



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA



# ***Implementación de Ensayos de Aptitud en la Matriz Aire. Caso Gases Contaminantes Criterio***

Laboratorio CALAIRE - Wilson R. Salas

Sede Medellín

Facultad de Minas

# Laboratorio CALAIRE

- **Misión:**

- CALAIRE será reconocido como **centro integral de desarrollo en gestión de la calidad del aire**, aportando su capacidad técnica y conocimiento especializado en servicios de calibración y de calidad de aire, que contribuyan al **mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos**.

- **Visión:**

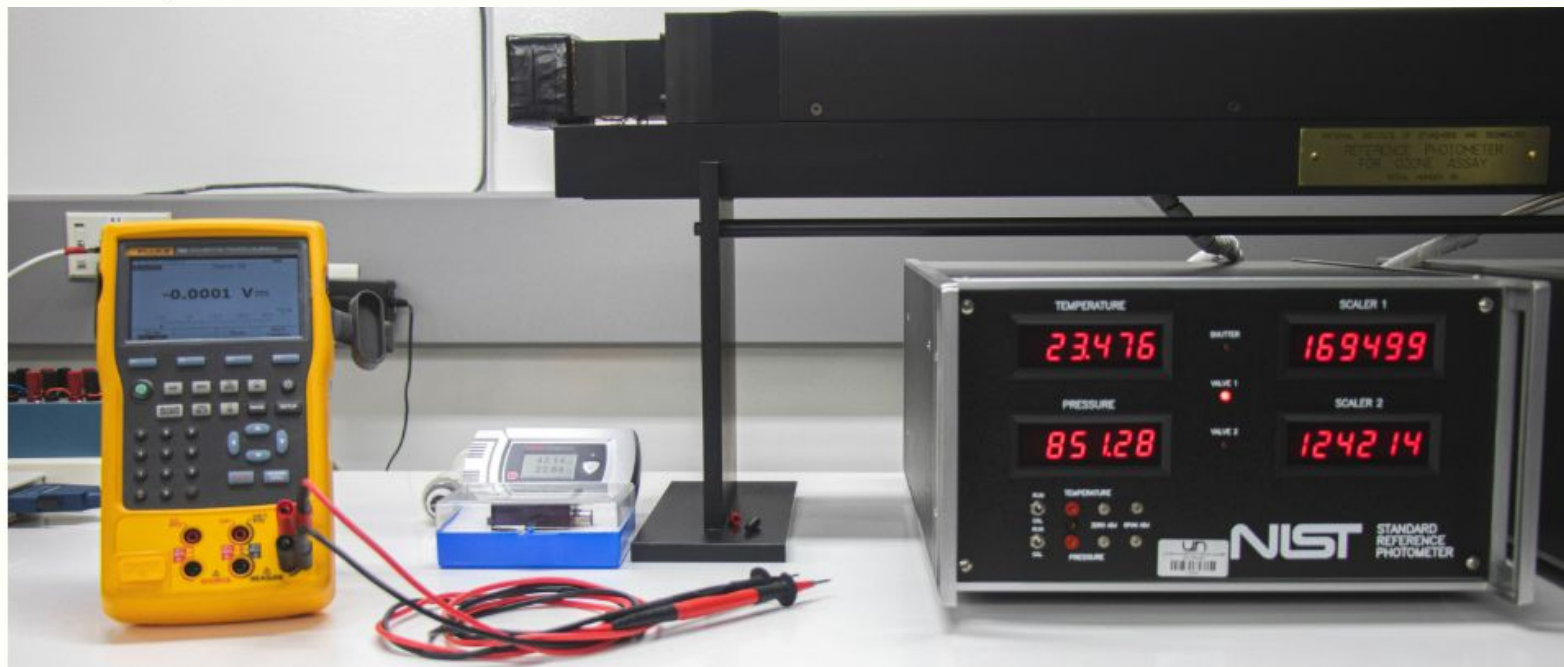
- CALAIRE está diseñado para responder a las necesidades y obligaciones en materia de calidad del aire de la comunidad y de las entidades del sector público y privado, mediante la prestación de servicios de ensayos y calibración; en el marco de proyectos de investigación y extensión, que han generado acciones de mejoramiento ambiental y calidad de vida de la población.

# Laboratorio CALAIRE

## ■ CALAIRE, primer laboratorio del país, designado del Instituto Nacional de Metrología

Publicado: 18 Mayo 2023

Una gran noticia para la institución, un logro derivado del esfuerzo, la dedicación y el trabajo de más de una década, del estudio de la dispersión de contaminantes y la evaluación de sus niveles.



# Laboratorio CALAIRE

- **Proyectos:**

- *Ampliación de alcance en la magnitud Caudal*
- *Servicios de ensayos colaborativos con miras a ensayos de aptitud en la matriz aire.*
- *Reconocimiento del Sistema de Gestión ante el QUALITY SYSTEM TASK FORCE (QSTF).*
- *Reconocimiento de la CMC ante el BIPM.*

# La contaminación del aire nos afecta a todos

**~99% Población  
Expuesta**

**~7 Millones  
muertes prematuras**

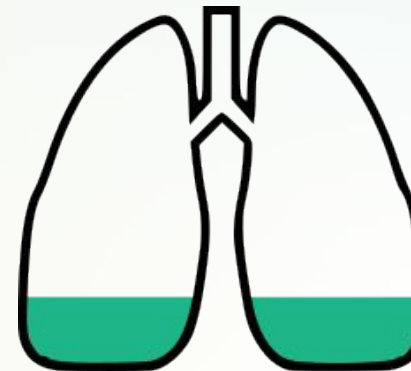
**34%**  
enfermedades  
cardíacas



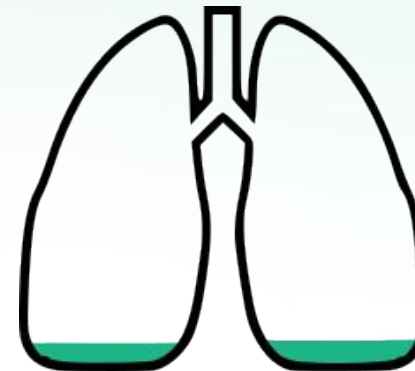
**20%**  
infarto  
cerebral



**21%**  
neumonía  
**20%**  
EPOC



**7%**  
cáncer de  
pulmón

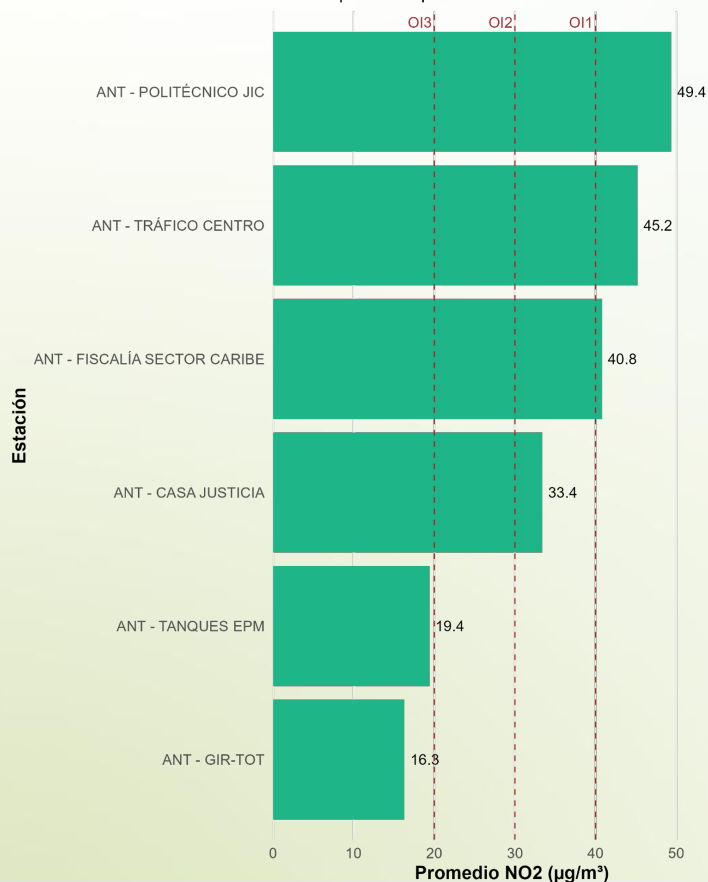




# Estado de la Calidad del Aire en Colombia (2023)

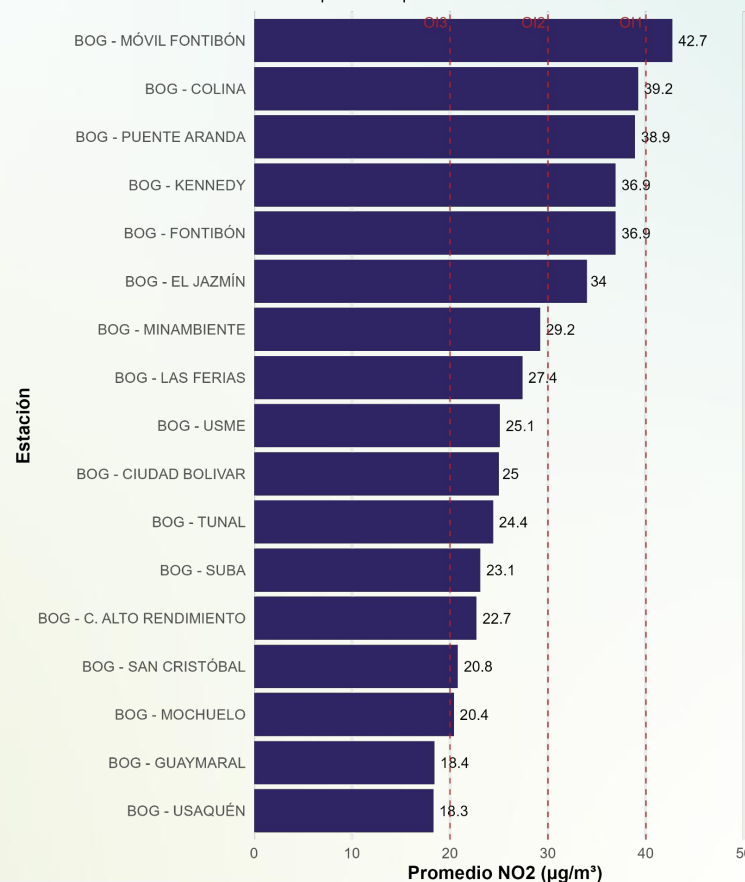
**Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) - Antioquia**

Valores promedio por estación de monitoreo



**Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) - Bogotá**

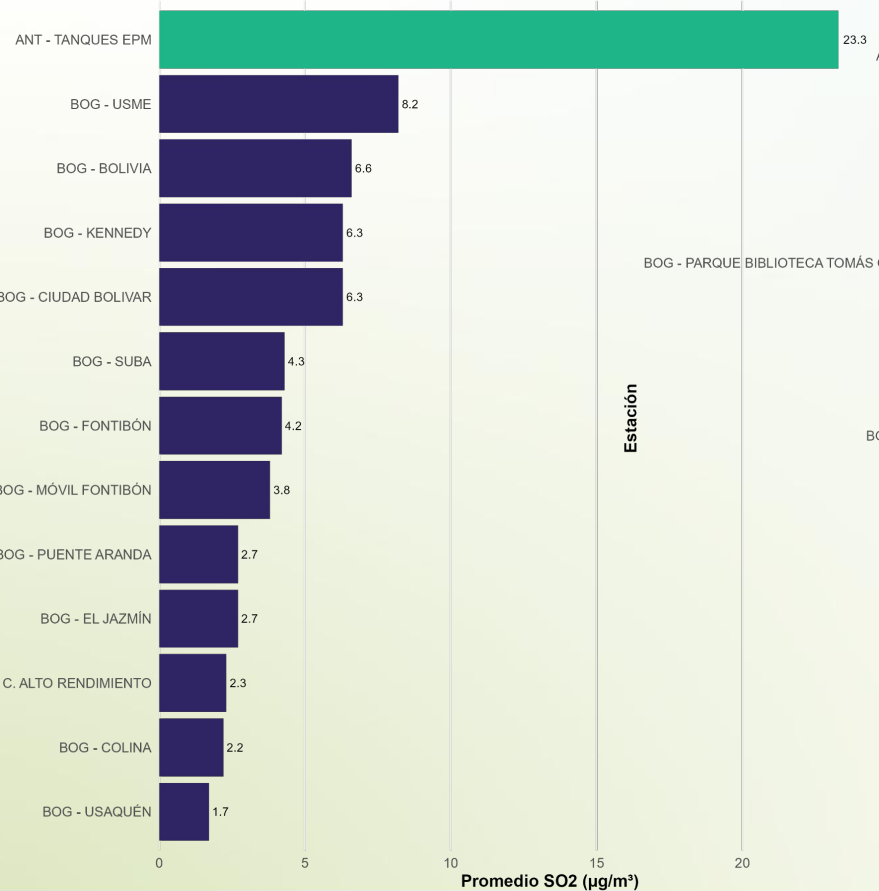
Valores promedio por estación de monitoreo



# Estado de la Calidad del Aire en Colombia (2023)

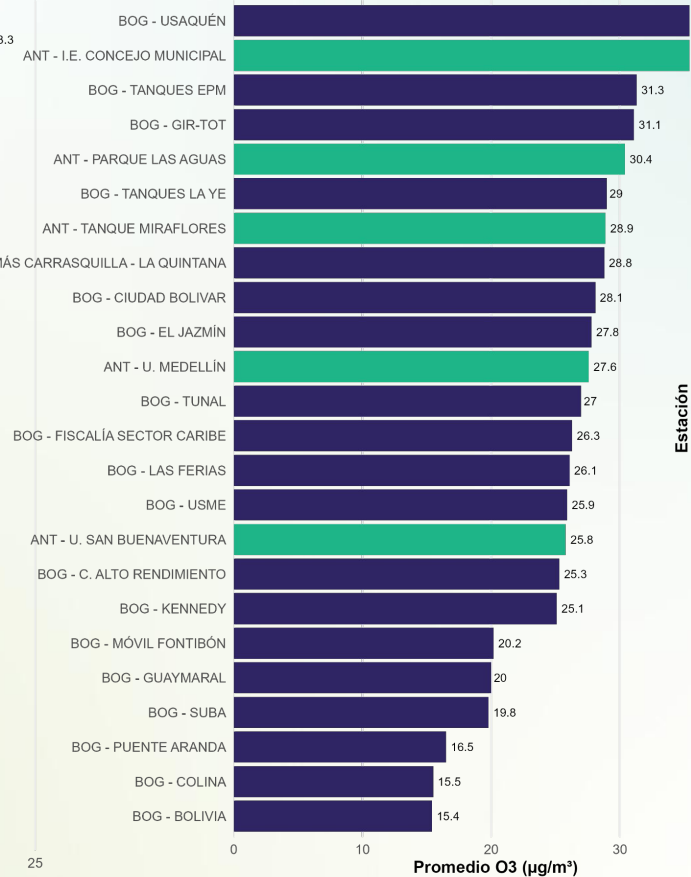
## Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)

Valores promedio por estación de monitoreo



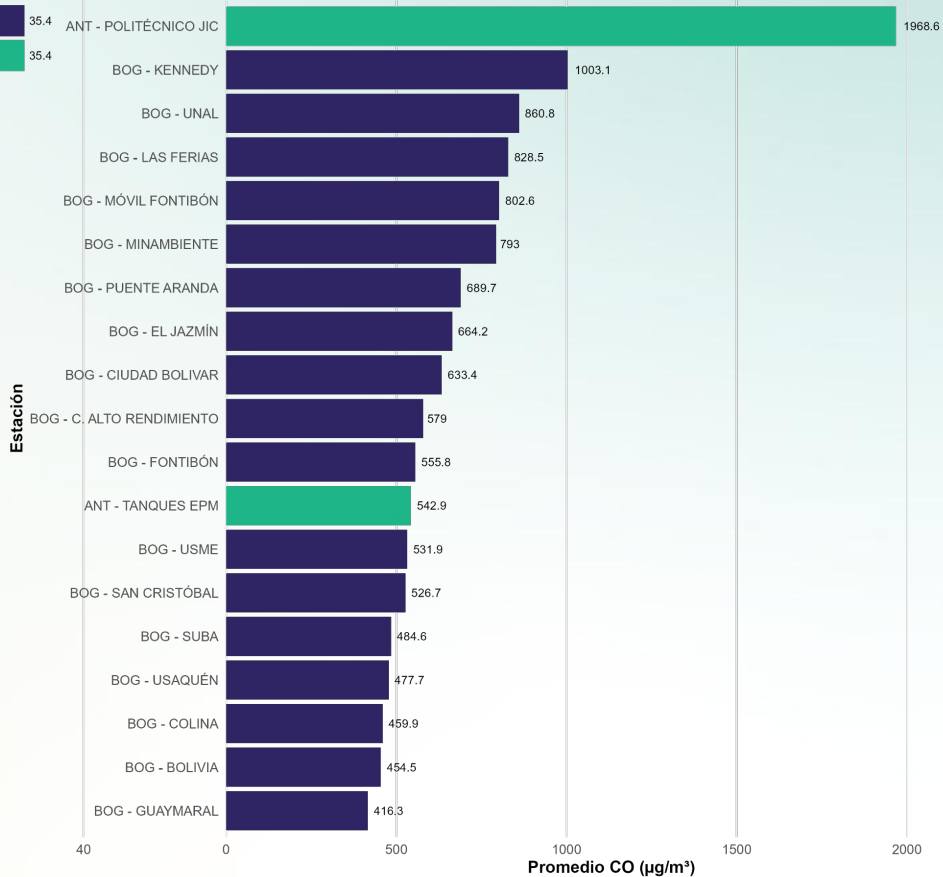
## Ozono (O<sub>3</sub>)

Valores promedio por estación de monitoreo



## Monóxido de Carbono (CO)

Valores promedio por estación de monitoreo





# *Estado de la Calidad del Aire en Colombia (2023)*

## Impacto en Salud:

**~7,200** muertes evitables en 2023

**~1900** Bogotá

**~1100** Medellín



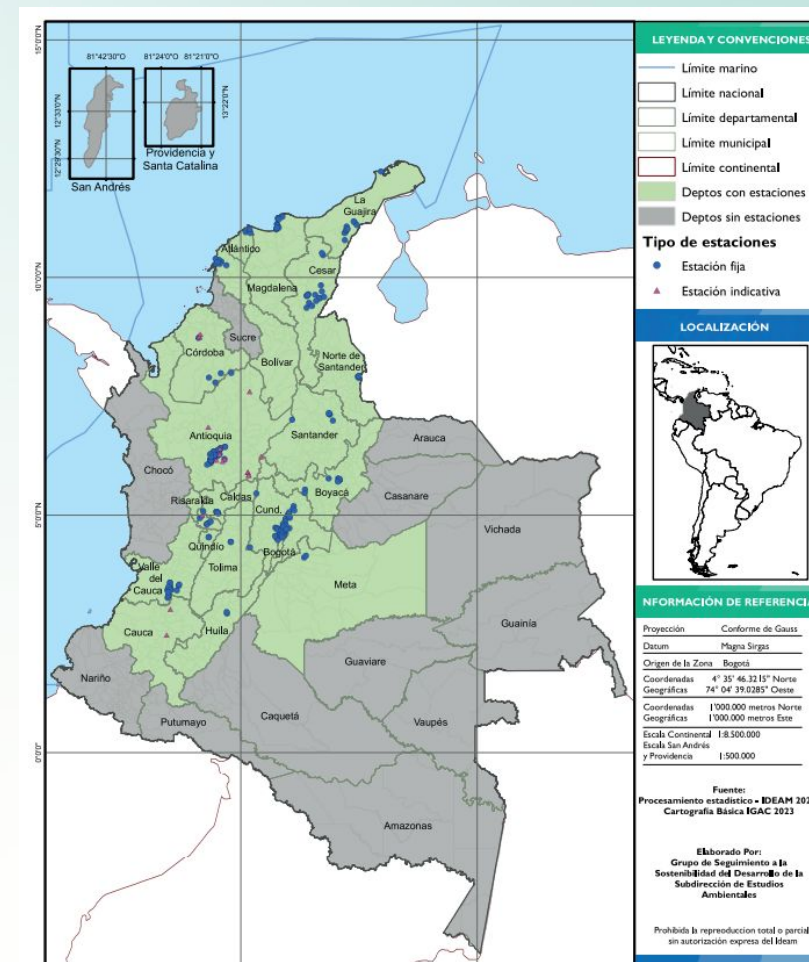
# Estado de la Calidad del Aire en Colombia (2023)

## Estado del monitoreo en el país

**209**  
estaciones  
**23** sistemas de  
vigilancia

**30% - 50%**  
estaciones  
**NO** generan  
datos válidos

**~53%**  
sistemas de  
vigilancia  
**NO** están  
acreditados



# Características del proyecto

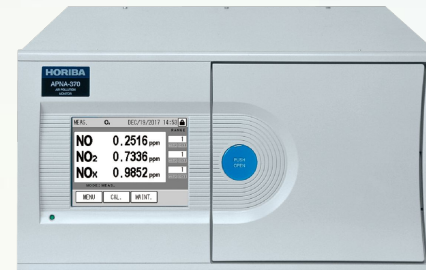
- **Objetivo General:**
  - Establecer un servicio de CIL/EA para la evaluación competente, imparcial e independiente del desempeño de los laboratorios basado en ISO/IEC 17043:2023.
- **Alcance Propuesto:**



**Dióxido de Azufre**  
**Analizador SO<sub>2</sub>**  
**HORIBA APSA-370**



**Ozono troposférico**  
**Analizador O<sub>3</sub>**  
**Thermo-49i**



**Óxidos de Nitrógeno**  
**Analizador NO-NO<sub>2</sub>**  
**HORIBA APNA-370**



**Monóxido de Carbono**  
**Analizador CO**  
**Teledyne T300**

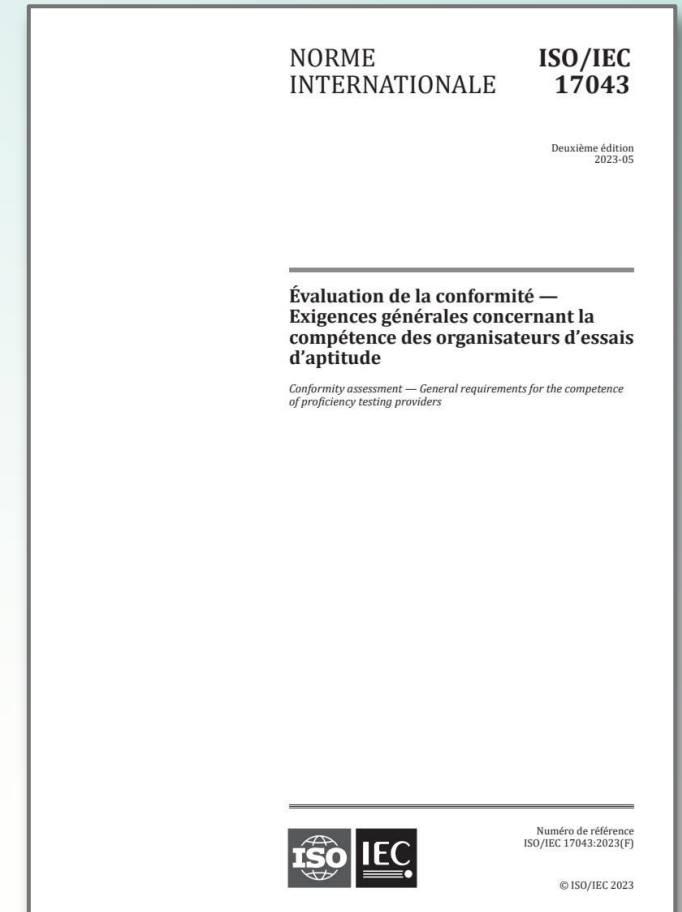
# Características del proyecto

- **Impacto Esperado:**
  - Fortalecer la infraestructura de calidad del aire del país
  - Mejorar la confiabilidad de las mediciones de calidad del aire.
  - Contribuir a la toma de decisiones en materia ambiental y de salud pública.
  - Posicionar a CALAIRE como el único proveedor de este servicio en la región andina.



# ¿Qué es un Ensayo de Aptitud (EA)?

- Es la evaluación del desempeño de participantes con respecto a criterios preestablecidos mediante comparaciones interlaboratorio (CIL).
- Las CIL son el diseño, realización y evaluación de mediciones sobre el mismo ítem por dos o más laboratorios.
- Son una herramienta esencial para demostrar la competencia de los organismos de evaluación de la conformidad.



# ¿Qué es un Ensayo de Aptitud (EA)?

**Organizador  
Laboratorio  
CALAIRE**

**Generación Gas  
en Aire sintético  
(CO, NO-NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)**

**Distribución  
Ítem de  
Ensayo**

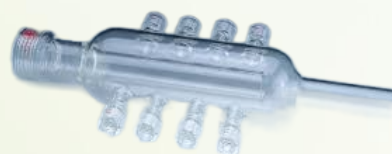
**Medición Participantes  
vs  
Medición Referencia**

**Métricas desempeño**

**Aire Cero**



**Calibrador Dinámico**



**Tubo colector múltiple  
(Manifold)**



**Participantes**



**Referencia: CALAIRE**

**Métodos Estadísticos  
ISO 13528:2022**

$$z_i = (x_i - x_{pt}) / \sigma_{pt}$$

$$\zeta_i = \frac{(x_i - x_{pt})}{\sqrt{(u^2(x_i) + u^2(x_{pt}))}}$$

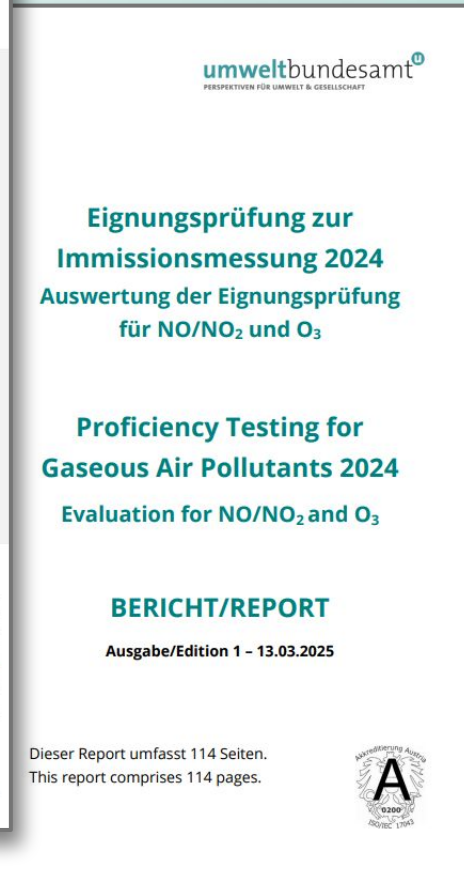
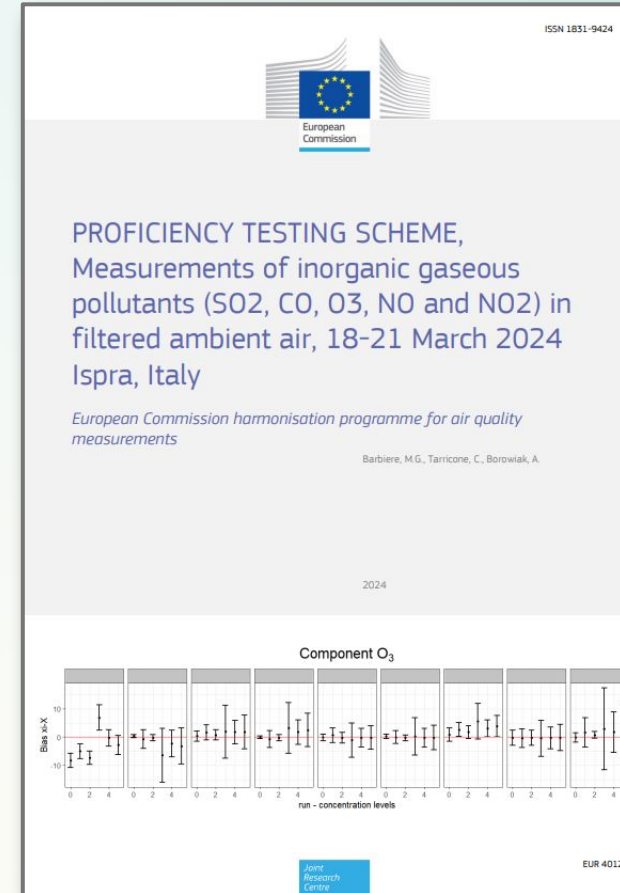
$$En_i = \frac{(x_i - x_{pt})}{\sqrt{(U^2(x_i) + U^2(x_{pt}))}}$$

**Material  
de  
Referencia  
Certificado**



# Estado del Arte

- **1. Informe del Estado del Arte**
  - **Contenido:**
    - Métodos de Medición de Referencia.
    - Normativa y Guías Internacionales .
    - Ejemplos de programas de CIL/EA.
  - **Enfoque para Grupos Pequeños:** Prioriza la determinación independiente del valor asignado y el uso del número En.



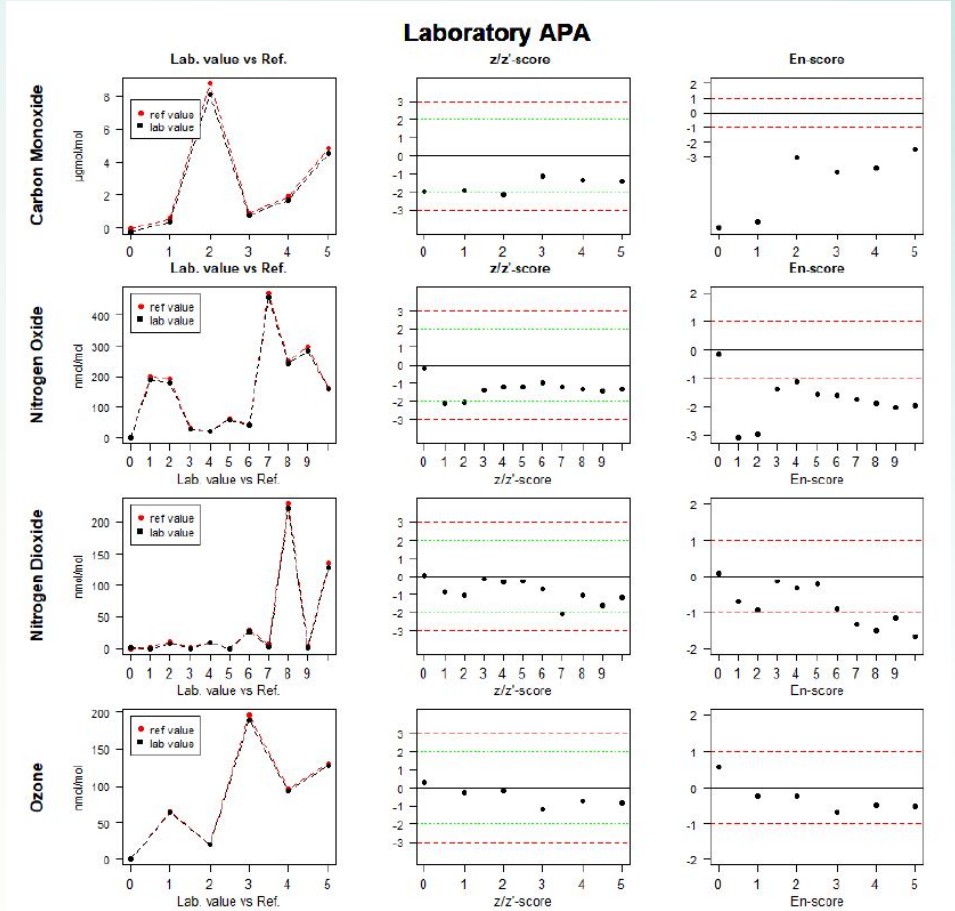
# Estado del Arte



Laboratorio Europeo de  
Referencia para la  
Contaminación  
Atmosférica - ERLAP



Agencia Federal de  
Medio Ambiente de  
Austria -  
Umweltbundesamt




# Protocolo General

## ● 2. Protocolo General de Ensayo de Aptitud

### ○ Fases Principales:

1. Planificación y Diseño
2. Condiciones logísticas.
3. Desarrollo del EA: Generación dinámica de gases.
4. Envío de Registros.
5. Informe de Resultados

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA</b>	LABORATORIO DE CALIDAD DEL AIRE	Código: P-PSEA-01
	PROTOCOLO GENERAL DE ENSAYO DE APTITUD PARA GASES CONTAMINANTES CRITERIO	Versión: 01
		Página 1 de 13

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCEDIMIENTO
<b>OBJETIVO:</b> El propósito principal del protocolo es garantizar la validez y la fiabilidad de los resultados obtenidos en la evaluación del desempeño de los laboratorios que participan. Esto se hace en estricto cumplimiento con la norma internacional ISO/IEC 17043:2023.
<b>ALCANCE:</b> El protocolo abarca todo el proceso necesario para realizar un ensayo de aptitud (EA) para la medición de gases contaminantes criterio.
<b>DEFINICIONES:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Comparación Interlaboratorio (CIL)</b> La CIL, también conocida como prueba de competencia o prueba interlaboratorio, evalúa la comparabilidad de los resultados de análisis de la misma muestra, analizados por varios laboratorios en el mismo período. Mide la competencia mediante puntuaciones <math>z</math>.</li> <li>2. <b>Desviación estándar CIL</b> La desviación estándar CIL es la desviación estándar calculada para un mensurando en un material de prueba a partir de los resultados presentados por los participantes.</li> <li>3. <b>Desviación estándar para la evaluación de la competencia (<math>\sigma_{pt}</math>)</b> La desviación estándar para la evaluación de la competencia (<math>\sigma_{pt}</math>) es una desviación estándar preestablecida que se utiliza para el cálculo de puntuaciones <math>Z</math> en un CIL. Para contaminantes como <math>SO_2</math>, <math>CO</math>, <math>O_3</math>, <math>NO</math>, <math>NO_2</math>, <math>\sigma_{pt}</math> suele calcularse mediante interpolación lineal basada en el valor asignado (<math>X_{ref}</math>) utilizando parámetros específicos «a» (pendiente) y «b» (ordenada al origen), acordados por Laboratorios de Referencia. Esto garantiza la coherencia en la evaluación de aptitud, independientemente del nivel de concentración.</li> <li>4. <b>Ensayo de Aptitud (EA)</b> Evaluación del desempeño de un participante contra criterios preestablecidos por medio de comparaciones interlaboratorios.</li> <li>5. <b>Estadísticas robustas</b> Las estadísticas robustas se refieren a un método estadístico utilizado para minimizar la influencia de valores atípicos en la media y la desviación estándar calculadas.</li> <li>6. <b>Gases contaminantes criterio:</b> Según la normatividad ambiental colombiana, son el monóxido de carbono (<math>CO</math>), dióxido de azufre (<math>SO_2</math>), Ozono (<math>O_3</math>) y Óxidos de nitrógeno (<math>NO</math> y <math>NO_2</math>)             <ol style="list-style-type: none"> <li>i.</li> </ol> </li> </ol>



# ***Materiales de Referencia Certificados***

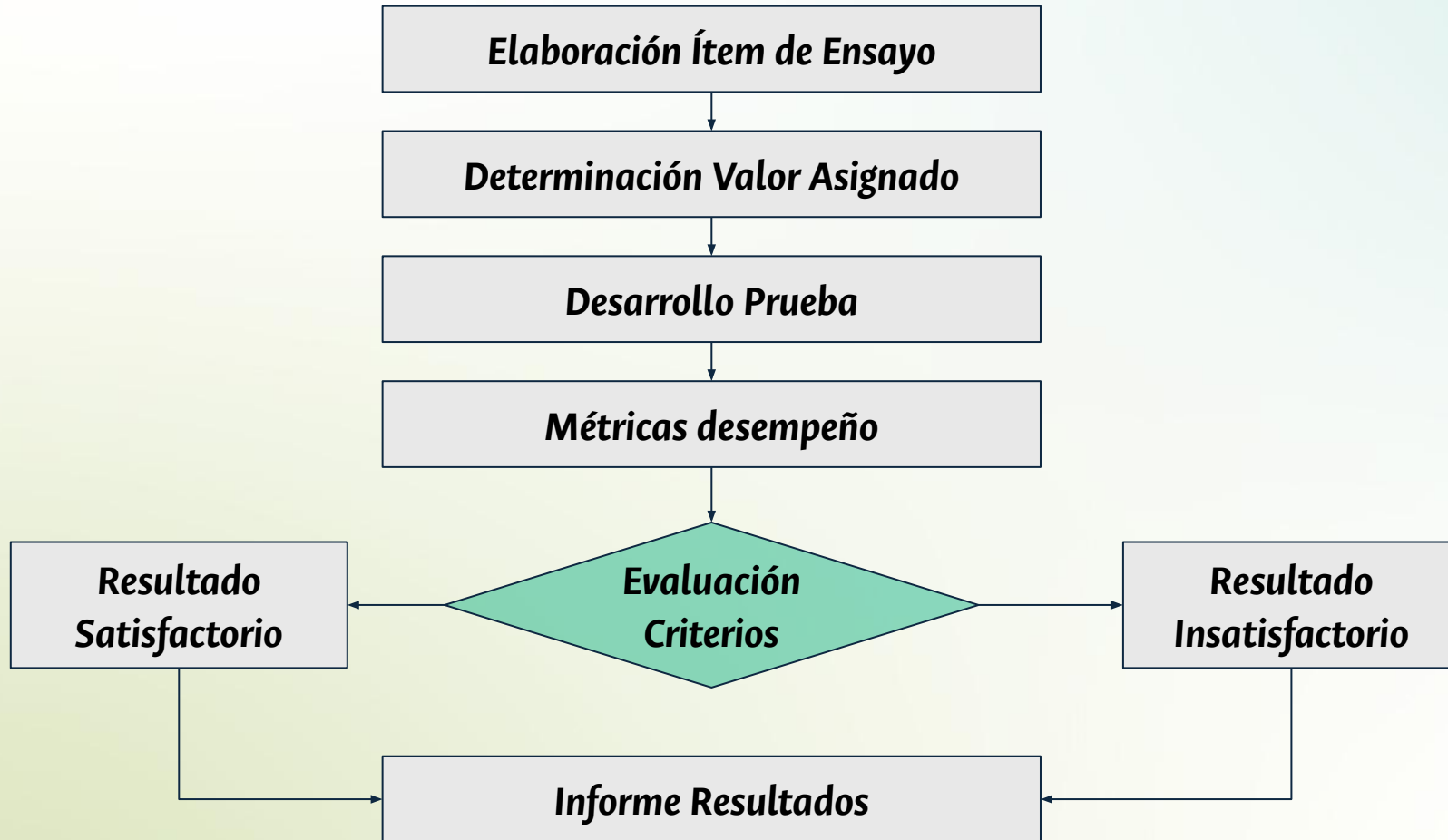


**$\text{SO}_2$ , NO y CO:**  
Cilindro Mezcla de  
Gases Certificado



**Ozono: SRP55** Fotómetro Referencia

# Procedimiento para Gases



# Próximos Pasos

- **Próximos Pasos del Proyecto:**

- Definición de la metodología estadística y desarrollo de un aplicativo en software libre.
- Desarrollo de una prueba piloto interna en CALAIRE.

```
library(readr)
library(dplyr)
library(tidyverse)

# --- 1. Lectura de Datos ---

pollutants <- c("co", "no", "no2", "o3", "so2")

data_list <- pollutants %>%
  set_names() %>%
  map(~ read_csv(file.path(data_path, paste0("data_", .x,
".csv")), show_col_types = FALSE))

# --- 2. Procesamiento y Escritura de Datos ---

if (!dir.exists("subsets")) {
  dir.create("subsets")
}

process_and_write <- function(df, pollutant_name) {
  df <- df %>% mutate(across(c(vg, conex), as.factor))
}
```



# Contribución

- CALAIRE ofrecerá un **servicio indispensable** para los laboratorios y redes de monitoreo del país y la región.
- Permitirá a los laboratorios cumplir con los requisitos de **acreditación** (ISO/IEC 17025).
- **Fortalecerá** la confiabilidad de los datos de calidad del aire en Colombia, impactando positivamente las decisiones gubernamentales, la protección del **medio ambiente y la salud pública**.
- Establecerá un **referente metrológico** clave para la armonización de mediciones a nivel nacional e internacional.

# Referencias

AQUILA N37 (2008). *Protocol for intercomparison exercise, final version December 2008*. ORGANISATION OF INTERCOMPARISON EXERCISES FOR GASEOUS AIR POLLUTION FOR EU NATIONAL AIR QUALITY REFERENCE LABORATORIES AND LABORATORIES OF THE WHO EURO REGION.

Borowiak, A., Barbieri, M., & Tarricone, C.. (2024). *Evaluation of the inter-laboratory comparison exercise for SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO and NO<sub>2</sub>*, Ispra 2024. Joint Research Centre.

BS EN 14626:2024 *Ambient air. Standard method for the ...*, accessed on April 17, 2025,  
<https://www.en-standard.eu/bs-en-14626-2024-ambient-air-standard-method-for-the-measurement-of-the-concentration-of-carbon-monoxide-by-non-dispersive-infrared-spectroscopy/>

BS EN 14212:2024 *Ambient air. Standard method for the ...*, accessed on April 17, 2025,  
<https://www.en-standard.eu/bs-en-14212-2024-ambient-air-standard-method-for-the-measurement-of-the-concentration-of-sulphur-dioxide-by-ultraviolet-fluorescence/>

ISO/IEC 17043:2022. *Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los proveedores de ensayos de aptitud*.

ISO 13528:2015. *Métodos estadísticos utilizados en los ensayos de aptitud por comparación entre laboratorios*.

Umweltbundesamt GmbH. (2023). *Eignungsprüfung 2023*. Umweltbundesamt GmbH, Wien, Österreich.

U.S. Environmental Protection Agency. (2025). *Appendix F to Part 50—Measurement principle and calibration procedure for the measurement of nitrogen dioxide in the atmosphere (gas phase chemiluminescence)* (40 C.F.R. Part 50, App. F).

# Contacto

Profesional de proyectos: David Pulgarín

Correo electrónico: [calaire\\_med@unal.edu.co](mailto:calaire_med@unal.edu.co)

Administración: Campus Robledo, Carrera 80 No. 65 – 223 Bloque M3, oficina 99

Área de metrología: Campus El Volador, Cra 65 No59A - 110 Bloque 19A, laboratorio 401

Horario de atención: Lunes a viernes 8 a 5pm

Medellín - Colombia

Móvil: (+57) 3148748191