

ACTUALIZACIÓN DE LAS NORMATIVAS DE CALIDAD DEL AIRE DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO Y SUS IMPLICANCIAS PARA LA SALUD PÚBLICA EN CHILE

UPDATE OF NITROGEN DIOXIDE AIR QUALITY REGULATIONS AND THEIR IMPLICATIONS FOR PUBLIC HEALTH IN CHILE

María José Sáez-Terrazas¹, Karla Yohannessen-Vásquez²⁻³

¹ Interna de Medicina, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

² Profesora Asistente, Programa de Epidemiología, Escuela de Salud Pública, Universidad de Chile.

³ Investigadora Adjunta, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)².

Correspondencia:
karla.yohannessen@uchile.cl

RESUMEN

El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas contaminante producido principalmente por la quema de combustibles fósiles, con efectos adversos para la salud, tanto agudos como crónicos. La norma primaria de calidad del aire en Chile, que regula las concentraciones de NO₂, permite concentraciones significativamente superiores a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), las cuales se han vuelto más estrictas en respuesta al mayor entendimiento de los riesgos asociados a la exposición a este gas. Desde 2019, el Ministerio de Medio Ambiente está revisando esta normativa, y el proceso se encuentra en la fase de proyecto definitivo desde septiembre de 2023. La nueva propuesta de norma busca reducir los valores permitidos para las concentraciones horarias y anuales de NO₂, así como introducir un nuevo estándar para la concentración de 24 horas, aunque estos siguen siendo superiores a los recomendados por la OMS en 2021. Es imperativo que la propuesta de norma sea aprobada a la mayor brevedad posible, puesto que su implementación y cumplimiento mejoraría la calidad del aire y reduciría los riesgos para la salud pública, aunque plantea desafíos operativos y financieros significativos.

Palabras clave: normas de calidad del aire, dióxido de nitrógeno, monitoreo ambiental, efectos en salud, contaminación atmosférica.

ABSTRACT

Nitrogen dioxide (NO₂) is an air pollutant primarily released through the combustion of fossil fuels and is linked to various acute and chronic health effects. In Chile, the current air quality standard for NO₂ concentrations allows levels that significantly exceed the guidelines set by the World Health Organization (WHO). These WHO recommendations have been updated to be more stringent, reflecting a better understanding of the health risks associated with NO₂ exposure.

Since 2019, the Chilean Ministry of the Environment has been reviewing this regulation, and as of September 2023, the process has reached the final project phase. The proposed amendments aim to reduce the permissible limits for hourly and annual nitrogen dioxide (NO₂) concentrations and to establish a new standard for 24-hour exposure. However, it is important to note that the proposed limits are still higher than those recommended by the World Health Organization (WHO) in 2021.

The timely approval of this proposed standard is essential, as its implementation would significantly improve air quality and mitigate public health risks. Nonetheless, it is imperative to acknowledge the considerable operational and financial challenges these changes may entail.

Keywords: air quality standards, nitrogen dioxide, environmental monitoring, health effects, air pollution.

Recibido: 13-06-2024

Aceptado: 12-11-2024

Publicado: mayo 2025

DOI: 10.5354/0719-5281.2025.74960

INTRODUCCIÓN

Las normas primarias de calidad del aire son aquellas que establecen los valores estándares para las concentraciones permisibles de contaminantes del aire, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población. Estas normas de calidad se aplican en todo el territorio de la República y su principal objetivo es proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a los distintos contaminantes del aire¹.

Actualmente, la norma de calidad primaria de dióxido de nitrógeno (NO₂) está en un proceso de revisión por parte del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) cuyo desarrollo está disponible en el expediente público electrónico² y donde es posible observar que el proceso se encuentra en la fase de proyecto definitivo (septiembre, 2023). Debido a la importancia de esta nueva definición para la salud de la población, este informe se enfocará en describir el contaminante, sus fuentes de emisión, los efectos en la salud descritos en la literatura (que han sido la base para la definición de estándares y recomendaciones a nivel mundial) y, finalmente, las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los estándares vigentes y propuestos, junto a una reflexión sobre las implicancias para la salud pública.

Dióxido de Nitrógeno (NO₂): desde la fuente hasta el efecto en salud

El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas inorgánico, irritante, tóxico y que tiene la capacidad de ser bastante perjudicial para la salud de la población³. Se produce directa e indirectamente por la quema de combustibles a altas temperaturas y puede surgir por procesos naturales como lo son las descargas eléctricas y la actividad bacteriana en el suelo. Adicionalmente, puede producirse de manera secundaria (por reacciones entre otros contaminantes o componentes del aire), a través de una reacción entre el monóxido de nitrógeno y el ozono^{3,4}.

Las principales fuentes de emisión de NO₂ son de tipo antropogénico, incluyendo las emisiones desde el escape de vehículos motorizados (fuentes móviles) y las instalaciones industriales de alta temperatura y de generación eléctrica (fuentes fijas) como las termoeléctricas, industrias de papel y celulosa, ámbito minero, producción de cemento, cal y yeso, entre otras fuentes⁵. En el ambiente urbano, aproximadamente el 75% del NO₂ en el aire es aportado por el tráfico rodado con altas concentraciones en cercanía a carreteras y vías de alto flujo. En la Región Metropolitana los vehículos motorizados son la principal fuente de emisión de NO₂, seguidos por las industrias³.

Aunque se han implementado medidas para reducir las emisiones vehiculares, como lo ha sido la instalación de convertidores catalíticos y restricciones al tráfico vehicular, los esfuerzos realizados hasta ahora no han sido suficientes para mitigar las emisiones. Actualmente, la vigilancia de las concentraciones de este gas es función del Sistema Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire, gestionado por el MMA a través de la Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Aire⁶. Esta red cuenta con aproximadamente 76 estaciones de monitoreo distribuidas en diferentes regiones del país, tanto en zonas urbanas como rurales, con una mayor concentración en áreas metropolitanas como Santiago, Concepción y Valparaíso⁷. Específicamente, las estaciones de monitoreo que incluyen mediciones de NO₂ reportan las concentraciones horarias y diarias de este contaminante.

Como el NO₂ existe en el medio ambiente en forma de gas, la única ruta de exposición relevante para los seres humanos es la inhalación. La exposición de las personas de corto y largo plazo al NO₂ tiene consecuencias adversas en la salud a través de diversos mecanismos, los cuales se detallan en la Tabla 1. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2005 reportó que la evidencia científica proveniente tanto de estudios toxicológicos experimentales en animales como en seres humanos mostraron que el NO₂, en concentración de corto plazo (menos de 1 hora) superior a 200 µg/m³, es un gas tóxico con efectos significativos para la salud; además, reportó que las concentraciones de largo plazo (1 año) mostraron un aumento consistente de la mortalidad no accidental y respiratoria. Esta evidencia fue la base para la recomendación de los valores contenidos en las Guías de Calidad del Aire (GCA) del año 2005⁸. Por otro lado, en las nuevas GCA del año 2021, se reportó evidencia científica robusta para la exposición a concentraciones de NO₂ de 24 horas (superior a 25 µg/m³) y un aumento de la mortalidad no accidental y respiratoria, así como de aumento de las hospitalizaciones y consultas de urgencia por asma bronquial⁴.

Las personas con asma, los niños/as y los adultos mayores tienen un mayor riesgo de sufrir efectos sobre la salud relacionados con el NO₂. Estos efectos son de particular preocupación para los miembros de estas poblaciones y las etapas de la vida en que viven, trabajan, asisten a la escuela o pasan una gran cantidad de tiempo en lugares con niveles elevados de NO₂, incluyendo la cercanía a carreteras de alto tráfico⁴.

Tabla 1. Efectos agudos y crónicos de la exposición al NO₂ (3,4).

Tipo	Sistema	Mecanismo	Consecuencias
Efectos agudos	Sistema respiratorio	Afectación de la estructura y función de las vías respiratorias, aumento de generación de radicales libres que generan daño a nivel celular, reducción de la defensa del huésped contra los agentes microbiológicos y aumento de la hiperreactividad bronquial. Aparición de procesos inflamatorios en la vía aérea.	Aparición o aumento de síntomas respiratorios Caídas en la función pulmonar Hiperreactividad bronquial Alteración de la respuesta inmune y aumento de la susceptibilidad a infecciones virales y bacterianas Exacerbación del asma Aumento en las atenciones de urgencia y hospitalizaciones por causa respiratoria
	Sistema cardiovascular	Generación de estrés oxidativo, disfunción endotelial, respuesta inflamatoria y procesos procoagulantes.	Presencia de pulso filiforme, congestión pulmonar, shock. Aumento de admisiones hospitalarias y atenciones de urgencia por enfermedad cardiovascular
	Sistema hematológico	Aumento de metahemoglobina.	Afectación de capacidad de transporte de oxígeno.
Efectos crónicos	Sistema respiratorio	Irritación crónica de vías respiratorias, respuesta inflamatoria pulmonar irreversible y daño al epitelio respiratorio.	Aumento del riesgo de padecer enfermedades crónicas en niños y adultos, enfermedades obstructivas y restrictivas y disminución de la función pulmonar. Aumento de la mortalidad por causa respiratoria y hospitalizaciones.
	Sistema cardiovascular	Generación de estrés oxidativo, disfunción endotelial, respuesta inflamatoria y procesos procoagulantes.	Desarrollo de patología cardíaca coronaria, accidente cerebrovascular y enfermedad arterial periférica.

Fuente: Elaboración propia.

Recomendaciones y estándares primarios de calidad para NO₂

La comprensión de los riesgos para la salud asociados a este contaminante atmosférico impulsó tanto la elaboración de normas de calidad del aire en diferentes países del mundo, así como el pronunciamiento de la OMS a través sus recomendaciones contenidas en las Guías de Calidad del Aire (GCA). La Tabla 2 muestra los valores normativos de Chile y los recomendados en las GCA para las concentraciones de NO₂.

De acuerdo a la Ley 19300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, toda norma de calidad ambiental debiera ser revisada por el MMA a lo menos cada cuatro años⁹. En este sentido, Chile tiene estándares normativos para el NO₂ desde el año 2002, los cuales fueron revisados en el año 2010 sin modificaciones y el nuevo proceso de revisión iniciado el año 2019 está en etapa de Proyecto definitivo de norma desde septiembre del año 2023 (revisar valores en Tabla 2).

La normativa vigente, establecida en el Decreto Supremo Número 114 del 2002, permite concentraciones hasta 400 µg/m³ de NO₂ en una hora y de 100 µg/m³ anuales¹, valores muy superiores a las recomendaciones de la OMS en sus GCA del 2005 y aún más superiores que las GCA del 2021^{3,4}. Por ejemplo, la recomendación de las GCA para la concentración anual de NO₂ era de 40 µg/m³ en 2005 y se redujo a 10 µg/m³ en 2021.

En el año 2016, la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile participó en la sistematización de la evidencia científica para la revisión de las normativas de gases por parte del MMA a través del informe “Análisis de antecedentes y evaluación de impactos para revisar las normas de NO₂, O₃ y CO” cuyas recomendaciones para todos los gases se alinearon con las recomendaciones de las GCA 2005. En el caso específico de NO₂ se recomendó la reducción de los estándares anuales y de 1 hora a los propuestos por la OMS en ese entonces (40 µg/m³ y 200 µg/m³, respectivamente) o en su defecto considerar las metas intermedias³. Actualmente esa sugerencia es insuficiente ante las GCA 2021. Este documento está disponible en el expediente público de la revisión de estas normativas.

En el actual proceso de revisión, los nuevos valores estándares propuestos en el Proyecto Definitivo de Norma reflejan el creciente entendimiento de los efectos nocivos de este gas en la salud de la población presentando estándares más estrictos que la normativa vigente¹⁰. El Proyecto Definitivo de Norma propone reducir los valores permisibles tanto para las concentraciones horarias como anuales, así como la introducción de un nuevo estándar para la concentración de 24 horas cuyo fundamento se basa en el objetivo de reducir los efectos agudos (estándar de 1 y 24 horas) y crónicos (estándar anual) asociados a la exposición a este contaminante¹⁰.

Tabla 2. Niveles recomendados de NO₂ en las Guías de Calidad del Aire de la OMS y estándares primarios de Calidad del Aire vigentes y propuestos en Chile.

	Chile 2002 (1)	GCA 2005 (4)	GCA 2021 (4)	GCA 2021 (4)	Chile 2023 Proyecto definitivo de norma (10)
Concentración de 1 hora	400 µg/m ³	200 µg/m ³	200 µg/m ³		200 µg/m ³
Concentración anual	100 µg/m ³	40 µg/m ³	10 µg/m ³	40 µg/m ³	40 µg/m ³
Concentración de 24 horas			25 µg/m ³	120 µg/m ³	100 µg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

El proyecto definitivo de norma de 2023 propone estándares bastante alineados con los valores recomendados en las GCA 2005, pero en relación con las GCA 2021 sólo el estándar para la concentración de 1 hora cumpliría con la recomendación actual de la OMS (200 µg/m³). El estándar propuesto para la concentración anual (40 µg/m³) es cuatro veces superior al valor recomendado en las GCA 2021 (10 µg/m³), no obstante, coincide con la meta intermedia 1 de las recomendaciones. El proyecto definitivo de norma incluye, por primera vez, un estándar para la concentración de 24 horas (100 µg/m³) que es superior al valor recomendado en las GCA 2021 (25 µg/m³), no obstante, es inferior al valor de la meta intermedia 1 de las recomendaciones. Cabe destacar que las metas intermedias representan niveles de contaminantes atmosféricos que, si bien superan las recomendaciones de las GCA, se emplean para elaborar políticas de reducción de la contaminación realistas para las áreas altamente afectadas, con el objetivo de permitir que los niveles establecidos en las pautas se cumplan en plazos sensatos, convirtiéndose así en un hito y no en un objetivo final⁴.

La convergencia entre las normativas chilenas y las sugerencias de la OMS refleja un compromiso compartido con la protección de la salud pública y el medio ambiente, además de la mejora de la calidad del aire para las generaciones presentes y futuras. La normativa vigente y el proyecto definitivo del año 2023 mencionan que el objetivo de la norma es “*proteger la salud de las personas de los efectos agudos y crónicos generados por la exposición a dióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire*”^{1,9}, sin embargo, la literatura existente evidencia que incluso con concentraciones menores a las planteadas existen efectos adversos en salud⁴, por lo que en esencia el objetivo no se cumple, cayendo en una discrepancia normativa. Lo anterior plantea la encrucijada de si lo que se tiene que cambiar es el objetivo en sí o si el desafío es definir límites efectivos que realmente minimicen los riesgos para la salud asociados con la exposición al NO₂.

Por otro lado, la propuesta no se pronuncia en relación a un cambio en la forma de monitorización de NO₂. Lo anterior es relevante ya que hoy en día se sabe que, en función de la proximidad a las personas, las diferentes fuentes de un mismo contaminante pueden resultar en cantidades muy diferentes de exposición^{3,11}. Por ejemplo, a diferencia de lo que se realiza en Chile, en Estados Unidos se implementó el monitoreo de las concentraciones de NO₂ en zonas de alto tráfico como carrete-

ras y sus cercanías, responsables de la mayoría de los picos de concentración de NO₂ de 1 hora¹¹. Lo anterior permitió una evaluación más detallada y precisa de las concentraciones de NO₂ y llevó a establecer una red de monitoreo de 2 niveles para la norma primaria de corto plazo, reflejando la concentración máxima permitida de NO₂ en cualquier lugar de un área³. Ello, junto con otras medidas adoptadas, resultaron en una disminución significativa de la concentración de NO₂ con una reducción del 60% en la concentración anual y del 54% en la concentración de 1 hora¹⁰. Sería aconsejable considerar la estrategia implementada por Estados Unidos, puesto que la propuesta de Chile reduce los valores permitidos para la concentración anual y horario, y agrega un estándar de 24 horas, no obstante, no se pronuncia sobre un cambio en los lugares de monitoreo y cumplimiento de los valores normativos. Tener un monitoreo cercano a las fuentes, sobre todo en carreteras, protegería a la población y comunidades que viven, asisten a la escuela, trabajan y se transportan diariamente en o cerca de las carreteras, donde las concentraciones ambientales de NO₂ pueden ser más altas que en muchos otros lugares. En otras palabras, la población y comunidades descritas, actualmente, se encuentran desprotegidas al considerar una normativa que mide la contaminación lejos de las fuentes.

Por otra parte, el establecer límites normativos más estrictos en un país como Chile podría dar una carga operativa y financiera significativa, además de poner en duda la viabilidad técnica del cumplimiento de estos valores al aplicarlos en áreas urbanas densamente pobladas como lo es el Gran Santiago. Sin duda lo anterior plantea un gran desafío y la necesidad de aumentar la investigación en esta área y fomentar la colaboración interdisciplinaria.

A pesar de lo mencionado previamente, el proyecto de norma es un paso en la dirección correcta. Con la generación de instrumentos legales que permiten actuar para reducir las concentraciones de NO₂ ambiental, la modificación a la norma beneficiaría la salud de la población incluyendo aquellos grupos vulnerables y más susceptibles a los efectos nocivos del NO₂. Además, es importante considerar que se generaría una mejora de la calidad general del aire, ya que con esta modificación probablemente no solo disminuiría la concentración del NO₂, sino que también reduciría otros contaminantes del aire como lo son el material particulado, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de azufre, entre otros, puesto que comparten

fuentes de emisión^{4,5}. Finalmente, lo anterior podría contribuir a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones ya que muchos de estos gases y partículas son Gases de Efecto Invernadero o son precursores para su formación.

REFLEXIÓN FINAL

Con el paso del tiempo, las recomendaciones de la OMS se han vuelto más estrictas en respuesta al mayor entendimiento de los riesgos para la salud asociados con la exposición al NO₂, reduciendo los valores recomendados. Siguiendo esa línea, la convergencia entre las sugerencias de la OMS con la propuesta chilena de modificación normativa planteada el 2023 representan pasos importantes hacia la protección de la salud pública y mejora del medio ambiente. No obstante, es preocupante que, si bien han pasado más de seis meses desde que el Consejo de Ministros por la Sustentabilidad se pronunció favorablemente ante el proyecto definitivo de los nuevos estándares, estos aún no tienen su aprobación final por parte del presidente de la república. Es de vital importancia que la propuesta planteada el año pasado sea aprobada lo antes posible para favorecer un aire limpio y saludable para todos. Junto con ello, es necesario realizar un mayor esfuerzo para abordar los desafíos pendientes y asegurar que se tomen las medidas requeridas para proteger la salud de la población y preservar nuestro entorno.

Declaración de conflicto de interés

Las autoras declaran no tener conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. D.S. No 114/02. Norma de Calidad Primaria de Aire para Dióxido de Nitrógeno (NO₂). [Internet]. Disponible en: <https://sinca.mma.gob.cl/uploads/documentos/d1fe40f38fb1bbc11574cdba4a7838c8.pdf>
2. Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Revisión Norma de Calidad Primaria de NO₂, DS No114 de 2002, expediente [Internet]. Disponible en: https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=936426
3. Universidad de Chile. Escuela de Salud Pública. Análisis de antecedentes y evaluación de impactos para revisar las normas NO₂, O₃ y CO [Internet]. Disponible en: https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2021/proyectos/26._31052021_INFORME_FINAL_MMA_folio_42-240.pdf
4. World Health Organization. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1>
5. Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) [Internet]. 2020. Disponible en: <https://retc.mma.gob.cl/>
6. Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Preguntas frecuentes [Internet]. 2018. Disponible en: <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/faq>
7. Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Estadísticas de parámetros contaminantes [Internet]. 2020. Disponible en: <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estadisticas>
8. World Health Organization. WHO Air quality guidelines global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2005. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1>
9. Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Ley 19300, Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente [Internet]. 1994. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>
10. Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Proyecto definitivo de norma. Establece norma primaria de calidad del aire para dióxido de nitrógeno (NO₂), elaborada a partir de la revisión del Decreto Supremo n°114, de 2022 [Internet]. 2023. Disponible en: https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2023/proyectos/72._21072023_PD_NPCA_NO2_v21jun_folio_710-717.pdf
11. United States Environmental Protection Agency. Primary National Ambient Air Quality Standards for Nitrogen Dioxide; Final Rule. Federal Register [Internet]. 2010. Disponible en: <https://www.federalregister.gov/documents/2010/02/09/2010-1990/primary-national-ambient-air-quality-standards-for-nitrogen-dioxide>