

Estrategias de control ante el Cambio Climático. El caso del Programa “Laboratorio de Aire” del Ministerio de Ambiente y la Facultad de Química de Santa Fe

Autores: Schlapbach, Luisina; Kobialka, Aquiles*

Contacto: *aquileskobialka@yahoo.com.ar

País: Argentina

Resumen

Para aportar a la gobernanza climática de la Provincia de Santa Fe que funda a nivel de división administrativa territorial el compromiso político para enfrentar la crisis ambiental asociada al cambio climático, se propone en un todo de acuerdo con el Triángulo de Sábató llevar a la práctica un programa de Determinaciones de Laboratorio de gases efecto invernadero (GEI) comenzando con el Dióxido de Nitrógeno (NO₂). Los Óxidos de Nitrógeno son GEI indirectos que han sido objeto de políticas ambientales por su rol en la formación de Ozono, así como por sus efectos de acidificación directa y porque controlan la concentración de radicales hidroxilo (OH) en la atmósfera. Los radicales OH son moléculas muy reactivas que controlan la oxidación de varios GEI.

Adscribieron al programa el Ministerio de Ambiente de Santa Fe (MAyCC), la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad del Litoral (UNL) - (ambos ejecutan un convenio por el cual el Ministerio posee su laboratorio de análisis en la sede universitaria), Municipalidades de la Región y la Cámara de Comercio e Industria de la localidad de San Lorenzo (ligados al Ministerio por otro convenio de asistencia recíproca).

Se dispone de equipamiento de detección de Óxidos de Nitrógeno por celdas electroquímicas, pero el costo de mantenimiento y calibración frecuente es alto. Por tal motivo, se recurre a la experiencia recogida de programas anteriores y referencias bibliográficas, así como consultas interuniversitarias, considerándose conveniente adoptar la técnica analítica de relativamente bajo costo Griess Salzman.

El desarrollo del Programa de Laboratorio se considera una nueva competencia respecto al diseño y ejecución de políticas públicas en forma transversal y participativa, considerando que entre las funciones del Estado está la de elaborar indicadores anuales de reducción de gases efecto invernadero en el sector de procesos industriales y uso de productos, para lo cual es imprescindible realizar mediciones ambientales.

1. Introducción

El Triángulo de Sábató, como modelo de política científico-tecnológica, puede ser analizado en términos de las relaciones de poder, intereses económicos y procesos sociales que se generan en torno a la ciencia y la tecnología.

Esta perspectiva enfatiza la interacción entre el Estado, la infraestructura científico-tecnológica y el sector productivo como elementos clave para el desarrollo científico y tecnológico de un país.

En cuanto a las relaciones de poder, el modelo plantea que el Estado desempeña un papel central en el diseño y ejecución de la política científico-tecnológica. Es posible analizar cómo estas decisiones políticas reflejan y reproducen relaciones de poder entre diferentes actores, como instituciones científicas, empresas y grupos sociales. Veamos en concreto cómo se materializa el Estado en esta propuesta.

El Ministerio de Medio Ambiente (MMA) de la provincia de Santa Fe a través de la Ley Orgánica de Ministerios N° 13.920 y el decreto N° 194/19, pasa a constituirse como Ministerio de Ambiente y Cambio Climáti-

co (MAyCC) y suma en su estructura la Secretaría de Cambio Climático. A partir de esta estructuración, se comienza a trabajar en programas específicos para abordar el cambio climático y a incorporar la temática como eje transversal a las demás áreas.

1.1. Definiciones

1.1.1. Cambio climático

Es una variación persistente de los componentes del clima, adicional a la variabilidad climática natural. Es atribuido, directa o indirectamente, a la actividad humana. Se debe principalmente al aumento de la concentración atmosférica de los GEI por encima de los niveles naturales¹.

1.1.2. Efecto Invernadero

Es un proceso natural que permite la vida en la Tierra tal como la conocemos. Los gases presentes en la atmósfera retienen la radiación que la Tierra emite al espacio. Los gases que tienen esta propiedad se denominan GEI. La acumulación de estos gases en la atmósfera potencia el efecto invernadero natural y esto se traduce en un aumento de la temperatura del planeta².

1.1.3. Dióxido de Nitrógeno

El NO₂ es considerado un gas de efecto invernadero³. Los gases de efecto invernadero son aquellos que atrapan y retienen el calor en la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global y al cambio climático. El NO₂ es uno de los principales gases emitidos por actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles en vehículos, centrales eléctricas y procesos industriales.

Si bien el NO₂ tiene una vida relativamente corta en la atmósfera y no es el principal gas de efecto invernadero, su presencia contribuye al forzamiento radiativo, que es la capacidad de un gas para retener el calor en la atmósfera. Además, el NO₂ puede reaccionar en la atmósfera para formar otros compuestos, como el ozono troposférico, que también tienen un impacto en el calentamiento global.

Es importante destacar que los gases de efecto invernadero, incluido el NO₂, no son intrínsecamente malos. De hecho, la presencia de cierta cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera es necesaria para mantener una temperatura adecuada en la Tierra y hacer posible la vida tal como la conocemos. Sin embargo, las emisiones excesivas y descontroladas de gases de efecto invernadero, resultado de actividades humanas, están alterando el equilibrio natural y contribuyendo al calentamiento global.

1.2. Estructuras estatales y convenios relacionados con el presente trabajo

1.2.1. El Laboratorio de Aire

La Dirección General de Laboratorio del MAyCC, luego de una etapa de inactividad acerca del recurso aire, retoma las tareas en un renovado espacio de la FIQ - UNL en el edificio Babini a través de un convenio de comodato.

Este contrato, que no contemplaba las actividades del recurso aire, fue firmado en diciembre de 2016, pero con la Gestión iniciada en 2019 se retomaron, a partir de 2021, acciones en calidad de aire⁴, con el

1. IPCC. Glosario.

2. Información Técnica sobre Gases De Efecto Invernadero y el Cambio Climático. IDEAM.

3. Estudio teórico-experimental de la adsorción y reducción catalítica de los NOx sobre Cr₂O₃/γ-Al₂O₃ en presencia de gases de efecto invernadero. UCA.

4. Es decir, entorno exterior de emprendimientos productivos y/o de servicios y calidad de aire urbano, ya no dentro del predio, lo

acuerdo de las Direcciones de Laboratorio, de Gestión Ambiental y de la Ministra de A y CC Erika Gonnet.

Iniciado a principios de 1978⁵, en el ámbito de la cátedra Higiene del Ambiente – FIQ - edificio Damianovich – el primer Laboratorio de Aire de la Provincia funcionó bajo convenio con el Ministerio de Salud hasta 1999. Desde ese año no tuvo más actividad como tal. Recién el 10 de junio de 2022 se reiniciaron el desarrollo y las prácticas de técnicas para determinación de compuestos en aire, con NO₂ y SO₂.

1.2.2. Convenios con otras instituciones público-privadas

En 2010 se crea un Programa de monitoreo y control entre el MMA de Santa Fe y Municipalidades de la Región Sur. El mismo se ratifica mediante un convenio de asistencia recíproca con la Cámara de Comercio e Industria de la localidad de San Lorenzo, al sur de la capital de la provincia de Santa Fe⁶.

En el mencionado convenio se estableció la creación de un Comité Técnico Público-Privado que evaluó los sitios de medición, los contaminantes a medir, la metodología y el equipamiento a utilizar. En momento los equipos de medición están ubicados en dos puntos de muestreo, la Municipalidad de la localidad santafesina de Puerto San Martín y el barrio Bouchard de la ciudad de San Lorenzo; los mismos miden gases y polvos dispersos en la atmósfera (Dióxido de Azufre [SO₂] y Material Particulado diámetro menor a 10 micrones [PM₁₀]). Si bien se comenzaron a transmitir online, de forma permanente al MMA, para su evaluación, interpretación y posterior publicación, por problemas logísticos esa transmisión se discontinuó. Asimismo, el Instituto B. Levi de Rosario es el encargado de realizar las tareas de campo y el Grupo GESE (Grupo de Estudios sobre Energía) - Facultad Regional Rosario Universidad Tecnológica Nacional (UTN) quien analiza los datos que arroja la medición.

Actualmente, en cooperación con el GESE en el laboratorio del MAYCC se está desarrollando la técnica para SO₂ (Método West Gaeke modificado).

1.3. Normativa utilizada

La Norma provincial establece el Nivel Guía de Calidad de Aire para NO₂:

TABLA 1. Niveles Guías de Calidad de aire

CONTAMINANTES	C.A.P.C. mg/m ³ (20 minutos)	C.AP.L. mg/m ³ (24 horas)	mg/m ³ (1hora)
Óxido de Nitrógeno (como NO ₂)	0,40	0,10	-----

Fuente: Resolución 201/04

Las concentraciones referidas son valores promediados durante los correspondientes tiempos de muestreo. A los fines del control, se considera que existe contaminación química cuando la concentración de un

que constituye lo que se denomina “ambiente laboral”. Se denomina niveles guía de calidad de aire a la concentración de contaminantes debajo de cuyos valores se estima, para el grado de conocimiento disponible actualmente, que no se producirán efectos adversos en los seres vivos. Cfr. Res. 201/04 Pcia de Santa Fe. Glosario.

5. Informante fuente oral: Lic. Daniel Cristóbal ex docente FIQ – jefe Departamento Contaminación Atmosférica en el Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente (MASPyMA).

6. Ver <https://www.camara-sl.org.ar/website>

contaminante químico en el aire, durante el tiempo indicado, supere los valores guía. También se establece que la toma de la muestra deberá efectuarse en el lugar donde la salud y los bienes de la comunidad puedan resultar comprometidos, en las condiciones más desfavorables de contaminación atmosférica.

1.4. Por qué es importante determinar NO₂ en las inspecciones industriales

El NO₂ es considerado “contaminante criterio”. En la atmósfera, el Óxido de Nitrógeno (NO) se oxida a NO₂, por eso en calidad de aire se determina este último y se los denomina también como NO_x.

Los NO_x actúan como precursores del ozono troposférico, del ácido nítrico, del nitrato (en partículas) y de otros contaminantes fotoquímicos. Los efectos que pueden producir en la salud son: inflamación de mucosas, infecciones pulmonares, insuficiencias respiratorias, afecciones de órganos (hígado o bazo) o de sistemas (circulatorio o inmunitario). Sobre el medio ambiente puede causar: acidificación y eutrofización de ecosistemas, afecciones metabólicas y limitación del crecimiento vegetal. La principal fuente de NO_x son los automóviles, las centrales eléctricas y las actividades que queman combustibles.

2. Recursos y métodos

2.1. Recopilación de recursos teóricos y prácticos

El trabajo para elaborar el presente Programa Actualizado de Laboratorio de Aire relacionado con los GEI fue encarado con el objetivo de servir de base a la ejecución de tareas normalizadas en la determinación analítica de la calidad del aire.

Lo volcado aquí no sólo es el producto del conocimiento bibliográfico, sino también el fruto de experiencias propias, tanto de campo (inspecciones y auditorías a empresas industriales) como de laboratorio. Son propuestas que tratan de lograr un equilibrio entre lo técnicamente correcto y la aplicación de criterios sensatos, prácticos y económicamente aceptables, enriquecidos con aportes personales logrados en el manejo diario de los temas de referencia.

Se tomaron en cuenta la situación real de las economías oficiales, la escasa disponibilidad presupuestaria de los organismos competentes, como así también el complicado acceso a la tecnología de avance y al mantenimiento de equipos sofisticados. Por eso se enfatiza la utilización de técnicas y de análisis no automatizados.

La capacidad operativa está condicionada por la carencia de recursos para el mantenimiento de equipamiento que permita una respuesta rápida a los problemas que se plantean. La compra de materiales se enfrenta diariamente a la burocracia, y para paliar esta situación los organismos en base a sus posibilidades adaptan los sistemas para la determinación de contaminantes.

2.2. Elección del método de detección del NO₂

El Laboratorio posee equipos automáticos, de baja confiabilidad y que no cumplen con las normas vigentes exigibles para muestreos oficiales.

Para NO₂ posee un equipo marca AQM, de alto costo de mantenimiento, que debe ser reparado dado el tiempo transcurrido desde su situación de fuera de servicio. Además, una vez en funcionamiento, la calibración de este tipo de equipos es costosa y frecuente (de seis meses a un año de vigencia de uso).

Ante lo anteriormente mencionado, se realizó búsqueda bibliográfica y experiencias actuales de técnicas para determinar NO₂. El método seleccionado fue “Griess Salzman”.

Se corroboró la posibilidad de disponer de todos los reactivos necesarios para dicha técnica. Se poseen burbujeadores de precisión para esta técnica; bombas de impulsión de aire que deben ser controladas y

calibradas y el espectrofotómetro que también debe ser controlado y calibrado.

2.3. Descripción de la Técnica de Determinación de Óxidos de Nitrógeno

La técnica de muestreo y determinación de NO₂ se realiza a través de los siguientes pasos: a) En primer lugar, se realizan las preparaciones y mediciones pertinentes para la elaboración de una curva de calibrado. b) Luego se preparan las soluciones que captarán el analito de interés y se monta el tren de muestreo a utilizar. c) Por último se calibran las bombas y tren de muestreo. Una vez realizados los pasos mencionados se procede a evaluar el sitio de interés.

Por otro lado, cabe mencionar que la técnica que se describe aquí es para periodo corto y promediado y se basa en el principio de la transformación del óxido de nitrógeno en el ion nitrito y posterior diazocoplación.

Además, el rango de aplicación va desde $0,8 \times 10^{-3}$ hasta 8×10^{-3} miligramos de nitrito en 10 ml de solución de absorción, y el límite de detección es de $0,8 \times 10^{-3}$ miligramos de nitrito en 10 ml de reactivo absorbente. La desviación estándar es del 10%.

Las interferencias de los compuestos que normalmente se hallan en el aire y pueden interferir son el dióxido de azufre, el amoníaco, el formaldehído, el ozono y los peroxyacetil nitratos.

Se procedió a cumplir con los pasos anteriores, se prepararon las soluciones correspondientes, se realizó la curva de calibrado del compuesto con el espectrofotómetro, se armó el tren de muestreo y se probó la técnica.

2.3.1. Confección de la curva de calibrado

Se prepararon los siguientes reactivos: Solución madre de diclorhidrato de N-1-Naftil etilendiamina (0,1%) (NED); Solución absorbente compuesta por ácido sulfanílico, ácido acético glacial y solución madre NED; Solución patrón de nitrito; Solución de trabajo de nitrito (dilución de la solución patrón), y Solución oxidante compuesta por permanganato de potasio, ácido sulfúrico y agua destilada.

La curva se prepara a partir de la solución madre de nitrito con la cual se realizan diluciones consecutivas. Una vez que las diluciones desarrollan un color rosáceo se lee la transmitancia a 550 nm. También se determina la transmitancia de un blanco de solución absorbente y se usa como referencia agua destilada.

La curva se traza expresando las concentraciones en mg/ml frente a la transmitancia y preferentemente corregida por el método de los cuadrados mínimos.

Cuando se lee la transmitancia de una muestra, se entra con ese valor en la curva y se determina la cantidad de nitrito (mg/ml) de solución.

Ese valor se multiplica por el volumen de la solución de la muestra y se obtiene la cantidad de nitrito en el volumen de aire muestreado (en litros).

2.3.2. Fórmula

Concentración (C) de NO₂ - (mg/m³) = B (mg/ml) x Va (ml) / Vm x 10³ (mg/l), donde B es la cantidad de nitrito por ml, Va el volumen de la muestra y Vm el volumen de aire muestreado.

Luego se realiza la siguiente corrección: al determinar que un mol de dióxido de nitrógeno produce una coloración similar a 0,74 moles de nitrito de sodio, se corrige de la siguiente manera, para expresar el resultado en concentración de dióxido de nitrógeno:

$$C \text{ de NO} - (\text{mg/m}^3) = C \text{ de NO}_2 - \times 46 / 69 \times 0,74$$

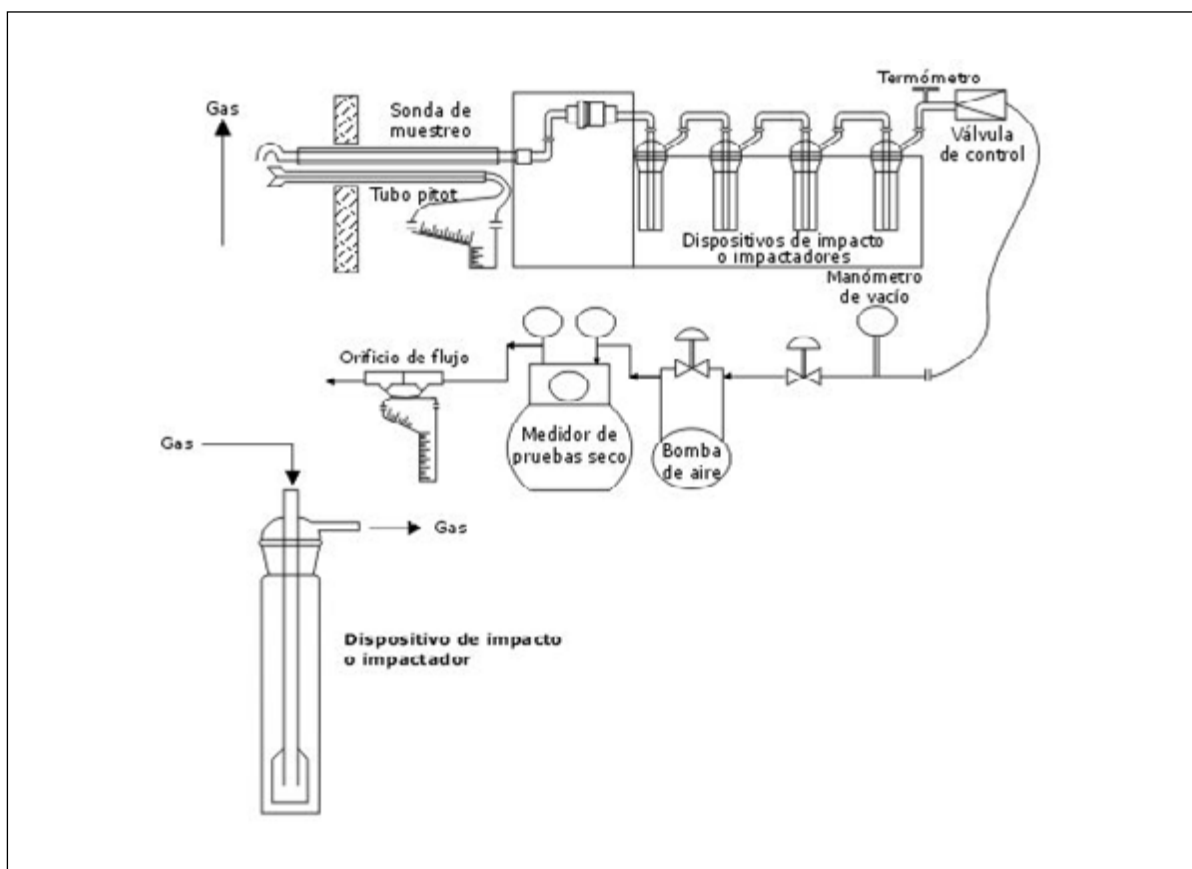
Siendo 46 el peso molecular de NO_2 , 69 el peso molecular de NO_2Na y 0,74 el factor de conversión.

2.3.3. Montado del tren de muestreo

El muestreo a realizar es del tipo activo. Se realiza mediante absorción en medio líquido en un tren de muestreo, operado con una bomba de bajo volumen, a un caudal de 1 l/min.

El tren de muestreo consta básicamente de un impactador llamado impinger, una trampa de agua y una bomba de aire. Al mismo se le pueden agregar otros elementos para optimizar su funcionamiento como filtros, válvulas y medidor de caudal. En la Figura 1 se presenta una imagen a modo de esquematización.

FIGURA 1. Secuencia de tren de muestreo para determinar NO_x

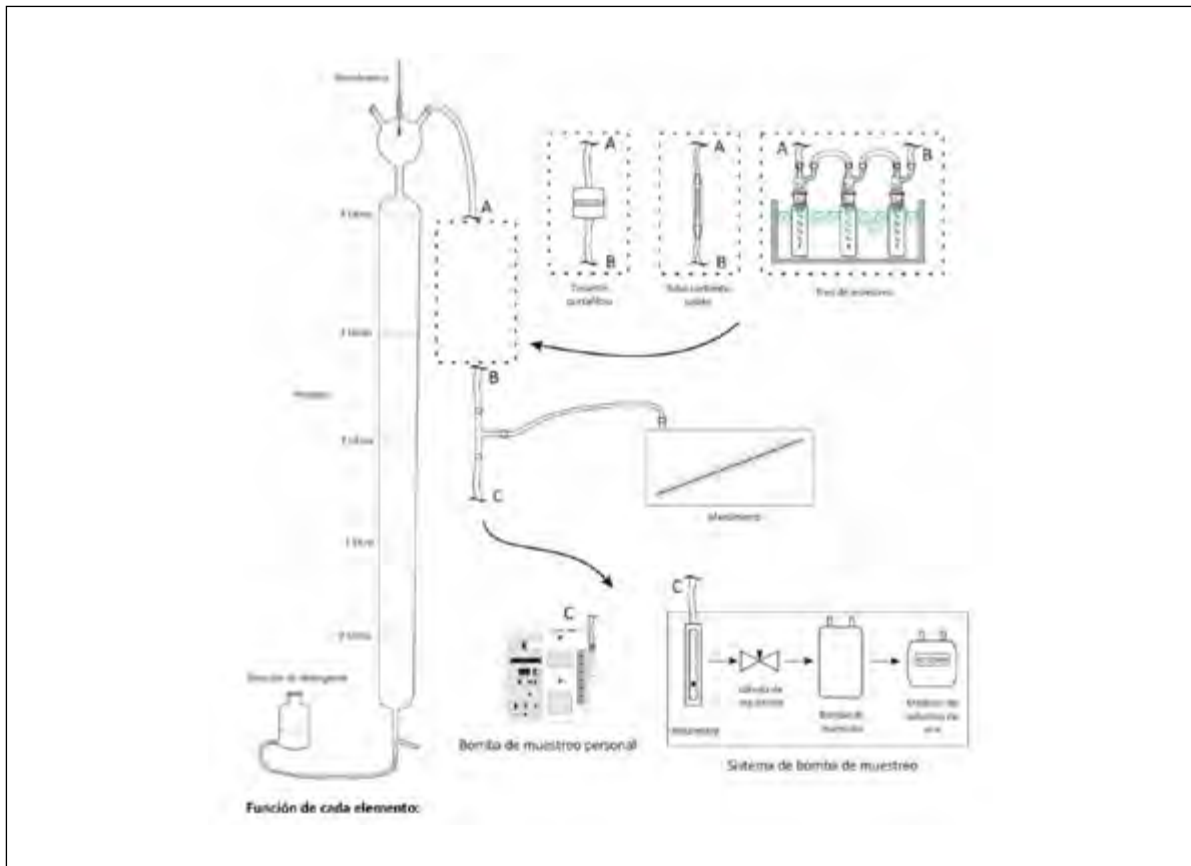


Fuente: <https://cidta.usal.es/>

2.3.4. Calibrado de caudal de la bomba y el tren de muestreo

Para realizar la calibración, tanto de la bomba como del tren de muestreo, existen diferentes técnicas y equipos como calibrador de burbuja, rotámetro, placa orificio, orificio crítico, entre otros. El tren de muestreo deberá ser calibrado para el caudal de trabajo recomendado (entre 0,2 hasta un máximo de 0,6 l/min).

FIGURA 2. Calibrador de burbuja



Fuente: <https://www.siafa.com.ar>

En el muestreo se debe tener en cuenta que, para medir óxidos de nitrógeno totales, se procede de la siguiente manera:

1. Se puede colocar antes del absorbente un mini impactador con solución oxidante. Los valores obtenidos serán de óxidos de nitrógeno totales expresados como dióxido de nitrógeno.
2. Se puede colocar después del absorbente el mini impactador con oxidante y un segundo absorbente. Aquí se obtienen resultados de: en el primer absorbente, dióxido de nitrógeno; y en el segundo, monóxido de nitrógeno que fue oxidado a dióxido y se lo expresa como este último. La suma de ambos resultados serán los óxidos de nitrógeno totales expresados como dióxido de nitrógeno.

3. Resultados

Con lo expuesto se pretendió dar pautas para la realización de mediciones de NO_2 con los elementos posibles de conseguir, considerando sus efectos sobre el cambio climático.

El monitoreo del NO_2 permite evaluar la efectividad de las políticas y acciones implementadas para reducir las emisiones y combatir el cambio climático. Los datos sobre las concentraciones de NO_2 pueden proporcionar información sobre las áreas o sectores donde se requieren medidas adicionales para reducir las emisiones y promover prácticas más sostenibles.

Puede exponerse como resultado para el presente artículo la correcta puesta en marcha de la técnica de determinación de NO_2 para periodo corto (20 minutos) con confección de la curva de calibrado y muestreo intralaboratorio con atmósfera generada por combustión. Restan pruebas de calibración de tren de muestreo con calibrador de burbuja recientemente adquirido y cuando la habilitación del laboratorio lo permita, muestreo en campo.

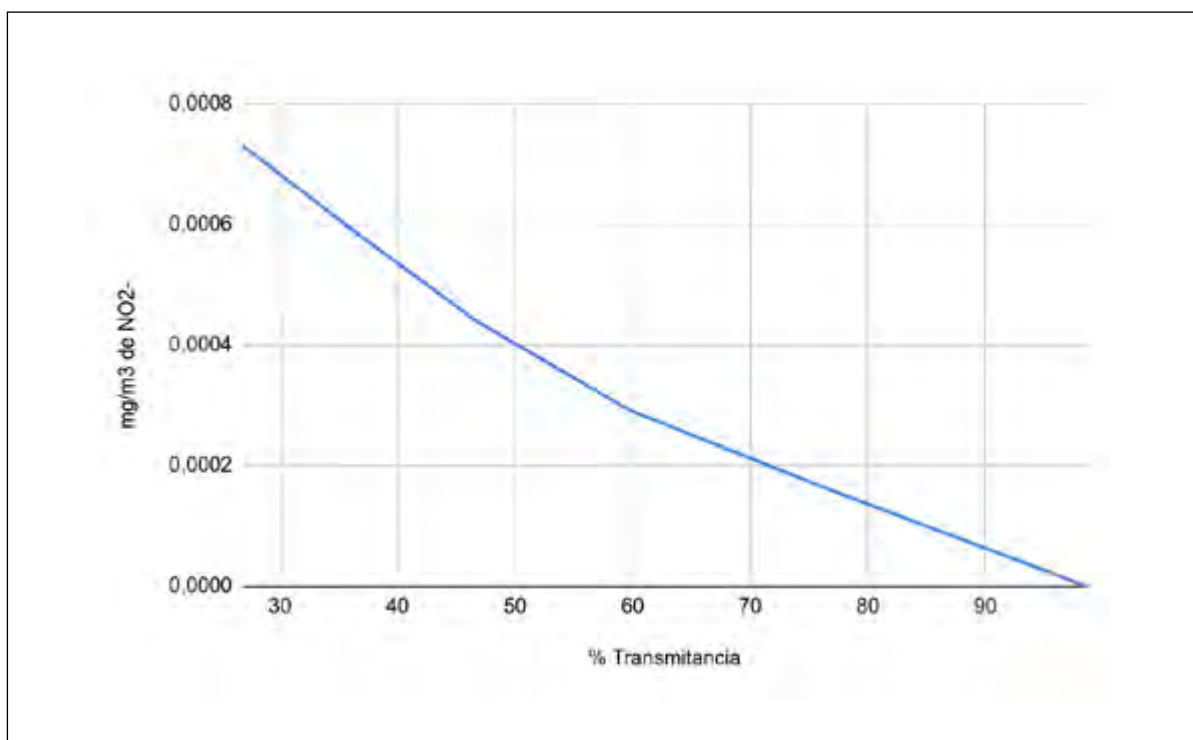
A continuación, se expresan en tabla y gráfico los resultados obtenidos en el armado de la curva de calibración.

TABLA 2. Valores obtenidos y calculados en la elaboración de la curva de calibrado

N° de muestra	% Transmitancia	mg/m ³ de NO ₂ ⁻
Blanco	98,6	0
1	76,5	1,624.10 ⁻⁴
2	59,7	2,926.10 ⁻⁴
3	46,8	4,389.10 ⁻⁴
4	36,6	5,85.10 ⁻⁴
5	26,8	7,315.10 ⁻⁴

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 1. Esquema de la curva de calibrado



Fuente: Elaboración propia.

Más allá de lo estrictamente técnico, en términos de gobernanza, se piensa la cooperación entre organismos académicos, gubernamentales de control y privados como la posibilidad de fortalecimiento de los sistemas de monitoreo para la medición efectiva y estadísticamente representativa de la persistencia,

intensidad y frecuencia de eventos de emisión de GEI y sus implicancias locales.

Referencias bibliográficas

- Benavides Ballesteros, H. O. y León Aristizabal, G. E. (2007). *Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Boss, M. y Day, D. (2001). *Air Sampling and Industrial Hygiene Engineering*. Lewis Publisher.
- Constitución Nacional Argentina (1994). Artículo 41: Protección del ambiente. *Constitución Nacional Argentina* (pp. 20-23). Congreso de la Nación.
- Davis, W. T., Godish, T. y Fu, J. S. (2014). *Air Quality* (5a ed.). Editorial CRC Press.
- Hamann, D., Henández Guance, S., Carattoli, O., Botti, J., Caro, A., Castiglione, L., Dotti, J., Meyle, F. y Vallejo, R. (2016). Estudio teórico-experimental de la adsorción y reducción catalítica de los NOx sobre Cr₂O₃/γ-Al₂O₃ en presencia de gases de efecto invernadero. *Energeia*, 14(14).
- IPCC (2013). Glosario. En S. Planton (ed.), *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023, 20 de abril). Resolución N° 146. Aprobación del 2do Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. *Boletín Oficial de la República Argentina*. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/284978/20230424>
- Presidente de la Nación (2020, 17 de diciembre). Decreto N° 1030. Decreto Reglamentario de la Ley de Presupuestos Mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Global. *Boletín Oficial de la República Argentina*. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/238749/20201218>
- Ribotta D. y Uñates C. (1990). *Guía de Procedimientos para la Evaluación de Agua Potable y Ambientes Laborales Aire Urbano*. DiPSAE-UNL.
- Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2019, 26 de noviembre). Resolución N° 447. Primer Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. *Boletín Oficial de la República Argentina*. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-447-2019-332234/texto>
- Secretario de Estado de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (2004, 21 de diciembre). Resolución N° 201. *Boletín Oficial de la República Argentina*. <https://www.santafe.gob.ar/index.php/web/Estructura-de-Gobierno/Ministerios/Medio-Ambiente/Temas-Especificos/Registro-de-actividades-ambientales/Desarrollo-Sustentable-e-Impacto-Ambiental/Resolucion-Provincial-0201-2004-Calidad-de-Aire>
- Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina (2019, 20 de diciembre). Ley 27520. Presupuestos Mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Global. *Boletín Oficial de la República Argentina*. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/224006/20191220>
- Uñates C. y Feraudo B. (1981). *Manual de calibración y análisis para contaminantes atmosféricos*. DiPSAE-UNL.
- US Environmental Protection Agency (s.f.). 40 CFR Part 50, Appendix J. Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere. *Code of Federal Regulations, Title 40* (pp. 125-140).