales, situación que refuerza la necesidad de fortalecer las capacidades de medición de gases especiales y de alta pureza.

Desde el punto de vista de la infraestructura analítica, el levantamiento de información realizado con actores del sector industrial, regulatorio y académico ha permitido identificar brechas significativas en la capacidad instalada del país. Una proporción importante de las mediciones de gases se soporta en mezclas patrón trazables al SI producidos por institutos extranjeros, sin que exista aún una oferta nacional consolidada de materiales de referencia certificados. Adicionalmente, se evidencian limitaciones en la disponibilidad de tecnologías analíticas aptas para el fin previsto y en la implementación de metodologías para mediciones en matrices complejas, lo que restringe la capacidad de respuesta frente a nuevas demandas regulatorias y tecnológicas.



Weyo - Freepik

A esto se suma la necesidad de fortalecer los mecanismos de evaluación de la competencia técnica de los laboratorios, particularmente mediante el desarrollo de programas nacionales de ensayos de aptitud en gases. La limitada oferta de estos esquemas dificulta la demostración continua del desempeño de los laboratorios y afecta la confianza en los resultados generados a lo largo de la cadena de valor. En este sentido, el fortalecimiento del rol del Instituto Nacional de Metrología resulta fundamental para consolidar la infraestructura de la calidad en el ámbito de los gases.

Finalmente, la diversidad de aplicaciones y la criticidad de los gases de interés nacional ponen de manifiesto que el desarrollo de capacidades metrológicas no puede abordarse de manera fragmentada ni reactiva. Se hace necesario contar con un documento estratégico que permita priorizar inversiones, articular a los diferentes actores de la infraestructura de la calidad y orientar la toma de decisiones institucionales en el corto, mediano y largo plazo. La presente hoja de ruta responde a esta necesidad, al establecer un marco de referencia para el fortalecimiento progresivo de la medición de gases en Colombia, alineado con las prioridades nacionales, los compromisos internacionales y las tendencias globales en metrología química.

05.

Cooperación y partes interesadas

El desarrollo de capacidades de medición en el ámbito de los gases, especialmente en lo relacionado con la determinación de su cantidad, calidad, pureza y concentración, representa una prioridad estratégica para la metrología nacional, dado su impacto directo en los sectores industrial, ambiental, energético y de seguridad. Esta prioridad se encuentra respaldada por instrumentos de política pública y compromisos nacionales e internacionales que demandan información metrologicamente trazable para la toma de decisiones técnicas y regulatorias.

En particular, Colombia se encuentra en proceso de implementación de la Política para la Gestión y Promoción del Hidrógeno de Bajas Emisiones, establecida mediante el Decreto 1597 de 2024 (34), cuyo objetivo es alcanzar una producción de aproximadamente 120 mil toneladas de hidrógeno a 2030 y 1,8 millones de toneladas a 2050. Esta política involucra actividades de producción, almacenamiento, acondicionamiento, transporte, distribución, comercialización, desarrollo tecnológico y uso final del hidrógeno, en las cuales la evaluación de parámetros de calidad, pureza e impurezas del gas constituye un requisito crítico para garantizar la seguridad, la interoperabilidad y el cumplimiento de estándares técnicos y regulatorios. En este contexto, el fortalecimiento de capacidades metroológicas en gases se configura como un habilitador transversal para el desarrollo del sector del hidrógeno en el país.

Adicionalmente, en el ámbito ambiental, Colombia ha adquirido compromisos en el marco de la Convención

Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Acuerdo de París, los cuales requieren el fortalecimiento de los sistemas de medición, reporte y verificación (MRV) de emisiones atmosféricas. Estos compromisos se articulan con instrumentos nacionales como el CONPES 3943 de 2018 – Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire (35), la Estrategia Nacional de Calidad del Aire, y el Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en los cuales los datos científicos derivados de mediciones trazables y confiables constituyen un insumo fundamental para la formulación, seguimiento y evaluación de políticas públicas.

Desde esta perspectiva, el Instituto Nacional de Metrología ha orientado sus esfuerzos hacia el fortalecimiento de la trazabilidad metroológica en el país, promoviendo la generación de conocimiento, la cooperación técnica y la articulación institucional. Con este propósito, se han implementado diversas líneas de acción y se han consolidado acercamientos estratégicos con entidades nacionales e internacionales, orientados a identificar necesidades, impulsar proyectos conjuntos y establecer las bases de una infraestructura metroológica sólida en el campo de los gases. Dichas acciones se han materializado mediante proyectos de cooperación, participación en redes regionales y trabajo colaborativo con actores clave de la cadena de medición, contribuyendo así al desarrollo de capacidades técnicas e institucionales que favorecen la competitividad, la sostenibilidad ambiental y el cumplimiento de los compromisos nacionales.

5.1 Cooperación internacional con el PTB

En el marco de la estrategia hidrógeno verde (H2v) del PTB de Alemania, orientada al desarrollo de la cadena de valor de hidrógeno verde y su papel en la transición hacia economías climáticamente neutras, el INM inició un proceso de colaboración para el periodo 2025–2027.

Esta cooperación se enmarca en los cinco objetivos definidos por el PTB en el ámbito del hidrógeno: (i) calidad, (ii) seguridad, (iii) equidad en la facturación, (iv) transferencia del conocimiento y (v) promoción de la innovación. En este contexto, el INM busca fortalecer sus capacidades técnicas y contribuir a la consolidación de una infraestructura metrológica nacional que respalde el desarrollo de la economía del hidrógeno en Colombia.

Las acciones conjuntas contemplan:

- Entrenamiento especializado en técnicas avanzadas de medición de gases y en la aplicación de estándares internacionales para la determinación de pureza e impurezas del hidrógeno.
- Intercambio de experiencias con otros institutos nacionales de metrología para la validación de métodos de ensayo, la evaluación de riesgos y la estandarización de procedimientos

asociados a la cadena de producción, almacenamiento y uso de gases.

- Formulación de un proyecto conjunto PTB–INM, enfocado en el aseguramiento metrológico de mezclas gaseosas, incluyendo la certificación de materiales de referencia, la evaluación de tecnologías de detección y el fortalecimiento de la infraestructura de medición en gases.



tanew_pix - iStock

Como resultado, se espera avanzar hacia la adopción de tecnologías tales como la cromatografía de gases (GC) acoplada a detectores específicos, sistemas de espectroscopia de cavidad de anillo descendente (CRDS) y la espectroscopia infrarroja no dispersiva (NDIR), garantizando así el cumplimiento normativo en la medición de gases (Anexo A).

De manera complementaria, esta colaboración contribuye a la transferencia de conocimiento y la innovación tecnológica, promoviendo la creación de capacidades locales y el desarrollo de soluciones metrológicas que fortalezcan la competitividad nacional y regional en el contexto de la transición energética justa y sostenible.

5.1.1 Resultados y conclusiones del taller regional de intercambio de experiencias respecto los desarrollos metrológicos en gases

Desde el INM se promovió la realización del “Taller regional de intercambio de experiencias respecto a los desarrollos metrológicos en gases” con el propósito de fortalecer el diálogo, la colaboración y el intercambio científico entre los institutos nacionales de Metrología de América Latina con experiencia en análisis de gases. El objetivo central fue compartir buenas prácticas y modelos institucionales que permitan garantizar la trazabilidad metrológica en la medición de gases, con especial énfasis en hidrógeno verde, sin dejar de lado otros compuestos de interés como metano y dióxido de carbono, en el marco de las acciones regionales asociadas a la transición energética y la mitigación del cambio climático.

Con este fin, el INM extendió una invitación a los institutos de la región —INMETRO (Brasil), LATU (Uruguay), CENAM (México) e INTI (Argentina)— para que compartieran sus experiencias institucionales y técnicas. Estas presentaciones constituyeron un valioso insumo para continuar construyendo iniciativas de cooperación y fortalecimiento conjunto entre los institutos nacionales de metrología y la industria en el campo del análisis de gases.

Durante el desarrollo del taller se abordaron temas cruciales relacionados con la planificación, ejecución y sostenibilidad de las capacidades metrológicas en gases. Los participantes compartieron avances

técnicos, desafíos y estrategias para fortalecer la infraestructura metrológica de la región, con especial atención en el análisis de hidrógeno, gas natural, dióxido de carbono y biogás.

Los institutos participantes señalaron que el desarrollo de estas capacidades ha estado guiado por la identificación de tendencias tecnológicas globales, la adopción de normativas nacionales, y la creciente demanda industrial por mediciones confiables. En el caso de Brasil, por ejemplo, el impulso proviene de la Ley N.º 14.948/2024, que define las categorías de hidrógeno de baja emisión, renovable y verde, así como del Programa Nacional del Hidrógeno (PNH2), en articulación con el Ministerio de Energía y Minas.

Para garantizar la trazabilidad metrológica, los institutos de la región han desarrollado la preparación gravimétrica de mezclas gaseosas y el uso de sistemas analíticos como GC-FID/TCD, CRDS, PDHID y Micro-GC, además de ofrecer Materiales de Referencia Certificados (MRC) y participar activamente en comparaciones clave del CCQM (BIPM) y en ensayos regionales del SIM. Actualmente, disponen de MRC primarios y secundarios para metano (gas natural) y dióxido de carbono, y proyectan expandir su alcance hacia mezclas de hidrógeno, biogás y gases de efecto invernadero.

Los institutos mantienen una relación activa con el sector productivo, académico y con agencias reguladoras, en esquemas de cooperación que incluyen el desarrollo conjunto de métodos de análisis, la prestación de servicios de calibración y ensayos, y la organi-

zación de comparaciones interlaboratorio y programas de ensayos de aptitud. Asimismo, participan en la elaboración y revisión de normas técnicas relacionadas con gases, combustibles gaseosos e hidrógeno.

Entre los factores de éxito más relevantes se destacaron la disponibilidad de infraestructura especializada (sistemas gravimétricos, GC-FID/TCD/PDHID, CRDS, entre otros), la formación de personal altamente calificado y la articulación con marcos regulatorios nacionales. Los principales retos técnicos se centran entonces en garantizar la estabilidad y pureza de las mezclas de gases, mantener la trazabilidad internacional y ampliar la oferta de materiales de referencia en matrices complejas como biogás e hidrógeno. También, los institutos mencionaron que demuestran su competencia técnica a través de la participación en comparaciones internacionales, el cumplimiento de las normas ISO/IEC 17025 (31) e ISO 17034 (36), y la aplicación de metodologías basadas en ISO 14687:2025 (Calidad del combustible de hidrógeno: Especificaciones del producto) (37) e ISO 21087:2019 (Análisis de gases — Métodos analíticos para el hidrógeno combustible — Aplicaciones de pilas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) para vehículos de carretera) (38), que establecen especificaciones y métodos para la calidad del hidrógeno utilizado en celdas de combustible.

Asimismo, se destacó que el crecimiento del mercado del hidrógeno en la región ha impulsado la certificación de pureza y la identificación de impurezas (oxígeno, nitrógeno, monóxido de carbono, y argón) median-

te tecnologías de detección como PDHID y CRDS, las cuales respaldan la evaluación de combustibles gaseosos para vehículos de celda de combustible y procesos industriales de baja emisión.

Como conclusión general, los participantes coincidieron en la necesidad de avanzar hacia la conformación de una red latinoamericana de metrología en gases, que promueva el intercambio de experiencias, la cooperación técnica y el desarrollo conjunto de capacidades. Entre las líneas prioritarias se destacan:

- El desarrollo de materiales de referencia certificados (MRC) para hidrógeno y gases de efecto invernadero.
- La realización de ensayos de aptitud y estudios colaborativos entre laboratorios de la región.
- El intercambio de buenas prácticas en validación de métodos y evaluación de incertidumbre.
- El fortalecimiento de capacidades en análisis isotópico y caracterización espectroscópica.

En conjunto, las discusiones del taller subrayaron la importancia de la cooperación regional como mecanismo esencial para consolidar una infraestructura metrológica latinoamericana en gases, capaz de respaldar las metas nacionales de descarbonización, competitividad industrial y transición energética sostenible.

5.2

Relacionamiento con actores del SICAL

El fortalecimiento de las capacidades metrológicas en el ámbito de los gases requiere de un enfoque colaborativo y multisectorial que reconozca la interdependencia entre los distintos actores que participan en la generación, regulación, uso y control de las mediciones. En este sentido, el INM ha promovido una dinámica de trabajo articulado con entidades nacionales e internacionales, bajo el convencimiento de que el desarrollo de una infraestructura metrológica sólida solo es posible a través de la cooperación y el intercambio de conocimiento.

A nivel nacional, la colaboración se ha orientado hacia el diálogo y la coordinación con entidades gubernamentales, organismos del Subsistema Nacional de la Calidad, el sector productivo, la academia y los centros de investigación. Este esfuerzo ha permitido identificar necesidades, evitar duplicidades y promover la convergencia de iniciativas en torno al aseguramiento metrológico de los gases. Las entidades públicas, como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Secretaría Distrital de Ambiente y la Agencia Nacional de Hidrocarburos, desempeñan un papel esencial al generar la demanda de mediciones confiables para la gestión de la calidad del aire, el control de emisiones y la implementación de políticas de transición energética. Los organismos del Subsistema Nacional de la Calidad, como el ONAC y el

ICONTEC, aportan su experiencia en acreditación de organismos de evaluación de la conformidad y elaboración de normas técnicas, garantizando que las mediciones se realicen conforme a estándares internacionales y que las competencias técnicas de los laboratorios nacionales sean reconocidas.

De igual forma, el relacionamiento con la academia y los centros de investigación ha sido clave para la formación de talento humano, la investigación aplicada y el desarrollo de tecnologías analíticas emergentes.



5.3
Relacionamiento con productores,
proveedores y usuarios de gases

En Colombia existen al menos 5 empresas productoras y proveedoras de gases industriales y medicinales, las cuales aplican el marco legal del país para asegurar, dependiendo el sector, la calidad de este producto, así como condiciones de seguridad en la producción de este.

Las empresas productoras de gases industriales emplean diferentes normas teniendo en cuenta su alcance, es decir, pueden estar relacionadas al gas directamente y su uso previsto, a los cilindros que lo

contienen o la seguridad del proceso de producción. Por ejemplo, en el país las empresas de gases emplean normas como lo son la NTC 4584 - Requisitos para el llenado de cilindros (39), y la NTC 1672 - Cilindros de gas para uso industrial (40); siguen lineamientos de la CGA (Compressed Gas Association) que es una asociación comercial líder que representa a la industria de gases industriales, médicos y alimentarios en Estados Unidos y Canadá, cuya misión es desarrollar normas de seguridad técnicas para la fabricación, transporte, almacenamiento y eliminación de gases comprimidos y sus contenedores, promoviendo prácticas seguras.

Algunas de las empresas que producen gases en Colombia son:

Empresa	Principales gases producidos
Linde Colombia (Anteriormente Praxair)	Oxígeno, Nitrógeno, Argón, Hidrógeno, Dióxido de Carbono, Acetileno, Helio y Mezclas Especiales.
Messer Colombia	Oxígeno, Nitrógeno, Argón, Dióxido de Carbono, Acetileno, Mezclas para soldadura y gases especiales.
Air Products - Cryogas	Oxígeno, Nitrógeno, Argón, Hidrógeno, Dióxido de Carbono, Helio, Gases de grado alimentario y gases para corte/soldadura.
Air Liquide Colombia	Oxígeno, Nitrógeno, Argón, Mezclas industriales (ARCAL™, LASAL™), Hidrógeno y Syngas.

El INM ha establecido acercamientos estratégicos con empresas del sector de gases industriales y especiales, actores fundamentales en el suministro de mezclas gaseosas utilizadas en procesos industriales, ambientales, energéticos y de investigación científica en el país.

Estos acercamientos han tenido como propósito identificar puntos de convergencia y cooperación técnica en temas como:

- La implementación y evaluación de conformidad con las normas ISO/IEC 17025 e ISO 17034, orientadas a garantizar la competencia técnica y la calidad en la producción de materiales de referencia.
- El aseguramiento de la trazabilidad metrológica en las mediciones de gases empleados en laboratorios, plantas industriales y sistemas de monitoreo ambiental.
- La formulación de proyectos conjuntos de investigación y desarrollo (I+D+i) enfocados en atender las necesidades del sector productivo y científico nacional, especialmente en el contexto de la transición energética y el control de emisiones.

El reconocimiento de las empresas productoras de gases permitió que se llevara a cabo una visita técnica a la planta de Linde Colombia, ubicada en Tocancipá, donde se constató la operación de procesos de producción de oxígeno, nitrógeno, argón y mezclas

especiales elaboradas mediante métodos gravimétricos. Dichas operaciones están respaldadas por infraestructura analítica avanzada, que incluye equipos NDIR, CRDS y GC.

Durante esta interacción, se evidenció que, si bien el sector cuenta con capacidades técnicas importantes, aún existen brechas en materia de trazabilidad metrológica y reconocimiento internacional de los certificados de análisis emitidos por los productores. Estas brechas representan una oportunidad de colaboración con el INM en asistencia técnica para la implementación y mejora de sistemas de gestión conforme a las normas ISO/IEC 17025 e ISO 17034, la formación y acompañamiento en temas de trazabilidad, incertidumbre de medición y aseguramiento metrológico y el desarrollo conjunto de Materiales de Referencia Certificados (MRC) en gases, que contribuyan a fortalecer la infraestructura nacional de calidad y la confianza en las mediciones realizadas por la industria.

Por otra parte, el INM ha desarrollado acciones de articulación con entidades nacionales que desempeñan un papel clave en la medición, control y uso de gases en distintos sectores. Entre ellas se destacan las actividades realizadas con la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) de Bogotá, que incluyen visitas técnicas a estaciones de monitoreo de calidad del aire, al Laboratorio de Diagnóstico Automotriz y al grupo de fuentes fijas.

En dichos acercamientos se identificó el uso recurrente de mezclas gaseosas de referencia internacionales

(como Airgas EPA Protocol Standard) y de proveedores locales para la verificación y calibración de analizadores de gases utilizados en la medición de CO, SO₂, NO_x y O₃, tanto en emisiones vehiculares como en fuentes fijas.



EPA Protocol Gases - www.airgas.com

Estas interacciones han permitido al INM reconocer necesidades comunes y oportunidades de fortalecimiento en ámbitos como la formación técnica especializada, la prestación de servicios de calibración y verificación, y la trazabilidad metrológica de las mediciones ambientales y vehiculares, en conformidad con NTC y los lineamientos de la ISO/IEC 17025.

En conjunto, este relacionamiento con productores, proveedores y usuarios consolida una red de cooperación público-privada que contribuye a ampliar el alcance y reconocimiento del sistema metrológico nacional en el campo de los gases, a generar sinergias para el desarrollo de nuevos materiales de referencia y métodos de medición y a promover una cultura de aseguramiento metrológico en los sectores productivos y ambientales del país.

5.4
Relacionamiento con institutos pares

La relación con otros institutos nacionales de metrología de América Latina, como INMETRO (Brasil), CENAM (México), LATU (Uruguay) e INTI (Argentina), ha sido igualmente relevante para la construcción de una red regional de metrología en gases, que fomenta la cooperación técnica, la realización de ensayos colaborativos, el desarrollo de materiales de referencia y la formación de capacidades comunes. Este trabajo conjunto contribuye a fortalecer la competitividad científica y tecnológica de la región y a posicionar a América Latina como un actor emergente en la metrología aplicada a la transición energética y la sostenibilidad ambiental.

La articulación entre estas partes interesadas consolida un ecosistema de colaboración que trasciende los límites institucionales y sectoriales, promoviendo una visión integrada del desarrollo metrológico en gases. Este entramado de cooperación permite al INM cumplir con su misión de garantizar la trazabilidad y confiabilidad de las mediciones, al tiempo que facilita la innovación, la adopción de buenas prácticas y la respuesta coordinada a los desafíos globales asociados con el cambio climático y la transformación energética.

Categoría de actor	Entidad o grupo representativo	Rol en la cadena de valor	Interacción actual con el INM	Oportunidades de colaboración
Entidades gubernamentales y ambientales	Ministerio de Comercio Industria y Turismo; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH); Ministerio de Minas y Energía (MME); Secretarías de Ambiente; Corporaciones	Definen políticas de control ambiental, transición energética y gestión de emisiones. Generan demanda de mediciones confiables.	Participación en visitas técnicas, uso de mezclas gaseosas de referencia, articulación en proyectos de monitoreo ambiental.	Desarrollo de metodologías trazables para gases de calidad del aire, calibración de analizadores, transferencia de conocimiento y fortalecimiento de redes de vigilancia.
Organismos de inspección, vigilancia y control	Superintendencia de Industria y Comercio (SIC); Autoridades ambientales en su área de influencia; organismos de inspección acreditados	Supervisión del cumplimiento normativo, control de emisiones, verificación de requisitos técnicos y regulatorios	Interacciones técnicas puntuales asociadas a control y verificación de cumplimientos	Definición de requisitos metrológicos, fortalecimiento de capacidades de inspección, armonización de criterios técnicos y soporte en trazabilidad
Subsistema Nacional de la Calidad	ICONTEC; ONAC; Organismos de evaluación de la conformidad (OEC) como laboratorios, organismos de inspección y certificación	Establecen normas técnicas, acreditan competencias técnicas de los OEC y realizan el proceso de las mediciones de gases	Coordinación técnica en temas de normalización y acreditación	Elaboración conjunta de normas y guías técnicas, fortalecimiento de la acreditación de OEC en gases, capacitación y asistencia técnica.
Sector productivo y proveedores industriales	Linde, Messer, Cryogas, Praxair	Producción y comercialización de gases industriales y especiales, preparación de mezclas de calibración.	Visitas técnicas, intercambio de información sobre procesos de producción, identificación de brechas de trazabilidad.	Desarrollo conjunto de Materiales de Referencia Certificados (MRC), formación en trazabilidad metrológica, asesoría en las normas ISO/IEC 17025 y 17034, ensayos de aptitud.
Academia y centros de investigación	Universidades nacionales (UNAL, UDES, CDTdeGas), centros de I+D+i y redes académicas	Formación de talento humano, investigación aplicada en gases, modelado y tecnologías de medición.	Colaboración puntual en proyectos de investigación y formación técnica.	Ejecución conjunta de proyectos de I+D+i, validación de métodos de análisis, transferencia de resultados científicos al sector productivo.
Organismos internacionales de metrología	BIPM (CCQM, GAWG, IRWG); SIM	Coordinan comparaciones internacionales y promueven la uniformidad global de las mediciones.	Participación en talleres, comparaciones clave y programas de entrenamiento.	Integración del INM en proyectos de cooperación internacional, transferencia tecnológica y participación en ensayos colaborativos.

Categoría de actor	Entidad o grupo representativo	Rol en la cadena de valor	Interacción actual con el INM	Oportunidades de colaboración
Institutos Nacionales de Metrología	INMETRO (Brasil); CENAM (México); LATU (Uruguay); INTI (Argentina); INACAL (Perú); PTB (Alemania); NIST (EE. UU.); LGC (Reino Unido)	Desarrollan capacidades en análisis de gases y materiales de referencia en la región.	Participación conjunta en talleres y foros regionales de intercambio.	Conformación de una red latinoamericana de metrología en gases, desarrollo de MRC regionales y estudios colaborativos interlaboratorio

Matriz de partes interesadas

5.5 Opciones de desarrollo propuestas por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas - BIPM

Durante la visita realizada en 2024 al Instituto Nacional de Metrología por parte del Dr. Edgar Flores Jardines, secretario ejecutivo del *Sectoral Task Group on Climate Change and Environment* (STG-CEnv) del BIPM, se definieron conjuntamente escenarios estratégicos para el fortalecimiento de las capacidades nacionales en materia de medición de gases. Esta cooperación se enmarca siguiendo las estrategias del Comité Consultivo de Cantidad de Sustancia (CCQM) y sus grupos de trabajo en Análisis de Gases (GAWG) y Relaciones Isotópicas (IRWG). Estas iniciativas buscan establecer sistemas de medición globalmente uniformes para gases atmosféricos y ambientalmente relevantes, con énfasis en gases de efecto invernadero y gases de calidad del aire, asegurando la consistencia y comparabilidad de las mediciones a los niveles requeridos por las prioridades nacionales en energía, salud y medio ambiente.

En coherencia con este marco, se propusieron los siguientes escenarios de trabajo para Colombia:

- **Escenario 1 (largo plazo):** Implementar la preparación gravimétrica de mezclas gaseosas en el INM, aprovechando la infraestructura de caja adiabática PVT de la Subdirección de Metrología Física (SMF) y la futura incorporación de equipos de alta precisión como CRDS, NDIR y sistemas automáticos de muestreo. Este escenario permitirá establecer materiales de referencia nacionales y participar en comparaciones internacionales coordinadas por el BIPM.
- **Escenario 2 (mediano plazo):** Desarrollar capacidades en la calibración de sensores de bajo costo utilizados en redes de monitoreo ambiental y de emisiones, en articulación con otros institutos de la región como INMETRO (Brasil), LATU (Uruguay) y CENAM (México). Este trabajo fortalecerá la trazabilidad metrológica de las mediciones de calidad del

aire y gases contaminantes, apoyando la validación de tecnologías emergentes.

- **Escenario 3 (corto plazo):** Iniciar la certificación de cilindros comerciales de gases, asignando valores a partir de curvas de calibración con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI). Esta actividad será aplicable a laboratorios de diagnóstico automotriz y a redes de monitoreo ambiental nacionales, contribuyendo al aseguramiento metrológico de los equipos de medición y al control de emisiones.

Estos escenarios constituyen una hoja de ruta progresiva hacia la consolidación de un sistema nacional de referencia en mediciones de gases, alineado con las estrategias internacionales del BIPM y los objetivos nacionales de sostenibilidad, energía limpia y control ambiental.

5.6 Fortalecimiento de Capacidades y Transferencia de Conocimiento: Cooperación Técnica con el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

En el marco de la estrategia de internacionalización y bajo el auspicio de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), se consolidó un intercambio científico durante el primer trimestre de 2026 en las instalaciones del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). Esta pasantía técnica permitió a los

profesionales del INM profundizar en los procesos de producción de Materiales de Referencia Certificados (MRC) y Mezclas Primarias de Referencia (PRM), así como en la infraestructura necesaria para servicios de calibración de medidores de gas.

Este desarrollo se concibe como una evolución natural de capacidades que inicia con el aprovechamiento de recursos externos y culmina en la independencia metrológica. En una primera instancia, la adquisición de gases trazables de otros institutos pares permitirá al INM habilitar con prontitud servicios de calibración de medidores de gas, habilitando un servicio en el mediano plazo. Paralelamente, la incorporación de equipamiento analítico especializado facilitará la transición hacia la prestación de servicios de medición para productores locales, fortaleciendo la calidad de la oferta nacional de gases.

A medida que la infraestructura de laboratorio se adapte para los procesos de transferencia, llenado y vaciado de cilindros, el INM escalará su competencia hacia la producción propia de mezclas de referencia certificadas (MRC). El punto culminante de esta trayectoria técnica se alcanzará con la puesta en servicio de una comparadora de masa de alta precisión, herramienta que habilitará la producción de mezclas primarias (PRM) bajo estándares internacionales. Este despliegue gradual, asegura que cada fase de la hoja de ruta cuente con un sustento técnico sólido y una oferta de servicios coherente con la realidad industrial y metrológica.

06.

Estrategia del INM y líneas de acción

Con base en los análisis realizados, los acercamientos nacionales e internacionales y las necesidades identificadas en los sectores ambiental, energético e industrial, el INM ha definido una estrategia gradual para el fortalecimiento de sus capacidades en metrología de gases. Esta estrategia se fundamenta en la implementación progresiva de un laboratorio de gases, orientado inicialmente a la prestación de servicios de certificación de mezclas de gases producidas por fabricantes nacionales y, en el mediano y largo plazo, al desarrollo de capacidades para la preparación y certificación de estas mezclas mediante las siguientes líneas de acción:

Identificación de brechas

De manera continua se adelanta un diagnóstico de las necesidades relacionadas con la capacidad del país para soportar la validez y confianza en las mediciones, las limitaciones técnicas y dependencia de la oferta externa en materia de medición de gases en Colombia, con el fin de priorizar inversión y acciones.

Esta identificación no surge como un evento aislado de INM, sino que se ha desarrollado por diferentes actores relacionados con el sector, el documento “Servicios de la infraestructura de la calidad para hidrógeno en Colombia” generado en el marco del proyecto Artical III es un ejemplo de ello.

Como resultado de esta actividad continua, se obtiene un análisis de la capacidad instalada en laboratorios nacionales y su capacidad de cumplimiento a requeri-

mientos normativos, caracterizando evaluación de la disponibilidad y acceso a MRC, que da pie a las acciones definidas en las siguientes líneas de acción.

Relacionamiento con fabricantes

El INM fortalecerá el relacionamiento técnico con fabricantes y proveedores de gases industriales y especiales, con el objetivo de mejorar la trazabilidad de las mezclas utilizadas en el país y promover servicios de medición y certificación de MR. Este relacionamiento se orientará a comprender los procesos de producción, los controles de calidad existentes y las prácticas de asignación de valor empleadas en la industria. Identificar oportunidades para la certificación de cilindros comerciales, explorar desarrollos conjuntos de MRC en el marco de la norma ISO 17034.

Dentro de las estrategias para esta línea de acción se plantea la promoción de acuerdos de cooperación público–privados que permitan ofrecer productos y servicios que satisfagan las necesidades del sector, generando impactos tempranos en la infraestructura de la calidad y fortaleciendo su articulación.

Implementación del laboratorio de gases en el INM

De los escenarios propuestos, el INM priorizará la implementación a corto plazo, el cual contempla la certificación de cilindros comerciales como fase inicial de la estrategia institucional. Este escenario permite

generar impactos tempranos, responder a las demandas actuales del país y sentar las bases técnicas para la transición hacia capacidades más avanzadas en el mediano y largo plazo.

Este escenario contempla, entre otros, los siguientes componentes:

- Adquisición de Materiales de Referencia Certificados (Cilindros primarios).
- Desarrollo de las capacidades de medición de mezclas de gases.
- Asignación de valor a cilindros comerciales.
- Soporte metrológico a laboratorios y redes que calibran sensores de gases.
- Fortalecimiento de la trazabilidad de las mediciones asociadas a gases.



Bru-nO - pixabay.com

Como etapa inicial, se priorizará la formación técnica especializada del personal del Instituto Nacional de Metrología en técnicas de análisis cromatográfico, así como en la producción, certificación y aseguramiento metrológico de materiales de referencia de gases. Esta capacitación se llevará a cabo con el apoyo de institutos nacionales de metrología de la región, con el fin de fortalecer las competencias en evaluación de la incertidumbre de medición, establecimiento de la trazabilidad metrológica al Sistema Internacional de Unidades (SI) y aseguramiento de la validez de los resultados.

En la fase inicial, la estrategia del INM se enfocará en los gases y analitos con impacto transversal en los sectores energético, ambiental e industrial, de acuerdo con las necesidades nacionales identificadas, con el objetivo de maximizar el impacto técnico, regulatorio y estratégico de las capacidades a desarrollar. En este contexto, se priorizarán inicialmente los hidrocarburos, el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂), por su relevancia en procesos de combustión, control de emisiones, calidad del aire y aseguramiento de la calidad de combustibles gaseosos.

	Hidrógeno verde (calidad del gas)	Gas natural (calidad del gas)	Fuentes fijas (emisiones)	Fuentes móviles (emisiones)	Calidad del aire (ambiente)	Olores Ofensivos
Compuestos de azufre	X	X	X	-	X	X
Hidrocarburos	X	X	X	X	X	-
Óxidos de nitrógeno	X	-	X	X	X	-
Monóxido de carbono (CO)	X		X*	X	X	-
Dióxido de carbono (CO ₂)	X	X	X**	X	-	-
Material particulado	X	-	X	X	X	-
Oxígeno (O ₂)	X	X	-	X	-	-
Nitrógeno (N ₂)	X	X	-	-	-	-
Gases inertes	X	X	-	-	-	-
Agua (H ₂ O)	X	X	-	-	-	-
Halógenos	X	-	X	-	-	-
Amoníaco (NH ₃)	X	-	-	-	-	X
Ozono (O ₃)	-	-	-	-	X	-

* Carece de un parámetro de referencia normativo

** Se realiza estimación indirecta basada en datos de actividad

De acuerdo con los gases y analitos priorizados, se contempla la adquisición progresiva de los siguientes sistemas instrumentales:

Técnica	Analitos / Aplicación principal	Sector / Uso principal
Cromatografía de Gases con Detector de Ionización de Llama y Detector de Conductividad Térmica, con metanizador (GC-FID/TCD con metanizador)	Hidrocarburos, monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO ₂)	Calidad del aire, emisiones, control de procesos
Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas con Desorción Térmica	Compuestos azufrados, compuestos halogenados y formaldehído como impurezas en hidrógeno y otros gases	Hidrógeno, control de calidad, impurezas críticas
Micro Cromatografía de Gases (Micro-GC) (GC-MSD-TD)	Helio (He), oxígeno (O ₂), argón (Ar), nitrógeno (N ₂) y metano (CH ₄)	Gases industriales, mezclas patrón, verificación de pureza
Micro Cromatografía de Gases (Micro-GC) (GC-MSD-TD)	Helio (He), oxígeno (O ₂), argón (Ar), nitrógeno (N ₂) y metano (CH ₄)	Gases industriales, mezclas patrón, verificación de pureza
Cromatografía de Gases con Detector de Quimioluminiscencia de Nitrógeno	Amoníaco (NH ₃)	Ambiental, industrial, control de emisiones y procesos

En paralelo, se realizará la adecuación de los laboratorios de la Subdirección de Metrología Química y Biología, incluyendo redes eléctricas, suministro de gases, sistemas de respaldo de energía y condiciones de seguridad necesarias para la operación continua de los equipos analíticos. Adicionalmente, se adquirirán mezclas patrón certificadas con trazabilidad al SI, producidas por institutos nacionales de metrología reconocidos (NIST, INMETRO, NPL, VSL, entre otros), como base para la validación de métodos, la calibración de equipos y la asignación de valor a cilindros comerciales.

La implementación del laboratorio de gases en el INM requiere de la adecuación de la infraestructura actual de los laboratorios de la Subdirección de Metrología Química y Biología. La instalación y puesta en funcionamiento de los cromatógrafos requiere el acondicionamiento de las redes eléctricas para el suministro de energía, de las redes de gases para el suministro de helio, nitrógeno, hidrógeno y aire sintético y la adquisición de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS, por sus siglas en inglés) para la provisión de un respaldo de energía.

Capacitación del personal

La medición de mezclas de gases requiere de personal técnico competente, que cuente con conocimientos en medición por técnicas cromatográficas, espectrométricas, electroquímicas, entre otras. Así mismo, es necesario que este personal tenga conocimiento en la producción y certificación de materiales de referencia de gases, que sepan evaluar la incertidumbre de los MR, declarar la trazabilidad metrológica al Sistema Internacional de Unidades y desarrollar las acciones necesarias para el aseguramiento de la validez de los resultados.

La capacitación en estos temas debe darse por parte de expertos internacionales como, por ejemplo, metrólogos con competencia técnica en la medición, preparación y certificación de mezclas de gases, utilizadas como materiales de referencia. En la actualidad, es posible recibir esta capacitación por parte de institutos nacionales de metrología de países de la región como Uruguay (LATU), Brasil (INMETRO) y Costa Rica (LCM), por mencionar algunos.

Adquisición de equipamiento

Los equipos necesarios para la medición de mezclas de gases dependen del tipo de gas a analizar. Teniendo en cuenta las capacidades de medición y calibración, que se quieren desarrollar en el laboratorio de gases del INM, se hace necesario la adquisición de los siguientes instrumentos de medición:

- Sistema de cromatografía de gases con espectrómetro de masas acoplado a un sistema TD (GC-MSD-TD), para el análisis de compuestos azufrados, halogenados y formaldehído como impurezas en hidrógeno y otros gases.
- Sistema de cromatografía de gases con detección por ionización de llama y metanizador (GC-FID/TCD), para la determinación de hidrocarburos totales y concentraciones bajas/altas de monóxido y dióxido de carbono en gases.
- Sistema micro de cromatografía de gases (MICRO GC), para la medición de helio, oxígeno, argón, nitrógeno y metano.
- Sistema de cromatografía de gases con detector NCD para el análisis de amoníaco.

Desarrollo de capacidades de medición y calibración CMC

Se realizará de forma progresiva, desde el desarrollo de métodos aptos para el fin previsto hasta su validación, en el marco de un sistema integrado de gestión de la calidad que soporte la confianza en las mediciones, con el fin de proporcionar trazabilidad metrológica mediante los productos o servicios que de estas capacidades se deriven. Este desarrollo se realizará de manera progresiva, priorizando las necesidades

comunes en relación con calidad de gas, calidad de aire y emisiones, cumpliendo con los requisitos de normas internacionales y requerimientos específicos del sector.

Relacionamiento con partes interesadas

El INM participará en la consolidación de un esquema de cooperación técnica con entidades regulatorias, organismos del Subsistema Nacional de la Calidad, academia y sector productivo. Esta articulación facilitará la transferencia de conocimiento en metrología de gases, armonizar criterios técnicos y generar herramientas para el fortalecimiento de las capacidades de los laboratorios nacionales.

Esta línea de acción se materializará mediante talleres técnicos, capacitaciones, asistencia especializada y proyectos colaborativos, con un énfasis creciente a partir del segundo año de implementación de la hoja de ruta.

Cooperación internacional

La cooperación internacional permitirá acelerar el desarrollo de capacidades técnicas mediante el acceso a entrenamiento especializado, transferencia tecnológica y experiencias consolidadas en metrología de gases. El INM priorizará alianzas estratégicas con institutos nacionales de metrología y organismos internacionales, en particular con el PTB, el BIPM y

los institutos de la región. Esta cooperación se mantendrá activa durante todo el periodo de planeación y será un habilitador clave para el desarrollo de capacidades y el posicionamiento internacional del INM.

El INM fortalecerá su participación técnica en los grupos de trabajo del CCQM, del SIM y en redes regionales como ReMeDEMSIM, contribuyendo activamente al desarrollo de guías técnicas, estudios colaborativos y discusiones estratégicas en metrología de gases. Esta participación permitirá al Instituto mantenerse alineado con las tendencias y mejores prácticas internacionales, aportar la perspectiva nacional y regional, y posicionar los avances logrados en el marco de esta hoja de ruta.

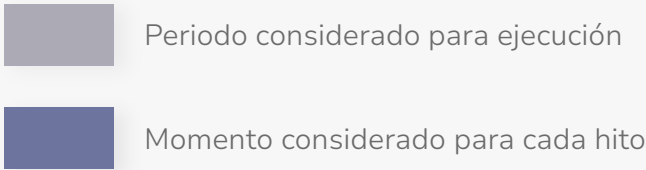


 mirarahneva - Freepik

07.

Plan de implementación e hitos

Eje	Hito	Año 1				Año 2				Año 3				Año 4			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Talento humano	Entrenamiento especializado en medición y producción de MR de gases																
	Participación en espacios regionales de transferencia del conocimiento																
Infraestructura y capacidades	Adquisición, instalación y puesta en marcha de sistemas analíticos críticos.																
	Adecuación de la infraestructura de laboratorios (redes de gases, electricidad, UPS)																
	Adquisición de MRC de gases																
	Adquisición de cilindros y demás insumos requeridos para la producción de MR																
	Participación en comparaciones internacionales CCQM/SIM.																
	Oferta del portafolio de MR gaseosos																
	Puesta en marcha del servicio de "Medición para Productores de MR" del INM.																
Desarrollo de capacidades y servicios	Priorización y definición de capacidades y MR a desarrollar.																
	Actualización e implementación del Sistema de Gestión de la Calidad del INM para la producción de MR de gases																
	Desarrollo de capacidades para el servicio de calibración de medidores de gas																
	Desarrollo y validación de los métodos de medición																
	Implementación de esquema de medición de mezclas producidas por terceros																
	Implementación de esquema de producción de mezclas de referencia certificadas																
	Implementación de esquema de producción de mezclas primarias de referencia																
Cooperación y articulación	Servir como sede para la reunión del CCQM-GAWG																
	Establecimiento de acuerdos de cooperación con proveedores nacionales de gases para acceso a materias primas y mezclas base.																
	Establecimiento de acuerdos de cooperación con entidades ambientales (SDA, IDEAM, MInAmbiente, MinMinas)																



08.

Conclusiones

La consolidación de una infraestructura metrológica robusta en el ámbito de las mediciones de gases es un requisito indispensable para garantizar la confiabilidad de los datos en los distintos sectores a nivel nacional. En Colombia, la necesidad de medir gases con trazabilidad metrológica responde no solo a compromisos ambientales y energéticos, sino también a la protección de la salud pública y al cumplimiento de normativas internacionales. La ausencia de una base metrológica sólida en este campo limita la comparabilidad de resultados, la implementación de políticas públicas efectivas y la capacidad del país para participar en el comercio global bajo estándares de calidad reconocidos.

En este contexto, la metrología química aplicada a los gases se configura como el eje articulador entre las necesidades regulatorias, las capacidades analíticas de los laboratorios y los requerimientos de la industria. La definición de límites permisibles en emisiones fijas, móviles y en concentraciones ambientales (ECA) exige métodos de medición con alta exactitud, incertidumbre conocida y trazabilidad a patrones nacionales e internacionales. Esto resalta la importancia del rol del Instituto Nacional de Metrología (INM), garante de la confiabilidad técnica que soporta la cadena de medición de gases.

El papel del INM en esta cadena va más allá de la provisión de patrones de referencia, incluye la generación de capacidades técnicas, el establecimiento de materiales de referencia certificados y el fortalecimiento de competencias en los laboratorios del país.

Esta labor contribuye a cerrar brechas en infraestructura metrológica, a disminuir dependencias tecnológicas externas y a asegurar que los resultados analíticos se traduzcan en información útil para la toma de decisiones ambientales, regulatorias y comerciales.

Los acercamientos realizados, tanto a nivel nacional como regional, demuestran la necesidad de un trabajo articulado y sostenido. El diálogo con otros Institutos Nacionales de Metrología y con entidades como la Secretaría Distrital de Ambiente constituye un paso importante hacia la integración de capacidades, la estandarización de prácticas y la creación de sinergias que fortalezcan la posición del país en el ámbito metrológico internacional. Estos esfuerzos deben consolidarse en planes de acción de mediano y largo plazo que permitan responder a las demandas emergentes en el campo de las mediciones de gases.

Finalmente, se reconoce que la ruta hacia una metrología de gases consolidada en Colombia exige visión estratégica, inversión sostenida y cooperación interinstitucional. El deber ser implica avanzar hacia la construcción de un sistema nacional de referencia confiable, inclusivo y alineado con las tendencias internacionales. Esto no solo potenciará la competitividad del país en el escenario global, sino que permitirá garantizar la calidad de vida de la población mediante un mejor control de la contaminación atmosférica y el uso eficiente de los recursos energéticos.



09.

Anexos

Anexo A. Técnicas analíticas y principios de medición

La concentración en un gas puede determinarse por diferentes técnicas analíticas dependiendo de la

naturaleza de la molécula que se desea analizar. En general, se puede mencionar que existen técnicas espectroscópicas, cromatográficas y electroquímicas, entre otras; La Tabla 1 presenta algunas de las técnicas utilizadas en las mediciones de gases.

Instrumento/Técnica de Medición	Componente(s) Analizado(s)
Cromatografía de gases con detección por ionización de llama (GC-FID)	Propano, metano, monóxido de carbono*, dióxido de carbono*, halocarbonos
Cromatografía de gases con detección por conductividad térmica (GC-TCD)	Dióxido de carbono, monóxido de carbono, propano (alto nivel)
Cromatografía de gases con espectrometría masas selectiva (GC-MSD)	Halocarbonos
Cromatografía de gases con detector de quimioluminiscencia de Nitrógeno (GC-NCD)**	Amoniaco
Espectroscopía infrarroja no dispersiva (NDIR)	Monóxido de carbono
Espectroscopía de absorción con cavidad mejorada (CEAS)	Óxido nitroso, monóxido de carbono
Espectroscopía de anillo descendente (CRDS)	Sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano
Espectroscopía ultravioleta no dispersiva (NDUV)	Óxido nítrico, dióxido de azufre
Fluorescencia pulsada	Dióxido de azufre
Electroquímico	Sulfuro de hidrógeno
Paramagnetismo	Oxígeno
Quimioluminiscencia	Óxido nítrico

*Requiere metanización de la muestra (41)** Tomado de (42)

1. Técnicas cromatográficas

En general, la cromatografía de gases (CG) es una técnica analítica que permite la separación de componentes altamente relacionados entre sí, que se encuentran en una misma muestra (43). En la cromatografía de gases una muestra se introduce en una columna de longitud entre 10 m y 60 m, que está enrollada en forma de bobina, y ubicada dentro de un horno con temperatura controlada (43). La columna está cubierta por una fase estacionaria sólida o líquida soportado en un sólido; adicionalmente, la CG requiere de una fase móvil gaseosa que pasa a través de la fase estacionaria y lleva los componentes de la muestra, movimiento que puede favorecerse también con ayuda de temperatura (43). La separación de los componentes de la muestra va a depender de la interacción que tiene cada uno de estos con las dos fases; por lo que, cada compuesto tendrá un tiempo de retención o llegada al detector diferente (43).

Finalmente, para la medición de mezclas de gases la cromatografía de gases puede acoplarse a diferentes tipos de detectores, incluidos el detector de conductividad térmica (TCD) y el detector de ionización de llama (FID).

Cromatografía de gases con detector de conductividad térmica (GC-TCD)

El funcionamiento de este detector está basado en el principio de que un cuerpo caliente pierde calor a una tasa proporcional a la composición del gas que lo

rodea, en este caso un filamento. En estos detectores, el flujo de gas de arrastre (normalmente, hidrógeno o helio) elimina calor del filamento a una velocidad específica dependiendo de la conductividad térmica del gas (43). Cuando al detector llega una muestra, se da un cambio en la conductividad térmica, lo que genera un aumento de la temperatura del filamento, debido a que se reduce la tasa de eliminación de calor. Este cambio de temperatura genera un cambio en la resistencia eléctrica que puede convertirse en una respuesta de señal de un cromatograma (43).

Una de las ventajas de estos detectores es que el proceso de medición no es destructivo; no obstante, no es tan sensible como otros detectores típicamente utilizados en la cromatografía de gases (43).

Cromatografía de gases con detección por ionización de llama (GC-FID)

El detector por ionización de llama es mucho más sensible que el TCD, presenta un intervalo lineal mayor (43). El principio de funcionamiento está basado en que una llama cambia su resistencia eléctrica con la composición del gas que está siendo quemado. El detector FID es altamente sensible a moléculas que tienen contenido de carbón (43). Normalmente, el FID utiliza una llama de aire e hidrógeno, la cual posee una alta resistencia eléctrica; cuando una molécula con enlaces carbono-hidrógeno llega a la llama, los átomos de carbono forman un ión que reduce la resistencia, dando como resultado un cromatograma proporcional al cambio de resistencia (43).

2. Técnicas espectrométricas

Un gran grupo de moléculas de gases absorben parte de la radiación infrarroja proveniente del sol, calentándose y transfiriendo su calor a otras moléculas de la atmósfera, las cuales a su vez emiten radiación infrarroja (45). Parte de esta radiación sale de la atmósfera al espacio, pero otra parte se queda en la tierra calentando aún más la superficie del planeta generando el fenómeno de efecto invernadero (45).

Cada uno de los gases efecto invernadero absorbe e irradia a una longitud de onda específica del espectro electromagnético, originando así una huella digital única que puede ser detectada y medida en la atmósfera de la tierra (45). La longitud de onda que absorbe/irradia cada gas es diferente y se da en la región infrarroja, la cual es invisible para el ojo humano, y están por encima del 1 μm (45).

Como se presentó en la Tabla de técnicas, existen varias técnicas para detectar y medir los gases efecto invernadero, entre ellas las técnicas espectrométricas, en las cuales se hace pasar radiación infrarroja, a través de una muestra de aire, esencialmente imitando la radiación del planeta y luego analizando la radiación en un detector. A partir de la cantidad de radiación detectada es posible determinar la concentración del gas específico en la muestra de aire analizada.

A continuación, se presentan las técnicas espectrométricas para la determinación del contenido de los GEI en la atmósfera.

En general este detector es sensible a gases orgánicos y combustibles, pero no es sensible a gases nobles, a los carbonilos, a alcoholes, a halógenos, a compuestos que contienen nitrógeno y a gases no combustibles como agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno (43).

Cromatografía de gases con espectrometría de masa (GC-MS)

La cromatografía de gases con espectrometría de masas se utiliza para determinar la pureza, estabilidad y la identificación de mezclas. En la CG-MS el detector (espectrómetro de masas) requiere de un sistema de alto vacío y de una interfase que lleve las moléculas del cromatógrafo al espectrómetro (44). En general, las moléculas que salen de la columna pasan a una cámara de ionización en la cual son bombardeadas con una corriente de electrones que ionizan y fragmentan algunas de las moléculas (44). Durante este proceso se pueden formar iones moleculares no fragmentados y otros iones debido a la fragmentación o a reacciones de reorganización. Estos iones son acelerados y rápidamente ordenados, de acuerdo con la relación masa/carga (m/z), en un analizador de masas que utiliza un campo magnético o eléctrico (44). La abundancia de cada ion se determina midiendo la corriente de electrones generada cuando los electrones chocan con el detector. El GC-MS genera un cromatograma en el cual se indica la cantidad de cada molécula en función del tiempo de retención (44).

Espectrometría Infrarroja No Dispersiva (NDIR)

Las mediciones por NDIR comienzan introduciendo aire dentro de una cámara en forma de tubo, en cuyo uno de sus extremos se encuentra una fuente que emite radiación infrarroja a la muestra de aire, y en el otro un detector que analiza la radiación que ha pasado a través del aire (45). Antes del detector se ubica un filtro con el propósito de remover la radiación (longitudes de onda) que está fuera del intervalo cercano de absorción del gas que se desea medir (45). En un segundo tubo, la misma radiación infrarroja se hace pasar a través de un gas que no absorba la radiación y la diferencia entre la cantidad de radiación detectada en ambos tubos indicará la concentración del gas en la muestra de aire analizada (45).

Con el propósito de asegurar la validez de los resultados dados por el espectrómetro, se hace necesario calibrar el instrumento con un gas de referencia, midiendo la radiación que pasa a través de una muestra de aire, con una concentración conocida del gas de interés (45).



 Bru-nO - pixabay.com

Espectroscopía de absorción con cavidad mejorada (CEAS)

En la CEAS el gas de interés se ingresa a una cavidad óptica la cual contiene dos o más espejos altamente reflectantes y dependiendo del grado de reflectividad de estos la longitud efectiva puede alcanzar decenas de kilómetros (46). Por tanto, la radiación infrarroja se hace pasar por la cavidad que contiene la muestra de gas a analizar. Al comparar la intensidad de la radiación con y sin la muestra es posible determinar la concentración del gas absorbente (46).

Espectroscopía de cavidad de anillo descendente (CRDS)

Los equipos CRDS ingresan una muestra de aire dentro de una pequeña cámara de aproximadamente 75 cm, que posee, en uno de sus extremos, espejos que son en su mayoría extremadamente reflexivos y en el otro una fuente de radiación láser de color específico, la cual absorbe el gas de interés (45). Esta fuente ilumina la cámara intermitentemente miles de veces recorriendo una y otra vez una distancia de alrededor de 130 km (45). Lo anterior, ayuda a las moléculas a interactuar por un tiempo mayor, incrementando la sensibilidad de la medición. Durante la medición, cuando la radiación golpea el espejo que no es completamente reflexivo se pierde y la intensidad de la radiación remanente en la cámara desciende levemente; este proceso se conoce como “anillo descendente” y en el tiempo la intensidad traza una curva de decaimiento exponencial (45). Cuando un GEI se introduce en la cámara este absorbe parte de la radiación infrarroja haciendo que la intensidad dentro

de la cámara descienda más rápido comparado con el decaimiento cuando la cámara no contiene ningún gas, estimando así la concentración del gas de interés (45). Esta técnica es una de las más precisas para medir los GEI.

Espectroscopía ultravioleta no dispersiva (NDUV)

La NDUV realiza el análisis de concentración de gases como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono, gracias a la propiedad que tienen estos gases para la absorción de diferentes longitudes de onda en el espectro ultravioleta. La medición se realiza haciendo pasar radiación a través de una muestra de gas y midiendo su atenuación a una longitud de onda adecuada. Al ser una técnica no dispersiva, aplica para la medición de un gas que, por su naturaleza, sea el único que absorbe, o en su defecto, el absorbente dominante en un intervalo de longitudes de onda específico (47). En la NDUV el gas de interés se introduce en una celda de 27 cm y se expone a una radiación ultravioleta paralela. Esta radiación solo se atenúa debido a la absorción del gas y al comparar las intensidades de la radiación inicial con la intensidad después de pasar a través del gas es posible calcular la concentración del gas de interés presente en la celda (47).

3. Aseguramiento de la validez de los resultados

El aseguramiento de la validez de los resultados en las mediciones de gases debe realizarse de acuerdo

con los lineamientos establecidos en el numeral 7.7 Aseguramiento de la validez de los resultados de la norma ISO/IEC 17025:2017 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (31). Esta norma presenta varias herramientas para el aseguramiento, dentro de las que cuales es importante mencionar el contar con y hacer uso de materiales de referencia certificados para gases o mezclas gases y participar en comparaciones interlaboratorio (31).

Las mezclas primarias de gases se preparan gravimétricamente de tal forma que, todos los cilindros de un mismo lote tienen idéntica composición y concentración. Adicionalmente, estas mezclas primarias deben tener trazabilidad metrológica directa al Sistema Internacional de Unidades (SI) y deben utilizarse de acuerdo con el uso previsto establecido (41; 48).

De acuerdo con la norma ISO 6142-1:2015 (Análisis de gases: preparación de mezclas de gases de calibración Parte 1: Método gravimétrico para mezclas de clase I) (49), la preparación gravimétrica de mezclas involucra el pesar una o varias alícuotas de gas(es) de interés e introducirlas dentro de un cilindro vacío y después realizar una dilución con un gas de balance como nitrógeno o aire, entre otros (41). Antes y después de adicionar una alícuota el cilindro se pesa de forma relativa a unas masas control. Las masas medidas y el peso molecular que los componentes se utilizan para determinar la fracción másica de la mezcla de gases. Adicionalmente, se deben tener en cuenta las impurezas conocidas (41).

Otra opción para asignar valor a un material de referencia de mezclas de gases es a través del uso de dos métodos independientes, previamente validados: (i) la dilución de uno o varios dispositivos de permeación calibrados gravimétricamente mediante un gas portador con caudal(es) medido(s) con precisión, y (ii) la dilución dinámica de un estándar certificado (41).

Anexo B. Producción y certificación de Materiales de Referencia de mezclas de gases

En línea con esta estrategia global y regional, el INM como autoridad colombiana en metrología y pilar fundamental de la infraestructura de la calidad trabaja de forma coordinada con los organismos de normalización y de evaluación de la conformidad (acreditación) para generar confianza en la calidad de productos y servicios, promoviendo la sostenibilidad y el desarrollo económico nacional. Así, para garantizar la calidad en las mediciones de gases en Colombia, se ha identificado que los proveedores de gases especiales están encargados del suministro de “mezclas patrón” a los laboratorios de ensayo y calibración; donde estas mezclas de gases son utilizadas para los procesos de calibración instrumental, sin contar con una certificación de material de referencia como principal esquema de calidad analítica de un laboratorio. Esto revela una necesidad nacional relacionada con el suministro adecuado de materiales de referencia en gases con aplicabilidad principal en monitoreo ambiental.

Un material de referencia certificado (MRC) de gas es un elemento, compuesto o mezcla de estos, en estado gaseoso que se comprime a alta presión en cilindros metálicos y cuya composición e incertidumbre son conocidas con un nivel de confianza determinado, proporcionando un mecanismo para la calibración instrumental, validación de métodos, control de calidad y trazabilidad metrológica al SI. En la actualidad, la adquisición de MRC desde los laboratorios secundarios enfrenta desafíos importantes debido al alto costo de las mezclas de gas, procesos de importación y extenuantes procedimientos para la nacionalización de estos. Por esta razón, la Subdirección de Metrología Química y Biología (SMQB) del INM lidera el desarrollo de Materiales de referencia diseñados para garantizar resultados confiables y comparables en los laboratorios del país. Es así, como una vez identificada la necesidad de certificación de mezclas de gases se ha elaborado un plan de trabajo que permite el abordaje de esta necesidad y se discutió en el apartado 7.

La certificación de un lote de material de referencia de una mezcla de gases debe cumplir con todos los requisitos establecidos en la norma ISO 17034:2016 (Requisitos generales para la competencia de los productores de materiales de referencia). Así mismo, los productores de materiales de referencia deben seguir las recomendaciones y lineamientos de la familia de normas que la acompañan (ISO 33401:2024 Materiales de referencia: contenido de los certificados, etiquetas y documentación adjunta (50), ISO/TR

33402:2025 Buenas prácticas en la preparación de materiales de referencia (51), ISO 33403:2024 Materiales de referencia -Requisitos y recomendaciones para su uso (52) e ISO 33405:2024 Materiales de referencia. Métodos para la caracterización y evaluación de la homogeneidad y la estabilidad (53).

Un productor de material de referencia de gases debe demostrar su competencia técnica, por medio del cumplimiento de ciertos requisitos técnicos que aseguren la calidad de los materiales (41; 48):

1. El productor debe contar con un sistema de calidad documentado, en normas como ISO/IEC 17025:2017 e ISO 17034:2016.
2. El productor debe contar con la infraestructura necesaria, el equipamiento y el personal competente para producir y analizar las mezclas de gases. En este sentido y debido a la alta complejidad que requiere la preparación de mezclas gaseosas, el productor de la mezcla puede ser un laboratorio o empresa con experiencia en la fabricación de gases.

Tendiendo en cuenta lo establecido en la ISO 17034, a continuación, se describen las etapas que se deben seguir para la preparación y certificación de un lote (producción):

Planeación de la producción

Las actividades que se deben realizar dentro de la producción de un lote deben estar debidamente plani-

ficadas antes de iniciar cualquier etapa de preparación. En esta etapa se deben definir algunos temas como: determinar el material de partida, establecer el procedimiento de preparación (incluido actividades como homogenización), métodos analíticos de medición y trazabilidad metrológica (48).

Preparación del lote

Los cilindros utilizados para la producción del lote deben estar limpios y haber sido fabricados con un tamaño y material establecidos como compatibles con el gas que va a contener. Todos los cilindros de un mismo lote deben tener el mismo tamaño, proceso de fabricación, válvula y deben haber sido sometidos al mismo tratamiento (48). Las válvulas utilizadas en cada cilindro deben ser de un material apropiado para el gas contenido y deben seleccionarse de acuerdo con las recomendaciones de la Asociación de Gases Comprimidos (CGA, por sus siglas en inglés) (48).

La gran mayoría de las mezclas de gases se preparan en cilindros de aluminio con un volumen interno de 6 L. Las mezclas de gases se homogenizan con el propósito de asegurar la homogeneidad de la concentración en todas las botellas del lote (41).

Adicional a los cilindros del lote, se produce un cilindro con mayor capacidad (aproximadamente 30 L), considerado como el gas de referencia del lote y se utiliza como control de calidad (QC). Cada cilindro del lote se mide contra el QC y, por lo tanto, todas las mediciones se hacen relativas a este (41).

Mediciones iniciales del lote

El fabricante de la mezcla de gases debe realizar las siguientes actividades (48):

1. Determinar la homogeneidad del lote.
2. Establecer una concentración promedio de todo el lote.
3. Establecer una línea base de la concentración de la mezcla para a partir de ella definir la estabilidad del material de referencia.

Estas mediciones deben realizarse utilizando una mezcla de gases de referencia (MRC) (48). Los resultados de estos estudios deben ser analizados por el productor del material y quien establece que son aptos para el uso previsto y, por lo tanto, el lote es candidato a MRC (41; 48).

Durante el proceso de producción de un lote de mezclas de gases, los cilindros, el tratamiento de los cilindros, los gases de partida, y el procedimiento de mezcla de los gases deben asegurar la estabilidad del material en un periodo de tiempo establecido.

Evaluación de la homogeneidad

La evaluación de la homogeneidad del lote se realiza comparando la dispersión de las concentraciones entre cilindros con la dispersión dentro de cilindros, por medio de pruebas estadísticas y análisis gráficos.

Cada cilindro se compara directamente con el QC, obteniendo las concentraciones relativas. De cada cilindro se toman 6 submuestras en un periodo de 2 días (41; 48).

Si la dispersión entre cilindros no es significativamente mayor que la dispersión dentro de los cilindros, se considera que el lote es homogéneo y se asigna un único valor de concentración al lote. Si la dispersión entre y dentro es significativa, es posible dividir el lote en sublotes y asignar valor a cada subgrupo que haya demostrado ser homogéneo. Otra alternativa puede ser asignarle valor a cada cilindro por separado (41; 48).

Evaluación de la estabilidad

La evaluación de la estabilidad del lote se puede realizar utilizando cualquier de los dos esquemas que se presentan a continuación (41; 48):

- Comparando los datos del análisis de homogeneidad que hace el fabricante del lote y los datos de homogeneidad que hace el productor (INM).
- Midiendo en dos puntos diferentes del tiempo el lote y comparando los datos de ambas mediciones. Estas mediciones se deben hacer en periodos largos de tiempos (meses), dependiendo también de la composición de las mezclas de gases.

Para el caso de mezclas de gases no reactivos, es posible realizar la evaluación de la estabilidad comparando los datos preliminares del fabricante con los analizados por el fabricante. Lo anterior teniendo en cuenta que estas mediciones pueden llevarse a cabo con meses de diferencia (41).

Para el caso de mezclas reactivas, que pueden ser por naturaleza menos estables es necesario realizar más mediciones con el propósito de establecer la estabilidad del lote (41).

Caracterización de la mezcla de gases

El productor de material de referencia realiza pruebas adicionales con el propósito de evaluar la calidad de la mezcla preparada, dentro de las cuales están (41):

1. Verificación del valor nominal de la fracción másica de los analitos presentes en la mezcla, dentro de los límites establecidos.
2. Análisis de la composición del gas cuando las mezclas se preparan con balance de aire.
3. Verificación que cualquier impureza se encuentra dentro los límites máximos establecidos.

Si el lote de gases no cumple alguna de estas verificaciones debe descartarse.

Las mediciones de los gases siempre se realizan relativas al gas de control de calidad (QC), el cual se

mide a lo largo de la secuencia de medición con el propósito de identificar cualquier deriva instrumental durante las mediciones. El orden de las mediciones de los cilindros se aleatoriza y se recomienda que cada dos mediciones de las unidades del lote, se mida un QC (41).

Asignación del valor

La asignación del valor se realiza con una curva de calibración de al menos 4 materiales de referencia primarios, de composición similar al material de referencia candidato. Es importante asegurar que el intervalo de fracción másica de la curva contenga el valor nominal de fracción másica del candidato (41). Cada punto de la curva se mide contra el gas de control de calidad determinando las respuestas relativas. Por cada nivel de la curva se obtienen por lo menos 6 réplicas de mediciones tomadas en un período de dos días (41).

Utilizando la ecuación definida en la ISO 6143: 2025 (Análisis de gases: métodos comparativos para determinar y verificar la composición de mezclas de gases de calibración) (54) $x = G(\bar{r})$, donde $\bar{r}$ es el valor promedio de las respuestas relativas y x es la fracción másica del analito en la mezcla del material de referencia candidato (41). Una vez se tienen los resultados por cada nivel, se realiza un análisis polinomial con el propósito de representar la función G . Para este análisis se pueden tener dos criterios: (i) un análisis gráfico en el cual se grafican los residuales de

los polinomios de órdenes 1, 2, 3 y 4. Estas gráficas se analizan para comparar los residuales y establecer posibles relaciones entre los residuales y los valores ajustados (41), (ii) criterio de selección numérico hace referencia a modelos estadísticos convencionales como lo son el Criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés) y el Criterio de Información Bayesiano (BIC) (41).

Evaluación de la Incertidumbre

El presupuesto de incertidumbre asociada a la certificación de los materiales de referencia de mezclas de gases tiene 3 fuentes principales: (i) la incertidumbre de las mezclas patrón utilizadas para la asignación del valor, (ii) la dispersión de los resultados de la medición del lote candidato, y (iii) la homogeneidad del lote (48).

$$u_c = (u_{PS}^2 + u_A^2 + u_H^2)$$

Donde,
 u_{MRC} , incertidumbre de la mezcla patrón
 u_A , incertidumbre de medición del lote
 u_H , incertidumbre homogeneidad lote

La incertidumbre expandida se obtiene multiplicando el valor de la incertidumbre combinada por el factor de cobertura que para este caso se toma como 2. El valor de la concentración del gas en la mezcla se espera que esté en el intervalo dado entre el valor certificado y su respectiva incertidumbre, con un nivel de confianza del 95% (48).

Anexo C. Benchmark internacional de Materiales de Referencia Certificados

Emisiones vehiculares

Laboratorio Nacional de Física del Reino Unido (NPL) ofrece, para el aseguramiento de la validez de los resultados y la provisión de trazabilidad metrológica, los siguientes MRC de gases de emisiones vehiculares (55):

Componente	Matriz	Intervalo de fracción de molar	
Monóxido de carbono	Nitrógeno	10 µmol/mol	100 mmol/mol
Dióxido de carbono		10 µmol/mol	500 mmol/mol
Propano		10 µmol/mol	10 mmol/mol
Oxígeno		10 µmol/mol	210 mmol/mol

Por su parte, el Instituto Nacional de Metrología de Países Bajos VSL, ofrece dos clases de MRC (56):

Componente	Matriz	Intervalo de fracción de molar	
Monóxido de carbono	Nitrógeno	0.5 %mol/mol	9.0 %mol/mol
Dióxido de carbono		3.6 %mol/mol	18.0 %mol/mol
Oxígeno		0.5 %mol/mol	21.0 %mol/mol
Propano		0.02 %mol/mol	0.32 %mol/mol

Componente	Matriz	Intervalo de fracción de molar	
Monóxido de carbono	Nitrógeno	0.1 %mol/mol	0.45 %mol/mol
Dióxido de carbono		3.6 %mol/mol	18.0 %mol/mol
Propano		0.1 %mol/mol	21.0 %mol/mol
Oxígeno		0.005 %mol/mol	0.02 %mol/mol

Este tipo de mezclas de gases tienen periodos de vigencia de alrededor de 4 años.

Calidad de aire

Para el monitoreo de gases atmosféricos el NPL ofrece los siguientes MRC (55):

Componente	Matriz	Intervalo de fracción de molar	
Dióxido de azufre	Nitrógeno o aire	100 nmol/mol	10 mmol/mol
Monóxido de nitrógeno	Nitrógeno	100 nmol/mol	10 mmol/mol
Dióxido de nitrógeno	Nitrógeno	1 µmol/mol	5 mmol/mol
Monóxido de carbono	Nitrógeno o aire	1 µmol/mol	500 µmol/mol

Así mismo el VSL tiene la siguiente oferta de MRC (56):

Componente	Matriz	Intervalo de fracción de molar	
Metano	Aire sintético	1.6 x 10 ⁻⁶ µmol/mol	3.2 x 10 ⁻⁶ µmol/mol
Monóxido de carbono		120 x 10 ⁻⁹ µmol/mol	600 x 10 ⁻⁹ µmol/mol
Dióxido de carbono		300 x 10 ⁻⁶ µmol/mol	800 x 10 ⁻⁶ µmol/mol
Óxido nitroso		280 x 10 ⁻⁹ µmol/mol	380 x 10 ⁻⁹ µmol/mol
Cloruro de hidrógeno	Nitrógeno o aire sintético	10 µmol/mol	300 µmol/mol

Emisiones de fuentes fijas

Los materiales de referencia certificados que ofrece el NPL, para las mediciones de emisiones de fuentes fijas, se presentan a continuación (55):

Componente	Matriz	Intervalo de fracción de molar	
Monóxido de carbono	Nitrógeno o aire	1 µmol/mol	500 mmol/mol
Dióxido de carbono		1 µmol/mol	500 mmol/mol
Propano	Nitrógeno	1 µmol/mol	50 mmol/mol
Oxígeno	Nitrógeno	1 µmol/mol	500 mmol/mol
n-hexano	Nitrógeno	1 µmol/mol	1 mmol/mol
Dióxido de carbono	Nitrógeno	1 µmol/mol	10 mmol/mol
Dióxido de nitrógeno	Nitrógeno	1 µmol/mol	5 mmol/mol
Amoníaco	Nitrógeno	10 µmol/mol	2 mmol/mol
Cloruro de hidrógeno	Nitrógeno	5 µmol/mol	90 mmol/mol

Por su parte, VSL ofrece las siguientes mezclas certificadas (56):

Componente	Matriz	Intervalo de fracción de molar	
Monóxido de carbono	Nitrógeno	1 µmol/mol	10 %mol/mol
	Aire sintético	1 µmol/mol	100 µmol/mol
Dióxido de carbono	Nitrógeno	10 µmol/mol	20 %mol/mol
	Aire sintético	100 µmol/mol	1000 µmol/mol
Propano	Nitrógeno o aire sintético	1 µmol/mol	1000 µmol/mol
Metano	Nitrógeno o aire sintético	1 µmol/mol	1000 µmol/mol
Amoníaco	Nitrógeno	10 µmol/mol	300 µmol/mol
Monóxido de nitrógeno	Nitrógeno	0.1 µmol/mol	1 %mol/mol
Óxido nitroso	Nitrógeno o aire	0.3 µmol/mol	800 µmol/mol
Dióxido de nitrógeno	Nitrógeno	10 µmol/mol	1000 µmol/mol
	Aire sintético	10 µmol/mol	1000 µmol/mol
Dióxido de azufre	Nitrógeno	1 µmol/mol	1 %mol/mol
	Aire sintético	10 µmol/mol	1 %mol/mol
Sulfuro de hidrógeno	Nitrógeno o aire	1 µmol/mol	800 µmol/mol

Gases energéticos

Para los gases energéticos, gas natural e hidrógeno, VSL tiene la oferta de las siguientes mezclas de referencia (56):

Compuestos de azufre en metano

Componente	Intervalo de fracción de molar	
Sulfuro de hidrógeno	10 µmol/mol	50 µmol/mol
Sulfuro de carbonilo	10 µmol/mol	50 µmol/mol
Metil mercaptano	10 µmol/mol	50 µmol/mol
Etil mercaptano	10 µmol/mol	50 µmol/mol
Sulfuro de dimetilo	10 µmol/mol	50 µmol/mol

Biogas

Componente	Intervalo de fracción de molar	
Dióxido de carbono	10 % mol/mol	50 % mol/mol
Metano	50 % mol/mol	75 % mol/mol
Nitrógeno	1 % mol/mol	25 % mol/mol
Hidrógeno	0.1 % mol/mol	2 % mol/mol
Oxígeno	0.1 % mol/mol	2 % mol/mol

Gas natural sintético

El VSL ofrece las siguientes mezclas de referencia para el gas natural (56):

Biogas

Componente	Intervalo de fracción de molar	
Metano	40 cmol/mol	99.9 cmol/mol
Dióxido de carbono	0.0 cmol/mol	55 cmol/mol
Nitrógeno	0.02 cmol/mol	25 cmol/mol
Hidrógeno	0.05 cmol/mol	10 cmol/mol
Oxígeno	0.05 cmol/mol	1.5 cmol/mol
Etano	0.002 cmol/mol	0.5 cmol/mol
Propano	0.002 cmol/mol	0.5 cmol/mol

**1 cmol/mol es igual a 0.01 mol/mol y es equivalente a la “unidad” % mol/mol que utiliza frecuentemente la industria del gas natural.*

Gas natural

Componente	Intervalo de fracción de molar	
metano	55.0 % mol/mol	99.9 % mol/mol
etano	0.008 % mol/mol	18.0 % mol/mol
propano	0.008 % mol/mol	8.0 % mol/mol
isobutano	0.004 % mol/mol	1.70 % mol/mol
n-butano	0.004 % mol/mol	1.70 % mol/mol
isopentano	0.0025 % mol/mol	0.60 % mol/mol

Componente	Intervalo de fracción de molar	
metano	60.0 % mol/mol	99.9 % mol/mol
etano	0.25 % mol/mol	11.0 % mol/mol
propano	0.10 % mol/mol	10.0 % mol/mol
isobutano	0.03 % mol/mol	0.70 % mol/mol
n-butano	0.03 % mol/mol	0.70 % mol/mol
isopentano	0.02 % mol/mol	0.80 % mol/mol
n-pentano	0.02 % mol/mol	0.80 % mol/mol
neopentano	0.02 % mol/mol	0.80 % mol/mol
n-hexano	0.01 % mol/mol	0.40 % mol/mol
n-heptano	25 µmol/mol	200 µmol/mol
n-octano	15 µmol/mol	100 µmol/mol
n-nonano	10 µmol/mol	25 µmol/mol
n-decano	5 µmol/mol	20 µmol/mol
dióxido de carbono	0.10 % mol/mol	20 % mol/mol
nitrógeno	0.10 % mol/mol	20 % mol/mol
helio	0.05 % mol/mol	0.40 % mol/mol

Por su parte, el NPL ofrece las siguientes mezclas de referencia para los gases energéticos (55):

Componente	Intervalo de fracción de molar		Analito	Fracción de cantidad de sustancia (μmol/mol)
n-pentano	0.0025 % mol/mol	0.60 % mol/mol	Argón	300
neopentano	0.0005 % mol/mol	0.50 % mol/mol	Helio	300
n-hexano	0.0008 % mol/mol	0.50 % mol/mol	Nitrógeno	300
n-heptano	10 μmol/mol	500 μmol/mol	Metano	100
n-octano	5 μmol/mol	200 μmol/mol	Agua	5
n-nonano	1 μmol/mol	120 μmol/mol	Dióxido de carbono	2
n-decano	1 μmol/mol	20 μmol/mol	Etano	1
Benceno	5 μmol/mol	500 μmol/mol	Monóxido de carbono	0.2
Tolueno	5 μmol/mol	250 μmol/mol	Amoníaco	0.2
Ciclo hexano	10 μmol/mol	400 μmol/mol	Diclorometano	0.025
Metil ciclo hexano	10 μmol/mol	400 μmol/mol	Dimetilsulfuro	0.004
dióxido de carbono	0.04 % mol/mol	25 % mol/mol	Hidrógeno	Matriz
nitrógeno	0.02 % mol/mol	25.2 % mol/mol		
helio	0.001 % mol/mol	0.50 % mol/mol		

Hidrógeno

El instituto nacional de metrología de Países Bajo no cuenta con oferta de MRC para el hidrógeno; por su parte, el NPL sí ofrece el siguiente (55):

10. Referencias

1. Universidad Nacional de Colombia. Glosario ambiental de la oficina de gestión ambiental. [En línea] [Citado el: 27 de Agosto de 2025.] <https://ogabogota.unal.edu.co/wp-content/uploads/2020/10/Calidad-del-Aire-1.pdf>.

2. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. EMISIONES POR FUENTES MÓVILES. [En línea] IDEAM. [Citado el: 27 de Agosto de 2025.] <http://archivo.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles>.

3. Ministerio de Minas y Energía. Gas Natural. [En línea] [Citado el: 27 de Agosto de 2025.] <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/hidrocarburos/funcionamiento-del-sector/gas-natural/>.

4. Revisión del cálculo de poder calorífico y punto de rocío del gas natural, y de la estimación de sus incertidumbres. Ayala Blanco E, Aparicio Ariza AA, García Sánchez CE. 2, Piedecuesta, Santander, Colombia : Revista ION, 2016, Vol. 29.

5. Secretaría Distrital de Ambiente. Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB. [En línea] Secretaría Distrital de Ambiente. [Citado el: 27 de Agosto de 2025.] <https://www.ambientebogota.gov.co/red-de-monitoreo-de-calidad-del-aire-de-bogota-rmcab>.

6. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 762. [En línea] 18 de Julio de 2022. [Citado el: 27 de Agosto de 2025.] <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/09/Resolucion-762-de-2022.pdf>.

7. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resoluación 909. [En línea] 5 de Junio de 2008. [Citado el: 27 de Agosto de 2025.] <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-909-de-2008.pdf>.

8. Congreso de la República de Colombia. Ley 99 de 1993. [En línea] 22 de Diciembre de 1993. [Citado el: 2026 de Enero de 2026.] <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>.

9. **Presidencia de la República de Colombia.** Decreto 1595 de 2015. [En línea] 5 de Agosto de 2015. [Citado el: 26 de Enero de 2026.] <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/-norma.php?i=62889>.
10. **Ministerio de transporte.** Resolución 3768. [En línea] 26 de Septiembre de 2013. [Citado el: 26 de Enero de 2026.] <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=116860>.
11. **International Organization for Standardization - ISO.** 17020 Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan la inspección de la conformidad. [En línea] 2012. [Citado el: 26 de Enero de 2026.]
12. **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).** NTC 5375 Revisión Técnico-Mecánica y de Emisiones Contaminantes. [En línea] 2024.
13. **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).** NTC 4231 - Procedimientos de evaluación y características de los equipos de flujo parcial necesarios para medir las emisiones de humo generadas por las fuentes móviles accionadas con ciclo diésel. Método de aceleración libre. [En línea] 2012.
14. **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).** NTC 4983 - Calidad del aire. Evaluación de gases de escape de vehículo automotores que operan con ciclo otto. Método de ensayo en marcha mínima (ralenti) y velocidad crucero, y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación. [En línea] 2012.
15. **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).** NTC 5365 - Calidad del aire. Evaluación de gases de escape de motocicletas, motociclos, mototriciclos, motocarros y cuatrimotos, accionados tanto con gas o gasolina (motor de cuatro tiempos) como con mezcla gasolina aceite (motor de dos tiempos). [En línea] 2012.
16. **IDEAM - Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales.** Protocolo de revisión y seguimiento a organizaciones del proceso de medición de emisiones generadas por fuentes móviles - Organismos de Evaluación de la Conformidad - OEC. [En línea] 6 de Julio de 2025. [Citado el: 3 de Febrero de 2025.] https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/mapa-de-procesos/sal-pc006_protocolo_revision_y_seguimiento_a_autoridades_ambientales_v04.pdf.
17. **Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generadas por fuentes fijas. [En línea] Octubre de 2010.

- [Citado el: 3 de Febrero de 2026.] <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Protocolo-Fuentes-Fijas.pdf>.
18. **Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.** Resolución 2254. [En línea] 01 de Noviembre de 2017. [Citado el: 03 de Febrero de 2026.] <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-2254-de-2017.pdf>.
 19. **Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** Resolución 601 . [En línea] 4 de Abril de 2006. [Citado el: 3 de Febrero de 2026.] <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-601-de-2006.pdf>.
 20. **Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.** Decreto 1076 . [En línea] 26 de Mayo de 2015. [Citado el: 3 de Febrero de 2026.] <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-107>
 21. **Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** Resolución 651. [En línea] 29 de Marzo de 2010. [Citado el: 3 de Febrero de 2026.] <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-651-de-2010.pdf>.
 22. **Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. *Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.* [En línea] Octubre de 2010. [Citado el: 3 de Febrero de 2026.] https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Disenio.pdf.
 23. **Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial.** Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. *Manual de operaciones de sistemas de vigilancia y calidad del aire.* [En línea] Octubre de 2010. [Citado el: 3 de Febrero de 2026.] https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Operacion.pdf.
 24. **Presidencia de la República de Colombia.** Decreto 2119 . [En línea] 29 de Diciembre de 1992. [Citado el: 3 de Febrero de 2026.] <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=66802>.
 25. **Presidencia de la República de Colombia.** Decreto 10. [En línea] 10 de Enero de 1995. [Citado el: 3 de Febrero de 2026.] <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=66790>.

26. **Comisión de Regulación de Energía y Gas.** Resolución 071 . [En línea] 3 de Diciembre de 1999. [Citado el: 4 de Febrero de 2026.] https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/-docs/resolucion_creg_0071_1999.htm.
27. **Comisión de Regulación de Energía y Gas.** Resolución 50. [En línea] 16 de Abril de 2018. [Citado el: 4 de Febrero de 2026.] https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0050_2018.htm.
28. **Congreso de la República de Colombia.** Ley 142. [En línea] 11 de Julio de 1994. [Citado el: 4 de Febrero de 2026.] <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>.
29. **Congreso de Colombia.** Ley 689 de 2001. [En línea] 28 de Agosto de 2001. [Citado el: 4 de Febrero de 2026.] <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4633>.
30. **Presidencia de la República de Colombia.** Decreto 1369. [En línea] 18 de Octubre de 2020. [Citado el: 4 de Febrero de 2026.] <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=143509>.
31. **ISO/IEC.** 17025 - Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. [En línea] 2017. [Citado el: 4 de Febrero de 2026.]
32. **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).** NTC 3531 Artefactos domésticos que emplean gases combustibles para la producción instantánea de agua caliente. Calentadores de agua de paso continuo. [En línea] 2021.
34. **Joële Viallon, Philippe Moussay, Faraz Idrees, Robert Wielgosz, Jim Norris, Peter Trask, Jaison Galvis y Carmen Zapata.** Final report, Ongoing Key Comparison BIPM.QM-K1, Ozone at ambient level, comparison with UNAL-CALAIRE. [En línea] Noviembre de 2023. https://www.bipm.org/documents/d/guest/bipm-qm-k1_unal-calaire_2023.
33. **Presidencia de la República de Colombia.** Decrero 1597 . [En línea] 27 de Diciembre de 2024. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=257096>.
35. **Departamento Nacional de Planeación.** CONPES 3943 - Política para el mejoramiento de la calidad del aire. [En línea] 31 de Julio de 2018. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/E-con%C3%B3micos/3943.pdf>.

36. **ISO - International Organization for Standardization.** 17034 - Requisitos generales para la competencia de los productores de materiales de referencia. [En línea] 2016.
37. **ISO - International Organization for Standardization.** 14687- Calidad del combustible de hidrógeno: Especificaciones del producto. [En línea] 2025.
38. **ISO - International Organization for Standardization.** 21087 Análisis de gases — Métodos analíticos para el hidrógeno combustible — Aplicaciones de pilas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) para vehículos de carretera. [En línea] 2019 .
39. **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).** NTC 4584 Llenado de cilindros con gases comprimidos industriales y medicinales no inflamables. [En línea] 2021.
40. **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).** NTC 1672 - Cilindros de gas para uso industrial. [En línea] 2008.
41. **National Institute of Standards and Technology.** NIST Special Publication 260-222. Certification of NIST Gas Mixture Standard Reference Materials®. [En línea] Febrero de 2022. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.260-222.pdf>.
42. *Chemiluminescent nitrogen detector-gas chromatography and its application to measurement of atmospheric ammonia and amines.* **Nobuyuki Kashihira, Kazuo Makino, Kuwako Kirita, Yoshichika Watanabe.** Tokorozawa, Japón : Journal of Chromatography A, 1982, Vol. 239. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)82019-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)82019-1).
43. **Lovestead, Tara M.** Gas Chromatography. Applied Chemicals and Materials Division. [En línea] https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=926381.
44. **Tara M. Lovestead y Kimberly N.Urness.** Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC–MS). [En línea] https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=926655.
45. **National Institute of Standards and Technology.** How Do You Measure Greenhouse Gases. [En línea] National Institute of Standards and Technology. [Citado el: 3 de Abril de 2025.] <https://www.nist.gov/how-do-you-measure-it/how-do-you-measure-greenhouse-gases>.
46. **Schmidt, F.M., y otros.** Capítulo 14 - Optical spectroscopy. [aut. libro] J. (ed.) Beauchamp. *Breathborne Biomarkers and the Human*. s.l. : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819967-1.00014-1>, 2020.

47. *Non-dispersive UV Absorption Spectroscopy: A Promising New Approach for in-situ Detection of Sulfur Dioxide.* **Jan-Lukas Tirpitz, Denis Pöhler, Nicole Bobrowski, Bruce Christenson, Julian Rüdiger, Stefan Schmitt y Ulrich Platt.** 26, s.l. : Frontiers in Earth Science, 2019, Vol. 7. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00026>.
48. **William D. Dorko, Michael E. Kelley y Franklin R. Guenther.** NIST Special Publication 260-126 . *NIST Traceable Reference Material Program for Gas Standards.* [En línea] 2013. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.260-126rev2013.pdf>.
49. **ISO - International Organization for Standardization.** 1642-1 Análisis de gases: preparación de mezclas de gases de calibración Parte 1: Método gravimétrico para mezclas de clase I. [En línea] 2015.
50. **ISO - International Organization for Standardization.** 33401 - Materiales de referencia: contenido de los certificados, etiquetas y documentación adjunta . [En línea] 2024.
51. **ISO/TR - International Organization for Standardization/Technical Report.** 33402 Buenas prácticas en la preparación de materiales de referencia. [En línea] 2025.
52. **ISO - International Organization for Standardization.** 33403 - Materiales de referencia - Requisitos y recomendaciones para su uso . [En línea] 2024.
53. **ISO - International Organization for Standardization.** I33405 - Materiales de referencia. Métodos para la caracterización y evaluación de la homogeneidad y la estabilidad. [En línea] 2024.
54. **ISO - International Organization for Standardization.** 6143 Análisis de gases: métodos comparativos para determinar y verificar la composición de mezclas de gases de calibración. [En línea] 2025.
55. **National Physical Laboratory (NPL).** Gas Standards and Measurements. Details of the traceable, high-accuracy gas standards and measurement solutions provided by the National Physical Laboratory (NPL). [En línea] 2023. <https://www.npl.co.uk/getattachmen-t/43a9e204-7300-4550-b829-6b279d4a681c/gas-standards-brochure-2023.pdf?lang=en-GB>.
56. **VSL.** Gas Metrology. SI-traceable: Primary Reference Materials Certified Reference Materials Calibrated Gas Mixtures Interlaboratory Comparisons. [En línea] 2022. https://www.vsl.nl/wp-content/uploads/2022/11/VSL_primary-gas-standards.pdf.



Instituto Nacional de
Metrología de Colombia

