



RESUMEN EJECUTIVO

ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES

Licitación 608897 – 11 – LE20

ELABORADO PARA



**Ministerio del
Medio
Ambiente**

Diciembre 2020

 <p>o2b CONSULTORES ASOCIADOS</p>	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 <p>Ministerio del Medio Ambiente</p>
--	---	--

ANTECEDENTES

El presente documento corresponde al Resumen Ejecutivo del Informe Final y sus Anexos del estudio.

El desarrollo de este estudio se enmarca en la generación de antecedentes requeridos para la revisión de la norma primaria de calidad de aire de dióxido de nitrógeno del año 2002. MINSEGPRES, D.S. N° 114. Conforme a las Bases Técnicas, el objetivo general y los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

Objetivo General:

Generar los antecedentes técnicos necesarios para fundamentar, a lo menos, tres alternativas de propuestas regulatorias para la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de nitrógeno (NO₂) y, de esta manera, avanzar en mejorar la regulación vigente. Además, contar con un análisis técnico y económico para la evaluación de los escenarios regulatorios en la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de nitrógeno (NO₂).

Objetivos Específicos:

1. Realizar una actualización para el periodo 2014 en adelante del análisis de la información obtenida en el estudio 2016¹ y generar la fundamentación técnica para tener a lo menos tres escenarios de propuesta normativa.
2. Actualizar, recopilar y sistematizar estudios sobre efectos en salud por concentración de NO₂ y O₃ (funciones dosis respuesta).
3. Realizar un diagnóstico de la calidad del aire por NO₂ a nivel país e identificar fuentes emisoras de NO₂ para al menos 4 zonas (Gran Concepción, Concón y Puchuncaví, Calama y otra por definir), según disponibilidad de información base. Realizar una proyección, identificando potenciales nuevas fuentes y futuras ampliaciones de fuentes existentes, considerando un horizonte de evaluación de 15 años y de acuerdo con las actividades desarrolladas en cada zona.
4. Procesar el inventario de emisiones para la Región Metropolitana y una proyección, identificando potenciales nuevas fuentes y futuras ampliaciones de fuentes existentes, considerando un horizonte de evaluación de 15 años y de acuerdo con las actividades desarrolladas en la zona.
5. Determinar el aporte de las distintas fuentes emisoras en la calidad del aire por cada zona, para el contaminante NO₂ y la relación con O₃ y MP_{2,5}.
6. Valorizar los costos que tendría la aplicación de nuevos valores de norma primaria de calidad del aire para NO₂. Identificar los tipos de fuentes que deberán reducir emisiones y cuáles serían los costos de inversión y operación de esas reducciones. Considerando un horizonte de evaluación de 15 años y sus costos asociados.

¹ Análisis de antecedentes y evaluación de impactos para revisar las normas NO₂, O₃ y CO”, Instituto de Salud Poblacional de la Universidad de Chile, mayo 2016. LICITACIÓN N°608897-161-LE15

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

ZONAS ESPECÍFICAS DE ESTUDIO

De acuerdo a lo definido en los Términos de Referencia del estudio, se establecieron 4 zonas iniciales para el desarrollo del estudio, mas una quinta consensuada² con la Contraparte Técnica del estudio, las cuales fueron las siguientes:

- Zona 1: Calama
- Zona 2: Concon, Quintero y Puchuncaví
- Zona 3: Región de Valparaíso Interior
- Zona 4: Concepción Metropolitano (Gran Concepción)
- Zona 5: Región Metropolitana

De acuerdo a los antecedentes disponibles, todas las zonas analizadas en detalle se encuentran declaradas saturadas o latentes por algún contaminante atmosférico y cuentan con planes de descontaminación y/o prevención vigentes o en elaboración, como lo indica la siguiente Tabla 1.

Tabla 1: Planes de Descontaminación y Prevención en las zonas analizadas

Nombre	Contaminante	Cobertura Territorial	Estado
Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concepción Metropolitano. D.S. N°6/2018 MMA	Material Particulado MP ₁₀ Material Particulado Fino	Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tomé, Hualpén, Talcahuano	Vigente Dic. 2019
Plan de Prevención y de Descontaminación Atmosférica.	Material Particulado MP ₁₀ .	Provincia de Quillota. Comunas de Catemu, Panquehue, Llayllay	Elaboración
Plan de Descontaminación para la Ciudad de Calama y su área circundante.	Material Particulado MP ₁₀ .	Calama y área circundante	Elaboración
Plan de Prevención y de Descontaminación Atmosférica. D.S. N°105/2018 MMA	Material Particulado MP ₁₀ Material Particulado Fino	Concón, Quintero, Puchuncaví	Vigente Dic. 2019
Plan de Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana de Santiago D.S. N°31/2016 MMA.	Material Particulado MP ₁₀ Material Particulado Fino Ozono Monóxido de Carbono	Región Metropolitana	Vigente Nov. 2017

Fuente: Elaboración propia en base a <http://planesynormas.mma.gob.cl>

En consideración a lo anterior, gran parte del análisis, en particular en materia de calidad de aire, emisiones y sus proyecciones se focaliza en estas áreas geográficas.

² Los antecedentes para la definición de la quinta zona se encuentran incorporados en Anexo al Informe Final del presente estudio.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AIRE A NIVEL NACIONAL Y EN ZONAS DE ANÁLISIS

Se realizó el diagnóstico de calidad de aire para NO₂ y O₃, y además se incluyó MP_{2,5} como trazador asociado a fuentes de combustión que también pueden ser emisores de NO_x. Las fuentes de información para estos efectos fueron:

- Sistema Nacional de Información de Calidad de Aire del MMA: <http://sinca.mma.gob.cl/>
- Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental de la Superintendencia del Medio Ambiente: <http://snifa.sma.gob.cl/v2/Fiscalizacion>
- Mediciones o resultados incluidos en Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental disponibles en <https://www.sea.gob.cl/>.
- Información enviada por contraparte técnica correspondiente a datos de la red del MMA en la Región Metropolitana, de redes públicas en Huasco y redes privadas de la Región de Antofagasta y de la Región del L.B. O'Higgins.

Cabe señalar que **los indicadores que se presentan en el estudio no corresponden a una evaluación estricta de normas**. Para los objetivos del estudio, relativos a visualizar los niveles de exposición de la población, se consideró incorporar la mayor cantidad de información posible para tener valores referenciales de los niveles registrados en las ciudades.

Para el caso del NO₂, contaminante de referencia para efectos del estudio, se observa que, con excepción de algunas estaciones de monitoreo específicas en la Región Metropolitana, hay cumplimiento de los valores establecidos por la norma vigente actual, como se observa en las figuras siguientes³.

La Figura 1 corresponde al resumen del promedio de 3 años del percentil 99 de las concentraciones horarias máximas diarias de NO₂. Se incluye referencialmente el nivel de la norma vigente en Chile para valores horarios (línea roja, 400 µg/m³N) y el estándar recomendado por la OMS para promedio horario (línea verde, 200 µg/m³N).

Como se aprecia, el P99 de las concentraciones horarias máximas diarias de NO₂ en la Región Metropolitana se encuentra en el rango 150 – 220 µg/m³N. Las estaciones con los valores más altos, tanto en la RM como a nivel nacional, son P. O'Higgins con 219 µg/m³N, Las Condes con 202 µg/m³N e Independencia con 200 µg/m³N. En términos comparativos, el P99 de las concentraciones horarias en P. O'Higgins representa un 55% del valor límite de la norma horaria vigente y un 110% del estándar de referencia OMS para promedio horario.

La Figura 2 presenta el promedio trianual de NO₂. Se incluye referencialmente el nivel de la norma vigente en Chile (línea roja, 100 µg/m³N) y el estándar recomendado por OMS para promedio anual (línea verde, 40 µg/m³N). En la RM, las mayores concentraciones se observan en la estación P. O'Higgins e Independencia con valores cercanos a 53 µg/m³N. En términos comparativos, los mayores valores registrados en la estación P O'Higgins representan un 53% de la norma anual vigente de NO₂ y un 133% del estándar de referencia OMS para promedio anual.

³ Un análisis similar se realizó para O₃ y PM_{2,5} y se encuentra en el Informe Final y sus Anexos.



ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES
RESUMEN EJECUTIVO

Ministerio del Medio Ambiente

Figura 1: Percentil 99 de concentraciones de NO₂ en estaciones de monitoreo de calidad de aire en Chile.

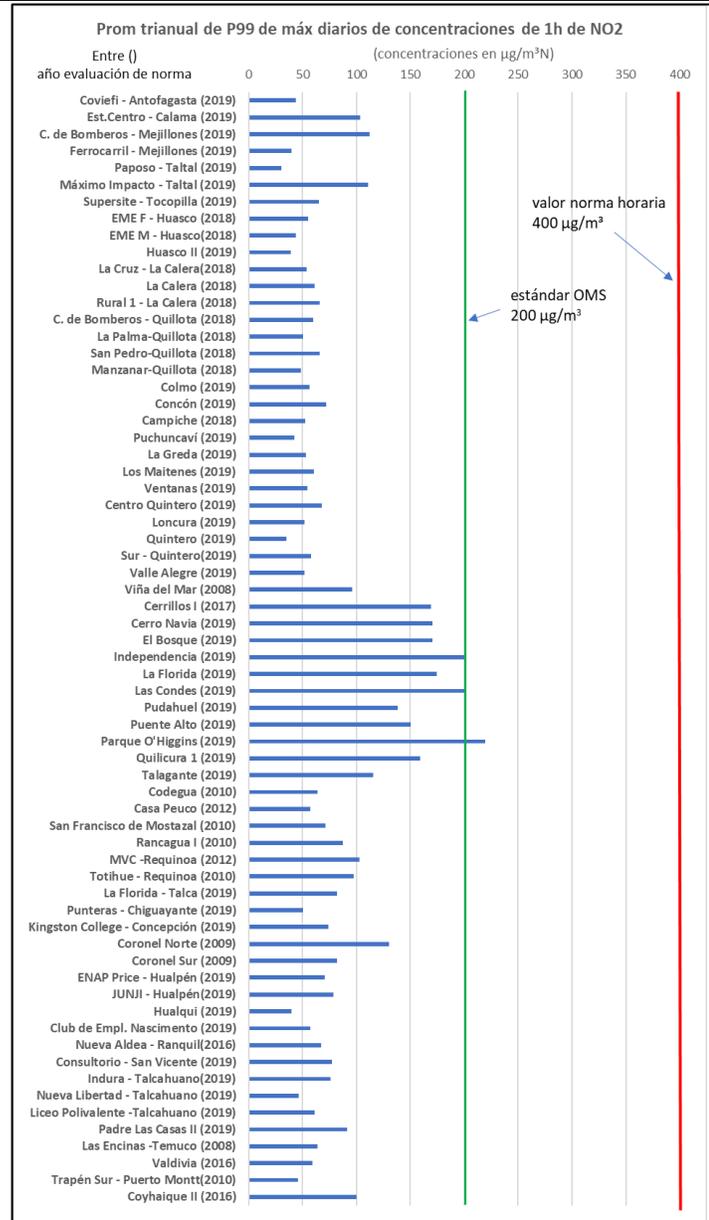
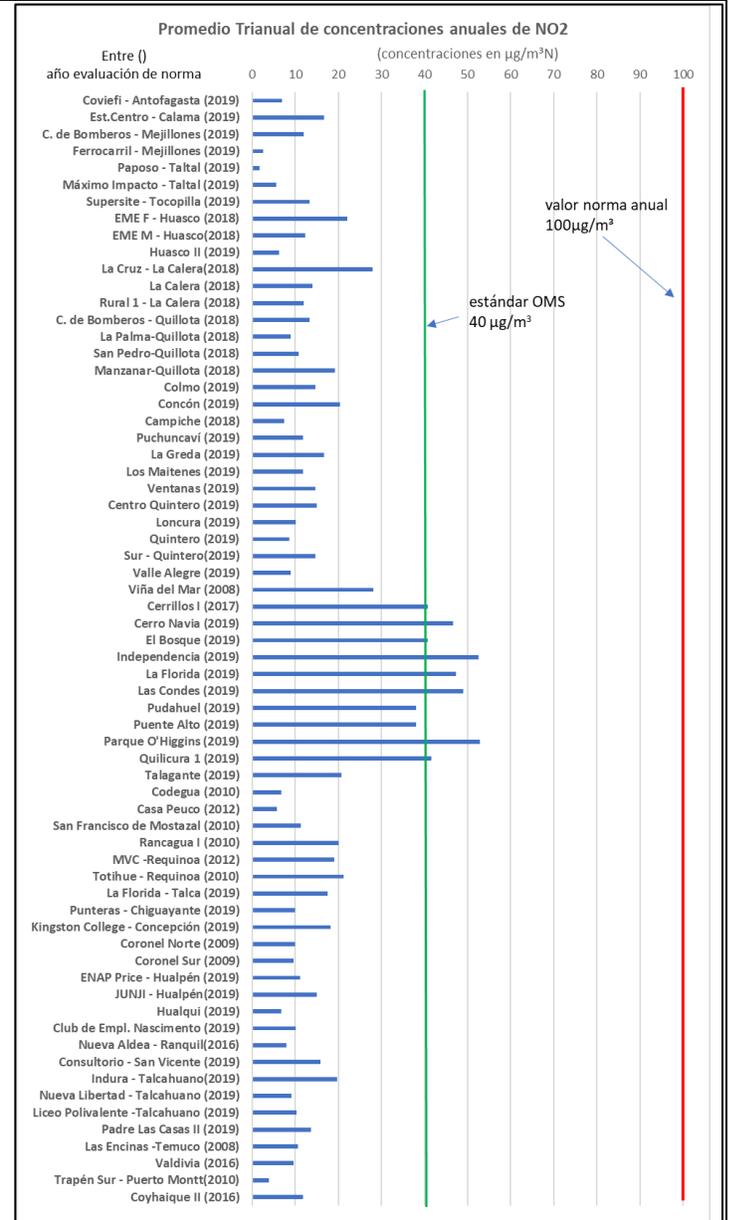
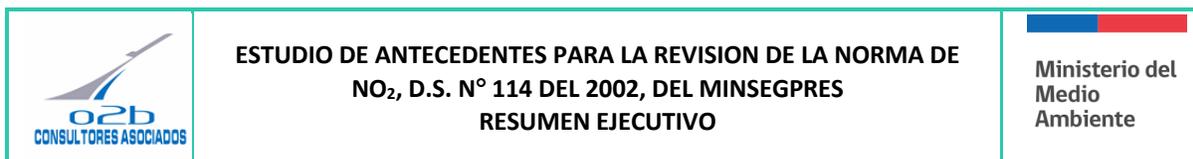


Figura 2: Promedio trianual de NO₂ en estaciones de monitoreo de calidad de aire en Chile.





Zona 1. Calama⁴

Figura 3: Evolución de percentil 99 de concentraciones horarias máximas diarias de NO₂ en Calama

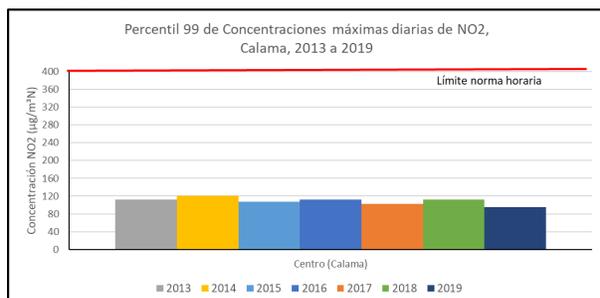
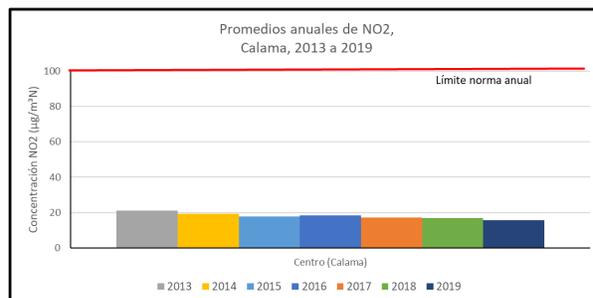


Figura 4: Evolución de promedios anuales de NO₂ en Calama



De acuerdo a la Figura 3 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el percentil 99 de NO₂ se ha mantenido con valores cercanos a 115 µg/m³N desde el año 2013, con un leve descenso en el año 2019. En la Figura 4, los promedios anuales de NO₂, al igual que para el percentil 99 se han mantenido con valores similares desde el año 2013, en torno a 18 µg/m³N pero con un leve descenso hacia el año 2019, es decir valores cercanos al 18% de la norma anual.

Zona 2. Valparaíso Interior

Figura 5: Evolución de percentil 99 de concentraciones horarias máximas diarias de NO₂ en Valparaíso Interior

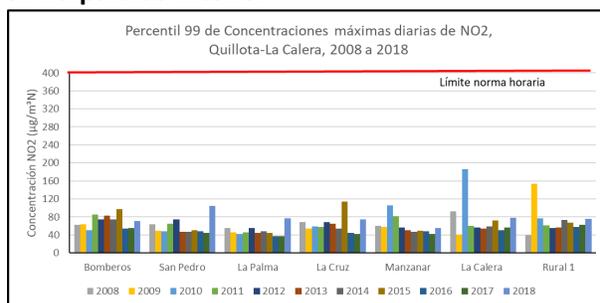
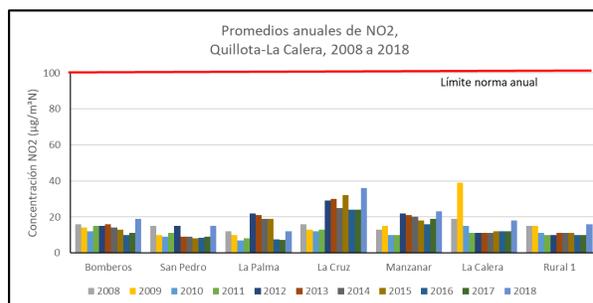
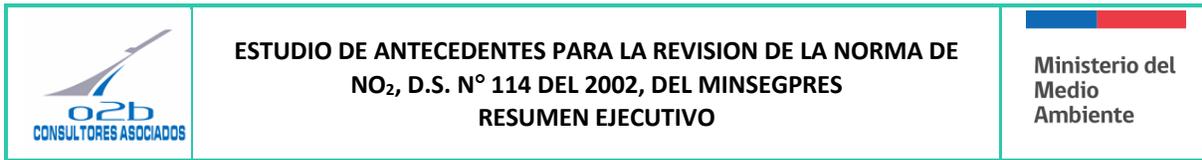


Figura 6: Evolución de promedios anuales de NO₂ en Valparaíso Interior



La Figura 5 muestra que entre los años 2008 y 2018 la evolución del percentil 99 de NO₂ no tiene un comportamiento definido, con valores en el rango de 40 a 80 µg/m³N para la mayoría de los años excepto el año 2010 en La Calera con un valor cercano a 190 µg/m³N y el año 2009 en la estación Rural 1 con un P99 cercano a 160 µg/m³N. En el caso de la Figura 6 los promedios anuales registran un aumento cercano a 100% entre los años 2011 y 2015 en las estaciones La Palma, La Cruz y Manzanar, pero en el año 2016 la estación registra promedio anual de NO similar al año 2010. Luego, durante los últimos años (2016-2018) los promedios anuales de NO₂ son cercanos a 10 µg/m³N en Bomberos, La Palma, San Pedro, Rural 1 y La Calera y en cambio en La Cruz, y Manzanar son más cercanos a 20 µg/m³N.

⁴ El análisis estacional y ciclos diarios para todas las zonas se indica en el cuerpo del Informe Final.



Zona 3. Concón - Quintero – Puchuncaví

Figura 7: Evolución de percentil 99 de concentraciones horarias máximas diarias de NO₂ en Concón - Quintero – Puchuncaví

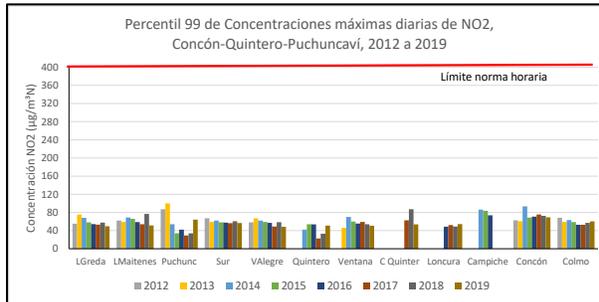
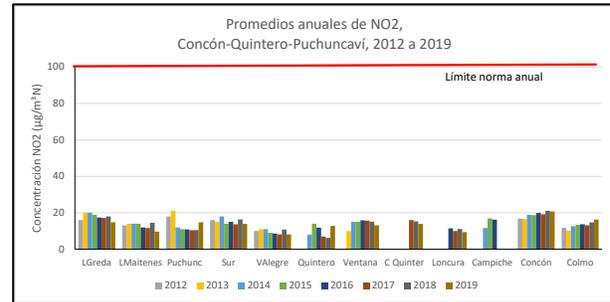


Figura 8: Evolución de promedios anuales de NO₂ en Concón - Quintero – Puchuncaví



De acuerdo a la Figura 7, **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, entre los años 2012 y 2019 el percentil 99 de NO₂ registra valores en el rango 40 a 80 µg/m³N para la mayoría de los años con valores similares entre las estaciones con un leve descenso entre los años 2012-2014 para luego presentar un leve aumento alcanzando en el año 2019 un P99 similar al registrado en el año 2012 en todas las estaciones. La Figura 8, muestra la evolución de los promedios anuales de NO₂ que tiene un comportamiento similar al percentil 99, es decir un leve descenso desde 2012 a 2015 y luego un aumento para alcanzar valores muy parecidos en el año 2019 respecto al año 2012. El rango de concentraciones anuales está entre 10 y 20 µg/m³N siendo menores en Valle Alegre y más altas en Concón y La Greda.

Zona 4. Concepción Metropolitano

Figura 9: Evolución de percentil 99 de concentraciones horarias máximas diarias de NO₂ en Concepción Metropolitano

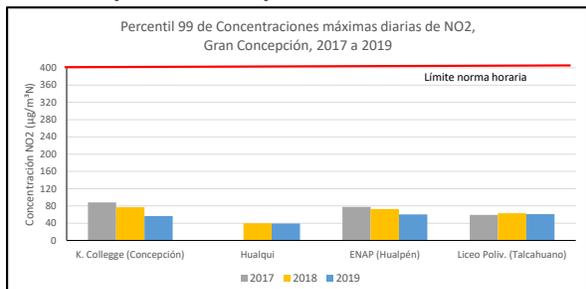
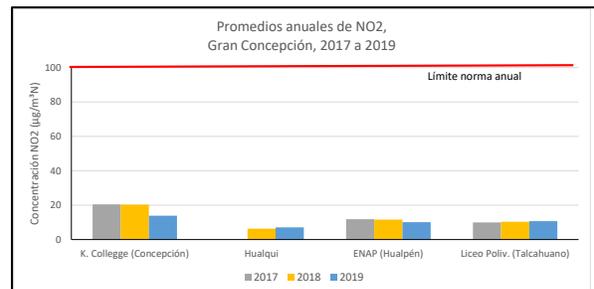


Figura 10: Evolución de promedios anuales de NO₂ en Concepción Metropolitano



De acuerdo a la Figura 9, el percentil 99 de NO₂ en las estaciones Kingston College en Concepción y Enap en Hualpén registran una disminución del P99 desde un valor cercano a 80 µg/m³N en 2017 hasta valores cercanos a 60 µg/m³N en el 2019. En cambio, la estación Hualqui mantienen valores cercanos a 40 µg/m³N y la estación Liceo Polivalente de Talcahuano mantiene un P99 cercano a 60 µg/m³N. Por otro lado, el promedio anual (Figura 10) mantiene valores estables entre los años para Hualqui alrededor de 7 µg/m³N,

ENAP y Liceo Polivalente cercanos a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. En cambio, Kingston College presenta una disminución de 20 a 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Zona 5. Región Metropolitana

Figura 11: Evolución de percentil 99 de concentraciones horarias máximas diarias de NO₂ en Región Metropolitana

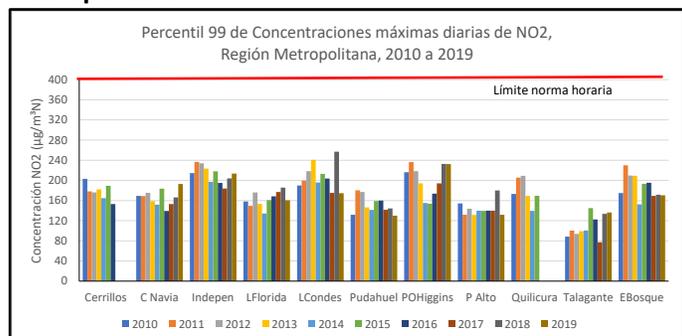
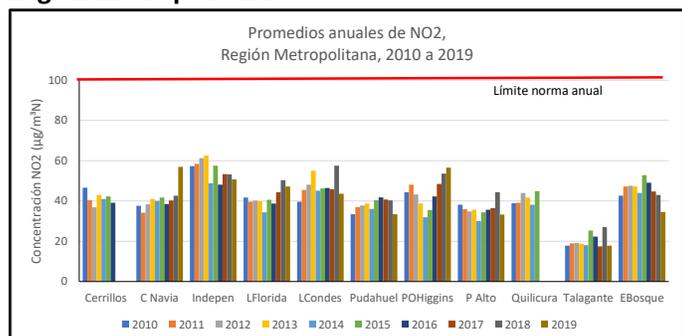


Figura 12: Evolución de promedios anuales de NO₂ en Región Metropolitana



De acuerdo a la Figura 11, el percentil 99 de NO₂ está en el rango de 150 a 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ excepto en la estación Talagante, la cual tiene menores concentraciones, en el rango de 120 a 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Para la mayoría de las estaciones hay un descenso del P99 hasta el año 2015 para luego registrar un aumento alcanzando niveles similares entre los años 2010 y 2019. Situación similar a la ocurrida en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví. Los promedios anuales de NO₂ (Figura 12) tienen un comportamiento similar al P99, excepto las estaciones Cerro Navia, Parque O'Higgins y La Florida que presentan aumentos de los promedios anuales más marcados en comparación a los valores de 2010. El rango de promedios anuales es entre 30 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, siendo más alto en Parque O'Higgins y menores en Talagante con promedios cercanos a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Síntesis del Análisis por Zonas

Los contaminantes NO₂, O₃ y MP_{2,5} están íntimamente vinculados por las reacciones químicas en las que participan conjuntamente en la atmósfera. La calidad del aire es finalmente el resultado del conjunto de

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	--

emisiones, las transformaciones que ocurren en la atmósfera y el transporte de estos contaminantes en las masas de aire, a su vez vinculado a las características geográficas de cada lugar.

En general, se observan niveles mayores de NO₂ ambiental en ciudades grandes con emisiones importantes asociadas a la actividad de transporte con motores de combustión, tal como ocurre en las comunas de Santiago en la Región Metropolitana y en menor medida en otras urbes de la zona centro sur del país. Y también, pero menores, en núcleos urbanos con presencia de fuentes industriales significativas de NO_x, como termoeléctricas y cementeras.

En el caso del O₃, nuevamente los niveles de preocupación se encuentran en las comunas urbanas de la zona centro sur del país, y particularmente en las localizadas al “interior”, donde se presentan todos los componentes favorables para la formación de O₃ a partir de los precursores y las condiciones de radiación y ventilación que determinan la residencia de las masas de aire en las cuencas. En el contexto nacional, destacan las comunas de las zonas seleccionadas para este estudio, Calama, la RM, y el interior de Valparaíso.

En el caso del MP_{2,5}, que en parte es emitido directamente por las fuentes y secundariamente se forma en la atmósfera, los niveles más preocupantes se presentan en la zona centro y sur del país, en el sur asociado fundamentalmente a la combustión de leña, y en la RM directamente vinculado a la presencia de NO₂.

En los ciclos anuales⁵ de promedios mensuales se observan con claridad las relaciones entre NO₂ y O₃ y entre NO₂ y MP_{2,5}.

En la Región Metropolitana, se dan situaciones particulares, donde la estación P O’Higgins, La Florida, Cerro Navia tienen niveles sostenidamente crecientes desde 2014, mientras que Las Condes (salvo el año 2016), Independencia y El Bosque están disminuyendo. También hay fluctuaciones.

En todo caso, como ya se anticipó en el estudio, la Región Metropolitana es la zona que podría presentar condiciones de latencia o saturación ante una norma de NO₂ más cercana a las directrices de la OMS.

⁵ El detalle del análisis se encuentra en el cuerpo principal del Informe Final.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

ANÁLISIS COMPARATIVO INTERNACIONAL. NORMAS Y GESTIÓN DE EPISODIOS

El organismo que establece las recomendaciones regulatorias en materia de Calidad del Aire, más seguido por los países es la Organización Mundial de la Salud (OMS). La última revisión de las guías de calidad del aire del año 2005 de la OMS, estableció para el ozono, al igual que para el material particulado (MP₁₀ y MP_{2,5}) y el dióxido de azufre, una norma más estricta que la anteriormente fijada, estableciendo un nivel de 100 µg/m³ y niveles intermedios (Nivel IT-1⁶ de 160 µg/m³ y Alto Nivel de 240 µg/m³) para apoyar la gestión de la calidad del aire de los países.

La Tabla 2 y Tabla 3 muestran las regulaciones vigentes en varios países y organizaciones. Se puede observar que Chile, junto con otros países en vías de desarrollo como Argentina, México y Brasil, tiene niveles de norma comparativamente más laxos para NO₂ . En efecto, la gran mayoría de los países desarrollados fijan sus regulaciones en límites comparables a los establecidos por la OMS (200 µg/m³ promedio horario y 40 µg/m³ promedio anual), y los que difieren, fijan niveles más estrictos, como Suecia y Suiza.

Tabla 2: Guías de Calidad del Aire, para Óxido de Nitrógeno, países y organizaciones seleccionadas⁷

País	Año	Unidad	1 hora	Diaria	Anual
Chile	2003	µg/m ³	400		100
OMS	2006	µg/m ³	200 (1)		40
Unión Europea	2008	µg/m ³	200 (1)		40
Alemania (2)	2002	µg/m ³	200		40
Países Bajos (2)	2006	µg/m ³	200		40
USA	2016	Ppb	100 (3) (188 µg/m ³)		53 (100 µg/m ³)
Japón	1978	Ppm		0.04-0.06 (4) (75-113 µg/m ³)	
España	2011	µg/m ³	200		40
Italia	2010	µg/m ³	200		40
Suiza (2)	2010	µg/m ³	100 (6)	80 (7)	30
Suecia	2010	µg/m ³	90 (8)	60 (9)	40
Argentina	2013	Ppm	0.45 (845 µg/m ³)		
Australia	2008	Ppm	0,12 (10) (226 µg/m ³)		0.03 (56 µg/m ³)
Brasil	2013	µg/m ³	320		100
Canadá(14)	2013	Ppb	60 (11) - 13 (12) (113-25 µg/m ³)		42 (11)- 12 (12) (79-23 µg/m ³)
Nueva Zelanda	2011	µg/m ³	200	100	
México	2014	µg/m ³	395(13)		
UK	2010	µg/m ³	200 (1)		40

Fuente: elaboración propia

⁶ IT-1 Interim Target 1: nivel intermedio 1)

⁷ El detalle de la aplicación normativa y sus excedencias se encuentra en el Informe Final.



ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA DE
NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES
RESUMEN EJECUTIVO

Ministerio del
Medio
Ambiente

Tabla 3 Guías de Calidad del Aire, para Ozono, países y organizaciones seleccionadas⁸

País	Año	Unidad	8 horas	4 horas	1 hora
Chile	2013	µg/m ³	120		
OMS	2006	µg/m ³	100		
Alemania	2002		N/A		
Países Bajos	2006	µg/m ³	120		
USA	2016	µg/m ³	140 (1)		
Japón	1973	µg/m ³			118
España	2011	µg/m ³	120		
Italia	2010	Ppb	40(2)		
Suiza	2010	µg/m ³			120 (3)
Suecia	2010	µg/m ³	120		
Argentina	2013	µg/m ³			196
Australia (4)	2008	µg/m ³		200	170
Brasil	2013	µg/m ³			160
Canadá	2015	µg/m ³	135		
Nueva Zelandia	2011	µg/m ³	150		100
México	2014	µg/m ³	157		21
UK	2010	µg/m ³	100(5)		

Fuente: elaboración propia

La comparación entre los valores regulados para NO₂ vigentes en Chile y países de referencia muestra que la norma chilena horaria es el doble de permisiva que los valores de otros países y la norma anual entre 1,8 veces (comparada con norma USA) a 3,3 veces (norma Suiza) más permisiva.

Respecto de los países de la OCDE, todos ellos presentan estándares más estrictos que los chilenos, y en relación a otros países de América Latina y a excepción de México igual o más estricta que la guía de la OMS.

Respecto de la situación de la regulación de NO₂ y O₃ en el continente americano, se puede observar que existe una mayor variedad de valores y rangos en las guías⁹. Colombia, Ecuador, Panamá, Venezuela, República Dominicana y El Salvador (Centro América) establecen normas o guías para 24 horas¹⁰, en el caso de NO₂, pero se desconoce si corresponden a regulaciones vinculantes o solamente a guías de calidad del aire.

Respecto del ozono, la norma chilena no se aleja tanto de la guía de la OMS, y es más estricta que su nivel intermedio 1.

⁸ El detalle de la aplicación normativa y sus excedencias se encuentra en el Informe Final.

⁹ Kutlar, Joss, (2017) Time to harmonize national ambient air quality standards. *International Journal of Public Health* volume 62, pages 453–462 (2017)

¹⁰ https://www.swisstph.ch/fileadmin/user_upload/SwissTPH/Institute/Ludok/Grenzwerte/AirQualityStandards_PMOzoneNO2SO2CO_TablesReferences.pdf

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

A efectos de la gestión de episodios, el fundamento de actuación se realiza a partir de dos grandes enfoques: los Índices de Calidad del Aire (ICA) y los Índices de Salud de la Calidad del Aire (ISCA). La principal diferencia entre ambos tipos de indicadores está dada por el tipo de dato crudo utilizado para su cálculo. Los indicadores tipo **ICA**, se basan en los niveles de los estándares de calidad para efectos de la definición de los niveles de actuación. Los índices tipo **ISCA**, por su lado, tienen su fundamento en salud, asociado a los efectos en mortalidad de los contaminantes en determinadas concentraciones.

La Tabla 4 siguiente ilustra los distintos tipos de indicadores o índices utilizados, clasificándolos según el tipo.

Tabla 4: Tipos de Indicadores e Índices de Calidad del Aire

Índice	Nombre	País
TIPO ICA		
ICAP	Índice de calidad de aire referido a partículas	Chile (DS 59/1998)
ICAG	Índice de calidad de aire referido a gases	Chile (DS 104/2018)
AQI	Air Quality Index	EPA, USA
CAQI	Common Air Quality Index	Citeair, UE
ORAQI	Oak Ridge Air Quality Index	Oak Ridge National Laboratory, USA
NAQI	New Air Quality Index	Bishoi, USA
AQDI	Air Quality Depreciation Index	Singh, USA
IAPI	Integral Air Pollution Index	Bezuglaya, Rusia
AQI	Aggregate Air Quality Index	Kyrkilis, UE
TIPO ISCA		
PI	Pollution Index	Cannistraro, Italia
ARI	Aggregate risk index	Sciard, Francia
AQI-NNT	AQI con PCA-Neural Network Model	Kumar, India
FAQI	Fuzzi Air Quality Index	Mandal,
AQHI	Air Quality Health Index	Canadá
APISSA	Air pollution indexing System in South Africa	Caincross, Sud Africa

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la norma de calidad para NO₂ en Chile, la regulación establece un protocolo de actuación basado en tres rangos de concentración que originan situación de alerta, preemergencia y emergencia ambiental, asociados a los niveles pronosticados de calidad de aire, o por la constatación de concentraciones a partir de estaciones de monitoreo con representación poblacional¹¹. En el caso de NO₂, estos son los siguientes.

Tabla 5: Niveles emergencia para NO₂

Nivel	Concentración NO ₂ 1h
1 Alerta	1130 – 2259 µg/m ³ N
2 Preemergencia	2260 – 2999 µg/m ³ N
3 Emergencia	3000 o más µg/m ³ N

Fuente: Decreto N° 114 del MINSEGPRES

En todos los casos, la Gestión de Episodios Críticos se aplica cuando en un área determinada del país se cuenta con Planes de Descontaminación o Prevención de acuerdo con lo que indica la legislación vigente.

¹¹ Artículo 5, Decreto 114 MINSEGPRES/2002

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

En general, para las experiencias internacionales analizadas, en los primeros niveles de los índices de calidad se producen restricciones principalmente en poblaciones vulnerables, mientras que los resguardos o advertencias a la población en general se comienzan a producir en los tres últimos niveles, como se aprecia en el cuadro resumen siguiente y que resulta consistente con el análisis de los efectos de la exposición analizado en acápite anteriores. En el caso chileno, los resguardos en los mayores niveles se asimilan a los niveles de alerta, preemergencia y emergencia definidos en la regulación, mientras que entre el nivel 0 y alerta (corresponde aproximadamente a un 300% de la norma horaria) no existen acciones predefinidas.

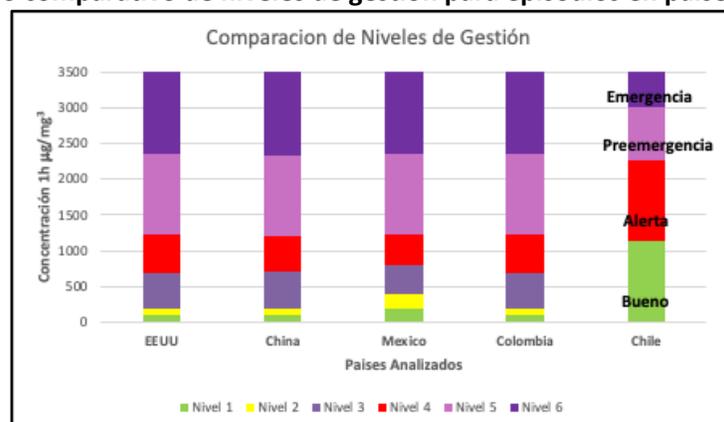
La tabla y gráfico siguiente muestra el resumen de los rangos de concentración máximos (combinados para todos los países en análisis) y las actuaciones, en el cual se destacan en negrillas las acciones que se comienzan a desarrollar para la población en general, a efectos de ilustrar lo indicado en el párrafo anterior.

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-**6 Cuadro comparativo de umbrales:**

País	Rangos de Concentración 1h $\mu\text{g}/\text{mg}^3\text{N}$					
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
EEUU	0 - 100	101 - 188	189 - 677	678 - 1220	1221 - 2348	2349 y +
	Bueno	Moderado	Dañino a grupos sensibles	Dañino	Muy dañino	Peligroso
China	0 - 100	102 - 200	201 - 700	701 - 1200	1201 - 2340	2341 y +
	Excelente	Bueno	Ligeramente Contaminado	Moderadamente contaminado	Muy contaminado	Severamente contaminado
México	0 - 197	198 - 395	396 - 808	809 - 1220	1221 - 2348	2349 y +
	Buena	Regular	Mala	Muy mala	Extremadamente mala	Peligrosa
Colombia	0 - 100	101 - 188	189 - 677	678 - 1221	1222 - 2349	2350 y +
	Favorable	Moderada	Regular	Mala	Muy mala	Peligrosa
Chile	0 - 1129			1130 - 2259	2260 - 2999	3000 y +
	Bueno			Alerta	Preemergencia	Emergencia

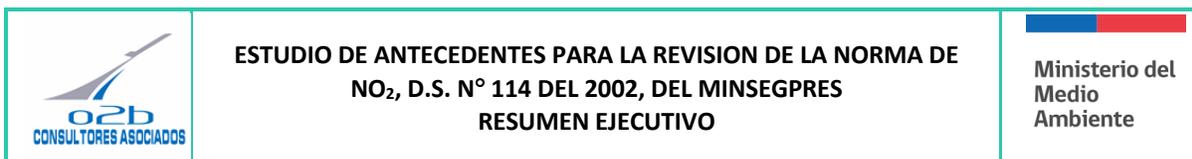
Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Cuadro comparativo de niveles de gestión para episodios en países seleccionados.



Nota: El nivel 6 comprende valores mayores a 3000, el gráfico se ha limitado a 3500 sólo para efectos ilustrativos.

Fuente: Elaboración propia

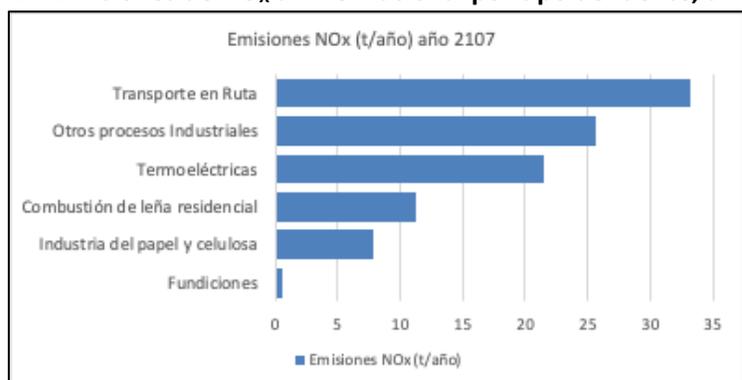


INVENTARIOS DE EMISIONES¹²

Emisiones de NO_x a nivel país

Respecto de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) a nivel nacional, la Figura 14 elaborada con datos del RETC, evidencia que las principales fuentes corresponden al transporte en ruta, otras industriales, generación termoeléctrica, combustión de leña residencial y la industria de papel y celulosa, (MMA, 2019)¹³.

Figura 14: Emisiones de NO_x a nivel nacional por tipo de fuente, año 2017



Fuente: Quinto Reporte Estado del Medio Ambiente en Chile 2019. Datos de RETC del año 2017

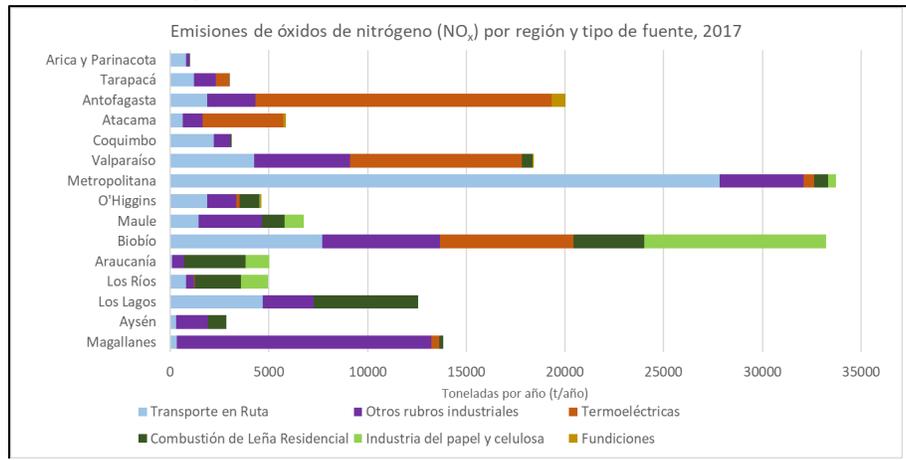
En forma desagregada, la Figura 15 ilustra la distribución de emisiones de NO_x a la atmósfera, en toneladas por año en las distintas regiones del país. Se puede observar que las regiones con mayores emisiones son la Metropolitana y Biobío, con emisiones del orden de 34.000 t/año cada una. Le siguen las regiones de Antofagasta y Valparaíso con emisiones del orden de 20.000 t/año, más atrás las regiones de Magallanes y Los Lagos con emisiones del orden de 14.000 t/año y finalmente el resto de las regiones con emisiones del orden de 5.000 o menos toneladas por año.

Es interesante notar que la importancia relativa del tipo de fuentes emisoras de NO_x cambia en forma significativa entre regiones a lo largo del país, según la población, desarrollo industrial y características geográficas y climáticas. Por ejemplo, en la Región Metropolitana el transporte es largamente la mayor fuente con aproximadamente el 83% del total, la generación termoeléctrica representa un 2%, la quema residencial de leña 2%, y la industria del papel y celulosa 1%. Mientras que, en la región del Biobío, la industria del papel y la celulosa representan un 28%, el transporte un 23%, la generación termoeléctrica 20%, quema de leña 11%. En la región de Antofagasta, el 75% se explica en generación termoeléctrica, mientras que en la región de Valparaíso el 75% de las emisiones se explica en la actividad de generación termoeléctrica junto con otros rubros industriales.

¹² El detalle y los aspectos metodológicos de los inventarios se encuentra en el Informe Final y sus anexos digitales.

¹³ Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente 2019. <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/calidad-del-aire-2/>

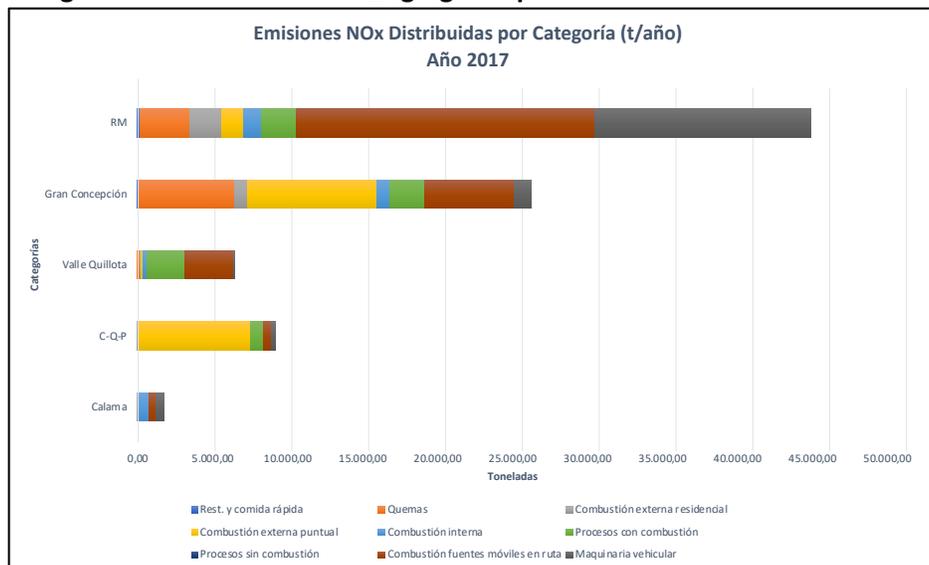
Figura 15: Distribución regional de emisiones atmosféricas de NO_x (toneladas/año), año 2017.



Fuente: Quinto reporte Estado del Medio Ambiente en Chile, 2019. Datos de RETC.

A nivel comparativo entre las zonas analizadas, se observa una estructura muy diversa de las emisiones de NO_x, tanto en términos del volumen anual, como respecto a su distribución entre los distintos sectores, esto último dependiendo fundamentalmente de las actividades económicas, así como de la existencia de grandes fuentes emisoras, tales como la minería o la generación eléctrica. Lo anterior se ilustra en Figura 16.

Figura 16: Emisiones de NO_x agregadas para las zonas en análisis. 2017



Fuente: elaboración propia



**ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE
NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES
RESUMEN EJECUTIVO**

**Ministerio del
Medio
Ambiente**

Síntesis de inventario de misiones de NO_x a nivel de zonas

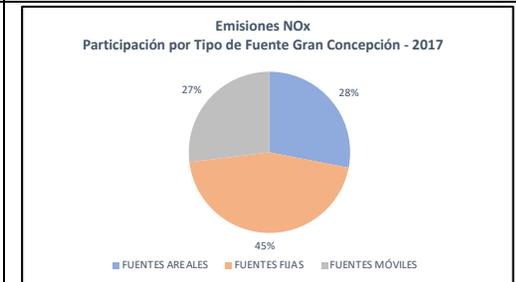
Zona 1. Calama																																														
Tabla 7: Síntesis Inventario de emisiones NO_x. Calama (t/año) - 2017.		Figura 17: Participación por Grupo de Fuentes NO_x. Calama - 2017																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>GRUPO</th> <th>SUBGRUPO</th> <th>CATEGORÍA</th> <th>Ton/año NO_x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AREALES</td> <td>Comercial</td> <td>Rest. y comida rápida</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>AREALES</td> <td>Otras</td> <td>Quemas</td> <td>0,18</td> </tr> <tr> <td>AREALES</td> <td>Residencial</td> <td>Combustión externa residencial</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Combustión</td> <td>Combustión externa puntual</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Combustión</td> <td>Combustión interna</td> <td>672</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Procesos</td> <td>Procesos con combustión</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Procesos</td> <td>Procesos sin combustión</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>FUENTES MÓVILES</td> <td>Fuentes móviles en ruta</td> <td>Móviles en ruta</td> <td>436</td> </tr> <tr> <td>FUENTES MÓVILES</td> <td>Fuentes móviles fuera de ruta</td> <td>Maquinaria vehicular</td> <td>563</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Total general</td> <td>1.749</td> </tr> </tbody> </table>	GRUPO	SUBGRUPO	CATEGORÍA	Ton/año NO _x	AREALES	Comercial	Rest. y comida rápida	1	AREALES	Otras	Quemas	0,18	AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	13	FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión externa puntual	63	FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión interna	672	FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos con combustión	2	FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos sin combustión	0	FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Móviles en ruta	436	FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	563	Total general			1.749	<p>Emisiones NO_x Participación por Tipo de Fuente. Calama - 2017</p>	
GRUPO	SUBGRUPO	CATEGORÍA	Ton/año NO _x																																											
AREALES	Comercial	Rest. y comida rápida	1																																											
AREALES	Otras	Quemas	0,18																																											
AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	13																																											
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión externa puntual	63																																											
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión interna	672																																											
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos con combustión	2																																											
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos sin combustión	0																																											
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Móviles en ruta	436																																											
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	563																																											
Total general			1.749																																											
Zona 2: Valparaíso Interior																																														
Tabla 8: Síntesis Inventario de emisiones NO_x Valparaíso Interior (t/año) - 2017.		Figura 18: Participación por Grupo de Fuentes NO_x. Valparaíso Interior - 2017																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>GRUPO</th> <th>SUBGRUPO</th> <th>CATEGORÍA</th> <th>Ton/año NO_x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AREALES</td> <td>Comercial</td> <td>Rest. y comida rápida</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>AREALES</td> <td>Otras</td> <td>Quemas</td> <td>113,96</td> </tr> <tr> <td>AREALES</td> <td>Residencial</td> <td>Combustión externa residencial</td> <td>81</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Combustión</td> <td>Combustión externa puntual</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Combustión</td> <td>Combustión interna</td> <td>204</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Procesos</td> <td>Procesos con combustión</td> <td>2.615</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Procesos</td> <td>Procesos sin combustión</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>FUENTES MÓVILES</td> <td>Fuentes móviles en ruta</td> <td>Móviles en ruta</td> <td>3.246</td> </tr> <tr> <td>FUENTES MÓVILES</td> <td>Fuentes móviles fuera de ruta</td> <td>Maquinaria vehicular</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Total general</td> <td>6.452</td> </tr> </tbody> </table>	GRUPO	SUBGRUPO	CATEGORÍA	Ton/año NO _x	AREALES	Comercial	Rest. y comida rápida	1	AREALES	Otras	Quemas	113,96	AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	81	FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión externa puntual	140	FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión interna	204	FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos con combustión	2.615	FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos sin combustión	0	FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Móviles en ruta	3.246	FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	50	Total general			6.452	<p>Emisiones NO_x Participación por Tipo de Fuente. Valparaíso Interior - 2017</p>	
GRUPO	SUBGRUPO	CATEGORÍA	Ton/año NO _x																																											
AREALES	Comercial	Rest. y comida rápida	1																																											
AREALES	Otras	Quemas	113,96																																											
AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	81																																											
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión externa puntual	140																																											
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión interna	204																																											
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos con combustión	2.615																																											
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos sin combustión	0																																											
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Móviles en ruta	3.246																																											
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	50																																											
Total general			6.452																																											
Zona 3: Concón – Quintero - Puchuncaví																																														
Tabla 9: Síntesis Inventario de emisiones NO_x Puchuncaví – Quintero – Concón (t/año) - 2017.		Figura 19: Participación por Grupo de Fuentes NO_x. Concón – Quintero - Puchuncaví - 2017																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>GRUPO</th> <th>SUBGRUPO</th> <th>CATEGORÍA</th> <th>Ton/año NO_x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AREALES</td> <td>Comercial</td> <td>Rest. y comida rápida</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>AREALES</td> <td>Otras</td> <td>Quemas</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>AREALES</td> <td>Residencial</td> <td>Combustión externa residencial</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Combustión</td> <td>Combustión externa puntual</td> <td>7.451</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Combustión</td> <td>Combustión interna</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Procesos</td> <td>Procesos con combustión</td> <td>856</td> </tr> <tr> <td>FUENTES FIJAS</td> <td>Procesos</td> <td>Procesos sin combustión</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>FUENTES MÓVILES</td> <td>Fuentes móviles en ruta</td> <td>Móviles en ruta</td> <td>521</td> </tr> <tr> <td>FUENTES MÓVILES</td> <td>Fuentes móviles fuera de ruta</td> <td>Maquinaria vehicular</td> <td>249</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Total general</td> <td>9.142</td> </tr> </tbody> </table>	GRUPO	SUBGRUPO	CATEGORÍA	Ton/año NO _x	AREALES	Comercial	Rest. y comida rápida	1	AREALES	Otras	Quemas	4	AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	36	FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión externa puntual	7.451	FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión interna	23	FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos con combustión	856	FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos sin combustión	1	FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Móviles en ruta	521	FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	249	Total general			9.142	<p>Emisiones NO_x Participación por Tipo de Fuente. Concón- Quintero Puchuncaví - 2017</p>	
GRUPO	SUBGRUPO	CATEGORÍA	Ton/año NO _x																																											
AREALES	Comercial	Rest. y comida rápida	1																																											
AREALES	Otras	Quemas	4																																											
AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	36																																											
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión externa puntual	7.451																																											
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión interna	23																																											
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos con combustión	856																																											
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos sin combustión	1																																											
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Móviles en ruta	521																																											
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	249																																											
Total general			9.142																																											

Zona 4: Concepción Metropolitana

Tabla 10: Síntesis Inventario de emisiones NO_x Concepción Metropolitana (t/año) - 2017.

GRUPO	SUBGRUPO	CATEGORÍA	Ton/año NO _x
AREALES	Comercial	Rest. y comida rápida	90
AREALES	Otras	Quemas	6.343
AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	911
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión externa puntual	8.599
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión interna	916
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos con combustión	2.212
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos sin combustión	38
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Móviles en ruta	5.931
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	1.123
Total general			26.163

Figura 20: Participación por Grupo de Fuentes NO_x. Gran Concepción - 2017

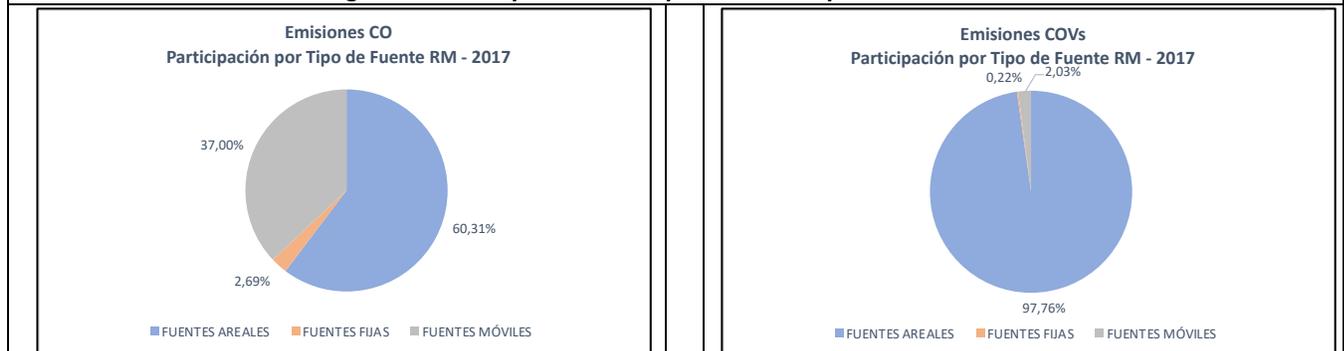


Zona 5: Región Metropolitana

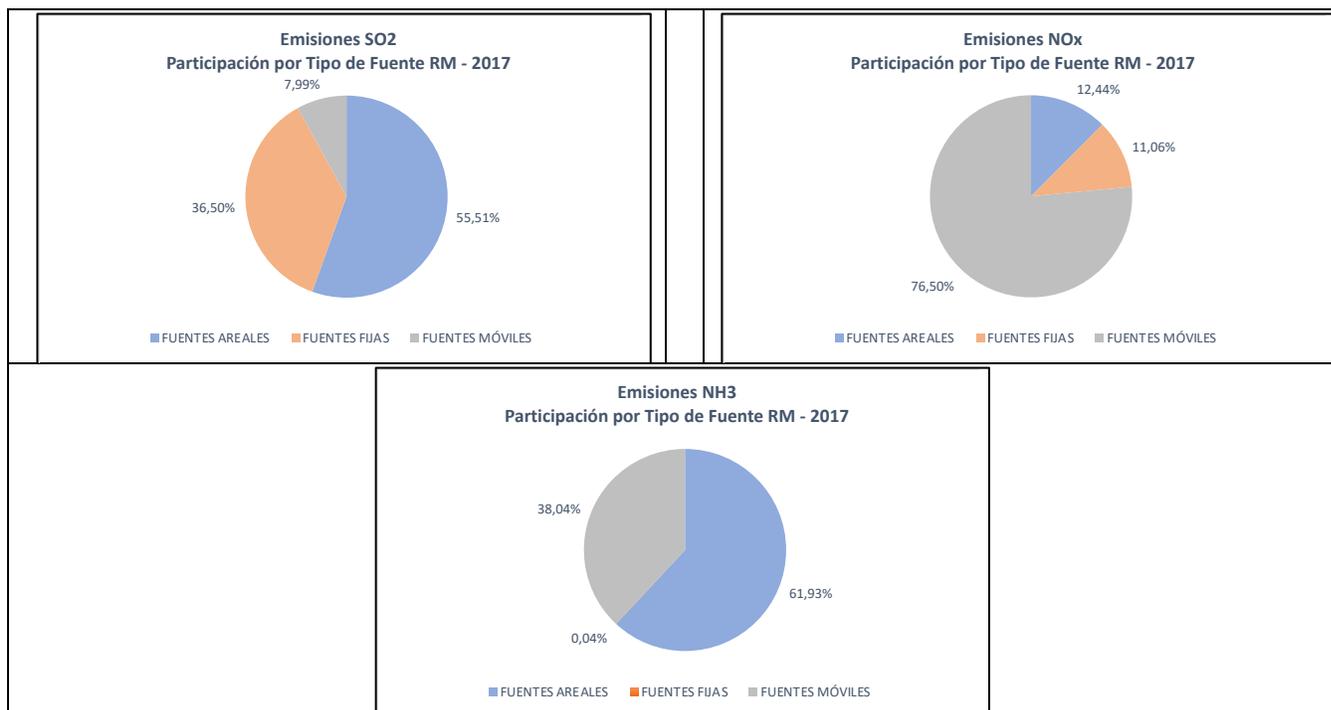
Tabla 11: Síntesis Inventario de emisiones gases y precursores fotoquímicos en RM (t/año) año 2017.

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORIA	Ton/Año - Año Base 2017				
			CO	COVs	SO ₂	NO _x	NH ₃
FUENTES AREALES	Comercial	Evaporativas comercial		36.822			
FUENTES AREALES	Comercial	Restaurantes y comida rápida	44	3	29	101	1
FUENTES AREALES	Otras	Actividades agrícolas					2.859
FUENTES AREALES	Otras	Crianza de Animales					14.516
FUENTES AREALES	Otras	Quemas	71.807	32.210	1.014	3.338	3
FUENTES AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	70.837	39.412	405	2.144	206
FUENTES AREALES	Residencial	Evaporativas residencial		44.795			
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión externa puntual	436	94	261	1.482	7
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión interna	263	88	64	1.150	2
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos con combustión	5.520	73	628	2.328	1
FUENTES FIJAS	Procesos	Procesos sin combustión	135	87	0	2	0
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Móviles en ruta	75.949	655	63	19.992	10.798
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	10.254	2.319	40	13.551	3
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Ciclos LTO Aviones	1.333	201	105	789	
Total general			236.577	156.759	2.609	44.879	28.397

Figura 21: Participación de Grupo de Fuentes por contaminante



	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	--



En el análisis en conjunto de las emisiones de los establecimientos o actividades susceptibles de ser regulados de manera directa, por su calidad de mayores emisores, se observa que ellos representan un universo relativamente pequeño, tan solo el 1,1 % del total de las fuentes a nivel agregado en todas las zonas en análisis y un 57% del total de las emisiones. Gran parte de estos establecimientos ya cuentan con una regulación específica, tal como la generación termoeléctrica o la actividad minera y de refinación de combustible, por lo que en este nivel, el espacio regulatorio se reduce. La siguiente tabla muestra esta situación, describiendo los grandes emisores, entendiendo por tales aquellos que superan las 5 ton/año de NO_x, con el número de establecimientos y su participación porcentual, tanto respecto del total de establecimientos como del total de emisiones del segmento de fuentes fijas.

Tabla 12: Relevancia de los establecimientos emisores superiores a 5 ton/año NO_x

ZONA 1: CALAMA			
Tipo de Fuente	Establecimientos	Emisiones	% Emisiones de Ftes. Fijas
Caldera Calefacción	2	13	1,7%
Grupo Electrógeno	33	520	70,5%
Calderas Industriales	3	32	4,3%
TOTALES	38	564	76,6%
Porcentaje total de fuentes	9%		
ZONA 2: VALPARAÍSO INTERIOR			
Tipo de Fuente	Establecimientos	Emisiones	% Emisiones de Ftes. Fijas
Calderas Industriales	4	118	4,0%
Grupo Electrógeno	6	180	6,1%
Horno Cementero	1	762	25,8%
Proceso. Gen. Eléctrica	3	1.564	52,8%
Otros Procesos con Combustion	1	285	9,6%
TOTALES	15	2.623	88,7%
Porcentaje total de fuentes	12%		
ZONA 3: CONCON - QUINTERO - PUCHUNCAVI			
Tipo de Fuente	Establecimientos	Emisiones	% Emisiones de Ftes. Fijas
Calderas Industriales	8	518	6,2%
Caldera Gen. Eléctrica	4	6.915	83,0%
Hornos	15	260	3,1%
Otros Procesos con Combustion	6	529	6,4%
TOTALES	33	8.222	98,7%
Porcentaje total de fuentes	2%		
ZONA 4: GRAN CONCEPCIÓN			
Tipo de Fuente	Establecimientos	Emisiones	% Emisiones de Ftes. Fijas
Calderas de Calefacción	5	194	1,6%
Grupos Electrógenos	28	725	6,1%
Calderas Industriales	14	245	2,1%
Caldera Gen. Eléctrica	9	7.355	62,0%
Calderas Industriales	35	922	7,8%
Hornos	26	1.420	12,0%
Otros Procesos con Combustion	27	852	7,2%
TOTALES	144	11.713	98,8%
Porcentaje total de fuentes	10%		
ZONA 5: REGION METROPOLITANA			
Tipo de Fuente	Establecimientos	Emisiones	% Emisiones de Ftes. Fijas
Calderas de Calefacción	8	66	1,3%
Grupos Electrógenos	46	381	7,5%
Calderas Industriales	19	288	5,7%
Central Termoeléctrica Renca	1	585	11,5%
Hornos Cementera	1	1.050	20,7%
Otros Hornos	11	999	19,7%
Otros Procesos con Combustion	15	230	4,5%
TOTALES	101	3.598	71,0%
Porcentaje total de fuentes	0,36%		

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

PROYECCION DE EMISIONES¹⁴

Para efectos de la proyección de los inventarios en un horizonte de 15 años, en primer término se requiere definir la línea de base regulatoria que incorpore el conjunto de medidas cuya vigencia es posterior al año 2017, siendo las principales de ellas las siguientes:

- Proyectos de inversión aprobados y en calificación en el SEIA.
- Planes de Descontaminación y Prevención en la zonas de estudio.
- Normas de emisión aprobadas y cuya entrada en vigencia es posterior al año 2017.
- Normas de emisión que se encuentran en estudio.

De acuerdo al análisis realizado, en las zonas d el presente estudio entrarán en vigencia un conjunto de medidas de control que tienen un efecto directo en la reducción y limitación de las emisiones de NO_x, algunas de ellas que forman parte de normas de alcance nacional y otras específicas relacionadas con PPDA. La siguiente tabla y figura presenta un resumen dichas medidas y su cronograma de aplicación estimado considerando las 5 zonas.

Tabla 13: Medidas de limitación de emisiones en línea de base

Medida Limitación Emisiones NO _x	Tipo	Alcance por Zona					
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Resto del País
Fuentes Fijas							
Norma emisión grupos electrógenos nuevos	Norma Nacional	X	X	X	X	X	X
Límites emisión grupos electrógenos nuevos	PPDA				X	X	
Norma de emisión calderas	Norma Nacional	X	X	X	X	X	X
límites emisión calderas existentes	PPDA	X	X		X	X	
Límites emisión hornos nuevos	PPDA				X		
Límites emisión hornos existentes	PPDA				X		
Limitación emisiones complejos industriales	PPDA	X	X			X	
Norma de emisión centrales termoeléctricas	Norma Nacional		X	X	X	X	X
Compensación de emisiones	PPDA	X	X		X	X	
Cierre centrales generación termoeléctricas	Otra		X		X		X
Fuentes Móviles							
Norma emisión vehículos livianos	Norma Nacional	X	X	X	X	X	X
Norma emisión vehículos medianos	Norma Nacional	X	X	X	X	X	X
Norma emisión maquinaria fuera ruta	Norma Nacional	X	X	X	X	X	X
Norma emisión motocicletas	Norma Nacional	X	X	X	X	X	X
Límites de emisión buses transporte público	PPDA					X	
Zona baja emisión	PPDA					X	
Límites emisión vehiculos livianos y medianos	PPDA					X	
Límites de emisión maquinaria fuera de ruta	PPDA					X	

Se debe hacer notar que, considerando las regulaciones vigentes y las proyectadas en el escenario de línea de base, los espacios de reducción de emisiones para las distintas categorías de fuentes son limitadas dado que hay un cronograma de cumplimiento que aplica a las principales fuentes emisoras de NO_x.

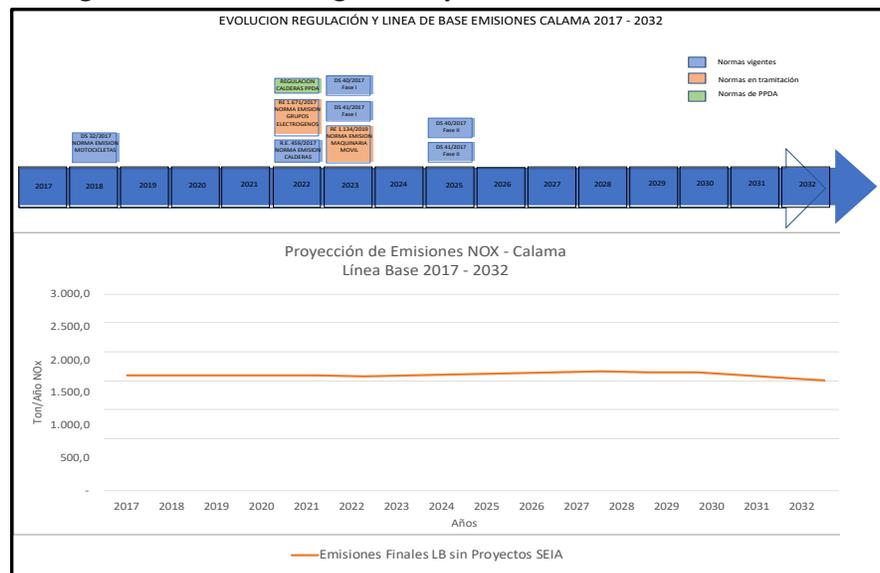
¹⁴ El detalle metodológico así como los análisis y supuestos adoptados para efectos de estas proyecciones se encuentran en el Informe Final y en planilla Excel "proyecciones".

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Los resultados de las proyecciones de línea de base realizadas se detallan a continuación para cada una de las zonas en análisis. En las siguientes figuras se muestra la evolución de las emisiones en la proyección a 15 años, así como las principales medidas que entran en vigencia y que impactan en la evolución de las emisiones.

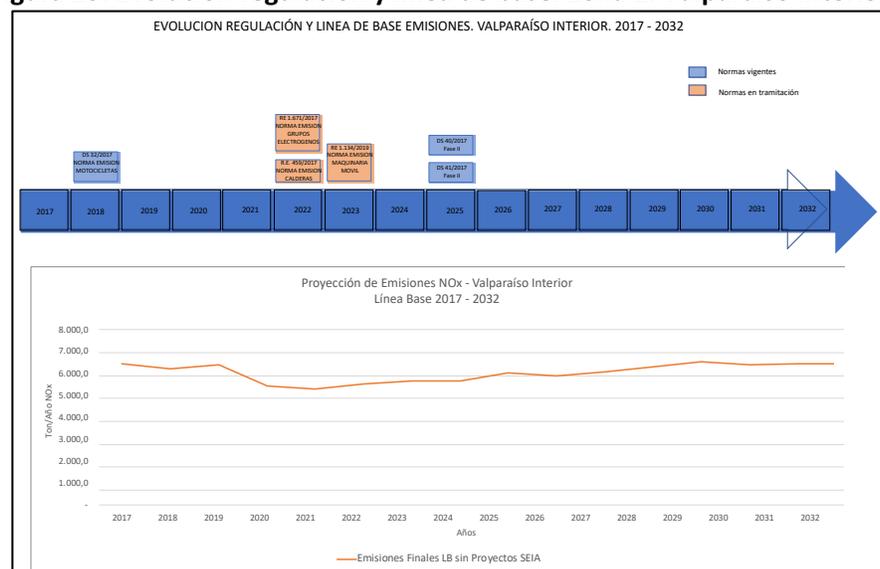
Zona 1. Calama

Figura 22: Evolución regulación y línea de base. Zona 1. Calama.



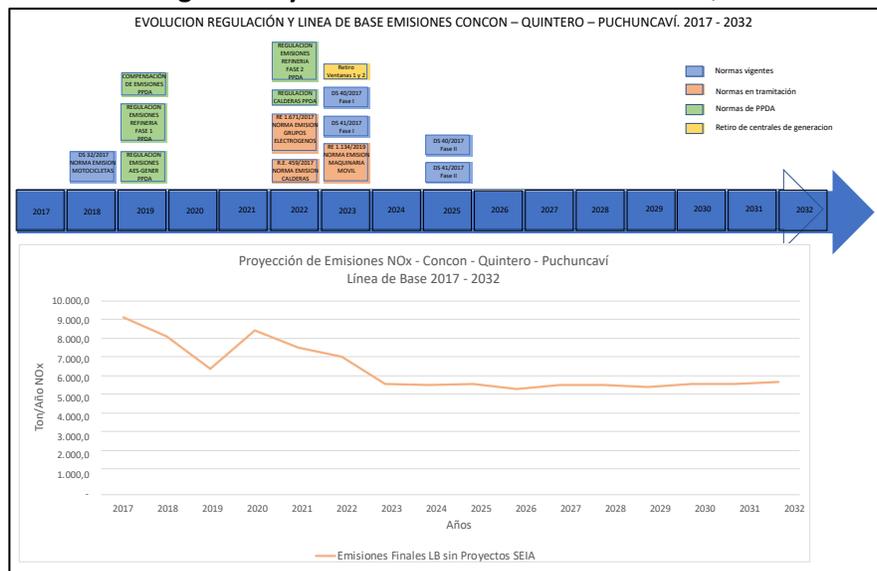
Zona 2: Valparaíso Interior

Figura 23: Evolución regulación y línea de base. Zona 2. Valparaíso Interior.



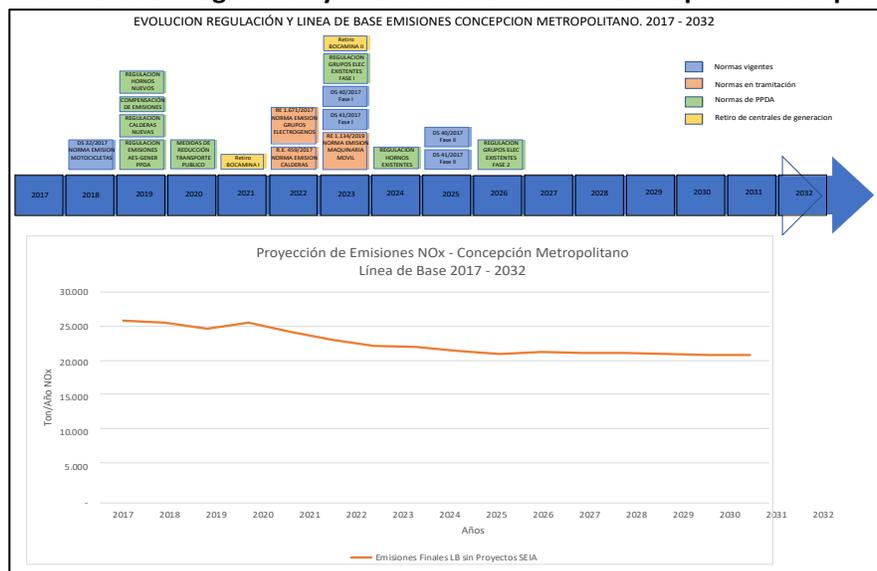
Zona 3: Concón – Quintero - Puchuncaví

Figura 24: Evolución regulación y línea de base. Zona 3. Concón – Quintero – Puchuncaví.



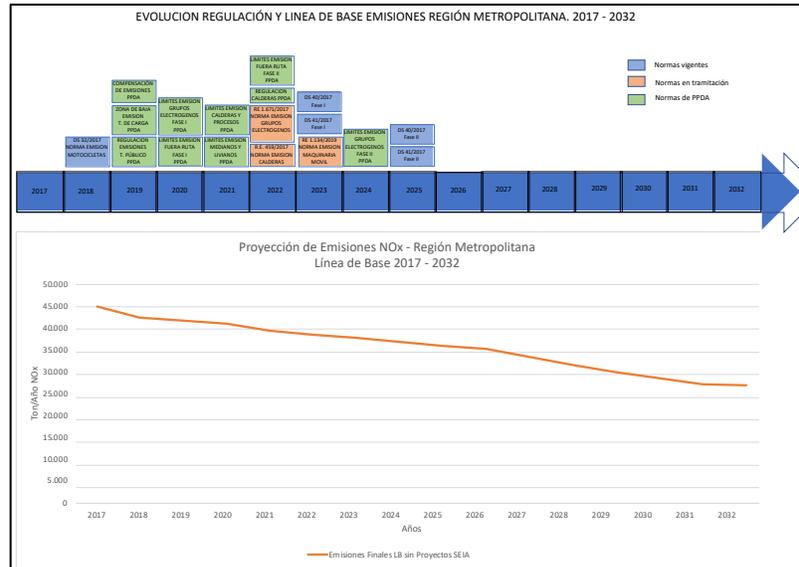
Zona 4: Concepción Metropolitana

Figura 25: Evolución regulación y línea de base. Zona 4. Concepción Metropolitana.



Zona 5: Región Metropolitana

Figura 26: Evolución regulación y línea de base. Zona 5. Región Metropolitana.



En general, se observa una mantención de niveles de emisiones y caídas importantes en el caso de la Zonas 4 y 5. Estas caídas se deben principalmente a la implementación de medidas de reducción de NO_x, en el marco de PPDA por MP2,5, a diferencias de las otras zonas en las cuales todas las medidas apuntan en lo principal a reducir PM10.

Medidas adicionales de reducción

De acuerdo a lo requerido en el marco del presente, se estimó el impacto que pudieran tener nuevas medidas de reducción de emisiones de NO_x, adicionales a las que se incluyeron el escenario de línea de base a 15 años. Las medidas evaluadas fueron las siguientes¹⁵.

- Reducción de emisiones en grupos electrógenos existentes
- Reducción de emisiones en hornos existentes
- Aplicación de revisión de norma de emisión camiones
- Aplicación de políticas de transporte similares a la RM en el resto de las zonas

Los resultados de esta evaluación se muestran en las siguientes figuras. Ellos muestran que, dada la vigencia de PPDA por 2,5 en Concepción Metropolitana y RM, los principales impactos se presentan en las restantes zonas como asimismo dicho impacto depende de la participación de las fuentes emisoras en el total estimado de la zona.

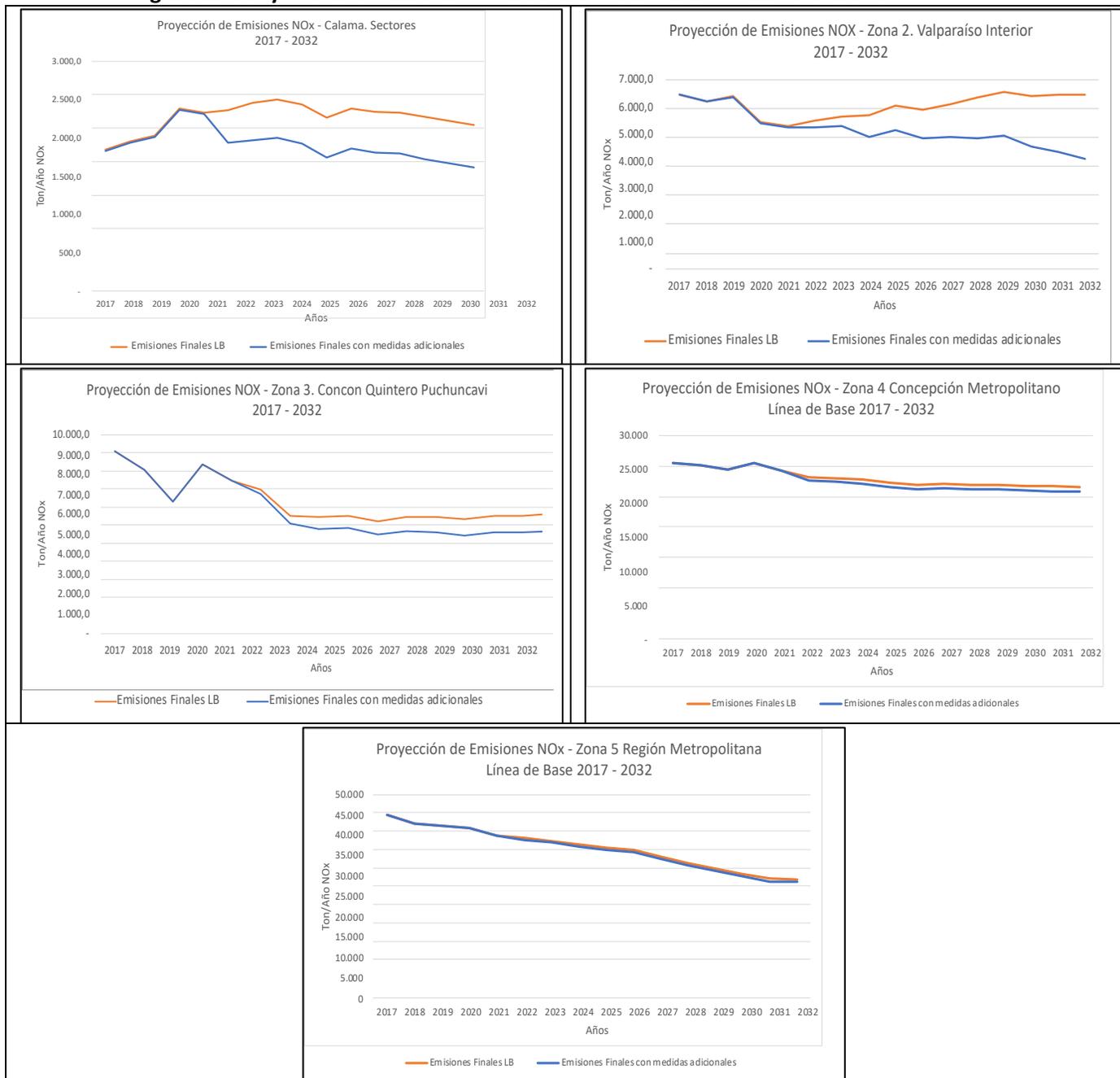
¹⁵ El detalle de la evaluación de nuevas medidas se encuentra en el Informe Final y Anexos.



**ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES
RESUMEN EJECUTIVO**

Ministerio del Medio Ambiente

Figura 27: Proyección de emisiones con medidas adicionales a Línea de Base.



	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE

En el contexto de este estudio la modelación de calidad de aire contempló los siguientes objetivos básicos:

- Establecer patrones espaciales de exposición de la población.
- Establecer las relaciones entre las emisiones y los niveles de exposición de la población.
- Establecer las relaciones entre los principales contaminantes que caracterizan la contaminación fotoquímica, esto es NO₂, O₃ y MP_{2,5}.
- Elaborar una metodología para proyectar los niveles futuros de exposición de la población considerando escenarios futuros de emisiones

Para establecer patrones espaciales de exposición se implementó el sistema de modelación fotoquímica WRF/CAMx, para el caso de la Región Metropolitana, considerando que la RM es la zona más expuesta a la contaminación fotoquímica y es la que cuenta con información básica necesaria para realizar este ejercicio.

Junto con la modelación fotoquímica en la RM se ha aplicado un enfoque empírico relacionando los inventarios elaborados para las emisiones de NO_x del escenario 2017 y las proyecciones de línea de base de emisiones de NO_x, con las concentraciones ambientales medidas de NO₂, O₃ y MP_{2,5}. Con ello se han estimado los escenarios futuros de calidad de aire para estos contaminantes en función de las proyecciones estimadas del inventario de NO_x.

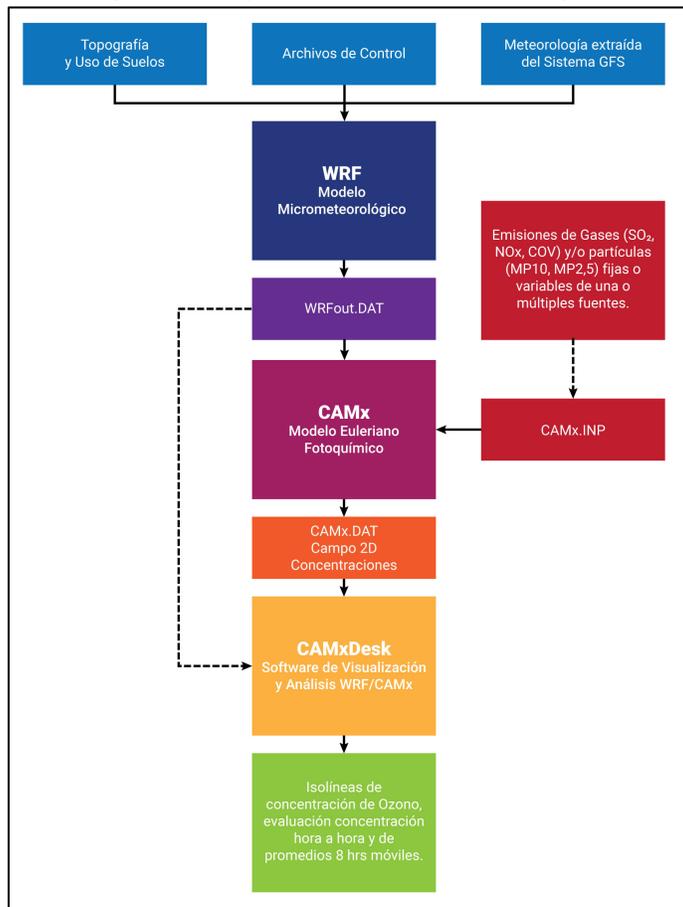
El análisis empírico también se ha aplicado para el resto de las zonas, mas no modelación fotoquímica, teniendo en cuenta que los niveles actuales de NO₂ ambiental están muy por debajo de la norma vigente y también de los niveles de referencia OMS, y que la elaboración de inventarios de emisiones para esas zonas en este estudio se limitan a emisiones de NO_x.

Modelación fotoquímica en la Región Metropolitana

Se decidió usar el modelo CAMx, considerando las condiciones técnicas para una zona compleja como la RM en base a la información disponible en relación a condiciones de borde e iniciales, la calidad de los archivos de entrada meteorológicos y de las emisiones provenientes del inventario de emisiones escenario 2017. La información meteorológica de entrada proviene de los resultados del modelo meteorológico de mesoescala WRF, que es adecuado para simular los fenómenos atmosféricos en condiciones complejas de topografía y circulación de vientos como es la RM.

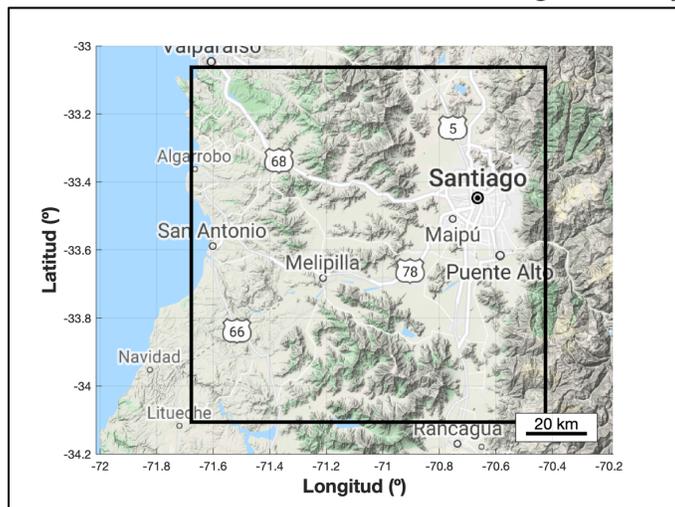
Las figuras siguientes muestran el esquema del sistema de modelación y el dominio espacial implementado.

Figura 28 Diagrama de operación del modelo fotoquímico CAMx.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29: Dominio de modelación de CAMx en la Región Metropolitana.



Fuente: Elaboración propia.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Las figuras siguientes sintetizan los resultados de la modelación con CAMx para NO₂ y O₃, se presentan los ciclos anuales y diarios comparados con los valores observados en las estaciones de la red de monitoreo de la RM.

Figura 30: Ciclo anual de promedios mensuales para NO₂ y O₃ Observado y Modelado año 2017.

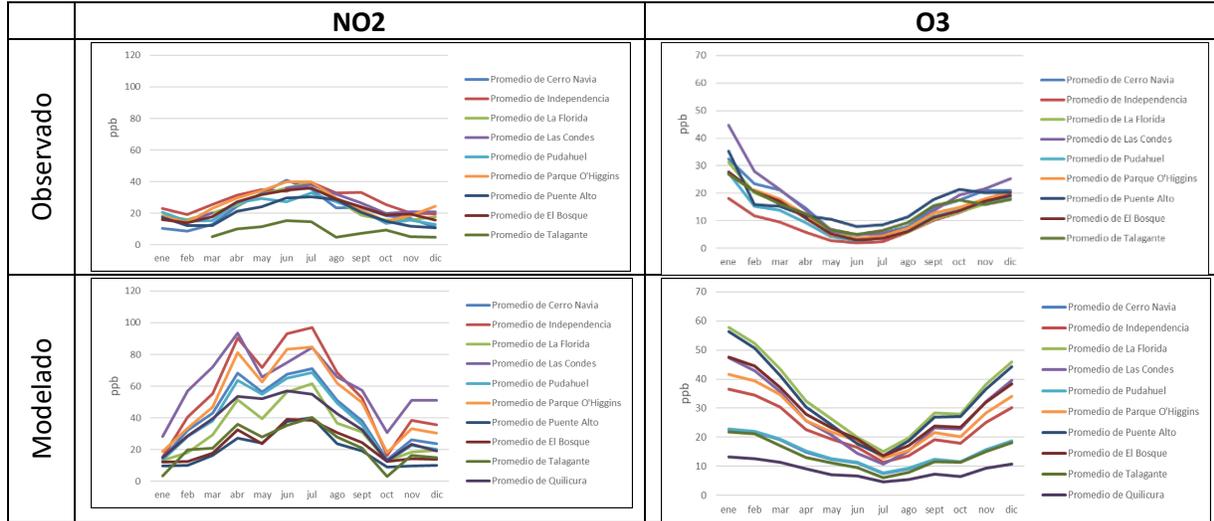
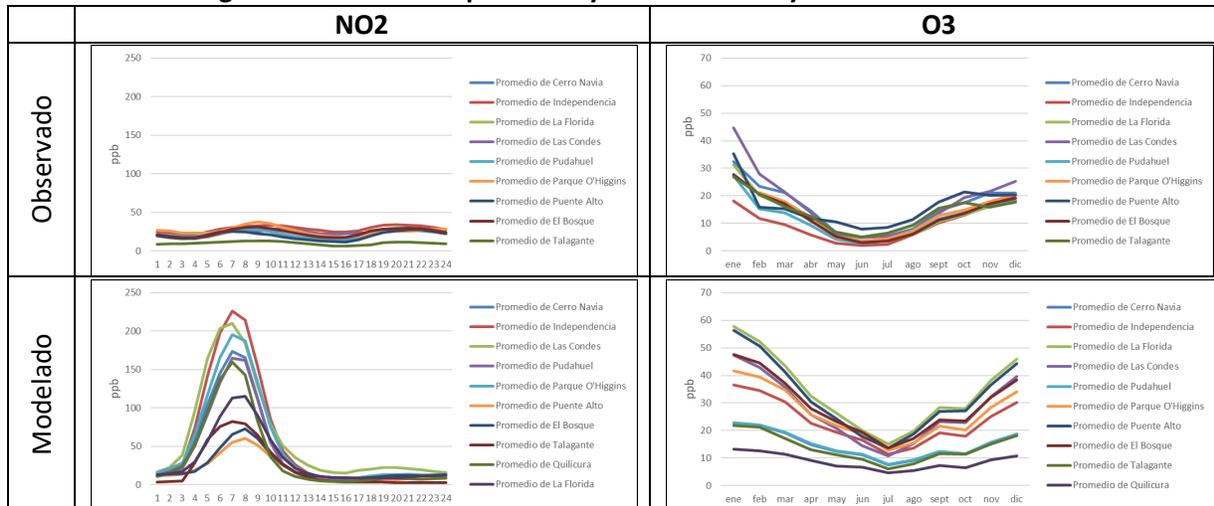
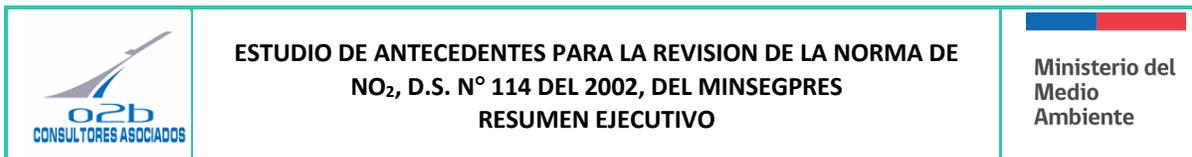


Figura 31: Ciclo diario para NO₂ y O₃ Observado y Modelado año 2017.



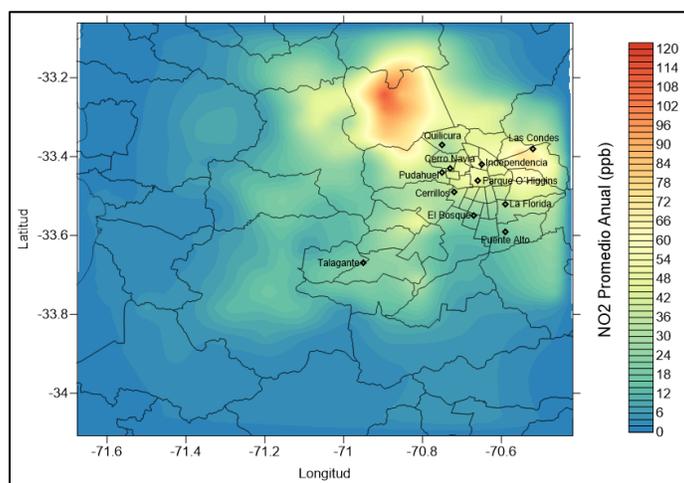
En el ciclo anual, el modelo logra capturar los ciclos en contrafase de NO₂ y O₃, reproduce un ciclo anual del NO₂, con aumento de las concentraciones del contaminante en el periodo de invierno, acorde a la disminución de la altura de capa límite atmosférica y menor disponibilidad de luz solar para descomponer el NO₂ a O₃, sin embargo, el modelo sobrestima los niveles de NO₂ aproximadamente en el orden de dos veces comparado con las estaciones de monitoreo de la RM. También reproduce la disminución de las concentraciones de O₃ en invierno y las alzas en verano en el ciclo anual.



Respecto al ciclo diario, el modelo reproduce ciclos, sin embargo, sobreestima las concentraciones matinales de NO_2 , y en el caso del O_3 también sobreestima los niveles matinales y los de la tarde. Hay varias hipótesis para explicar las posibles causas de la sobrestimación del modelo, desde los factores que afectan la capa límite en la modelación meteorológica, como también los elementos que constituyen las entradas de la modelación fotoquímica como la información de entrada de las emisiones, que son bastante conservadoras y resultan en emisiones altas, entre muchas otras potenciales causas.

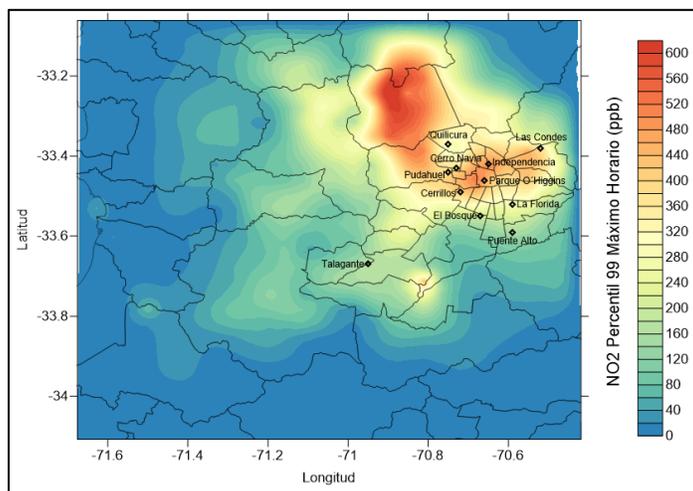
La figuras siguientes sintetizan el resultado la modelación para a distribución espacial de NO_2 como promedio anual y el P99 de los valores de 1 hr simulados con CAMx.

Figura 32: Distribución espacial de NO_2 promedio anual simulado con CAMx en la Región Metropolitana, año 2017



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33: Distribución espacial de NO_2 percentil 99 de las concentraciones 1 hora simulado con CAMx en la Región Metropolitana, año 2017



Fuente: Elaboración propia.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Los patrones de distribución regional modelados para NO₂ y O₃ reflejan en general la información que entregan las estaciones de la RM respecto a la contaminación fotoquímica, esto es, niveles de NO₂ y O₃ mucho mayores en las zonas aguas abajo de las fuentes de precursores y de la circulación atmosférica en la región. Son un antecedente valioso para considerar en la discusión de la norma ambiental de NO₂ y otros instrumentos para limitar las emisiones de NO_x, pero también para medidas de gestión y el conocimiento del grupo de población que está más expuesto y el diseño de mediciones permanentes o campañas para establecer los niveles de exposición a contaminación fotoquímica en la zona norte de la RM, especialmente para los núcleos urbanos de la comuna de Colina.

Modelación empírica

Considerando la complejidad de implementar una modelación fotoquímica, con altos requerimientos de información ambiental y de emisiones, se optó por la aplicación de un enfoque empírico relacionando los inventarios elaborados para las emisiones de NO_x del escenario 2017 como año base y las proyecciones respectivas, con las concentraciones ambientales observadas de NO₂, O₃ y MP_{2.5}.

La estimación del factor que relaciona las emisiones de NO_x con las concentraciones ambientales de NO₂ (FEC), asume que existe una proporcionalidad entre el valor agregado de emisiones totales anuales de NO_x con el promedio anual observado de NO₂.

Promedio anual de NO₂ α Emisiones NO_x

Es decir,

$$\text{FEC (NO}_2\text{)} = \text{Promedio anual de NO}_2 / \text{Emisiones anuales NO}_x$$

El nivel agregado anual simplifica los ciclos diarios y la variación de la actividad fotoquímica a lo largo del año, pero conserva el vínculo causal de los precursores en la contaminación fotoquímica. Por otra parte, es adecuado para los requerimientos de un análisis regulatorio.

Para proyectar valores ambientales de periodos más cortos se utilizan regresiones obtenidas de la dispersión entre los promedios anuales de NO₂ y los estadígrafos que representan periodos de exposición aguda: percentil 99 y máximos de valores horarios para NO₂, máximo anual del promedio de 8hr de O₃, promedio anual y máximo anual de promedio diario de MP_{2.5}. Este enfoque se observa en publicaciones que muestran la relación entre promedios anuales y promedios representativos de periodos cortos para el estudio de la contaminación por NO₂ y MP₁₀ en Europa.

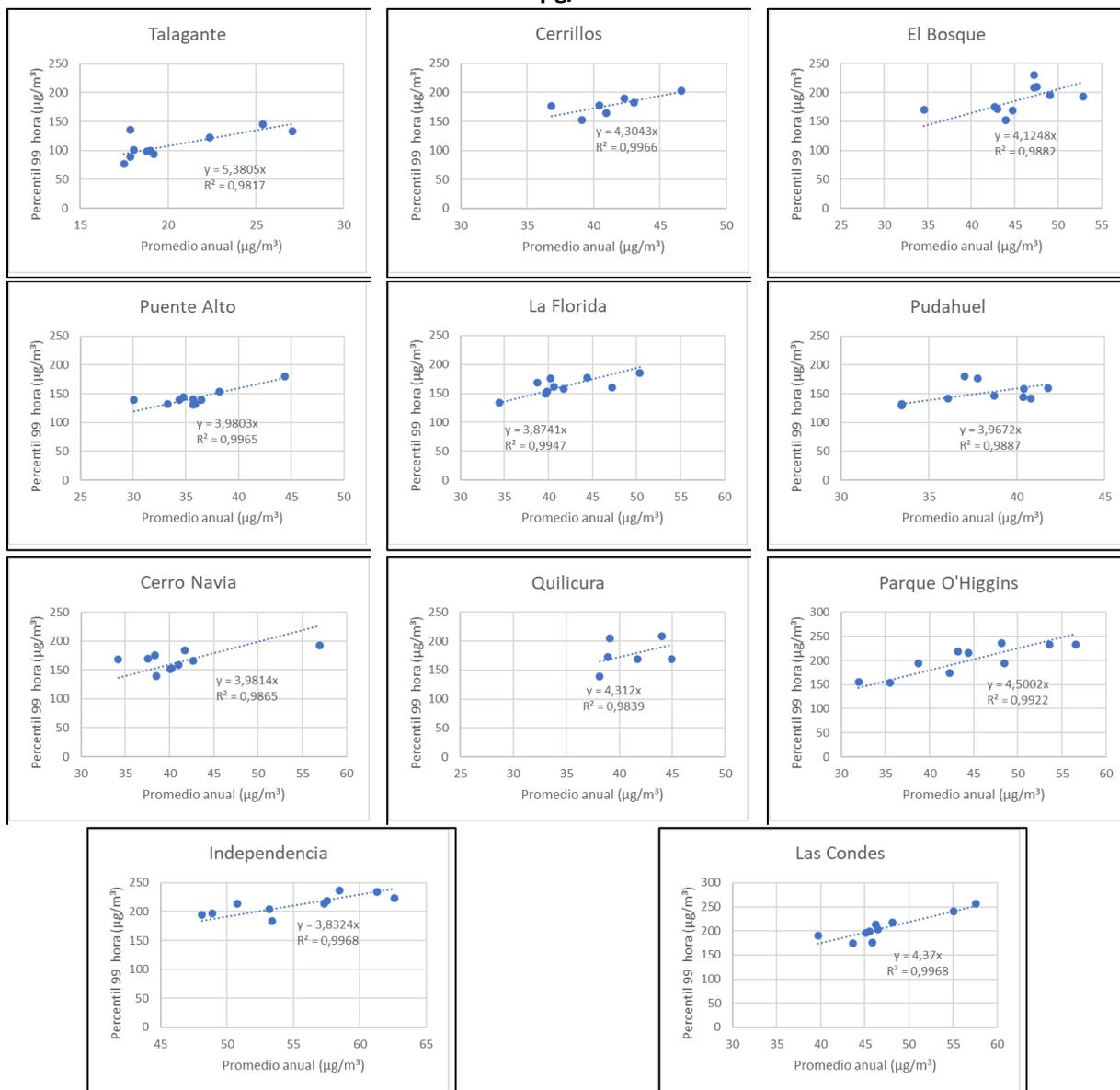
En términos teóricos, la capacidad oxidativa de la atmósfera se refleja en la disponibilidad de la suma de NO₂ y O₃, por otra parte, también es importante el balance de la disponibilidad de VOC y NO₂, expresado como la razón VOC/NO₂. Estas características son particulares y absolutamente específicas de cada lugar. Por ello, la construcción de regresiones en función de la disponibilidad de NO₂, en términos simplificados refleja la característica “fotoquímica” de cada lugar. Como se ha señalado en otros pasajes, hay evidencia empírica de que en mayor presencia de VOC el ozono se forma a partir de la oxidación de los VOC y no preferentemente partir de la fotólisis del NO₂, esto se observa en los niveles más altos de ozono en Las Condes durante los fines de semana, aun con niveles de NO₂ menores respecto a los días de semana. Por lo que una política de reducción exclusiva de emisiones de NO_x puede incluso tener efectos adversos en

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	--

la mayor generación de ozono, condiciones exacerbadas en los meses de verano que dan lugar a días de altas temperaturas

Esta aproximación se aplicó a todas las estaciones de monitoreo disponibles en las zonas de estudio. A continuación se presenta el caso de la RM que cuenta con series de datos más extensas.

Figura 34: Dispersión entre promedio anual de NO₂ y percentil 99 de NO₂, periodo 2010-2019, valores en µg/m³.

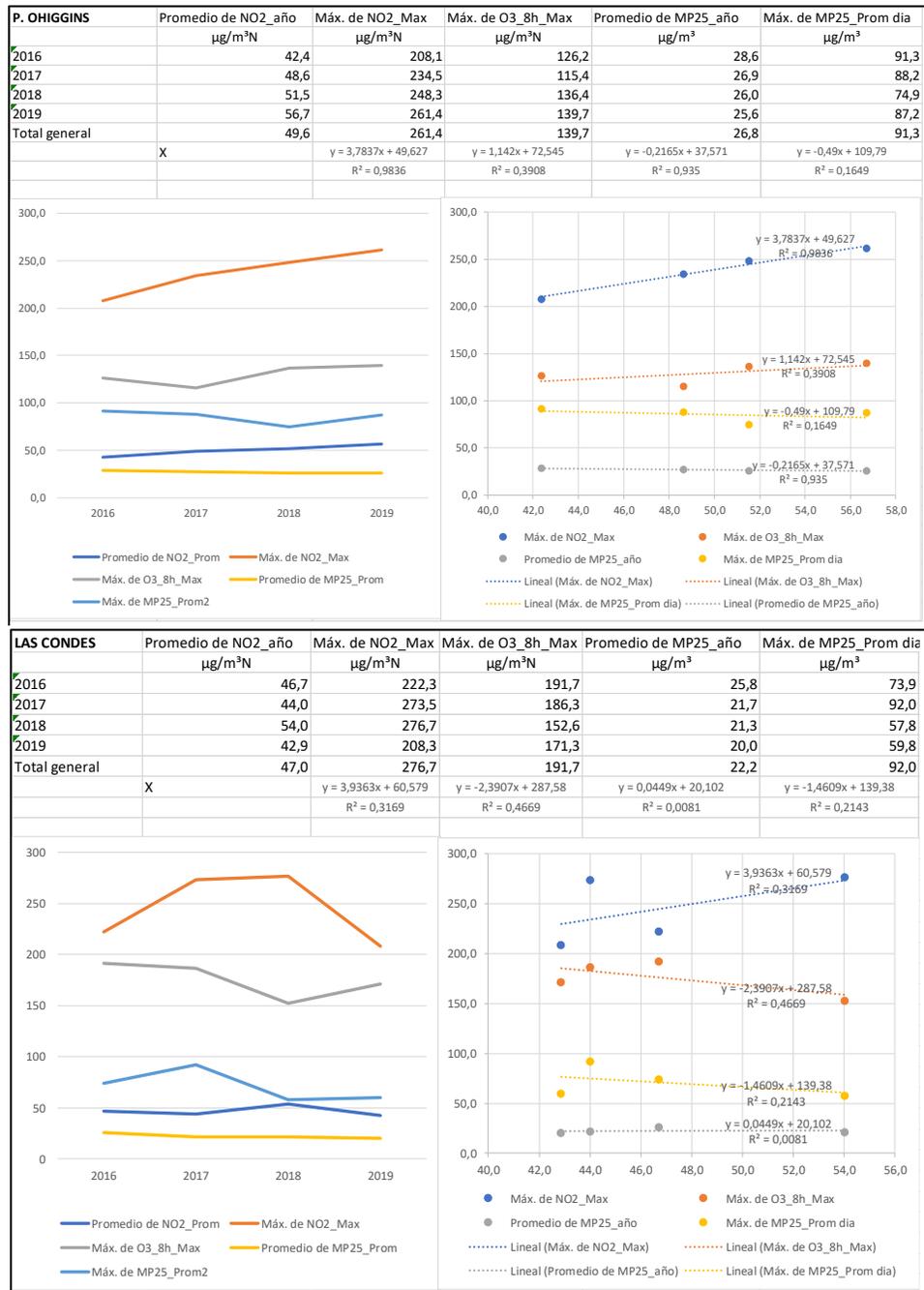


Fuente: Elaboración propia.

Las figuras siguientes muestran la elaboración de las relaciones empíricas entre el promedio anual de NO₂ y el máximo horario anual de NO₂, el máximo anual O₃ 8hr, el promedio anual MP2.5 y máximo diario

anual MP2.5, periodo 2016-2019. Con estas relaciones se realizan posteriormente las proyecciones de escenarios.

**Figura 35: Dispersión entre promedio anual de NO₂, máximo horario anual de NO₂, máximo anual O₃ 8hr, promedio anual MP2.5 y máximo diario anual MP2.5, periodo 2016-2019, valores en µg/m³.
Estaciones P O'Higgins y Las Condes. Región Metropolitana**





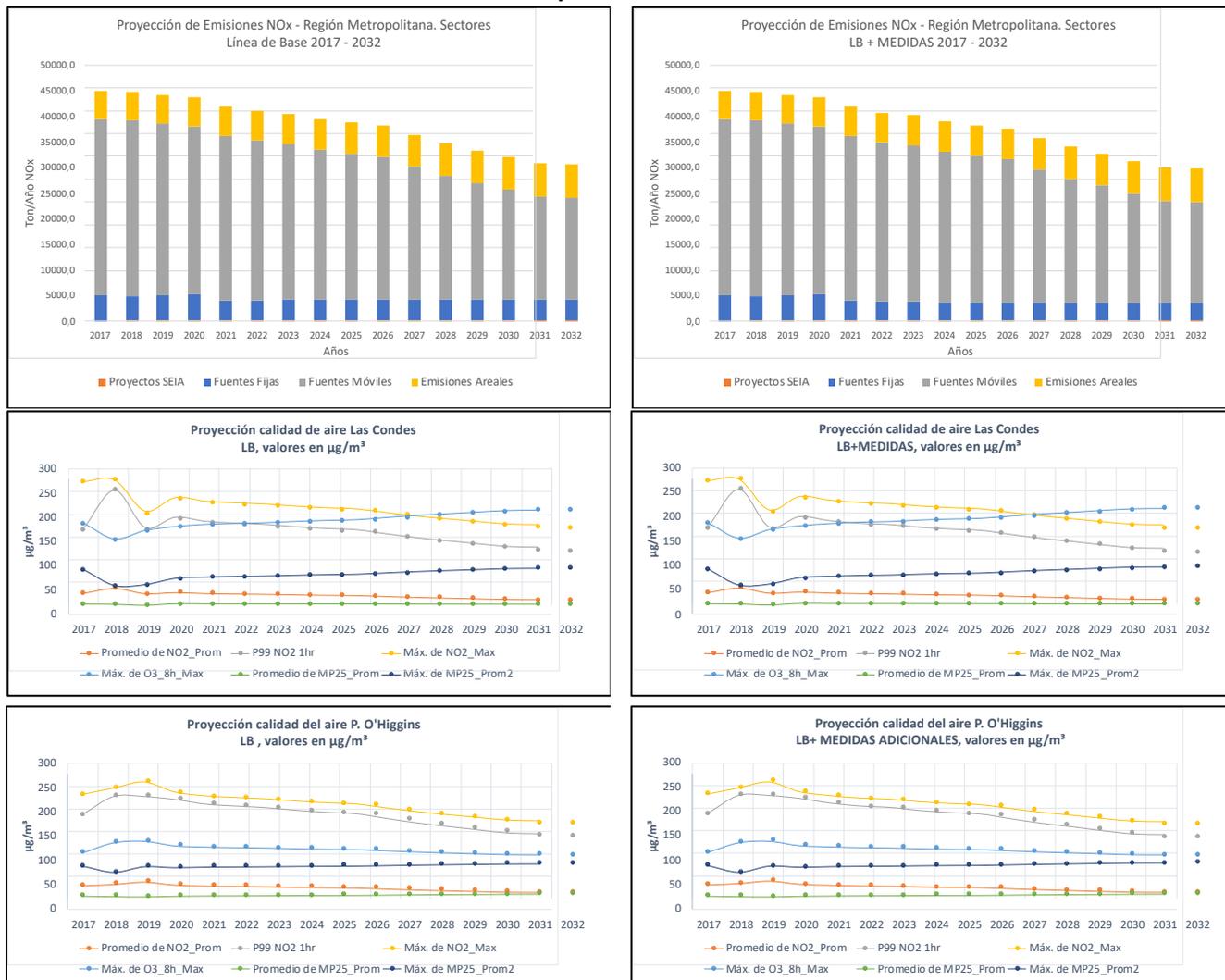
ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES

RESUMEN EJECUTIVO



Las figuras siguientes muestran las proyecciones estimadas de los niveles de calidad de aire resultantes con las proyecciones de emisiones para los escenarios de línea de base de emisiones, que consideran los instrumentos de regulación vigentes y en futura aplicación asociados a normas y planes de descontaminación, y el escenario con medidas adicionales para reducción de emisiones de NOx.

Figura 36: Proyección emisiones y calidad de aire. Zona 5. Estaciones P O'Higgins y Las Condes, Región Metropolitana



	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	--

EVIDENCIA Y ANTECEDENTES EN SALUD

Estado del arte de los efectos del NO₂ en la salud humana

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha declarado que una de las principales amenazas para la salud de los habitantes del mundo está dada por la presencia de contaminantes, particulado y gases, en la atmósfera. Asimismo, reconoce que el NO₂ es uno de los contaminantes más ubicuamente distribuido en el aire, lo que afecta a todos los países.

Los efectos dañinos sobre la salud se refieren a alteraciones en el metabolismo pulmonar, la estructura traqueo, bronquial y alveolar, alteraciones de la función pulmonar, inflamación, aumento de la susceptibilidad a patógenos virales o bacterianos, debido a disminución de la capacidad de defensa del individuo expuesto. Los efectos indicados anteriormente se encuentran mediados por la concentración, más que por la duración de la exposición, es decir, tienden a aparecer frente a aumentos de la concentración del contaminante.

No hay evidencia aislada del NO₂ de efectos crónicos, sin embargo, en presencia del material particulado fino, se producen diversos efectos respiratorios en pacientes asmáticos, en exposiciones mayores a 40 µg/m³ (OMS,2005)¹⁶.

La OMS en su revisión del año 2013, estableció que un número limitado de grandes estudios epidemiológicos habían estimado una función dosis respuesta (FDR) para la mortalidad asociada con la exposición a largo plazo al NO₂. Esta incertidumbre se reflejaba en el informe HRAPIE (Health Risk of Air Pollution in Europe) de la OMS, que clasificó la FDR de mortalidad a largo plazo para NO₂ como del Grupo "B"¹⁷ para el cual existe una mayor incertidumbre sobre la precisión de los datos utilizados para la cuantificación de los efectos" (OMS 2013b).

Para el desarrollo de este estudio llevó a cabo una revisión sistemática de las publicaciones científicas, de los últimos cinco años, relacionadas con los efectos de la exposición a NO₂, encontrándose 60 publicaciones desde el año 2016 en adelante. En la Tabla 14 siguiente presenta un resumen, principalmente de los estudios de metaanálisis respecto de los efectos conocidos del NO₂ en los sistemas respiratorio y cardiovascular, y se presenta información respecto de indicadores de riesgo para nuevos impactos sobre la salud. Se entrega la información sistematizada por fecha, tipo de efecto, resultado respecto del NO₂, grado de solidez científica de la publicación y una recomendación a juicio experto sobre su generalización para Chile. Es decir, se entrega opinión experta sobre la aplicabilidad de ellas tomando en consideración las características poblacionales de los países estudiados y su similitud con Chile.

¹⁶ Forestiere F, Peters A Kelly F y Holgate S Chapter 12. Nitrogen Dioxide. WHO Air Quality Guidelines. Global Update 2005.

¹⁷ Clasificación de grado de certidumbre de la evidencia. "B" Indica poco certidumbre.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Tabla 14: Resumen de principales resultados respecto de efectos del NO₂¹⁸

Autor	Efecto	Resultado	Recomendación para Chile
Ying Zeng, 2019 Shu-Jun, 2020	Depresión	OR: 1.04 (IC 95%: 1.01-1.07) por 5 ppb de NO ₂ OR: 1.02 (IC 95%: 1.00–1.04) por incremento de 10 µg / m ³	No se puede aplicar directamente a Chile, pues nuestro país presenta tasas muy elevadas. Lo que indica algún grado de susceptibilidad de los chilenos a las patologías mentales. Por lo anterior se deben hacer cálculos de riesgo con data nacional.
Le-qian G, 2019	Nacimientos	Bajo Peso de Nacimiento OR: 1.02 (IC95%: 1.00–1.04); Pequeño para la edad gestacional: OR:1.02 (IC 95%: 1.01–1.03)	Aplicable
Arroyo V, 2019	Parto Prematuro	RR de parto prematuro: 1.150 (IC 95%: 1.084-1.220) RAP de 13.04% (IC 95%: 7.75-18.03), que corresponde a un total de 5731 (IC 95%: 436-10681) casos de PTB.	Aplicable
Cheng-Yang, 2019	Enf. Parkinson	RR: 1.06 (IC 95%: 1.04-1.09) por 10 ppb	Muy novedoso. Se sugiere esperar mayor cantidad de evidencia para incorporarlo en los análisis.
Newell, 2018	Mortalidad Cardiorespiratoria	Un aumento de 10 µg/m ³ se asoció con 0.92% (IC 95%: 0.44-1.39) y 0.70% (0.01, 1.40) de aumentos en la mortalidad cardiovascular y respiratoria respectivamente	Aplicable
Cheng-Yang, 2020	Malformaciones cardiacas congénitas	OR: 1.14 (IC 95%: 1.02-1.26)	Muy específico. Daño muy asociado a particularidades genéticas. Se debe estudiar en Chile, antes de usar esta información.
Mei-Yi, 2020	Insuficiencia Renal Crónica	RR: 1.11 (95% CI: 1.09, 1.14) por 10 ppb de aumento.	Muy específico. Se debe estudiar en Chile, antes de usar esta información.
Bo-Yi, 2018	Presión Arterial	OR: 1.05 (IC 95%: 1.02-1.08).	Aplicable
Bo-Yi, 2020	Diabetes	OR: 1.07 (IC 95% 1.04 –1.11) por incremento de 10 µg/m ³	Aplicable
Huanhuan Zhang, 2020	Diabetes Gestacional	Sin efectos significativos para MP ₁₀ , MP _{2.5} ni NO ₂ . Sólo para ozono y SO ₂	Aplicable
Dales, 2020	Hospitalizaciones Fibrosis Pulmonar Idiopática	RR: 1.44 (IC 95%:1.09-1.92).	Aplicable
Hongxi Yang, 2019	Mortalidad por eventos Cardiovasculares	RR: 1.23 (IC 95%: 1.15–1.31)	Aplicable
Orellano P, 2017	Exacerbación de Asma	OR: 1.024 (IC del 95%:1.005-1.043)	Aplicable
OR: <i>odds ratio</i> o razón de desigualdad es un indicador de asociación RR: Riesgo Relativo, indicador de asociación RAP: Riesgo atribuible poblacional IC: Intervalo de confianza			

Fuente: Elaboración propia

¹⁸ El resumen del contenido de los estudios indicados se incluye en el anexo bibliográfico del presente informe.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	--

Efectos de la exposición a Ozono

Los principales efectos sobre la salud asociados con la exposición al O₃ se dan en el tracto respiratorio. El mecanismo por el cual el O₃ afecta el tracto respiratorio, incluye:

- la formación de productos de oxidación secundaria en el pulmón,
- activación de reflejos neurales,
- inicio de inflamación,
- alteraciones de la función de barrera epitelial,
- sensibilización del músculo liso bronquial,
- cambios en la inmunidad, y
- remodelación de las vías respiratorias.

La inflamación sistémica y el estrés oxidativo también pueden ser críticos para los efectos del O₃ en el sistema cardiovascular.

Las revisiones más recientes realizadas por agencias internacionales como la OMS (2013b), USEPA (2016) y COMEAP (2015) han investigado la evidencia sobre los efectos a largo y corto plazo del O₃ en la salud.

Las revisiones de la evidencia a corto plazo han encontrado que hay nueva evidencia sobre los efectos a corto plazo, asociados con concentraciones diarias máximas de O₃ de 1 hora y 8 horas, con todas las causas de mortalidad, mortalidad cardiovascular y respiratoria, así como ingresos hospitalarios cardiovasculares y respiratorios (OMS, 2013; USEPA, 2013; COMEAP, 2015).

La base de evidencia de los efectos a largo plazo del O₃ también se ha fortalecido, en particular, por los aumentos en la incidencia del asma y los impactos en el crecimiento de la función pulmonar.

En resumen, los estudios internacionales han proporcionado evidencia de que la exposición prolongada al O₃ está relacionada causalmente con la mortalidad y la morbilidad principalmente por causas respiratorias. Existe alguna evidencia de que la exposición al O₃ también se asocia con resultados cardiovasculares, pero la evidencia no es tan sólida como la de los resultados respiratorios.

Actualmente, no hay evidencia convincente de un umbral para la exposición a corto plazo a una concentración máxima diaria de O₃ de 1 hora u 8 horas, o de una relación no lineal a concentraciones bajas. La evidencia con respecto a los efectos a largo plazo del O₃, llevó a la USEPA (2013) a considerar el establecimiento de un promedio estacional a largo plazo para el O₃. Otras agencias, como la OMS (2013b), han notado la evidencia emergente en torno a los efectos a largo plazo, pero concluyeron que la evidencia no es suficiente para establecer una guía o estándar.

En síntesis, los estudios disponibles en este momento no son suficientes para la determinación de una función dosis-respuesta a largo plazo sólida para usar en una evaluación de riesgos para la salud.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Efectos de la exposición a NO₂ en Chile: evidencia

La situación de calidad del aire en Chile respecto del dióxido de nitrógeno, ha sido poco evaluada y existen escasas publicaciones respecto de ella. Como se ve en el análisis previo, los niveles actuales en las localidades en donde se mide el contaminante, si bien cumplen la norma vigente en Chile, podrían producir riesgo para la población, según se documenta a continuación.

Un estudio recientemente publicado (Dales, 2020)¹⁹ muestra la asociación entre la contaminación del aire y la hospitalización de pacientes con una enfermedad respiratoria crónica, denominada Fibrosis Pulmonar Idiopática (FPI), en la Región Metropolitana. Niveles del orden de 43.4 ppb promedio anual de valores diarios (24 horas) de NO₂, están asociados con hospitalizaciones por FPI. Se observó un riesgo relativo (RR) de 1.44 (IC 95% 1.09-1.92), el que se mantuvo estadísticamente significativo ajustado por la presencia de los otros contaminantes (MP₁₀, MP_{2,5}, O₃, CO y SO₂).

El estudio de Salgado (Salgado, 2020)²⁰ evaluó el impacto de las emisiones de NO_x sobre la salud cognitiva de niños en Chile, y encontró riesgo significativo de rezago psicomotor en menores en las regiones del Maule, Biobío, Los Ríos y Aysén. En este estudio, el riesgo asociado estadísticamente al contaminante, se muestra mediante modelos ajustados por la presencia de particulado fino y respirable, además de variables socioeconómicas, educacionales y de la salud materna que determinan el desarrollo normal de los niños. Los resultados permiten fundamentar la hipótesis de que la contaminación atmosférica asociada a emisiones NO_x produce riesgo al desarrollo normal de preescolares.

Otro estudio (Matus y cols.)²¹ con información de Santiago, Valparaíso y Temuco-Padre Las Casas, coincidentemente con la evidencia internacional, establece una asociación entre niveles promedio de NO₂ y mortalidad total. Las series de datos estudiadas corresponden al periodo 2004-2014, y contemplaron exposiciones de 21.6 µg/m³ [13.9-32.4], lo que estaría provocando un incremento de 0.53 % (0.39-0.67) en las muertes totales por cada 10 µg/m³ de aumento en el NO₂ para un rezago de 1 día.

Actualización de funciones dosis-respuesta (fdr) para NO₂

Se llevó a cabo una búsqueda en literatura gris de actualizaciones normativas recientes en países utilizados como referencia²², en la gestión ambiental chilena.

De ellos, Australia y Canadá han desarrollado estudios para la revisión de sus normas de calidad del aire, en particular para NO₂, durante el período de estudio. Estados Unidos no ha presentado variaciones desde la revisión realizada por la Universidad de Chile, en el año 2016.

¹⁹ Dales R, Blanco-Vidal C, Cacak S. The association between air pollution and hospitalization of patients with Idiopathic Pulmonary Fibrosis in Chile. CHEST 2020.(Article in press).

²⁰ Salgado M. Impacto de la contaminación atmosférica en el diagnóstico del desarrollo psicomotor según región y sexo. Tesis para grado de Magíster en Salud Pública Mención Epidemiología, Universidad Andrés Bello.

²¹ Publicación en preparación, esta información es parte de un trabajo colaborativo en 398 ciudades y 22 países en el que participa Patricia Matus.

²² Aquellos países nombrados en el artículo 11 Normas de Referencia del DS 40/2012. A saber: Alemania, Argentina, Australia, Brasil, Canadá, España, México, USA, Nueva Zelandia, Países Bajos, Italia, Japón, Suecia y Suiza.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Las actualizaciones llevadas a cabo por Australia y Canadá mantienen una coherencia, fundada en el modelo exposición-efecto, sin embargo, presentan particularidades metodológicas.

Las funciones dosis-respuesta (FDR) para el caso de Canadá fueron generadas a partir de datos observados en distintas ciudades del país y corresponden a antecedentes locales. En el caso de Australia para las evaluaciones de riesgo la autoridad adoptó las FDR de la OMS contenidas en el informe del proyecto HRAPIE de 2013²³. Una traducción completa de los antecedentes relativos a las FDR del HRAPIE se encuentran contenidos en el Informe Final.

Canadá evalúa proyectando escenarios demográficos y de situación de salud, además de los de exposición, con los que puede estimar reales impactos sanitarios.

Australia evalúa sobre la base de escenarios de exposición determinados por el grado de abatimiento de las emisiones. Estima para un escenario, sin cambio (BAU) y otro con escenario de paquete de reducción (NSW²⁴), por lo que prima el componente tecnológico por sobre el sanitario.

La Tabla 15 siguiente indica las funciones dosis-respuesta o concentración – respuesta (FDR) usadas para el cálculo de la evaluación del impacto de la regulación del NO₂.

Tabla 15: Funciones dosis – respuesta utilizadas para la revisión de los estándares de NO₂, en Canadá y Australia

	Canadá	Australia
Efecto evaluado	Mortalidad todas las causas por exposición aguda Respiratorias	Mortalidad por causas respiratorias
Fuente	Burnett et al (2004)	Health risks of air pollution in Europe (HRAPIE) (WHO, 2013b)
Detalle	Análisis de contaminación en 12 ciudades canadienses, porcentaje exceso de muertes (asociado al promedio de concentración); 1.69% (22.4 ppb); equivale a coeficiente de regresión SE = 0.000748 (0.000249).	Base de datos europea de morbilidad hospitalaria (OMS, 2013f), códigos ICD-9 460-519; ICD-10 códigos J00– J99 ²⁵
Período promedio	24 horas	1 hora
Tipo de regresión	Log (RR) o Log (OR)	RR
Forma	Normal	Sin información
Beta promedio o RR	24 horas promedio anual: 7.48E-04	1 hora: RR: 1.0027 (1.0016–1.0038)
Desviación Estándar de beta	24 horas: 2.49E-04	Sin información

Fuente: Elaboración propia

²³ Health risks of air pollution in Europe –HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide.

²⁴ NSW: New South Wales, Jurisdicción de Australia

²⁵ WHO. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, Diseases of the Respiratory System,

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Función dosis respuesta con datos chilenos

Para realizar el ejercicio de calcular una función dosis respuestas con datos chilenos, se utilizó la siguiente información extraída de las bases públicas del Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud, resultados que forman parte de un artículo en revisión para su publicación en revista internacional²⁶:

- Defunciones totales a excepción de causas externas de Región Metropolitana, Temuco, Valparaíso 2005-2013
- Las Variables de exposición: contaminantes atmosféricos y temperatura fueron extraídas de las bases de datos del SINCA

Durante el período de tiempo evaluado ocurrieron 316.800 defunciones en las tres zonas estudiadas. La Tabla 16 resume información descriptiva de las variables utilizadas.

Tabla 16: Estadística descriptiva de concentraciones promedios anuales de contaminantes y temperatura, Gran Santiago, Temuco y Valparaíso 2005-2013

Variabes	Promedio anual	Percentiles (25-75)
NO ₂ (µg/m ³)	21.6	13.9 - 32.4
MP ₁₀ (µg/m ³)	46.8	34.3 - 70.7
MP _{2.5} (µg/m ³)	21.5	14.2 - 38
O ₃ (µg/m ³)	25.2	13.8 - 33.7
CO (mg/m ³)	0.6	0.3 – 1.1
Temperatura (°C)	13.7	10.7 – 17.2

Fuente: Elaboración propia

Se observó que un aumento de 10 µg / m³ en las concentraciones de NO₂ se asoció con un aumento del 0,46% (IC95: 0,36- 0,57) en la mortalidad total en las 398 localidades estudiadas en el mundo. Para Chile, los valores correspondieron a 0,53% (IC95: 0,39-0,76) y se encuentra en el grupo de países con mayor aumento.

Se calculó la fracción atribuible porcentual (PAF %) del NO₂ en las defunciones totales encontrándose **una función dosis respuesta de 1.13(%) con su IC 95% (0.83 -1.43).**

Riesgo atribuible a la exposición a corto plazo a NO₂ en sitios seleccionados

El Riesgo Atribuible es la proporción del impacto sobre la salud (enfermedad o muerte) que puede ser atribuida a la exposición²⁷. Existen varios indicadores de riesgo atribuibles, sus explicaciones y diferencias exceden este estudio.

²⁶ BMJ British Medical Journal- ID BMJ-2020-061413

²⁷ Last, J.M. RE: "A dictionary of epidemiology, fourth edition, edited by John M.Last, Robert A. SPasoff and Susan G. Harris. Am. J. Epidemiolol. 2001,154,389

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Los Riesgos Relativos para efectos agudos utilizados provienen del estudio europeo denominado HRAPIE del año 2013²⁸. La Tabla siguiente muestra las funciones dosis respuesta utilizadas.

Tabla 17: Funciones concentración respuesta, por tipo de efecto y de exposición a NO₂

Tipo de Exposición NO ₂	Efecto/población	RR (IC95%) por cada 10 µg/m ³
Promedio Concentraciones Máximas de 1 hora (promedio anual de los máximos diarios)	Todas las muertes menos las debido a causas externas	1.0027 (1.0016- 1.0036)
Promedio diario (promedio de valores de 24 horas)	Hospitalizaciones Respiratorias, todas las edades	1.018 (1.0115 -1.0245)
Promedio Anual (promedio de los 365 días)	Crisis Asmáticas en niños 5 a 14 años	1.02 (0.99 – 1.06)

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio HRAPIE-2013

A continuación, se presentan la estimación de los casos atribuibles a la exposición al contaminante NO₂ en el periodo 2016-2018 para las comunas de: Calama, Concón, Quintero, Puchuncaví, Concepción, Comunas de la Región Metropolitana

Los datos básicos y resultados del cálculo se encuentran tabulados. Las primeras dos columnas contienen los casos de efectos en salud estudiados, con datos obtenidos de la página web del Departamento de Estadísticas e Información de Salud del Ministerio de Salud (DEIS)²⁹:

- Defunciones totales, todas las causas menos las causas externas (DEFTot) para los años 2016 a 2018;
- Hospitalizaciones Respiratorias para los años 2016 a 2018; y
- Atenciones de urgencia por crisis asmáticas en menores de 15 años (CrisisAsma) para los años de estudio

La tercera columna corresponde a las concentraciones de NO₂ utilizadas como exposición característica indicada en la Tabla 17. En el caso de las defunciones, se ha utilizado el promedio de los máximos diarios del periodo de estudio; para el caso de las hospitalizaciones se han usado los promedios diarios de cada año y en el caso de crisis asmáticas, el promedio anual.

La sexta columna entrega la estimación de los casos atribuibles, las columnas cuarta y quinta muestran el rango inferior y superior del intervalo de confianza al 95%.

²⁸ WHO Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project.-recommendations-for-concentrationresponse-functions-for-costbenefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogen-dioxide>

²⁹ DEIS: Departamento de Estadísticas e Información de Salud, División de Planificación Sanitaria, Subsecretaría de Salud Pública, <https://deis.minsal.cl/>

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Tabla 18: Casos de defunciones, hospitalizaciones y crisis asmáticas observadas en la comuna de Calama, y casos atribuibles a exposición de 10 µg/m³ de NO₂, años 2016 a 2018

Efectos	Frecuencia Absoluta	Promedios NO ₂ (**) µg/m ³	Casos Atribuibles (Rango Inf)	Casos Atribuibles (Rango Sup)	Total Casos Atribuibles
DEFTot 2016 (*)	632	50,2	5	11	9
DEFTot 2017 (*)	672	49,4	5	12	9
DEFTot 2018 (*)	680	49	5	12	9
Subtotal	1984		15	35	27
HospResp2016	8884	18,3	185	389	287
HospResp2017	7756	18,3	161	339	251
HospResp2018	9825	16,9	189	397	294
Subtotal	26465		535	1125	832
CrisisAsma<152016	829	18,4	1	86	30
CrisisAsma<152017	1387	17,3	1	136	47
CrisisAsma<152018	1299	16,9	1	124	43
Subtotal	3515		3	346	120
Total	31964		553	1506	979

(*) ajustada a partir tasa regional (**) Datos Estación Centro en Calama

Fuente: elaboración propia

Los casos totales atribuibles a la exposición de NO₂ estimados para Calama en el período 2016-2018 de estudio son 832 hospitalizaciones y 120 crisis de asma y 29 muertes, es decir, un total de 981 casos (IC 95%: 554- 1510).

A continuación, se muestran los resultados para las comunas de Concón, Puchuncaví y Quintero para los mismos años. La Comuna de Puchuncaví no tiene centro de atención de urgencia, por lo que las crisis asmáticas no se pudieron contabilizar. En este grupo de comunas se pudo estimar un número total de casos atribuibles en el periodo 2016-2018 a la exposición a NO₂ del orden de 677 (IC 95%: 340-1181).

Tabla 19: Casos de defunciones, hospitalizaciones y crisis asmáticas observadas en la comuna de Concón, y casos atribuibles, exposición de 10 µg/m³ de NO₂, años 2016 a 2018

Efectos	Frecuencia Absoluta	Promedios NO ₂ (**) µg/m ³	Casos Atribuibles (Rango Inf)	Casos Atribuibles (Rango Sup)	Total Casos Atribuibles
DEFTot 2016 (*)	191	48,4	1	3	2
DEFTot 2017 (*)	204	48,5	2	4	3
DEFTot 2018 (*)	214	52,2	2	4	3
Subtotal	609		5	11	8
HospResp2016	1405	25,7	41	86	64
HospResp2017	988	24,5	28	58	43
HospResp2018	969	25,7	28	60	44
Subtotal	3362		97	204	151
CrisisAsma<152016	692	19,9	1	78	27
CrisisAsma<152017	554	24,4	1	77	27
CrisisAsma<152018	588	25,7	1	86	30
Subtotal	1834		3	241	84
Total	5805		105	456	243

(*) ajustada a partir tasa regional (**) Datos estación Colmo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Casos de defunciones, hospitalizaciones y crisis asmáticas observadas en la comuna de Puchuncaví, y casos atribuibles exposición de 10 µg/m³ de NO₂, años 2016 a 2018

Efectos	Frecuencia Absoluta	Promedios NO ₂ (**) µg/m ³	Casos Atribuibles (Rango Inf)	Casos Atribuibles (Rango Sup)	Total Casos Atribuibles
DEFTot 2016 (*)	97	60,0	1	2	2
DEFTot 2017 (*)	117	60,0	1	3	2
DEFTot 2018 (*)	125	61,5	1	3	2
Subtotal	339		3	8	6
HospResp2016	785	32,8	29	62	46
HospResp2017	516	32,3	19	40	29
HospResp2018	615	33,8	37	50	37
Subtotal	1916		85	152	112
CrisisAsma<152016		20,4			
CrisisAsma<152017		32,4			
CrisisAsma<152018		33,9			
Subtotal					
Total	2255		88	160	118

(*) ajustada a partir tasa regional (**) Datos estación La Greda

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Casos de defunciones, hospitalizaciones y crisis asmáticas observadas en la comuna de Quintero, y casos atribuibles exposición de 10 µg/m³ de NO₂, años 2016 a 2018

Efectos	Frecuencia Absoluta	Promedios NO ₂ (**) µg/m ³	Casos Atribuibles (Rango Inf)	Casos Atribuibles (Rango Sup)	Total Casos Atribuibles
DEFTot 2016 (*)	198	86,1	3	6	5
DEFTot 2017 (*)	196	33,7	1	2	2
DEFTot 2018 (*)	176	33,5	1	2	2
Subtotal	570		5	10	9
HospResp2016	2220	32,6	82	173	128
HospResp2017	1772	16	32	68	50
HospResp2018	1428	15,1	25	52	38
Subtotal	5420		139	293	216
CrisisAsma<152016	816	33,4	1	154	53
CrisisAsma<152017	628	16,0	1	57	20
CrisisAsma<152018	594	15,0	1	51	18
Subtotal	2038		3	262	91
Total	8028		147	565	316

(*) ajustada a partir tasa regional (**) Datos estación Quintero Centro

Fuente: elaboración propia

En la comuna de Concepción no hay valores de exposición a NO₂ disponibles para el año 2016, por carecer de dichas mediciones. Sin embargo, se pudo estimar un número total de casos atribuibles en el periodo 2017-2018 (defunciones, hospitalizaciones y crisis asmáticas) del orden de 1111 (IC:5% 624-2375), mayor que en los casos de Calama y Concón-Puchuncaví y Quintero. Esto se explica por la mayor cantidad de población expuesta, más que por presentar concentraciones más elevadas del gas.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Tabla 22: Casos de defunciones, hospitalizaciones y crisis asmáticas observadas en la comuna de Concepción, y casos atribuibles exposición de 10 µg/m³ de NO₂, años 2017 y 2018

Efectos	Frecuencia Absoluta	Promedios NO ₂ (*)	Casos Atribuibles (Rango Inf)	Casos Atribuibles (Rango Sup)	Total Casos Atribuibles
DEFTot 2017	1447	35,6	8	18	14
DEFTot 2018	1388	39,6	9	20	15
Subtotal	2835		17	38	29
HospResp2017	13142	20,6	308	647	252
HospResp2018	12822	20,4	297	626	462
Subtotal	25964		605	1273	714
CrisisAsma<152017	5076	20,6	1	592	205
CrisisAsma<152018	4084	20,4	1	472	163
Subtotal	9160		2	1064	368
Total	37959		624	2375	1111

(*) Datos estación Kingstone College

Fuente: elaboración propia

El ejercicio para la Región Metropolitana incluye las comunas de Santiago, Las Condes, Cerrillos, Cerro Navia, Independencia, La Florida, Pudahuel, Puente Alto, Talagante y El Bosque. Este conjunto de comunas concentra a 2.415.125 habitantes y los niveles más altos de exposición al NO₂ del país. Consecuentemente, acumulan casos atribuibles a dicha exposición del orden de 11.686 casos totales con un rango que va desde 9.241 a 24.649.

Tabla 23: Casos de defunciones, hospitalizaciones y crisis asmáticas observadas en la Región Metropolitana, y casos atribuibles exposición de 10 µg/m³ de NO₂, años 2016 a 2018

Efectos	Frecuencia Absoluta	Promedios NO ₂ (*)	Casos Atribuibles (Rango Inf)	Casos Atribuibles (Rango Sup)	Total Casos Atribuibles
DEFTot 2016	1532	79,5	159	357	268
DEFTot 2017	1495	75,7	154	346	260
DEFTot 2018	1591	79,6	163	365	274
Subtotal	4618		476	1069	802
HospResp2016	20399	41,0	1035	2177	1609
HospResp2017	26870	42,7	1075	2262	1672
HospResp2018	23519	46,0	1175	2472	1828
Subtotal	70788		3285	6911	5110
CrisisAsma<152016	3623	40,4	1797	5466	1893
CrisisAsma<152017	3442	42,2	1770	5385	1865
CrisisAsma<152018	3307	45,6	1913	5820	2016
Subtotal	10372		5480	16670	5775
Total	85778		9241	24649	11686

(*) Datos estación Parque O'Higgins, Independencia, Las Condes, La Florida, Cerro Navia, Cerrillos, Pudahuel, Puente Alto, Talagante y El Bosque

Fuente: elaboración propia

Como se aprecia en los cálculos realizados, el número absoluto de casos atribuidos son mayores, a niveles de exposición más altos y obviamente a mayor población expuesta. Para comparar se calcularon las tasas por cien mil habitantes que se presentan en la tabla siguiente.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Tabla 24: Síntesis comparativa de Riesgo Atribuido a exposición de NO₂

Efectos Periodo 2016-2018	Número de casos Atribuibles					
	Calama	Concón	Puchuncaví	Quintero	Concepción	Comunas seleccionadas en RM
Población	165731	42152	18546	21144	223574	2.415.125
DEF Tot Subtotal	27	8	6	9	29	802
Hosp Resp Subtotal	832	151	112	216	714	5110
CrisisAsma<15 Subtotal	120	84	N.A.	91	368	5775
Total	979	243	118	316	1111	11687
	Tasas de Casos Atribuibles (*)					
DEF Tot Subtotal	16	19	32	43	13	33
Hosp Resp Subtotal	502	358	604	1022	319	211
CrisisAsma<15 Subtotal	72	199	N.A.	430	165	239
Total	591	576	636	1495	497	484

(*) Tasas por cien mil habitantes= (Nº eventos/población)*100.000

Fuente: elaboración propia

Se observa que la tasa más alta de defunciones asociada a la exposición a NO₂ se encuentra en la comuna de Quintero (43 por cien mil) y la segunda en la Región Metropolitana y Puchuncaví (33 y 32 por cien mil respectivamente), siendo la más baja Concepción (13 por cien mil). En el resto de las comunas consideradas en este ejercicio, está en el rango de 16 a 19 por cien mil habitantes.

Es interesante notar que la comuna de Quintero también exhibe las tasas más altas de casos atribuibles a NO₂ de ingresos hospitalarios (1022 por cien mil) y por crisis de asma (430 por cien mil), superando a la RM y al resto de comunas, que registran niveles ambientales similares o superiores de NO₂. Esto estaría indicando mayor riesgo en dicha población frente a la exposición al gas

Por otra parte, las tasas más bajas de casos atribuibles para defunciones, e ingresos hospitalarios están en Concepción, y para el caso de las crisis de asma en Calama.

Riesgo atribuible a la exposición a corto plazo a dióxido de nitrógeno observado en comunas de la región Metropolitana seleccionadas y con función dosis-respuesta chilena

Como se ha planteado con anterioridad, los riesgos son específicos para cada población, por lo que los casos atribuidos a la exposición por dióxido de nitrógeno variarán en función del cambio de parámetros de estimación.

La tabla siguiente compara las estimaciones de casos atribuibles utilizando una función dosis respuesta global, producto de metaanálisis como es la función calculada en el proyecto HRAPIE de la Unión Europea, con la función calculada con datos chilenos.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Tabla 25: Comparación de casos atribuibles con funciones de riesgo de Europa y Chile

Efectos	Frecuencia Absoluta	Promedio NO ₂	FUNCIÓN EUROPEA (*)			FUNCION CHILENA (**)		
			Casos Atribuibles	Límite Inf	LímiteS up	Casos Atribuibles	Límite Inf	LímiteS up
DEFTot 2016	12526	79,5	268	159	357	1125	827	1424
DEFTot2017	12755	75,7	260	154	346	1091	801	1381
DEFTol 2018	12784	79,6	274	163	365	1150	845	1455
Totales	38065		802	476	1069	3366	2473	4260
Diferencia						+ 2564		
Razón						4.19		
%						419%		
Nota: (*) Riesgo Atribuible HRAPIE = 0,00269273 (IC95: 0,001597444-0,003587086) (**) Riesgo Atribuible CHILE= 0,0113 (IC95: 0,000083- 0,000143)								

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar al aplicar la función de riesgo chilena, los casos atribuibles al NO₂ aumentan en forma considerable, cuatro veces comparado con los casos atribuibles con la función de riesgo de Europa. Esto refleja el mayor riesgo existente en Chile.

¿Por qué Chile presenta mayor riesgo? Es posible plantear varias hipótesis que expliquen estas diferencias. Si bien el dióxido de nitrógeno es el mismo en ambas partes, la población es distinta. En Chile existe alta prevalencia de factores de riesgo que pueden volver más susceptible a la población, tales como el tabaquismo y la obesidad, y en el ámbito de la contaminación atmosférica la población chilena está expuesta además a elevadas concentraciones de material particulado y otros contaminantes. También se puede plantear que el acceso a la atención de salud puede estar más limitada en nuestro país que en Europa, todos estos factores pueden explicar la mayor mortalidad relativa causada por la exposición a este gas en la población chilena.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Propuesta de escenarios normativos

El análisis realizado en el presente estudio, concluye que en la línea de base 2017 los niveles modelados de concentración se encuentran bajo los niveles de la norma de calidad nacional para NO₂, situación que también se refleja en los valores medidos que se analizó en capítulos previos. La única zona que presenta valores en el límite o superiores a las recomendaciones de la OMS es la Región Metropolitana.

En materia de las proyecciones de emisiones, se presenta un conjunto de variables que permiten predecir que, en un escenario al año 2032, en la Región Metropolitana principalmente, se producirán reducciones importantes en las emisiones totales anuales de NO_x, mientras algunas zonas tendrán disminuciones más leves. Entre las principales medidas que mayormente contribuyen a esta reducción de emisiones se encuentran:

- Revisión de normas nacionales de emisión vehicular
- Nuevas normas nacionales que regulan las emisiones de fuentes estacionarias
- Medidas que forman parte de Planes de Descontaminación y Prevención.

Por otra parte, desde el punto de vista de la salud de la población, la revisión de la evidencia más reciente indica que, no existen niveles umbral para la exposición a NO₂, lo cual es relevante a la hora de considerar el enfoque preventivo en la definición de los niveles de exposición de la población.

En el contexto de lo señalado, resultan relevantes tres aspectos que se deben tener presente a efectos de definir nuevos valores para la norma de calidad:

- El análisis de costo-efectividad de la modificación normativa hacia valores más restrictivos
- Las proyecciones de emisiones para los próximos años
- Las proyecciones de calidad de aire.

Escenario 1: Mantener los niveles actualmente vigentes para NO₂, con los siguientes valores:

- Como concentración horaria: 400 µg/m³
- Como concentración anual: 100 µg/m³
- Incorporar las recomendaciones del numeral 6.4 para un ICA.

El análisis realizado en materia de calidad de aire y emisiones, indica que, no existen antecedentes que a la fecha y en la proyección futura se pudieran superar los niveles actualmente definidos en la regulación nacional, y por el contrario, todo indica que los niveles de emisión de NO₂ debieran reducirse con el mejoramiento de los índices de calidad.

Por otro lado, resulta indispensable que la revisión normativa se haga cargo de lo señalado en materia de gestión de episodios críticos, puesto que es una actual deficiencia que se visualiza en cualquier escenario

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

de revisión de la norma, que resulte consistente con la evidencia en salud, en particular para la población susceptible, como así mismo con las tendencias a nivel internacional en materia de regulación de NO₂.

Escenario 2: Establecer un nivel intermedio entre los niveles actualmente vigentes y los estándares sugeridos por la Organización Mundial de las Salud. Los niveles propuestos para este escenario serían equivalentes a mantener una condición de latencia (80% del valor de norma) considerando las mediciones disponibles de la estación que exhibe los niveles ambientales más altos de NO₂ a nivel del país.

- Como concentración horaria: 280 µg/m³
- Como concentración anual: 66 µg/m³
- Incorporar las recomendaciones del numeral 6.4 para un ICA.

El fundamento de esta propuesta es esencialmente preventivo y gradual, apuntando a que, bajo cualquier nuevo escenario regulatorio, la condición de exposición actual de la población más expuesta no puede deteriorarse, aumentando los riesgos para la salud.

Se considera como referencia los máximos observados a nivel nacional (parque O'Higgins), con estos valores en el nivel de latencia.

Cabe señalar que los niveles propuestos en este escenario representan un 140% del valor horario y un 165% del estándar anual del estándar OMS.

Sin embargo, resulta indispensable que la revisión normativa se haga cargo de lo señalado en materia de gestión de episodios críticos, puesto que es una actual deficiencia que se visualiza en cualquier escenario de revisión de la norma, que resulte consistente con la evidencia en salud, en particular para la población susceptible, como así mismo con las tendencias a nivel internacional en materia de regulación de NO₂.

Escenario tres: Establecer gradualidad entre un escenario intermedio para alcanzar la meta de niveles propuestos por la OMS en un plazo de 10 años:

- Como concentración horaria: 280 µg/m³ al año 2025 y 200 µg/m³ al año 2030
- Como concentración anual: 66 µg/m³ al año 2025 y 40 µg/m³ al año 2030
- Incorporar las recomendaciones del numeral 6.4 para un ICA y un ISCA.

La razón de establecer esta gradualidad se fundamenta en el hecho que el conjunto de medidas establecidas en la revisión normativa así como aquellas contempladas en los PPDA comienzan a tener plena vigencia en el año 2025, tal como se indicó en la proyección de la línea de base. De esta forma, se garantiza que no existen esfuerzos adicionales que se debieran realizar para el cumplimiento de los nuevos niveles de calidad de aire.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	--

Niveles de emergencia

La recomendación de escenarios para los niveles de emergencia para el contaminante NO₂ debe tomar en consideración la evidencia de los efectos agudos en la salud de la población expuesta a niveles elevados por periodos cortos (horas, días). Los antecedentes epidemiológicos son claros en mostrar la inexistencia de valor umbral para dichos efectos, por lo que no hay una concentración que no muestre riesgo.

Por otra parte, no hay antecedentes científicos nuevos que modifiquen los valores de niveles de daño significativo (NDS)³⁰, de los cuales se derivan los niveles criterio de episodios, y entregan el marco para los planes de contingencias.

Además, según lo analizado en materia de gestión de episodios, es evidente la ausencia de indicaciones en la regulación actual para la protección de población susceptible en niveles ambientales de NO₂ comprendidos entre el valor norma de promedio horario (400 µg/mg³) y el nivel 1 (1130 µg/mg³) contemplado como nivel de Alerta.

Por lo anterior, la propuesta para los niveles que den origen a situaciones de emergencia ambiental para dióxido de nitrógeno en concentración de una hora, es complementar los niveles señalados en el artículo 5 del D.S 114/2003, incorporando niveles intermedios de actuación entre los valores comprendidos por el valor de norma para una hora y el primer nivel de alerta ambiental. Con ello se avanzaría en la implementación de un ICA que de cuenta a la población susceptible de los riesgos ante situaciones de episodio.

En relación a la recomendación de avanzar en el establecimiento de un Índice de Calidad del Aire en Salud, en el que sobre las bases de riesgos locales y/o nacionales se informa a la población de la cuantía y tipo de riesgo presente para que se tomen medidas de disminución de la exposición, es pertinente la realización de estudios específicos que permitan el desarrollo de indicadores de este tipo. Atendido lo anterior es que este tipo de instrumento se ha propuesto para el tercer escenario considerando el esfuerzo en investigación científica, técnica y jurídica para su desarrollo.

³⁰ Appendix L to Part 51 - Example Regulations for Prevention of Air Pollution Emergency Episodes, USA EPA

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Recomendaciones gestión de episodios en Chile

Para un ICA

- En general, los rangos umbral de concentración que se establecen en la regulación de NO₂, para efectos de gestión de episodios son todos más altos que a experiencia internacional analizada, la cual es consistente con el análisis de efectos en salud humana de niveles altos de concentración.
- La regulación actual para NO₂ no distingue condiciones particulares de actuación para el rango de niveles comprendido entre el valor norma de promedio horario (400 µg/mg³) y el nivel 1 (1130 µg/mg³) contemplado como nivel de Alerta. Esta consideración es importante para la protección de la población susceptible, tales como niños, adultos mayores y personas con problemas cardíacos y respiratorios. Se sugiere avanzar hacia la definición de herramientas de gestión para este rango.
- De acuerdo a lo anterior, se recomienda desagregar, en el nivel 1 nacional, tres niveles de acuerdo a lo que indica la experiencia internacional, incluyendo en esta definición cuales son las actuaciones para la superación de cada uno de ellos.
- La asociación de gestión de episodios a Planes de Descontaminación o Prevención establece una limitación a la capacidad de actuación temprana ante eventos peaks en zonas que no cuentan con dicho instrumento regulatorio.
- En el contexto anterior, el levantamiento de esta restricción, así como un mayor desarrollo de estaciones de monitoreo con representatividad poblacional, constituyen una importante contribución a los procesos de gestión.

Para un ISCA

El dióxido de nitrógeno y el ozono provocan efectos agudos, por lo mismo, tratar de evitar la exposición de la población una vez objetivado el ascenso de los niveles de contaminantes, es una medida necesaria para minimizar los impactos a la salud pública.

Respecto de la gestión de los episodios de alta contaminación por NO₂, se recomienda avanzar en mediano plazo hacia en los estudios científicos, técnicos y jurídicos necesarios para la elaboración de un ISCA con un enfoque preventivo y educativo, incorporando el NO₂ junto con el resto de los contaminantes criterio³¹ en un enfoque de indicador que integre los aspectos de salud.

Este enfoque implica reconocer y educar a la población de ciudades con más de 50.000 habitantes que se encuentran expuestas a contaminantes ubicuos, que no tienen un nivel límite de seguridad y que se acompañan siempre de una mezcla de contaminantes, por medio de una política de educación y prevención sobre la contaminación atmosférica.

³¹ Se denominan contaminantes criterio a los contaminantes presentes en toda cuenca atmosférica urbana. Estos son el material particulado (MP₁₀ y MP_{2,5}), los óxidos de nitrógeno y azufre, el monóxido de carbono y el ozono.

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISION DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	---

Recomendación en materia de mediciones y monitoreo.

- El monitoreo de NO₂ se está realizando con equipamiento que cumple las exigencias de la USEPA o CEE.
- Considerando que la mayoría de las estaciones que miden NO₂, además miden MP10 y/o MP2,5 y que los criterios de instalación para cabezales de MP10 y MP2,5 son muy similares a los criterios recomendados para NO₂ no debería haber inconvenientes para la inclusión de dichos criterios en futura revisión de Norma de NO₂.
- En algunas estaciones de monitoreo de calidad de aire se realizan auditorías por compromisos de resoluciones de calificación ambiental (RCA) y la SMA ha fiscalizado a algunas estaciones que tienen Representatividad Poblacional, pero no existe un programa de fiscalización permanente o de auditoría que permita verificar el funcionamiento de los monitores y la calidad de la información en forma sistemática.
- A la fecha no se ha incluido el alcance Calidad de Aire en las Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental³² (ETFA) las cuales son autorizadas por la SMA
- No se cuenta con un Centro de Referencia para supervisar las calibraciones de los monitores de NO₂.
- Si bien existe el Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), que reúne datos de muchas estaciones conectadas a nivel nacional, con la posibilidad de visualización y extracción de información, esta plataforma no constituye una base homogénea de datos históricos **validados y oficiales** de calidad de aire.
- Se deben establecer criterios que permitan realizar un monitoreo de NO₂ **oportuno, confiable y representativo**. Es decir, será **oportuno** si la información de las estaciones de monitoreo esta disponible en tiempo real y la información validada es entregada por los operadores en plazos inferiores a 1 mes. Será **confiable** si la operación y mantención de la estación cuenta con un programa documentado de control y aseguramiento de calidad y será **representativa** si se fiscaliza continuamente el cumplimiento de las condiciones de instalación de la estación y que no se produzcan cambios en su entorno que alteren tanto la exposición (crecimiento de árboles y construcciones cercanas) como las concentraciones esperadas (aumento de flujo en calles cercanas, fuentes emisoras locales). Para estos efectos, se recomienda incluir los criterios anteriores en una actualización del Reglamento de monitoreo (D.S. N°61/2008) siguiendo el ejemplo de la Comunidad Económica Europea que mediante la directiva 2008/20/CE establece para NO₂ seguir la Norma técnica UNE-EN 14211:2013 disponibles en a “EUROPEAN STANDARDS (<https://www.en-standard.eu/>).
- Para la implementación de modelación y estudios de fotoquímica es necesario mejorar la caracterización de VOC en la cuenca de la RM.
- Los resultados de modelación fotoquímica, junto con el análisis de la data disponible de las estaciones existentes y las indicaciones de publicaciones científicas, dan señales consistentes para considerar en el diseño de mediciones permanentes o campañas temporales de caracterización la atmósfera, con el fin de mejorar la comprensión de la complejidad de los procesos fotoquímicos en la RM, particularmente la necesidad de incorporar una estación de monitoreo, al menos para NO₂, O₃ y MP_{2,5}, en la zona norte de la RM, específicamente en la comuna de Colina para establecer los niveles de exposición de la población en los núcleos urbanos de esa comuna.

³² <https://entidadestecnicas.sma.gob.cl/Home/RegistroPublico>

	ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA DE NO₂, D.S. N° 114 DEL 2002, DEL MINSEGPRES RESUMEN EJECUTIVO	 Ministerio del Medio Ambiente
---	---	--

Recomendaciones en materia de Inventarios de emisiones

Los antecedentes generales usados en la elaboración de los inventarios para todas las zonas contempladas en el estudio se encuentran contenidos principalmente en las siguientes fuentes:

- Recopilación, revisión y validación de información obtenida desde el Sistema 138³³, año 2017 para fuentes fijas
- Recopilación, revisión y validación de información base para fuentes móviles y de área que están contenidas en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), año 2017 en base al estudio “*Estimación de Fuentes no Puntuales para la Generación del Duodécimo Reporte del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC)*” SISTAM Ingeniería 2018 para la Subsecretaría del MMA. Se obtuvieron las emisiones provenientes de fuentes móviles y de área asociadas a incendios forestales, urbanos, quemas agrícolas y combustión de leña.
- “*Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país*”, 2014, GEASUR. (en adelante “estudio GEASUR 2014”)
- “*Manual para el desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas*”, Departamento de Economía Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente, diciembre 2017.
- Estudios específicos desarrollados para el MMA en el marco de elaboración de planes de descontaminación para Calama, Concón-Quintero-Puchuncaví, Valparaíso interior, Gran Concepción y la Región Metropolitana.

Un aspecto de mejora es la completitud de los datos contenidos en las declaraciones de sistema 138, particularmente en los datos de caracterización de física de las fuentes, como los datos de los ductos de emisión que eventualmente son usados para efectos de modelación.

³³ Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas o Formulario 138 (F138), obligación establecida en el D.S. N° 138/2005 del MINSAL