



**ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LAS
NORMAS PRIMARIAS DE CALIDAD DE AIRE PARA
DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂),
MONÓXIDO DE CARBONO (CO),
OZONO (O₃),
DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)**

LICITACIÓN N° 1588-72-LE-09

INFORME FINAL

**PREPARADO PARA
COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE**



GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

DICIEMBRE 2009

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	RESUMEN EJECUTIVO	12
1.1	Avances científicos sobre los efectos crónicos y agudos de los contaminantes sobre la salud	13
1.1.1	Dióxido de Azufre (SO ₂)	14
1.1.2	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	14
1.1.3	Ozono (O ₃)	15
1.1.4	Monóxido de Carbono (CO)	16
1.2	Revisión de normativas nacionales e internacionales de calidad de aire relacionadas con los contaminantes en estudio SO ₂ , O ₃ , NO ₂ y CO	17
1.2.1	Dióxido de Azufre (SO ₂)	17
1.2.2	Dióxido de Nitrógeno	19
1.2.3	Ozono	21
1.2.4	Monóxido de Carbono	23
1.2.5	Complejidad de los datos en medición de contaminantes criterios	24
1.2.6	Métodos de medición	25
1.2.7	Niveles de contingencia	26
1.2.8	Criterios de muestreo de la calidad del aire	27
1.3	Revisión de la eficacia y eficiencia de las norma primarias de calidad del aire en estudio	28
1.3.1	Nivel de cumplimiento por contaminante	28
1.4	Establecimiento de los riesgos asociados a las actuales condiciones de calidad del aire y beneficios en salud asociados a la incorporación de las normas propuestas	34
1.4.1	Riesgos asociados a las actuales condiciones de calidad del aire	34
1.4.2	Beneficios en salud asociado a la incorporación de las normas propuestas	37
1.5	Revisión de las principales fuentes emisoras de Dióxido de Azufre, Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Monóxido de Carbono. Estimación de los potenciales de reducción	38
1.5.1	Dióxido de Azufre (SO ₂)	38
1.5.2	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	39
1.5.3	Monóxido de Carbono (CO)	40
1.5.4	Ozono (O ₃)	41
1.6	Propuesta de Cambio en la normativa	41
2	INTRODUCCIÓN	47
3	AVANCES CIENTÍFICOS SOBRE LOS EFECTOS CRÓNICOS Y AGUDOS DE LOS CONTAMINANTES SOBRE LA SALUD	49
3.1	Desarrollo de las guías de la OMS	49
3.1.1	Criterio para la selección de un nivel mínimo en el que se observan efectos (LOAEL)	50
3.1.2	Criterio para la selección de factores de incertidumbre	50
3.1.3	Criterios para la selección del tiempo de exposición a promediar	50
3.1.4	Desarrollo del Proceso	50
3.1.5	Relación exposición - respuesta	51
3.1.6	Para pasar de directrices a normas	51
3.1.7	Los factores a considerar en la fijación de una Norma de Calidad del Aire	51
3.1.8	Factores de Incertidumbre	52
3.1.9	Análisis Costo-beneficio y otros factores	52

3.1.10 Estándar EPA	52
3.2 Dióxido de Azufre (SO ₂).....	53
3.2.1 Antecedentes internacionales – Guías de la OMS	53
3.2.2 Antecedentes internacionales – Normas de la EPA	56
3.2.3 Antecedentes nacionales	60
3.2.4 Resumen	60
3.3 Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	61
3.3.1 Antecedentes internacionales – Guías de la OMS	61
3.3.2 Antecedentes internacionales – Normas de la EPA	63
3.3.3 Antecedentes nacionales	66
3.3.4 Resumen	67
3.4 Ozono (O ₃)	68
3.4.1 Antecedentes internacionales – Guías de la OMS	68
3.4.2 Antecedentes internacionales – Normas de la EPA	69
3.4.3 Antecedentes nacionales	71
3.4.4 Resumen	72
3.5 Monóxido de Carbono (CO).....	72
3.5.1 Antecedentes internacionales – Guías de la OMS	72
3.5.2 Antecedentes internacionales – Normas de la EPA	72
3.5.3 Antecedentes nacionales	73
3.5.4 Resumen	73
4 REVISIÓN DE NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES DE CALIDAD DE AIRE RELACIONADAS CON LOS CONTAMINANTES NORMADOS: SO₂, O₃, NO₂ Y CO.	75
4.1 Breve historia reglamentaria en materia de calidad de aire para países seleccionados	75
4.1.1 Organización Mundial de la Salud.....	75
4.1.2 Unión Europea.....	76
4.1.3 Estados Unidos.....	76
4.1.4 Chile	77
4.1.5 Argentina	77
4.1.6 Brasil.....	78
4.1.7 México	78
4.1.8 China	78
4.1.9 Japón.....	79
4.1.10 Sudáfrica	79
4.1.11 Australia.....	80
4.2 Valores límites de Contaminantes Normados y criterios de excedencia	80
4.2.1 Valores límites y criterios de excedencia para Dióxido de Azufre (SO ₂).....	81
4.2.2 Valores límites y criterios de excedencia para Ozono (O ₃).....	85
4.2.3 Valores límites y criterios de excedencia para Dióxido de Nitrógeno (NO ₂).....	88
4.2.4 Valores límites y criterios de excedencia para Monóxido de Carbono (CO)	91
4.3 Completitud de los datos en medición de contaminantes Criterios	94
4.4 Cronología de normas de calidad de aire según países seleccionados	97
4.4.1 Línea de tiempo de promulgación y enmienda de valores límites para los países estudiados.....	97
4.5 Métodos de Medición.....	102

4.5.1	Análisis por país de métodos de medición de Dióxido de Azufre en estaciones de monitoreo	103
4.5.2	Análisis por país de métodos de medición de Ozono en estaciones de monitoreo	105
4.5.3	Métodos de medición de Dióxido de Nitrógeno en estaciones de monitoreo. Análisis por país.....	106
4.5.4	Análisis por país de métodos de medición de Monóxido de Carbono en estaciones de monitoreo.	107
4.6	Fiscalización y Períodos de regulación	108
4.6.1	Unión Europea.....	108
4.6.2	Estados Unidos.....	110
4.6.3	Chile	113
4.6.4	Argentina y Brasil.....	113
4.6.5	México	114
4.6.6	China.....	115
4.6.7	Japón.....	116
4.6.8	Sudáfrica	117
4.6.9	Australia.....	117
4.7	Niveles de Contingencia	117
4.8	Criterios de muestro de calidad de aire.....	125
4.8.1	Unión Europea.....	125
4.8.2	Estados Unidos.....	128
5	REVISIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA.....	132
5.1	Revisión de la eficacia y aplicabilidad de las normas desde su dictación hasta el presente. Cumplimiento de los plazos establecidos para control de la calidad de aire.	132
5.1.1	Monitoreo de la calidad ambiental.....	132
5.1.2	Declaración de zonas saturadas o latentes, según corresponda, si la contaminación excede los niveles aceptables de la norma.....	137
5.1.3	Implementación de un plan de descontaminación para el contaminante en la zona declarada saturada o latente	137
5.2	Revisión de la eficiencia de las normas	137
5.3	Revisión de cumplimiento de normas	138
5.3.1	Región Metropolitana.....	138
5.3.2	Región de Valparaíso	149
5.3.3	Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	158
5.3.4	Región de Antofagasta	165
5.4	Resumen de Capítulo	168
6	ESTABLECIMIENTO DE LOS RIESGOS ASOCIADOS A LAS ACTUALES CONDICIONES DE CALIDAD DEL AIRE	169
6.1	Metodología de cálculo de riesgo	169
6.1.1	Modelo de riesgo	169
6.1.2	Población.....	170
6.1.3	Exposición a los contaminantes.....	171
6.1.4	Efectos en salud: tasas bases	172
6.1.5	Estimados del riesgo en salud asociados a exposición (betas).....	173
6.2	Metodología de valorización social de los beneficios en salud.....	174
6.2.1	Consideraciones sobre las metodologías de valoración.....	174

6.2.2	Escenarios de valoración.....	176
6.3	Resultados: riesgos en salud asociados a los niveles actuales de exposición.....	180
6.4	Resultados: Valorización económica y social de los riesgos en salud asociados a los niveles actuales de exposición.....	182
6.5	Resumen de capítulo.....	183
7	REVISIÓN DE LAS PRINCIPALES FUENTES EMISORAS DE DIÓXIDO DE AZUFRE, OZONO, DIÓXIDO DE NITRÓGENO Y MONÓXIDO DE CARBONO. ESTIMACIÓN DE LOS POTENCIALES DE REDUCCIÓN.....	184
7.1	Emisiones y potencial de reducción de Dióxido de Azufre (SO ₂).....	184
7.1.1	Fundiciones de cobre.....	184
7.1.2	Termoeléctricas.....	193
7.2	Emisiones y potencial de reducción de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂).....	195
7.2.1	Fuentes fijas.....	196
7.2.2	Potencial de reducción de emisiones del sector termoeléctrico.....	196
7.2.3	Fuentes móviles.....	198
7.2.4	Potencial de reducción de emisiones para buses.....	201
7.2.5	Potencial de reducción de emisiones de vehículos livianos.....	205
7.3	Emisiones y potencial de reducción para Monóxido de Carbono (CO).....	208
7.3.1	Fuentes móviles.....	209
7.3.2	Potencial de reducción de emisiones de vehículos livianos.....	209
7.4	Formación de Ozono (O ₃).....	212
7.4.1	Titulación de Ozono.....	213
7.4.2	Regímenes de formación de Ozono.....	213
7.4.3	Políticas de control de Ozono.....	215
7.5	Resumen capítulo.....	220
7.5.1	Dióxido de Azufre (SO ₂).....	220
7.5.2	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂).....	221
7.5.3	Monóxido de Carbono (CO).....	221
7.5.4	Ozono (O ₃).....	222
8	BENEFICIOS EN SALUD ASOCIADOS A LA INCORPORACIÓN DE LAS NORMAS PROPUESTAS.....	223
8.1	Metodología de cálculo de beneficios en salud.....	223
8.2	Escenarios de reducción de contaminantes asociados a la incorporación de normas propuestas.....	223
8.3	Resultados: beneficios en salud asociados a la incorporación de normas propuestas	224
8.4	Resultados: Valorización económica y social de beneficios en salud asociados a la incorporación de normas propuestas.....	226
8.5	Resumen capítulo.....	228
9	PROPUESTA DE CAMBIO EN LA NORMATIVA.....	228
10	CONSULTORA Y PERSONAS QUE HAN PARTICIPADO EN LA ELABORACIÓN DE ESTE ESTUDIO.....	234
11	REFERENCIAS.....	235
12	ANEXOS.....	241

Anexo 1. Comparación entre redes privadas y públicas de monitoreo de gases con respecto a número recomendado por Comunidad Europea.	241
Anexo 2. Resumen de porcentajes (%) de días válidos para compuestos con Norma de Calidad Primaria de Aire, para estaciones de monitoreo, 2000 a 2008. Datos obtenidos de SINCA.	244
Anexo 3.1. Niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008, Región Metropolitana	253
Anexo 3.2. Niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008, Región de Valparaíso	256
Anexo 3.3. Niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008, Región del Libertador General Bernardo O’Higgins	261
Anexo 3.4. Niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008, Región de Antofagasta	265

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Valores Límites de SO ₂ para Normas Primarias de Calidad de Aire a Nivel Internacional	18
Tabla 1.2. Valores Límites de NO ₂ para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio.....	20
Tabla 1.3. Valores Límites de O ₃ para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio.....	22
Tabla 1.4. Valores Límites de CO para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio.....	23
Tabla 1.5. Métodos de medición para contaminantes en estudios utilizados a nivel internacional	25
Tabla 1.6. Propuesta de cambio en la normativa	42
Tabla 1.7. Recomendación respecto de criterio de completitud de los datos, criterio de excedencia y monitoreo	45
Tabla 1.8. Recomendación respecto de principio de monitoreo	46
Tabla 3.1. Índice de calidad de aire (AQI)	58
Tabla 3.2. Índice de Calidad de Aire para SO ₂	59
Tabla 3.3. Niveles que determinan Región I o II.....	59
Tabla 3.4. Niveles sugeridos para planes de contingencia a nivel estatal	60
Tabla 3.5. Niveles de emergencia ambiental a nivel nacional	60
Tabla 3.6. AQI para NO ₂	65
Tabla 3.7. Niveles que determinan Región I o II.....	66
Tabla 3.8. Niveles sugeridos para planes de contingencia a nivel estatal	66
Tabla 3.9. Niveles de emergencia ambiental a nivel nacional	66
Tabla 3.10. Resumen de evidencia en Chile.....	66
Tabla 3.11. AQI para O ₃	70
Tabla 3.12. Niveles que determinan Región I o II.....	70
Tabla 3.13. Niveles sugeridos para planes de contingencia a nivel estatal	70
Tabla 3.14. Niveles de emergencia ambiental a nivel nacional	71
Tabla 4.1. Valores Guías para SO ₂ de la Organización Mundial de la Salud.....	81
Tabla 4.2. Valores Límites de SO ₂ para normas primarias de Calidad de Aire de los países en estudio.....	82
Tabla 4.3. Valores guías y objetivos intermedios para el Ozono OMS 2005	85

Tabla 4.4. Valores Límites de O ₃ para normas primarias de Calidad de Aire para los 11 países en estudio.....	86
Tabla 4.5. Valores guías para NO ₂ de la OMS (2000-2005).....	88
Tabla 4.6. Valores Límites de NO ₂ para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio.....	90
Tabla 4.7. Valores guía para Monóxido de Carbono de la OMS (2000 y 2005).....	91
Tabla 4.8. Valores Límites de CO para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio.....	92
Tabla 4.9. Métodos de Referencia del Gobierno Federal de USA.....	103
Tabla 4.10. Métodos de medición para SO ₂ por país.....	104
Tabla 4.11. Métodos de medición para O ₃ por país.....	105
Tabla 4.12. Métodos de medición para NO ₂ por país.....	106
Tabla 4.13. Métodos de medición para CO por país.....	107
Tabla 4.14. Niveles de alerta, preemergencia, y emergencia de calidad de aire y medidas control de emisiones de contingencia.....	119
Tabla 4.15. Resumen de efectos de salud y grupos de riesgo para distintos niveles de índices de calidad de aire y contaminantes para Estados Unidos (EPA, 2009).....	120
Tabla 4.16. Niveles de Alerta, Preemergencia y Emergencia para concentraciones SO ₂ en países estudiados.....	122
Tabla 4.17. Niveles de Alerta, Preemergencia y Emergencia para concentraciones O ₃ en países estudiados.....	123
Tabla 4.18. Niveles de Alerta, Preemergencia y Emergencia para concentraciones NO ₂ en países estudiados.....	123
Tabla 4.19. Niveles de Alerta, Preemergencia y Emergencia para concentraciones CO en países estudiados.....	124
Tabla 4.20. Categorización de estaciones de monitoreo de gases y criterios de localización, según Comunidad Europea.....	126
Tabla 4.21. Recomendaciones para determinar el mínimo de estaciones de monitoreo de SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , Pb, benceno, y Monóxido de Carbono en el aire ambiente.....	126
Tabla 4.22. Tipos de estaciones de monitoreo de Ozono y precursores y sus objetivos para la EPA (2008).....	131
Tabla 5.1. Número de estaciones públicas actuales, recomendadas y requeridas para gases de acuerdo a criterios de Comunidad Europea.....	135
Tabla 5.2. Límites de emergencia Ambiental.....	137
Tabla 6.1. Población de las comunas estudiadas.....	170
Tabla 6.2. Estaciones asignadas para las comunas de la provincia de Santiago.....	171
Tabla 6.3. Efectos en salud considerados: Población susceptible y tasa base considerada.....	173
Tabla 6.4. Estimados de riesgo en salud por exposición a O ₃ usados en este estudio ..	174
Tabla 6.5. Valoración de efectos en salud, tomados del Acta del Aire Limpio 1990-2010 (Environmental Protection Agency, USA).....	177
Tabla 6.6. Valoración de efectos en salud para el escenario nacional.....	178
Tabla 6.7. Resumen de escenarios de valoración en dólares de 2008.....	179
Tabla 6.8. Casos evitables atribuibles a reducción en exposición a contaminantes asociados a implementación de normas propuestas.....	180
Tabla 6.9. Valoración de los beneficios sociales y económicos asociados a la implementación de las normas propuestas considerando las mediciones del año 2008 como base (en miles de USD).....	182
Tabla 7.1. Emisiones de Dióxido de Azufre fundiciones.....	191

Tabla 7.2. Eficiencia producción-emisiones de SO ₂	191
Tabla 7.3. Potencial de reducción de emisiones fundiciones	192
Tabla 7.4. Tecnologías de fusión, conversión y refinación de cobre utilizadas por las fundiciones	193
Tabla 7.5. Emisiones de Dióxido de Azufre centrales termoeléctricas	193
Tabla 7.6. Potencial de Reducción de Emisiones Dióxido de Azufre.....	195
Tabla 7.7. Distribución de emisiones de NO _x por fuente de origen.....	196
Tabla 7.8: Emisiones anuales sector termoeléctrico.....	197
Tabla 7.9. Potencial de reducción de emisiones Óxidos de Nitrógeno.....	198
Tabla 7.10. Distribución flota de buses según función y capacidad.....	201
Tabla 7.11. Nivel de actividad buses Transantiago.....	201
Tabla 7.12. Factores de emisión según norma y tipo de bus	202
Tabla 7.13. Emisiones de NOx buses Región Metropolitana año 2008.....	202
Tabla 7.14. Reducción de emisiones con homologación norma Euro IV	203
Tabla 7.15. Emisiones de NOx para el país (excluida RM) año 2008.....	204
Tabla 7.16. Factores de emisión buses de transporte público.....	204
Tabla 7.17. Reducción de emisiones de NOx para buses de transporte público para el país (excluida RM).....	205
Tabla 7.18. Emisiones de NOx según Norma de emisiones.....	205
Tabla 7.19. Distribución de emisiones vehículos livianos a gasolina año 2008, RM.....	206
Tabla 7.20. Potencial de reducción de emisiones de NOx para vehículos livianos a gasolina	207
Tabla 7.21. Emisiones NOx de vehículos livianos para el total del país (excluida RM) ..	207
Tabla 7.22. Potencial de reducción de emisiones de NOx para vehículos livianos a gasolina, resto del país.....	208
Tabla 7.23. Emisiones de CO según Norma de emisiones.....	209
Tabla 7.24: Distribución de emisiones de CO vehículos livianos a gasolina año 2008, RM.....	210
Tabla 7.25. Potencial de reducción de emisiones de CO para vehículos livianos a gasolina	211
Tabla 7.26. Potencial de reducción de emisiones de CO para vehículos livianos a gasolina a nivel país (excluida RM).....	212
Tabla 7.27. Principales medidas de control de Ozono para Estados Unidos, Óxidos de Nitrógeno.....	216
Tabla 7.28. Control de fuentes móviles fuera de ruta.....	216
Tabla 7.29 Control de emisiones de fuentes móviles	217
Tabla 7.30 Medidas de largo plazo y para efecto de isla calórica.....	218
Tabla 8.1. Resumen de normativas propuestas.....	223
Tabla 8.2. Porcentaje de reducción de contaminantes necesario para cumplir normas propuestas por comuna.....	224
Tabla 8.3. Casos evitables atribuibles a reducción en exposición a contaminantes asociados a implementación de normas propuestas.....	225
Tabla 8.4. Valoración de los beneficios sociales y económicos asociados a la implementación de las normas propuestas considerando las mediciones del año 2008 como base (en miles de USD).....	227
Tabla 9.1. Propuesta de cambio en la normativa	229
Tabla 9.2. Recomendación respecto de criterio de completitud de los datos, criterio de excedencia y monitoreo	232
Tabla 9.3. Recomendación respecto de principio de monitoreo	233

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Comparación de las normas diarias de calidad de aire para Dióxido de Azufre.	19
Figura 1.2. Valores límite de NO ₂ norma horaria para países estudiados.	21
Figura 1.3. Comparación valores límite O ₃ norma 8 horas para distintos países estudiados.	23
Figura 1.4. Comparación de valores de CO en norma horaria.	24
Figura 1.5. Serie de tiempo de media anual de SO ₂ , Quinta Región, separación por estación	29
Figura 1.6. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO ₂ , Sexta Región, separación por estación.	30
Figura 1.7. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO ₂ , Segunda Región, separación por estación.	30
Figura 1.8. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, RED MACAM, separación por estación.	31
Figura 1.9. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM	31
Figura 1.10. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO ₂ , Sexta Región, separación por estación.	32
Figura 1.11. Serie de tiempo de media anual de NO ₂ , Quinta Región, separación por estación.	32
Figura 1.12. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO ₂ , RED MACAM, separación por estación.	33
Figura 1.13. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, RED MACAM, separación por estación.	33
Figura 1.14. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, Quinta Región, separación por estación.	34
Figura 4.1. Comparación de las normas diarias de calidad de aire para Dióxido de Azufre	84
Figura 4.2. Comparación valores límite O ₃ norma 8 horas para distintos países estudiados, en µg/m ³	88
Figura 4.3. Valores límite de NO ₂ norma horaria para países estudiados, en µg/m ³ - Valores vigentes en el 2009.	91
Figura 4.4. Valores límites de CO en norma horaria para países estudiados, en µg/m ³ ...	93
Figura 5.1. Estaciones de monitoreo de Red MACAM y su representatividad poblacional utilizando un radio de 2km alrededor.	133
Figura 5.2. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, RED MACAM, separación por estación.	139
Figura 5.3. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM	140
Figura 5.4. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, RED MACAM, separación por estación.	141
Figura 5.5. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM.	141
Figura 5.6. Concentración de Ozono máxima modelada por sistema WRF-CHEM, versión desarrollada por Universidad de Chile	142

Figura 5.7. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, RED MACAM, separación por estación.....	143
Figura 5.8. Días por sobre norma de calidad de aire de O ₃ 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM	144
Figura 5.9. Días por sobre valor guía de OMS para O ₃ 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM	144
Figura 5.10. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO ₂ , RED MACAM, separación por estación.....	145
Figura 5.11. Días por sobre norma de calidad de aire de NO ₂ 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM.....	146
Figura 5.12. Días por sobre valor guía de OMS para NO ₂ 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM	146
Figura 5.13. Serie de tiempo de media anual de NO ₂ , RED MACAM, separación por estación.....	147
Figura 5.14. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO ₂ , RED MACAM, separación por estación.....	148
Figura 5.15. Serie de tiempo de media anual de SO ₂ , RED MACAM, separación por estación	148
Figura 5.16. Localización de grandes fuentes y estaciones de monitoreo de gases, Quinta Región.....	150
Figura 5.17. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, Quinta Región separación por estación.....	151
Figura 5.18. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región	151
Figura 5.19. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, Quinta Región, separación por estación.....	152
Figura 5.20. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región.....	152
Figura 5.21. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, Quinta Región, separación por estación.....	153
Figura 5.22. Días por sobre norma de calidad de aire de O ₃ 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región	154
Figura 5.23. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO ₂ , Quinta Región, separación por estación.....	154
Figura 5.24. Días por sobre norma de calidad de aire de NO ₂ 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región	155
Figura 5.25. Serie de tiempo de media anual de NO ₂ , Quinta Región, separación por estación	155
Figura 5.26. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO ₂ , Quinta Región, separación por estación.....	156
Figura 5.27. Días por sobre norma de calidad de aire de SO ₂ 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región	157
Figura 5.28. Serie de tiempo de media anual de SO ₂ , Quinta Región, separación por estación.....	157
Figura 5.29. Localización de grandes fuentes de emisión, y de las estaciones de monitoreo de la Sexta Región.....	159
Figura 5.30. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, Sexta Región separación por estación.....	160

Figura 5.31. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, Sexta Región, separación por estación.	160
Figura 5.32. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, Sexta Región, separación por estación.....	161
Figura 5.33. Días por sobre norma de calidad de aire de O ₃ 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Sexta Región.....	161
Figura 5.34. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO ₂ , Sexta Región, separación por estación.....	162
Figura 5.35. Serie de tiempo de media anual de NO ₂ , Sexta Región, separación por estación	162
Figura 5.36. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO ₂ , Sexta Región, separación por estación.....	163
Figura 5.37. Días por sobre norma de calidad de aire de SO ₂ 24 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de la Sexta Región.....	164
Figura 5.38. Serie de tiempo de media anual de SO ₂ , Sexta Región, separación por estación	164
Figura 5.39. Localización de Grandes Fuentes de emisión y estaciones de monitoreo, Segunda Región.	166
Figura 5.40. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO ₂ , Segunda Región, separación por estación.....	167
Figura 5.41. Serie de tiempo de media anual de SO ₂ , Segunda Región, separación por estación	167
Figura 7.1. Emisión Fundición Chuquicamata periodo 2002-2008 de SO ₂	186
Figura 7.2. Emisión fundición Potrerillos periodo 1999-2008 de SO ₂	187
Figura 7.3. Emisiones fundición Hernán Videla Lira periodo 1995-2004 de SO ₂	188
Figura 7.4. Emisión fundición Caletones periodo 1998-2008 de SO ₂	189
Figura 7.5. Emisión fundición y refinería Ventanas periodo 1993-2008.....	190
Figura 7.6: Distribución de emisiones de NOx, según tipo de fuente móvil	198
Figura 7.7. Parque vehicular RM	199
Figura 7.8. Parque vehicular nacional (excluida RM).	200
Figura 7.9. Distribución de emisiones de NOx para buses según norma de emisión en RM	203
Figura 7.10. Distribución de emisiones de NOx para buses a nivel país (excluida RM).	204
Figura 7.11. Distribución de emisiones de NOx, según norma para vehículos a gasolina.	206
Figura 7.12. Emisiones de NOx en vehículos livianos para el total del país (excluida RM), año 2008.....	208
Figura 7.13: Distribución emisiones de CO según tipo de fuente móvil.....	209
Figura 7.14: Distribución de emisiones según norma, vehículos a gasolina.	210
Figura 7.15: Emisiones de CO vehículos livianos para el total del país (excluida RM), 2008	211
Figura 7.16. Contribución de emisiones por tipo de fuente para NOx en Región Metropolitana.....	215
Figura 7.17: Contribución de emisiones por tipo de fuente para COVs en Región Metropolitana.....	215

1 RESUMEN EJECUTIVO

Las normas primarias de calidad de aire son instrumentos que permiten prevenir la exposición de la población a contaminantes presentes en la atmósfera. Establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población, y definen los niveles que originan situaciones de emergencia¹

Es así como el 17 de Diciembre de 1999, se da inicio al proceso de revisión de normas primarias de calidad del aire para Anhídrido Sulfuroso (SO₂), Partículas Totales en Suspensión (PTS), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂), dando como resultado las actuales normas primarias de calidad de aire para Anhídrido Sulfuroso, Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Monóxido de Carbono contenidos en cuatro decretos supremos D.S. N° 112 (D.O. 06.03.2003), D.S. N° 113 (D.O. 06.03.2003), D.S. N° 114 (D.O. 06.03.2003), D.S. N° 115 (D.O. 10.09.2002).

En el tiempo transcurrido desde la dictación de las normas primarias de calidad del aire hasta el presente se han registrado avances en el conocimiento sobre la contaminación atmosférica y sus impactos en la salud humana. También, existen nuevas actualizaciones de las regulaciones a nivel internacional que es necesario considerar.

Transcurridos más de cinco años desde la última actualización se hace necesario revisar las normas primarias de calidad de aire como establece el reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión D.S. N°93.

El objeto de este estudio fue revisar las normas de calidad primaria contenidas en los decretos supremos: D.S. N° 112, D.S. N° 113, D. S. N° 114 y D.S. N° 115; de manera de evaluar su implementación e identificar los posibles cambios que sean necesarios de realizar para mejorar la eficacia y eficiencia de su aplicación.

Además el estudio permitió:

- Contar con un análisis de los resultados de las investigaciones científicas nacionales e internacionales que aporten antecedentes nuevos sobre efectos adversos de los contaminantes a las personas o sobre nuevas metodologías de medición.
- Contar con un análisis sobre la normativa internacional de manera de comparar y aprovechar las experiencias existentes en la actualización de

¹ Artículo 2° Decreto Supremo N°93 de 1995." Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión".

las normativas (metodología de medición, criterios de excedencia, entre otros).

- Revisar los antecedentes considerados para la determinación de la norma y de los cambios en las condiciones ambientales desde el momento de dictación de las normas antiguas.
- Contar con una propuesta fundamentada de actualización de las normas de calidad primaria en base al análisis en los objetivos anteriores.

1.1 Avances científicos sobre los efectos crónicos y agudos de los contaminantes sobre la salud

En esta revisión de antecedentes científicos se recurrió a la revisión sistemática de dos fuentes principales de información, las Guías de Calidad de Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los documentos asociados a los estándares de calidad de aire de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés).

El propósito principal de las guías de calidad del aire de la OMS, cuya última revisión se llevó a cabo en el año 2005², es entregar las bases para proteger la salud pública de los efectos de la contaminación del aire, y lograr la eliminación o reducción a niveles mínimos de los contaminantes que son conocidos o probablemente dañinos para la salud de las personas.

De esta forma, las guías de calidad de aire de la OMS (GCA) proveen antecedentes sobre contaminantes y entregan recomendaciones para las naciones al momento de elaborar estándares de calidad del aire. En ellas prevalece la información sobre niveles de exposición y características del medio ambiente, sociales, económicas y culturales relacionadas con cada nación o región estudiada.

Por su parte, los estándares de calidad del aire de la EPA, están asociados a la declaración del Acta del Aire Limpio (Clean Air Act)³ emanada del Congreso de los Estados Unidos. En esta acta se mandataba la creación de Estándares Nacionales de Calidad de Aire (National Ambient Air Quality Standards – NAAQS) para los contaminantes criterios. Estos contaminantes “criterio” a grandes rasgos se definen como aquellos contaminantes que se encuentran ampliamente distribuidos por el territorio de los Estados Unidos y que suponen un riesgo importante a la

² WHO (2005). Air Quality Guidelines- Global Update (Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe).

³ EPA (1999). The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010. November 1999.

salud de la población. Actualmente, tanto el SO₂, NO₂, O₃ como el CO son contaminantes criterio.

A continuación, se presentan los principales antecedentes referidos a los límites establecidos para los contaminantes en estudio (SO₂, NO₂, O₃ y CO), establecidos tanto por la OMS y por la EPA.

1.1.1 Dióxido de Azufre (SO₂)

La OMS, ha propuesto guías de calidad de aire para SO₂ de 24 horas y 10 minutos basados largamente en estudios clínicos con sujetos asmáticos realizando ejercicio físico y en estudios de series de tiempo y morbilidad respiratoria. Gran relevancia tienen los estudios de intervención en Hong Kong⁴. Los valores propuestos son de 188 ppb [500 µg/m³] para un período de 10 minutos y de 7,5 ppb [20 µg/m³] para un período de 24 horas. El valor de largo plazo, expresado como promedio anual, ha sido retirado recientemente⁵.

La EPA, basándose en los estudios clínicos con asmáticos⁶, está estudiando un nuevo estándar de 1 hora con concentraciones de entre 50 ppb [125 µg/m³] y 150 ppb [393 µg/m³]. A su vez se considera revisar y eventualmente dependiendo del nivel de 1 hora eliminar los estándares de 24 horas y anual. Cabe destacar que los estándares actuales de la EPA datan de 1971⁷.

En Chile, la norma vigente es de 96 ppb [250 µg/m³] como promedio de 24 horas y de 31 ppb [80 µg/m³] como media anual⁸. No existe una norma de corto plazo, ya sea de 1 hora ó 10 minutos, que permita proteger la salud de la población.

1.1.2 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

La guía actual de la OMS para NO₂ incluye valores para la exposición de corto y largo plazo. Primeramente, existe un valor guía de corto plazo para el promedio de 1 hora de 110 ppb [200 µg/m³]. El estándar de largo plazo es anual y corresponde a un promedio de concentraciones de 21 ppb [40 µg/m³].

⁴ Wong, C.M., Ma, S., Hedley, A.J., and Lam, T.H. (2001). Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong. *Environ Health Perspect* 109, 335-340.

⁵ WHO (2005). Air Quality Guidelines- Global Update (Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe).

⁶ Linn, W.S., Venet, T.G., Shamoo, D.A., Valencia, L.M., Anzar, U.T., Spier, C.E., and Hackney, J.D. (1983). Respiratory effects of sulfur dioxide in heavily exercising asthmatics. A dose-response study. *The American review of respiratory disease* 127, 278-283.

⁷ EPA (2009b). Risk and Exposure Assessment for the SO₂ NAAQS.

⁸ Norma primaria de calidad del aire para Dióxido de Azufre (SO₂) D.S. N° 113 de 2002 Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

El valor de 1 hora de la guía fue primeramente propuesto en las guías del año 2000 con un valor idéntico al actual. Este valor fue mantenido en las guías del año 2005⁹. Asimismo, la guía anual fue introducida el año 2000 y mantenida el 2005 con el mismo valor.

La actual norma de la EPA para el NO₂ es de 53 ppb [100 µg/m³] como promedio anual, cuyo valor data de 1971¹⁰. Se han hecho revisiones de los documentos criterio para NO₂ en 1982 y 1993. Pese a la incorporación de nueva evidencia, no se encontró necesario modificar el estándar de anual de NO₂ o introducir nuevos estándares.

Actualmente, los estándares se encuentran en proceso de revisión, cuyos resultados se esperan para Enero de 2010, donde se sugerirá la incorporación de un nuevo estándar de corto plazo de un promedio de exposición de 1 hora con una concentración entre 80 y 100 ppb [150 y 188 µg·m³], con un rango inferior de 65 ppb [122 µg·m³] y un rango máximo de 150 ppb [282 µg/m³].

La EPA sugiere además, que las redes de monitoreo también se emplacen en sitios con un alto impacto de tráfico de modo de medir los niveles de la población más expuesta a las emisiones del tráfico vehicular.

En Chile la norma vigente es de 213 ppb [400 µg/m³] como promedio de 1 hora y de 53 ppb [100 µg/m³] como media anual¹¹, ambos más del doble de los valores guías recomendado por la OMS.

1.1.3 Ozono (O₃)

La primera guía para O₃ apareció en las guías de 1987. Era una guía para concentración de 1 hora y consideraba un rango entre 75-100 ppb [150 a 200 µg/m³]. Luego, en la revisión del 2000 el valor de 1 hora fue reemplazado por el de 8 horas cuya concentración correspondía a 60 ppb [120 µg/m³]. Finalmente la guía para una concentración de 8 horas fue reemplazada en la revisión del 2005, donde se ha planteado en períodos de 8 horas un valor de 50 ppb [100 µg/m³] basado principalmente en estudios de series de tiempo que analizan la mortalidad y estudios clínicos de exposición en cámaras¹².

⁹ WHO (2005). Air Quality Guidelines- Global Update (Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe).

¹⁰ EPA (2009a). Risk and Exposure Assessment for the NO₂ NAAQS.

¹¹ Norma primaria de calidad del aire para Dióxido de Carbono (NO₂), D.S. N° 114 de 2002, Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

¹² Horstman, D.H., Folinsbee, L.J., Ives, P.J., Abdul-Salaam, S., and McDonnell, W.F. (1990). Ozone concentration and pulmonary response relationships for 6.6-hour exposures with five hours of moderate exercise to 0.08, 0.10, and 0.12 ppm. *The American review of respiratory disease* 142, 1158-1163.

La norma de la EPA ha evolucionado desde una norma de 1 hora para una concentración de 120 ppb [$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$] implementada el año 1986, a una de 8 horas que fue introducida el año 1996 con un valor de 80 ppb [$160 \mu\text{g}/\text{m}^3$]. El año 2008 se revisó la norma de 8 horas al valor actual de 75 ppb [$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$].

Recientemente aparecieron 2 estudios que han tenido un gran impacto, los estudios de Adams (Adams 2002¹³ y 2006¹⁴). Estos estudios de exposición en cámaras replican los resultados anteriores pero encuentran que algunos sujetos muestran reacciones de función pulmonar a concentraciones tan bajas como 60 ppb [$160 \mu\text{g}/\text{m}^3$]. Estas observaciones están en línea con un estándar del nivel de las guías de la OMS.

Sin embargo, le EPA en consideración a estos estudios rebajó su estándar a 75 ppb [$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$] en consideración a estos estudios argumentando que este valor era suficiente para proteger la salud pública con un adecuado margen de seguridad. Además, se menciona que la Acta de Aire Limpio no indica la necesidad de obtener niveles de riesgo cero sino de niveles que reduzcan el riesgo lo suficiente para proteger la salud pública con un margen adecuado de seguridad.

En Chile la norma vigente es de 61 ppb [$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$] como promedio de 8 horas¹⁵.

1.1.4 Monóxido de Carbono (CO)

La guía actual de la OMS para CO es de 25 ppm [$27 \mu\text{g}/\text{m}^3$] para 1 hora y 10 ppm [$12 \mu\text{g}/\text{m}^3$] para 8 horas. Estos valores se han matenido desde la publicación por primera vez de las Guías de calidad del aire en el año 1987.

Las actuales normas de la EPA para el CO son de 35 ppm [$40 \text{mg}/\text{m}^3$] como promedio de 1 hora y de 9 ppm [$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$] como promedio de 8 horas. Estos estándares no han sido modificados desde su creación en 1971.

Tanto la norma de la EPA como las guías de la OMS se basan en estudios de concentración de carboxihemoglobina en la sangre.

No existen estudios científicos recientes que indiquen un cambios las guías de la OMS o estándares propuestos por la EPA.

¹³ Adams, W.C. (2002). Comparison of chamber and face-mask 6.6-hour exposures to ozone on pulmonary function and symptoms responses. *Inhal Toxicol* 14, 745-764.

¹⁴ Adams, W.C. (2006). Comparison of chamber 6.6-h exposures to 0.04-0.08 PPM ozone via square-wave and triangular profiles on pulmonary responses. *Inhal Toxicol* 18, 127-136.

¹⁵ Norma primaria de calidad del aire para Ozono (O_3), D.S. N° 112 de 2002, Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Para el caso de Chile, la norma actual es de 26 ppm [28 mg/m³] para 1 hora y 9 ppm [10 mg/m³] para 8 horas¹⁶. Los estándares nacionales son similares a los propuestos internacionalmente.

1.2 Revisión de normativas nacionales e internacionales de calidad de aire relacionadas con los contaminantes en estudio SO₂, O₃, NO₂ y CO

Este capítulo presenta una comparación de la normativa nacional e internacional relativa a la calidad del aire, considerando valores máximos permisibles, las situaciones de prevención alerta y emergencia, las tecnologías y métodos de medición, y el seguimiento y control de las medidas que se implementan, analizando los contaminantes de estudio (SO₂, NO₂, O₃ y CO).

Los países u organizaciones consideradas en base a una representación heterogénea cultural y geográfica son: la Organización Mundial de la Salud, Estados Unidos, la Unión Europea, México, Argentina, Brasil, China, Japón, Sudáfrica y Australia.

1.2.1 Dióxido de Azufre (SO₂)

A continuación, en la Tabla 1.1 se presentan los valores límites de SO₂, además de los tiempos de exposición con excedencias permitidas para los países o agrupaciones de países (caso de la Unión Europea), considerados.

En general, la exposición de tiempo considerado para este contaminante es de 24 horas y de 1 año. Los valores de la norma anual están en concentraciones que fluctúan alrededor de los 30 ppb, como es el caso de Chile, excepto para China (zona residencial), Australia y Sudáfrica, que tienen concentraciones máximas más estrictas de 23, 20 y 19 ppb [60, 52 y 50 µg/m³] respectivamente. La Unión Europea y Japón no tienen esta norma y USA está proponiendo reemplazarlas por la de una hora.

Por otro lado, la norma de 24 horas presenta variadas concentraciones límites en los distintos países, desde 40 ppb [105 µg/m³] para Japón hasta 140 ppb [367 µg/m³] para Estados Unidos, así como para Argentina y Brasil. Chile tiene una concentración de 96 ppb [250 µg/m³], que se acerca más a la norma australiana, pero Australia solo permite 1 excedencia mientras que Chile 4 al año (implícitamente en la definición del percentil 99). Chile se asemeja más a la Unión Europea en cuanto a la cantidad de excedencia permitida, pero el valor límite

¹⁶ Norma primaria de calidad del aire para Monóxido de Carbono (CO), D.S. N° 115 de 2002, Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

normado en Europa es de 50 ppb [$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$], aproximadamente la mitad del valor de Chile.

Tabla 1.1. Valores Límites de SO₂ para Normas Primarias de Calidad de Aire a Nivel Internacional

País	Valor límite SO ₂ (ppb)	Tiempo promedio	Excedencia o condiciones de superación
Estados Unidos	140 [$365 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de una vez al año.
	30 [$80 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	Ninguna.
	50-150 [$125-393 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 hora	Propuesto
Unión Europea	130 [$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 hora	No más de 24 veces anuales Valor límite aplicable desde 01-01-2005.
	50 [$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de 3 veces anuales Valor límite aplicable desde 01-01-2005.
Chile	96 [$250 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	Promedio de 3 años del percentil 99 de los máximos diarios observados en 1 año calendario.
	31 [$80 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	Promedio aritmético de 3 años consecutivos es mayor o igual a lo indicado.
Argentina	140 [$365 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de una vez al año.
	31 [$80 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	-
Brasil	140 [$365 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de una vez al año.
	31 [$80 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	-
México	130 [$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de una vez al año.
	30 [$80 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	-
China (I, II, III)	60/200/300 [$150/500/700 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 hora	Ninguna
	19/57/96 [$50/150/250 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	
	8/23/38 [$20/60/100 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	
Japón	100 [$261 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 hora	Ninguna
	40 [$105 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	
Sudáfrica	191 [$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	10 min.	Ninguna
	48 [$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	
	19 [$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	
Australia	200 [$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 hora	1 día al año
	80 [$210 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	1 día al año
	20 [$52 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	Ninguna

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4.1, compara las normativas diarias internacionales, en relación al valor para SO₂ recomendado por la OMS (8 ppb [$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$] en su última actualización del año 2005).

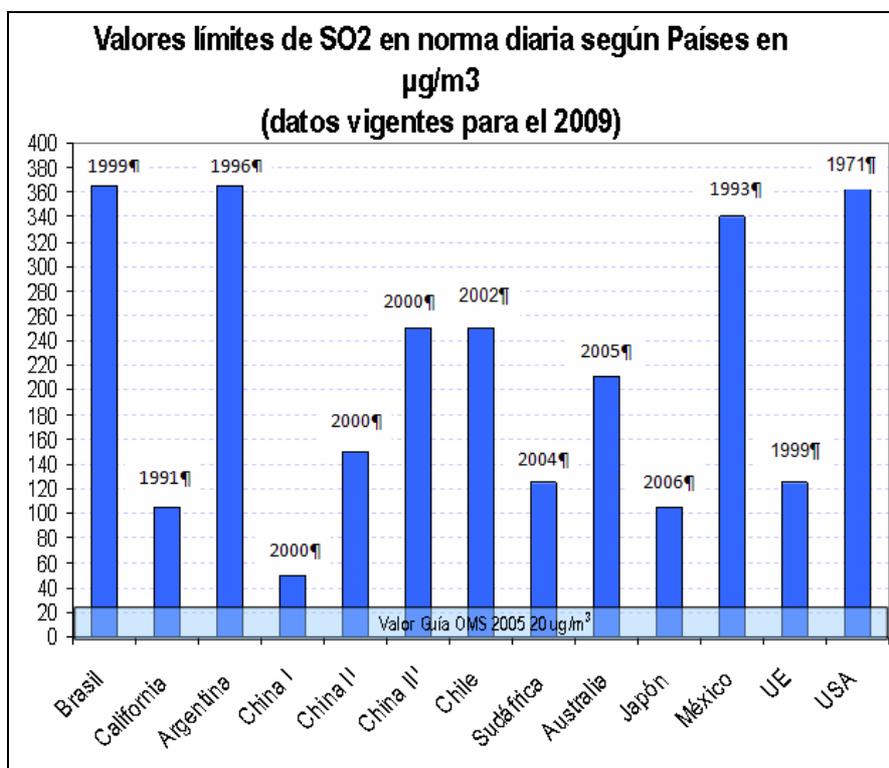


Figura 1.1. Comparación de las normas diarias de calidad de aire para Dióxido de Azufre.
Fuente: Elaboración propia.

1.2.2 Dióxido de Nitrógeno

La Tabla 4.6, presenta los valores límites de NO₂ de los países estudiados, además de tiempos de exposición con excedencias permitidas. Uno de los países que luego de 38 años revisó la norma de NO₂ para incorporar un nuevo estándar horario es Estados Unidos. La norma horaria propuesta sugiere concentraciones máximas entre 65 y 150 ppb [122 µg/m³ – 282 µg/m³]. El 22 de enero del 2010 finalmente se fijó el nuevo estándar de 1 hora al nivel de 100 ppb [188 µg/m³] que define la concentración máxima permitida en cualquier parte de un área. Es decir, protege, según la EPA, contra los efectos asociados con una exposición de NO₂ de corto tiempo, incluyendo efectos respiratorios que pueden resultar en admisiones hospitalarias. En cuanto a las condiciones de superación, el nuevo estándar se rige por el promedio de 3 años del percentil 99 de una distribución anual de los máximos diarios de concentraciones promedios de 1 hora. Chile tiene una norma horaria desde el 2002, del doble de la Unión Europea y la OMS (213 ppb vs. 106 ppb).

Tabla 1.2. Valores Límites de NO₂ para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio

País	Valor límite NO ₂ (ppb)	Tiempo promedio	Excedencia o condiciones de superación
Estados Unidos	65 - 150 [122 µg/m ³ – 282 µg/m ³] 100 [188 µg/m ³] (Final)	1 hora	No más de una vez al año
	53 [100 µg/m ³]	1 año	-
Unión Europea	106 [200 µg/m ³]	1 hora	No puede superarse más de 18 veces (=18 horas) por año. Valor límite aplicable el 01-01-2010
	21 [40 µg/m ³]	1 año	n/a Valor límite aplicable 01-01-2010 (1)
Chile	213 [400 µg/m ³]	1 hora	Promedio aritmético de 3 años consecutivos del percentil 99 de los máximos promedios registrados durante un año no pueden ser mayores o igual a lo indicado
	53 [100 µg/m ³]	1 año	Promedio aritmético de 3 años consecutivos es mayor o igual a lo indicado.
Argentina	200 [367 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
	53 [100 µg/m ³]	1 año	Ninguna.
Brasil	170 [320 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
	53 [100 µg/m ³]	1 año	Ninguna.
México	210 [395 µg/m ³]	1 hora	No más de una vez al año.
China (I, II, III)	60/60/130 [120/240/240 µg/m ³]	1 hora	Ninguna
	40/40/60 [80/120/120 µg/m ³]	24 horas	
	20/20/40 [40/80/80 µg/m ³]	1 año	
Japón	40 – 60 [80 µg/m ³ -113 µg/m ³]	24 horas	Ninguna
Sudáfrica	200 [376 µg/m ³]	1 hora	No se especifica
	100 [188 µg/m ³]	24 horas	No se especifica
	50 [94 µg/m ³]	1 año	No se especifica
Australia	120 [226 µg/m ³]	1 hora	No más de una vez al año.
	30 [56 µg/m ³]	1 año	Ninguna.

Fuente: Elaboración propia.

Las normas anuales que limitan las concentraciones de NO₂ se encuentran alrededor de 50 ppb, salvo para el caso de Australia y la Unión Europea. En la Figura 4.3, se observa que Chile posee el valor norma de concentraciones de NO₂ menos exigente entre los países considerados, seguido por México, Argentina y Brasil.

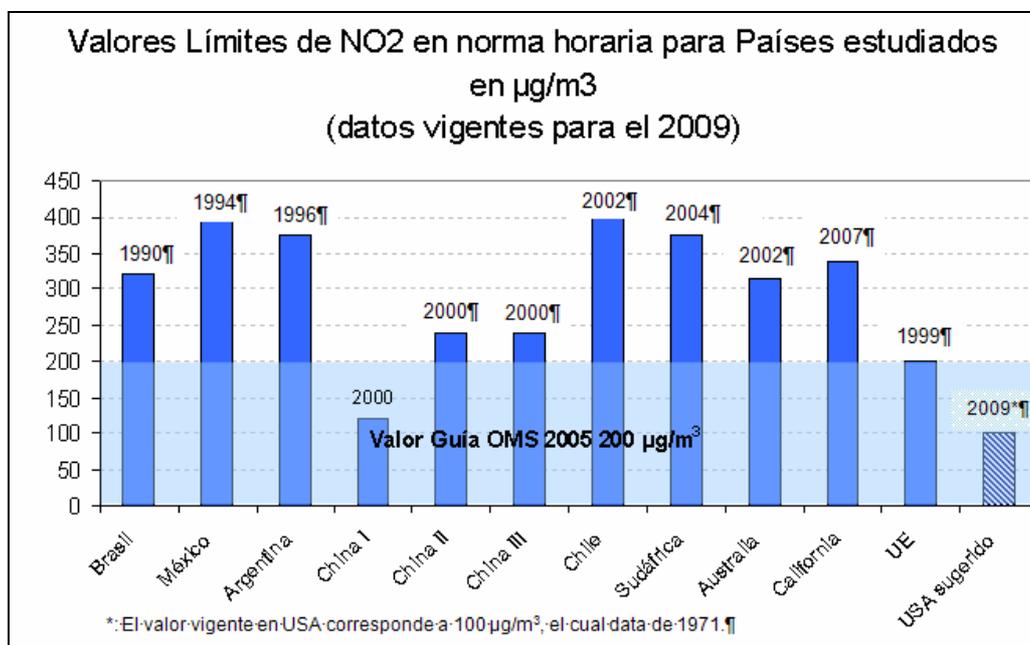


Figura 1.2. Valores límite de NO₂ norma horaria para países estudiados.

Fuente: Elaboración propia.

1.2.3 Ozono

Con respecto al Ozono, en general los países analizados presentan tiempos de exposición normados de 1 y 8 horas. Las concentraciones reguladas en 1 hora son más comunes entre los países, y los niveles de concentración se limitan alrededor de 100 ppb [196 µg/m³]. Nuevamente es Japón el país que tiene valores límites más exigentes, mientras Estados Unidos junto a Sudáfrica y Argentina son los países que tienen valores límites más altos para este contaminantes, 120 ppb [236 µg/m³]. Chile y la Unión Europea no tienen norma horaria.

Por otro lado, pocos países tienen norma de 8 horas para Ozono, entre los que cuentan Chile, Estados Unidos, Unión Europea y México. En Chile, el valor normado de concentración para O₃ en 8 horas es equivalente a los exigidos por la Unión Europea, pero se presentan condiciones de superación más exigentes en la Unión Europea. Sin embargo, el valor de concentración para este contaminante que rige en Chile aún corresponde al valor guía recomendado por la OMS en el año 2000.

La Tabla 4.4, presenta los valores límites de O₃, además de tiempos de exposición con excedencias permitidas para los países considerados. Uno de los países que está reconsiderando nuevamente la revisión de su valor límite para O₃ es Estados Unidos. En junio del 2012, está prevista la revisión de los valores límites de este

contaminante por la EPA con una decisión final de mantener o cambiar el valor en marzo del 2013.

Tabla 1.3. Valores Límites de O₃ para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio

País	Valor límite O ₃ (ppb)	Tiempo promedio	Excedencia (o condiciones de superación)
Estados Unidos	120 [235 µg/m ³]	1 hora	Una vez al año
	75 [160 µg/m ³]	8 horas	El promedio de tres años consecutivos del cuarto valor más alto anual del máximo diario no debe superar el valor norma.
Unión Europea	61 [120 µg/m ³]	8 horas	No se puede sobrepasar más de 25 días por año, promediado en 3 años, a partir del 01-01-2010.
Chile	61 [120 µg/m ³]	8 horas	Promedio de 3 años del percentil 99 de los máximos diarios observados en 1 año calendario.
Argentina	120 [235 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
Brasil	80 ppb [160 µg/m ³]	1 hora	No más de una vez al año.
México	110 [216 µg/m ³]	1 hora	No se puede exceder más de 1 vez al año y se calcula considerando al menos 75% de los valores horarios diarios (18 horas). Si hay menos de 75% de los datos, la norma no se cumple si uno de los valores horarios es mayor a 110 ppb
	80 [157 µg/m ³]	8 horas	4 veces al año. La concentración del promedio de 8 horas debe ser menor o igual a 80 ppb, tomado como el 5to máximo dentro de un año.
China I, II y III	60/80/100 [120/160/200 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
Japón	60 [118 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
Sudáfrica	120 [235 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
Australia	100 [200 µg/m ³]	1 hora	Una vez al año.
	400 [200 µg/m ³]	4 horas	Una vez al año.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.2, se presenta una comparación de los límites de concentración de O₃ en 8 horas en países como Chile, Estados Unidos y México contrastados con el límite propuesto por los valores guía de calidad del aire de la OMS en el año 2000.

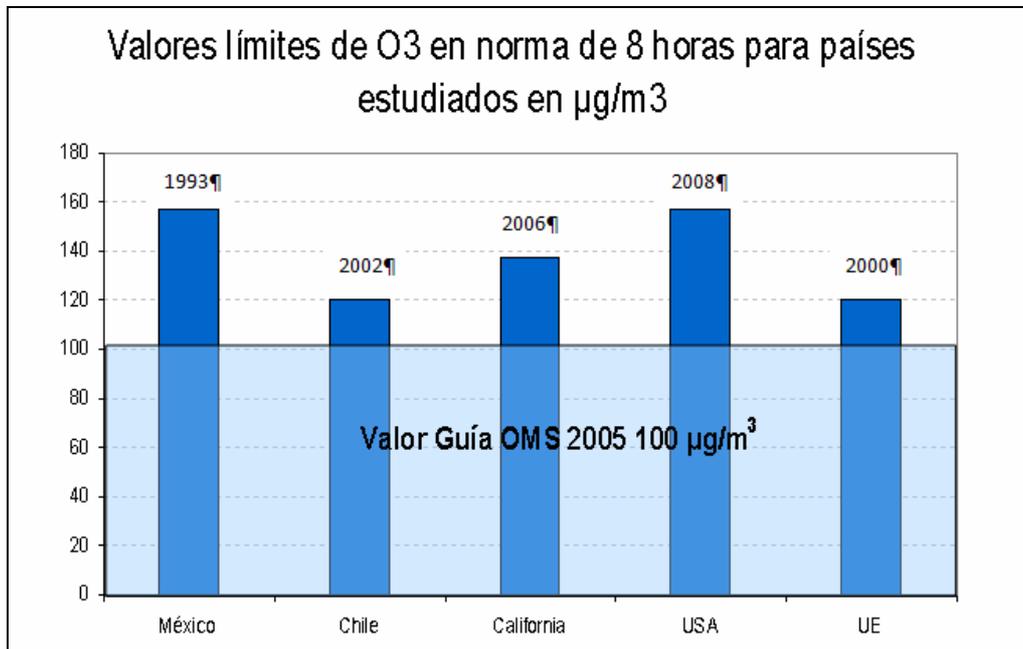


Figura 1.3. Comparación valores límite O₃ norma 8 horas para distintos países estudiados.
Fuente: elaboración propia.

1.2.4 Monóxido de Carbono

La Tabla 4.8, muestra los valores límites de CO para los países estudiados, además de tiempos de exposición con excedencias permitidas. Además en la Figura 1.4, se presenta la comparación de los valores norma para CO de 1 hora para distintos países comparado con el valor guía de la OMS publicado en el 2005. Estados Unidos tiene previsto comenzar el proceso de revisión de la norma en octubre del 2010 y decidir acerca de actualizar o mantener los valores en mayo del 2011.

Tabla 1.4. Valores Límites de CO para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio

País	Valor límite CO (ppm)	Tiempo Promedio	Excedencia o condiciones de superación
Estados Unidos	35 [40.000 µg/m ³]	1 hora	No más de una vez al año.
	9 [10.000 µg/m ³]	8 horas	No más de una vez al año.
Unión Europea	9 [10.000 µg/m ³]	8 horas	Valor límite aplicable desde 01-01-2010
Chile	26 [30.000 µg/m ³]	1 hora	Promedio aritmético de 3 años consecutivos del percentil 99 de los máximos promedios de 1 hora registrados durante un año no puede ser mayor o igual a lo indicado
	9 [10.000 µg/m ³]	8 horas	
Argentina	35 [40.082 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
	9 [10.000 µg/m ³]	8 horas	Ninguna.

País	Valor límite CO (ppm)	Tiempo Promedio	Excedencia o condiciones de superación
Brasil	50 [57.250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 hora	No más de una vez al año.
	10 [11.450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	8 horas	No más de una vez al año.
México	11 [12.595 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	8 horas	Ninguna
China I, II, III	9/9/18 [10.000/10.000/20.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 hora	Ninguna
	4/4/5 [4.000/4.000/6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	
Japón	20 [22.800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	8 horas	Ninguna
	10 [11.400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	Ninguna
Sudáfrica	No hay Valores Norma	-	-
Australia	15 [17.670 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	8 horas	No más de una vez al año.

Fuente: Elaboración propia.

Japón, China y Chile presentan valores límites de CO mucho menos estrictos que los límites para CO de 25 ppm [27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] para períodos de 1 hora y 10 ppm [12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] para períodos de 8 horas recomendados por la OMS, y que de la mayoría de los países considerados en este estudio.

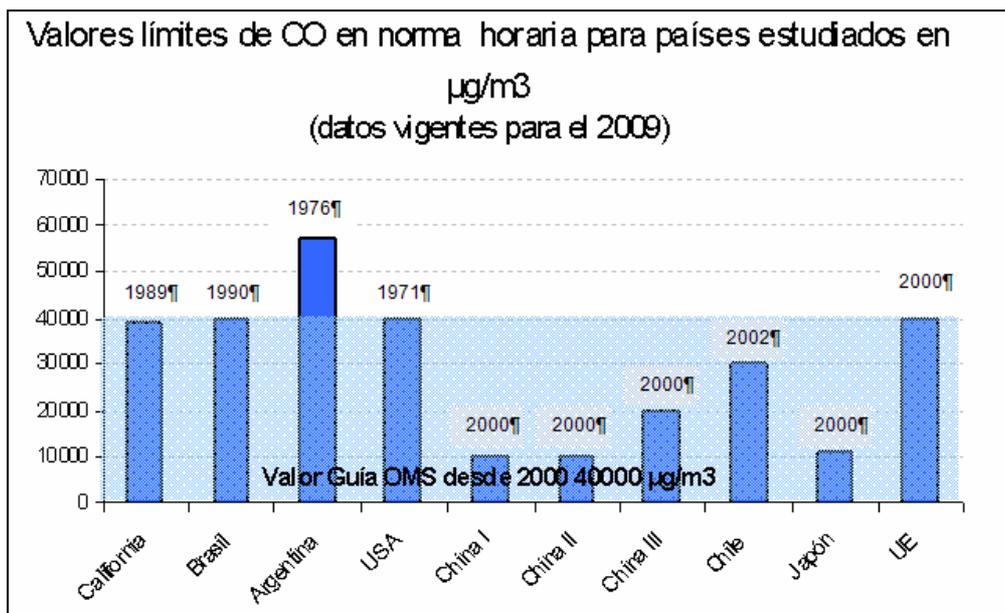


Figura 1.4. Comparación de valores de CO en norma horaria.

Fuente: elaboración propia.

1.2.5 Completitud de los datos en medición de contaminantes criterios

La completitud de los datos se refiere a la cantidad de datos que deben existir para considerar como válida la información de concentración de contaminantes en cada sitio de monitoreo y así poder evaluar con certeza la calidad de aire. Estos criterios se revisan por contaminante, tomando como referencia a Estados Unidos y la Unión Europea.

Cabe notar que, a nivel general, independientemente del período de exposición normado (1 hora, 24 hora, 1 año), la información es válida en tanto se dispongan con al menos el 75 por ciento de los datos.

1.2.6 Métodos de medición

La especificación de los métodos de medición en la formulación de estándares de calidad de aire es crucial para determinar y cumplir con las normas primarias de calidad de aire. Las muestras de gases que se toman para revisar el cumplimiento de la norma también sirven para la efectividad del control, así como también para determinar relaciones entre niveles de contaminación y salud ambiental.

En general, se nombran dos métodos de medición de calidad del aire, los de referencia y los de equivalencia. Los métodos de referencia, son aquellos utilizados como estándar, los cuales deben ser usados para determinar el cumplimiento de la norma.

Por otro lado, los métodos de equivalencia, que aplican principios de medición distintos a los de referencia han demostrado arrojar resultados semejantes y consistentes en relación al método de referencia. La equivalencia con los métodos de referencia la establece alguna institución autorizada basada en la aplicación de pruebas al principio de operación o funcionamiento del instrumento.

Los métodos que se presentan en la Tabla 1.5, son los métodos de referencia declarados en las normativas de los países considerados, los que en la mayoría de los casos se basan en los requisitos elaborados por la EPA., por lo que los métodos de medición de los contaminantes criterios usados por los países son semejantes.

Tabla 1.5. Métodos de medición para contaminantes en estudios utilizados a nivel internacional

País	Contaminante			
	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO
Estados Unidos	Espectrofotometría (método de Pararosanilina)	Quimiluminiscencia fase gaseosa	Fotometría Ultravioleta	Fotometria infrarroja no dispersiva
California	Pararosanilina y Fluorescencia UV	Quimiluminiscencia fase gaseosa	Fotometría Ultravioleta	Fotometria infrarroja no dispersiva
Unión Europea	Fluorescencia ultravioleta	Quimiluminiscencia	Fotometría Ultravioleta	Espectroscopía infrarroja no dispersiva
México	Pararosanilina	Quimiluminiscencia en fase gaseosa	Quimiluminiscencia	Absorción infrarroja por medio de un fotómetro no dispersivo

País	Contaminante			
	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO
Brasil	Pararrosanilina	Quimiluminiscencia	Quimiluminiscencia	Espectroscopía infrarroja no dispersiva
China	Fluorescencia ultravioleta y método DOAA	Quimiluminiscencia y método DOAS	Fluorescencia Ultravioleta	N/A
Japón	Fluorescencia UV o conductimétrico	Método de Griess-Saltzman modificado o Quimiluminiscencia usando Ozono	Espectrofotometría con absorción de solución neutra de yoduro de potasio, espectrofotometría con absorción ultravioleta; o Quimiluminiscencia con Etileno	Método analítico infrarrojo no dispersivo
Australia	Analizador molecular fluorescencia UV	Quimiluminiscencia	Fotometría Ultravioleta	Fotometria infrarroja no dispersiva
Argentina	Técnicas de muestreo de EPA	Técnicas de muestreo EPA	Fotometría Ultravioleta	Fotometria infrarroja no dispersiva
Chile	Fluorescencia ultravioleta	Quimiluminiscencia en fase gaseosa Método de Griess-Saltzman modificado	Fotometría de Absorción Ultravioleta y Quimiluminiscencia con Etileno	Fotometria infrarroja no dispersiva

1.2.7 Niveles de contingencia

En Chile históricamente se han establecidos niveles de contingencia, fundamentados bajo distintos enfoques, ya sea por umbrales de efectos a salud, o niveles de riesgo. Estos niveles de alerta fundamentalmente se definen basados en índices de calidad de aire, que usualmente coinciden en que el valor 100 equivale al valor norma. Usualmente el valor de alerta se define como el valor 100 o 200 del índice de calidad de aire.

Dentro de los países con niveles de contingencia para SO₂ destacan Chile, Argentina, y Sudáfrica, con valores regulados de 750, 1000, 1500 ppb, respectivamente. En general, la mayoría de los países establecen niveles de 8

horas y 24 horas para la contingencia. Por ejemplo, Brasil y Estados Unidos tienen niveles de alerta de 24 horas para SO_2 de alrededor de 300 ppb, pero no regulan episodios de menor duración.

Respecto de los niveles de contingencia para el NO_2 en los países estudiados, en general, se regulan niveles en forma similar, alrededor de 600 ppb para las alertas en Estados Unidos, Chile, y Argentina.

Para concentraciones de O_3 en los países estudiados, se observa que en general los períodos regulados para contingencia son todos de 1 hora. Se destaca la Unión Europea con niveles de 120 ppb en alerta. Estados Unidos, México, Brasil, y Chile poseen límites de 200 ppb hacia arriba. Dentro de Latinoamérica, Argentina destaca por tener el nivel más bajo de alerta, definido en 150 ppb.

Para el caso del CO , en general es un compuesto que no es considerado prioritario. Estados Unidos y Chile presentan los niveles de Alerta más bajos. Brasil, Argentina, y México presentan valores mayores.

1.2.8 Criterios de muestreo de la calidad del aire

La Unión Europea en su directiva PE-CONS 3696/07, asociada a la directiva de calidad de aire 2008/50 EU, define criterios para la evaluación de la calidad de aire del continente. Esta organización, establece que las estaciones de monitoreo, deberán situarse, a lo menos, una estación por cada dos millones de habitantes, o una por cada 50.000 km^2 . Aquellas estaciones de monitoreo que registren concentraciones de NO_2 deberán ser ubicadas a la mitad de la distancia que estaciones que midan sólo Ozono. Se exige de requerimientos de medición a lugares no habitados, e industrias que tengan provisiones de salud ocupacional adecuadas, y carreteras sin pasos peatonales.

Por su parte la EPA tiene recomendaciones para establecer redes de monitoreo específicas para el Ozono. Particularmente, distingue entre evaluar cumplimiento de la norma, desarrollar seguimiento de políticas de control de emisiones y datos para estudios de salud y calidad de aire. Para los estándares de 1 hora y 8 horas, se requieren un mínimo de dos estaciones de monitoreo para ciudades de más de 200.000 personas. Si no existe cumplimiento de norma se agregan hasta 5 estaciones, con la finalidad de hacer seguimiento de precursores, y de la formación de ozono dentro de la cuenca.

Para las estaciones se definen aquellas que representan fenómenos de micro escala y macro escala. Para la macro escala se recomienda que las estaciones viento arriba se encuentren dentro de la trayectoria de la dirección del viento preponderante matinal de la zona estudiada, y la estación viento abajo debe localizarse dentro de la dirección del viento preponderante de la tarde. La estación

viento arriba tiene por objeto medir la concentración background de Ozono, así también la concentración de sus precursores. La estación viento abajo busca encontrar el peak de Ozono.

1.3 Revisión de la eficacia y eficiencia de las norma primarias de calidad del aire en estudio

La actual red de monitoreo cubre prácticamente el 45% de la población de Chile¹⁷. Para cumplir las recomendaciones de la Comunidad Europea, considerando ciudades con más de 50.000 personas se requerirían 47 estaciones de monitoreo nuevas a un costo total de 6.415.500 USD. Esta estimación se realizó considerando el criterio establecido por la Comunidad Europea el cual establece una estación de monitoreo por cada 2 millones de habitantes. En la sección 5.1.1, se presenta el número de estaciones de monitoreo requeridas aplicando el criterio recomendado por la Comunidad Europea para cada región.

1.3.1 Nivel de cumplimiento por contaminante

De acuerdo al sitio web oficial del Sistema de Información de Calidad del aire Chile cuenta con un total de 183 estaciones de monitoreo, donde el 89% corresponden a estaciones privadas, cuyo enfoque de medición se basa en requerimientos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Esto hace que estas estaciones no se enfoquen en representatividad e impactos a salud, sino en un seguimiento de las emisiones de grandes fuentes. Por esto, muchas veces las estaciones están localizadas en lugares de máximo impacto de emisiones, lo que tiene menor utilidad para contaminantes como el Ozono.

1.3.1.1 Dióxido de azufre (SO₂).

En cuanto a calidad de aire en Chile, se observa que los centros industriales mineros persisten en niveles altos que superan norma anual y diaria de SO₂. Tanto en Calama como en Coya se ha constatado un empeoramiento reciente fruto del aumento de emisiones de SO₂ por una mayor producción de cobre.

En la Región Metropolitana, la norma de SO₂ tanto para concentraciones de 24 horas como para concentración anual son ampliamente cumplidas, encontrándose concentraciones hasta 6 veces inferiores a los límites vigentes. En la Región de Valparaíso, la mayoría de las estaciones evaluadas cumple con la norma de SO₂ para concentraciones de 24 horas. Sin embargo, se puede observar

¹⁷ Cálculo estimado considerando aquellas comunas que poseen dentro de sus límites una estación de monitoreo y criterio de existencia de un área habitada edificada dentro de un radio de 2 km contados desde la ubicación de la estación.

concentraciones anuales en las distintas estaciones cercanas al límite esto debido principalmente a la operación de la fundición de ventanas. La norma anual en cambio no es superada por ninguna estación, dando cuenta de la efectividad de los planes vigentes.

En la Región de O'Higgins, hoy en día no se cumple el límite para concentraciones de 24 horas en la estaciones de monitoreo Coya Club, Coya Población y Cipreses. Todas estas estaciones se encuentran altamente impactadas por la Fundición Caletones, la cual ha estado afecta a un plan de descontaminación que ha logrado disminuir sus emisiones en casi 90% (Ver Capítulo 7). Sin embargo, desde el año 2005 han vuelto a aumentar sus emisiones declaradas, lo que podría explicar el reciente repunte de las concentraciones de SO₂, en la estación Coya Población.

La implementación de los valores guías para SO₂ de la OMS (7.5 ppb de 24 horas) haría que todos los sectores donde existen fundiciones no cumplirían la norma (Figura 1.5, Figura 1.6 y Figura 1.7).

Un estándar de 7,5 ppb en 24 horas asegura una mayor protección a la salud humana, en especial a la población vulnerable, como menores de edad, asmáticos, tercera edad, alérgicos, entre otros. Sin embargo, la modificación propuesta por la OMS en el año 2005, podría ocasionar que en promedio se supere este nuevo estándar entre un 30% a 40%¹⁸, para algunas de las estaciones de monitoreo ubicadas en las ciudades. Es así como en la RM, por ejemplo, se tendría que las estaciones de Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, Independencia, Parque O'higgins, y Pudahuel (en orden de concentraciones) superarían ese valor guía.

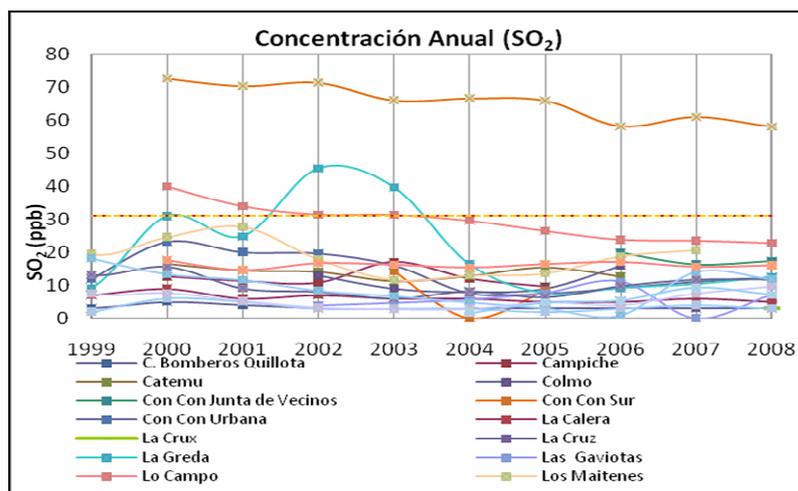


Figura 1.5. Serie de tiempo de media anual de SO₂, Quinta Región, separación por estación

¹⁸ Porcentaje obtenido a partir de valores históricos de estaciones de monitoreo. Datos disponibles en CD anexo.

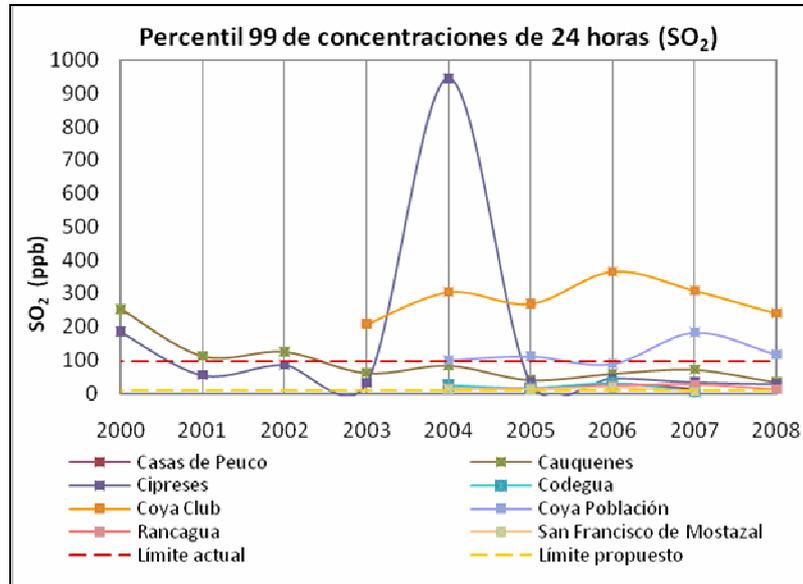


Figura 1.6. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO₂, Sexta Región, separación por estación.

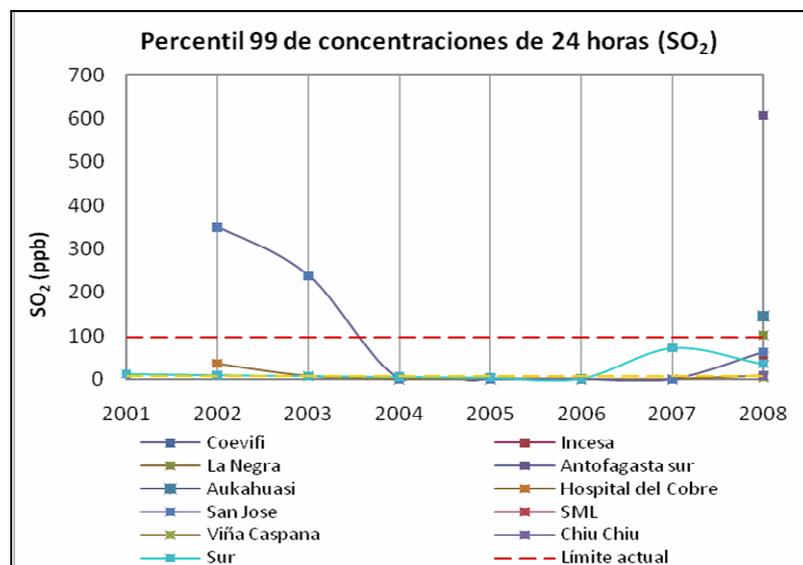


Figura 1.7. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO₂, Segunda Región, separación por estación.

1.3.1.2 Monóxido de Carbono (CO).

Las normas de calidad de aire de CO se cumplen en todas las estaciones en Chile, a excepción de algunas estaciones en Santiago (Figura 1.8 y Figura 1.9).

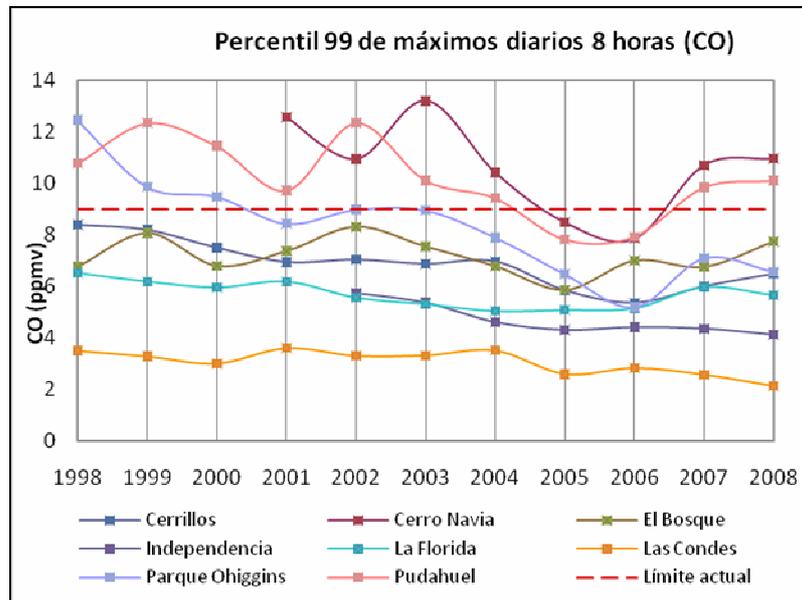


Figura 1.8. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, RED MACAM, separación por estación.

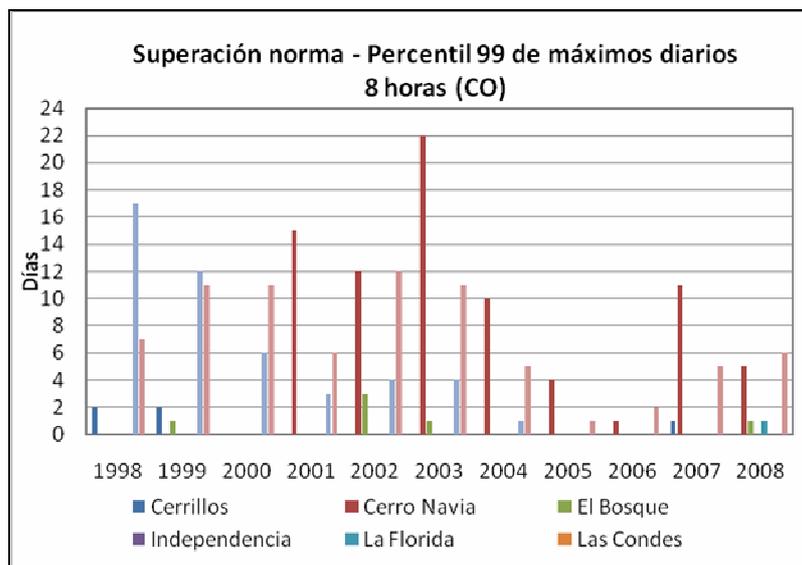


Figura 1.9. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM

1.3.1.3 Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

La norma actual de NO₂ se cumple en todo el territorio nacional. Concentraciones de NO₂ horaria y anual superan los valores guías de la OMS en la Sexta Región (Casas de Peuco, Figura 1.10), Quinta Región (La Calera, Figura 1.11), y Región

Metropolitana (Las Condes, Figura 1.12). La norma actual de NO_2 , no se cumple en Las Condes, La Florida y Parque O'Higgins, esto se atribuye fundamentalmente a las emisiones areales de compuestos orgánicos volátiles, incluidas fuentes residenciales y móviles.

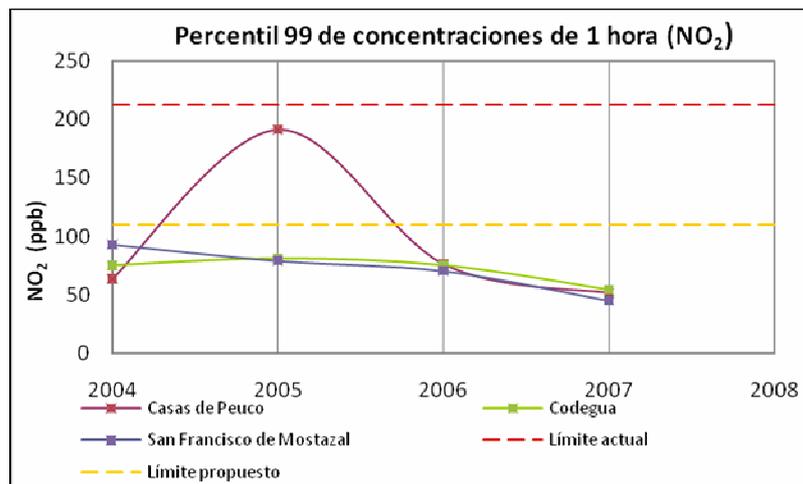


Figura 1.10. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO_2 , Sexta Región, separación por estación

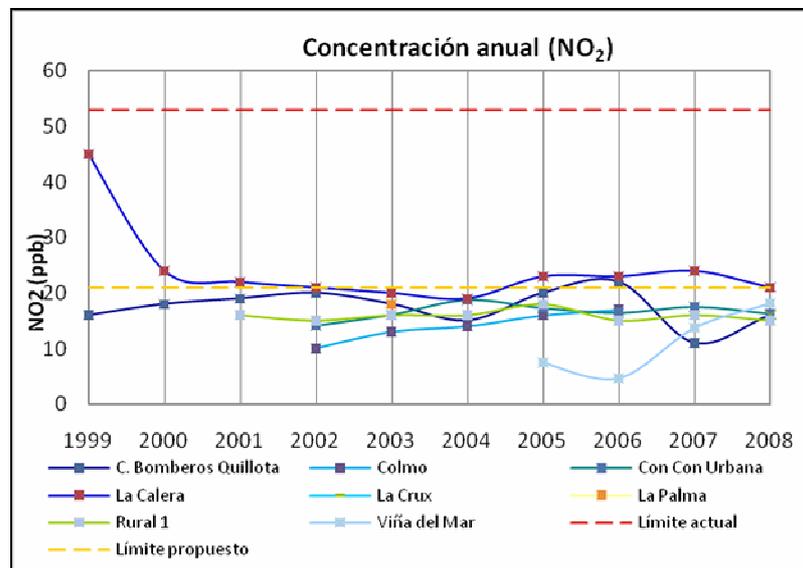


Figura 1.11. Serie de tiempo de media anual de NO_2 , Quinta Región, separación por estación.

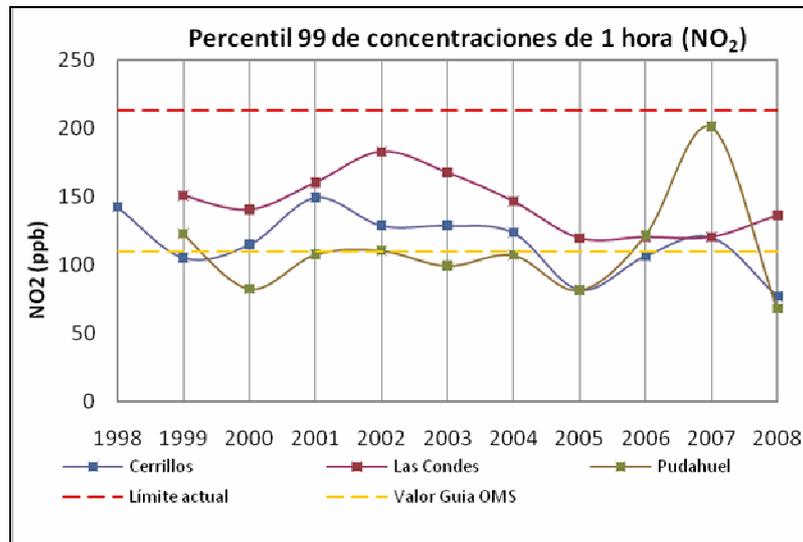


Figura 1.12. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO₂, RED MACAM, separación por estación.

1.3.1.4 Ozono (O₃)

En la Quinta Región en tanto, no se cumple la norma de O₃ en San Pedro, La Cruz, y Quillota (Figura 5.21), probablemente debido a las emisiones de Óxidos de Nitrógeno de grandes fuentes industriales, como termoeléctricas y cementeras. Sin embargo, la norma está siendo cumplida en Viña del Mar.

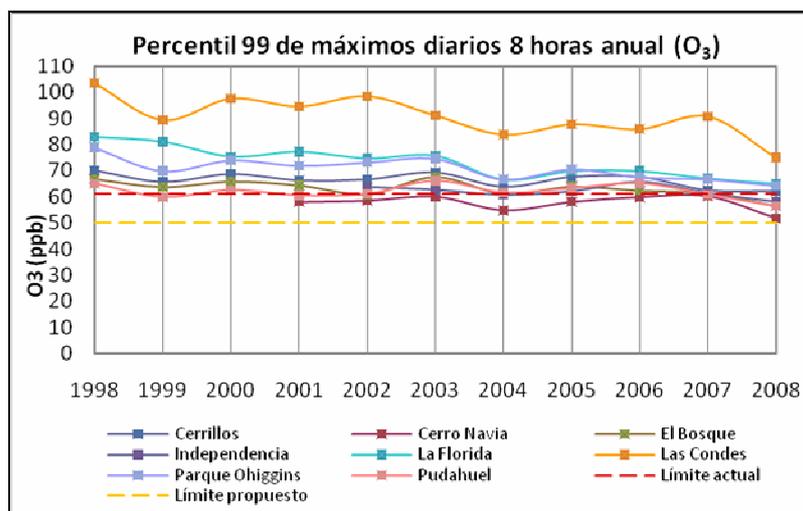


Figura 1.13. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, RED MACAM, separación por estación.

En la Sexta Región el no cumplimiento de la norma de O₃ ocurre en Codegua, Casas de Peuco, y San Francisco de Mostazal (Figura 5.32), lo que podría atribuirse a emisiones de NO_x debido a las termoeléctricas de Candelaria y San Francisco.

Los valores guías de Ozono de la OMS no se cumplirían en ninguna estación de monitoreo en Santiago.

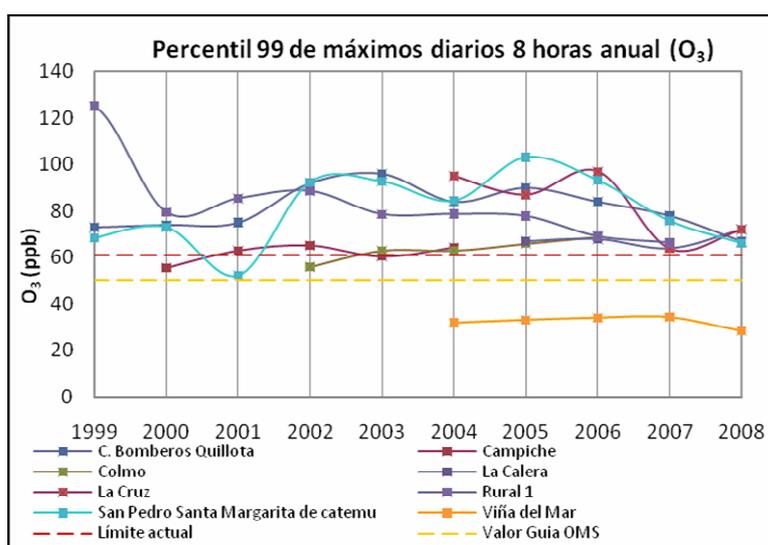


Figura 1.14. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, Quinta Región, separación por estación.

1.4 Establecimiento de los riesgos asociados a las actuales condiciones de calidad del aire y beneficios en salud asociados a la incorporación de las normas propuestas

1.4.1 Riesgos asociados a las actuales condiciones de calidad del aire

Para lograr la estimación de los beneficios sociales que tendrían las Normas Primarias de Calidad del Aire se realizó un análisis de riesgo cuantitativo, el cual consistió en una modelación cuantitativa de la relación entre la concentración de los contaminantes en los cuales se han propuesto cambios a la normativa actual (NO₂, SO₂ y O₃), exposición de la población a estos contaminantes, efectos en salud (agudos o crónicos) y valoración económica de dichos efectos en salud, los cuales serían una medida de los daños dados por las actuales concentraciones de contaminantes. Este análisis de riesgo cuantitativo y valoración para las condiciones actuales de exposición a NO₂, SO₂ y O₃ se realizó para las comunas de la RM, II, V y VI Región.

Primeramente, para estimar los casos de una determinada enfermedad o efecto en salud que se observa en la población se utilizan ecuaciones basadas en los

modelos de Poisson. Este modelo estadístico es ampliamente usado en estudios epidemiológicos longitudinales (tales como los estudios que asocian mortalidad diaria con las concentraciones de contaminantes). Usando este modelo, se puede calcular el número esperado de casos asociado a una determinada concentración de contaminantes (Ecuación 2):

Ecuación 1:

$$E[\text{Efectos}(c_i)] = \text{Tasa}(c_i = 0) \cdot \text{Población} \cdot (\exp(\beta_i \Delta c_i) - 1)$$

Donde:

Tasa ($c_i=0$): Tasa base de los efectos. Cantidad de efectos en salud observados por unidad de tiempo para el caso que la concentración de contaminante i sea cero.

Población: número de habitantes de la población en estudio y que se encuentra expuesta al contaminante i .

El factor $(\exp(\beta_i \Delta c_i) - 1)$ estima el porcentaje o fracción de aumento del número de casos asociados a la reducción en concentración de contaminantes Δc_i . En este caso consideramos una diferencia entre las condiciones actuales y niveles de concentración de **cero**, esto es, se evalúa el riesgo total de estar expuesto a los niveles actuales de contaminantes y son comparados con una situación en que no hubieran contaminantes. El valor β_i proviene de los estudios epidemiológicos publicados e implica el aumento en la tasa de enfermedad por cada aumento en la concentración de contaminantes.

Como población de estudio se usó la población de la provincia de Santiago de la Región Metropolitana y de comunas de la II, V y VI regiones. Estas provincias constan de 32 comunas las cuales concentran la mayor parte de la población de la región metropolitana y también del país. La población de cada comuna se estimó para el año 2008 tomando como base los datos del censo del 2002 (INE) y usando las tasas de crecimiento (INE) para cada comuna si estuviere disponible. La población de cada comuna se desagregó en la población total y la población de adultos. Como adultos se consideraron los individuos de edad entre 15 y 64 años.

La exposición de la población de las distintas comunas se estimó usando las mediciones disponibles durante el año 2008. Para Santiago, durante dicho año se encuentran mediciones disponibles en 8 estaciones. Para el resto de las comunas se usó la estación disponible dentro de la comuna.

Los riesgos fueron valorizados económica y socialmente usando 3 escenarios. Sólo se consideraron los efectos en salud que pueden ser cuantificados y valorizados monetariamente.

Como tasa base para cada uno de los efectos en salud de preferencia se usaron datos nacionales y en forma secundaria tasas informadas en estudios anteriores.

Como estimadores del riesgo en salud por exposición a O_3 se usaron los estimados usados en un estudio anterior hecho para 3 ciudades de América Latina, incluyendo Santiago, y el cual está disponible en la literatura internacional (Cifuentes et al. 2001), para los cuales se privilegiaron los valores obtenidos en estudios locales (de Chile) o de estudios en América Latina (por ejemplo, México)

Como resultado de este análisis se pudo observar que la mayor cantidad de efectos se aprecian para O_3 en las comunas de Santiago. Esto se debe a la gran cantidad de población expuesta y a las altas concentraciones observadas. Respecto a los costos, los mayores están asociados a la exposición a O_3 en las comunas de las RM dada la gran concentración de este contaminante, alta población expuesta y el alto impacto de los efectos en salud estimados, sobre todo el aumento en la mortalidad aguda. Adicionalmente, se observan efectos por reducción en SO_2 en ciudades de la II y VI Región impactadas por la industria de la minería.

Finalmente, ninguna de las metodologías mencionadas y utilizadas en la estimación del presente estudio está libre de problemas, presentando ventajas y desventajas.

En cuanto a la valoración del riesgo por mortalidad prematura, existen distintos factores que la afectan, como son si el riesgo de muerte se asume de manera voluntaria o involuntaria, las distintas valoraciones según el rango etario de la población, según su estado de salud, etc., factores que deben ser considerados al momento de estimar el valor estadístico de una vida. Por otra parte, hay que considerar los sesgos propios de la aplicación de una encuesta (fallas en diseño, sesgos de información, etc).

Frente a la morbilidad, por otro lado, una metodología completa de valoración debería incluir todos los aspectos anteriormente mencionados al momento de evaluar costos de una enfermedad, lo que por supuesto no es posible.

La valoración contingente, que es un método de preferencia hipotética basada en encuestas, consultando de distintas maneras la disponibilidad a pagar para obtener un bien ambiental o para evitar un perjuicio a un conjunto representativo de una población objetivo, conlleva distintos sesgos, entre los que destaca el sesgo de la hipótesis, consistente en que las personas no tienen mayores incentivos para dar una respuesta correcta, entregando cifras de disposición a pagar sin una mayor reflexión.

A pesar de que lo ideal sería contar con información acerca de la disponibilidad de pago en el escenario nacional, tal metodología implica un elevado uso de recursos

para el diseño de encuesta y el trabajo de campo, lo que aún no se ha realizado en nuestro país. Además de ello, según lo expresado por Holz (Holz 2000), los resultados de un estudio de ese tipo aplicado a un país como Chile serían inciertos, ya que probablemente la población carezca de las herramientas para responder a las preguntas, tales como información sobre los costos y beneficios, poca costumbre para valorar ese tipo de bienes, etc.

1.4.2 Beneficios en salud asociado a la incorporación de las normas propuestas

Para lograr la estimación de los beneficios sociales que tendrían los cambios en las Normas Primarias de Calidad del Aire, se realizó un análisis de riesgo cuantitativo, que consiste en una modelación cuantitativa de la relación entre concentración de contaminantes en el medio ambiente, exposición de la población a estos contaminantes, efectos en salud y valoración económica de dichos efectos en salud, los cuales serían una medida de los beneficios/daños obtenidos por los cambios en las concentraciones de los contaminantes y bienestar social.

Para determinar los beneficios en salud se utilizó el mismo método que para determinar los riesgos asociados a las actuales condiciones de calidad del aire. Con la excepción que en el modelo de riesgo, en vez de estimar el riesgo con respecto a una situación de concentración **ceró**, se compara con una situación en que las concentraciones cumplen las normas propuestas en este estudio¹⁹.

Como resultado de este análisis, se determinó el número de casos evitados producto de la reducción en concentraciones de contaminantes asociadas a la incorporación de las normas propuestas.

Los mayores beneficios se encontraron por la potencial reducción a exposición a O₃ en las comunas de las RM. Esto se debe a la gran cantidad de población expuesta y a los niveles de O₃ observados en estas comunas.

Adicionalmente, se observan efectos por reducción en SO₂ en ciudades de la II, V y VI región impactadas por la industria de la minería. Se hace notar que estas comunas tendrían los nuevos estándares ampliamente excedidos por lo que se requeriría reducciones mayores en las emisiones para cumplir los estándares propuestos.

Para comprobar la efectividad en la reducción tanto de SO₂ y NO_x, es posible valorizar la reducción de PM_{2.5}, dado que ambos contaminantes también constituyen elementos precursores de la formación del material particulado PM_{2.5},

¹⁹ La propuesta sobre cambios normativos se presenta en el capítulo 9 de este estudio, al igual que en el punto 1.6, del presente resumen ejecutivo.

y que además, se cuenta con métodos apropiados para valorar la reducción de este contaminante.

Estas reducciones se verían asociadas a una disminución importante en la morbilidad de la población.

Los beneficios asociados a las reducciones fueron valorizados económica y socialmente usando 3 escenarios. Los mayores beneficios están asociados a las reducciones en exposición a O₃ en las comunas de las RM dada la gran concentración de este contaminante, alta población expuesta y el alto impacto de los efectos en salud estimados, sobre todo el aumento en la mortalidad aguda.

1.5 Revisión de las principales fuentes emisoras de Dióxido de Azufre, Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Monóxido de Carbono. Estimación de los potenciales de reducción

Se realizó una revisión general de las principales fuentes de los contaminantes relativos a las normas de calidad analizadas. Además, se estableció una aproximación al potencial de reducción de emisiones para diversas fuentes emisoras. En este análisis se ha revisado el potencial de reducción de emisiones de Dióxido de Azufre para las fundiciones de Cobre y para las Termoeléctricas, el potencial de reducción de emisiones para Dióxido de Nitrógeno en centrales termoeléctricas y fuentes móviles, el potencial de reducción de emisiones para Monóxido de Carbono en fuentes móviles y una descripción de la formación de Ozono en la atmósfera.

1.5.1 Dióxido de Azufre (SO₂)

En el país, las emisiones de Dióxido de Azufre a la atmósfera están relacionadas principalmente con los procesos de fusión y refinación de cobre. Específicamente durante la quema de combustibles fósiles en la tostación, sintetización, fusión, conversión o refinado del metal sulfuroso (este último da cuenta de las mayores emisiones).

A nivel nacional existen siete fundiciones, de las cuales cinco se encuentran en zonas que han sido sometidas a planes de descontaminación atmosféricos (PPDA) debido a las deficientes condiciones de calidad de aire.

En los últimos años ha ocurrido una importante reducción de las emisiones de Dióxido de Azufre proveniente de las fundiciones de Cobre, esta reducción ha estado asociada a los planes de descontaminación de las áreas circundantes a esta actividad industrial.

Fundiciones como Chuquicamata y Caletones han tenido una reducción de emisiones entorno al 50% en el periodo 2002-2008, otras como Ventanas y Paipote han tenido reducciones en torno al 30% en este mismo periodo. Esto debido al cambio tecnológico que han experimentado la fundiciones mediante la implementación de plantas de ácido sulfúrico y reemplazo de hornos reverberos por hornos de mejor tecnología (hornos flash, convertidores tenientes, hornos eléctricos de limpieza).

Si bien estas fundiciones han reducido sus emisiones en forma considerable existe un alto potencial de reducción de emisiones en el sector del 82%, estimado en base a un aumento de eficiencia de las fundiciones para el procesamiento del concentrado de cobre. Se ha considerado, en esta estimación, que cada fundición puede llegar al nivel de eficiencia de la fundición Chagres 10.69 [kg SO₂/ton cobre procesado], la más eficiente. Esta reducción de emisiones por parte de las fundiciones podría ser lograda tras una serie de mejoras tecnológicas tales como, incorporación de hornos flash (que permite mejorar la recuperación de SO₂), incorporación de captación de gases fugitivos mediante campanas secundarias/terciarias, reemplazo de procesos batch por procesos continuos y mejores prácticas en la operación.

En el caso de las emisiones de SO₂ provenientes de las termoeléctricas, existe un importante potencial de reducción de emisiones asociado al uso de tecnologías de control de emisiones. El uso de desulfurizadores, tecnología no utilizada en el país actualmente, posee un gran potencial debido a la alta eficiencia en la remoción que posee. Se ha estimado en esta evaluación la reducción de emisiones tras el uso de desulfurización húmeda, semiseca y con agua de mar con lo que se ha obtenido una reducción de 98%, 94% y 90%, respectivamente.

1.5.2 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Dentro de las fuentes fijas, tiene una importante contribución el sector termoeléctrico. En este sector existe un importante potencial de reducción de emisiones asociado al uso de tecnologías de tipo primario (inhibición de la formación del contaminante, ejemplo quemadores de bajo NO_x) y de tipo secundario (remoción del contaminante ya generado, ejemplo sistemas de reducción catalítica selectiva).

En base al uso de quemadores de bajo NO_x y sistemas de reducción selectiva no catalítica (SNCR) para turbinas a vapor y al uso de Sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) para todas las tecnologías de generación, se ha estimado la reducción de emisiones asociada al uso de estas tecnologías, con lo que se ha obtenido una reducción de 35%, 37% y 95% con el uso de quemadores de bajo NO_x, SNCR y SCR, respectivamente.

Dentro de las fuentes móviles, que corresponden al 45% de las emisiones totales de NOx a nivel país, un 50% corresponde a emisión proveniente de vehículos livianos y un 25% a buses.

En este capítulo se ha tratado en forma separada al parque automotriz asociado a la región Metropolitana del parque asociado al del resto del país, ya que se tiene diferencias tecnológicas considerables. En la región Metropolitana se tiene un avance importante respecto del resto del país en el transporte público, teniéndose la norma Euro III mayoritariamente homologada (72% de los buses poseen este estándar). Pese a ello, aún se tiene un importante potencial de reducción de emisiones asociado al uso extensivo de la norma de Euro IV, con lo que se tendría una reducción de emisiones en torno al 50%. En el resto del país, la norma que cumplen los buses de transporte público es la norma Euro II, principalmente, razón por la cual la homologación de la norma Euro III tiene asociado una alta reducción de emisiones (40%).

Para el caso de los vehículos livianos también se tiene una diferencia tecnológica entre la Región Metropolitana y el resto del país, debido a la entrada de vehículos Euro III a partir de 2005 para la Región Metropolitana. Se ha estimado en este caso la reducción de emisiones tras la utilización de la norma Euro IV para todo el parque con lo que se ha obtenido una reducción del 80%. Para el resto del país se ha supuesto la homologación de la norma Euro II con lo que la reducción llega al 56%.

1.5.3 Monóxido de Carbono (CO)

Dado que las principales fuentes de Monóxido de Carbono son las móviles (71%) se ha realizado el análisis del parque automotriz considerando vehículos livianos ya que ellos son responsables del 95% de las emisiones de este contaminante. Para ello se ha hecho un análisis en forma separada para Región Metropolitana y el resto del país.

Como se describió anteriormente en la Región Metropolitana el parque de vehículos livianos posee la norma de emisiones Euro III, por lo que la reducción de emisiones se ha estimado con la homologación de la norma Euro IV, con lo que se tiene un 72% de reducción de emisiones. Para el resto del país se ha considerado la homologación de la norma Euro II con lo que se tendría una reducción total del 35%. Sin duda, la homologación a nivel país de la norma Euro III o IV, consistiría en una alternativa para reducir las emisiones de CO, dado que existe evidencia de problemas atmosféricos en ciudades del sur de Chile tales como Rancagua, Talca, entre otras.

1.5.4 Ozono (O₃)

La formación de Ozono está dada por una serie de reacciones complejas entre Óxidos de Nitrógeno (NO_x), hidrocarburos, Monóxido de Carbono (CO), mediados por la presencia de la luz solar.

En lugares sin grandes actividades industriales las emisiones de NO_x están dominadas por el sector de transporte y las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) están dominadas por fuentes residenciales, fundamentalmente emisiones de hidrocarburos livianos como propano y metano (48% emisiones). Para poder regular la exposición al Ozono, es necesario considerar sus mecanismos de formación.

En un régimen limitado por emisiones de NO_x, la reacción terminal de ácido nítrico no es dominante, sino la destrucción de radicales de HO₂. La formación de Ozono está limitada por la reacción entre HO₂ y RO₂ con NO. Es decir, se forma más Ozono mientras más emisiones de NO_x existan. Así, si existen más emisiones de COVs, aumentará también la formación de Ozono.

Un régimen limitado por emisiones de COVs ocurre cuando el sumidero de radicales dominante es el ácido nítrico (por exceso de NO₂), y la formación de Ozono está limitada por la reacción de oxidación de CO y COVs por OH (los que generan HO₂). Caso interesante es que la formación de Ozono aumenta si es que disminuyen las emisiones de NO_x en un régimen COV limitado.

Normalmente grandes centros urbanos muestran características de COV limitados y localidades más remotas y rurales son NO_x limitado. Por lo tanto, el éxito de las estrategias de reducción de formación de Ozono depende de si, la reducción de sus precursores es apropiada para el régimen de formación. Es importante entonces, hacer seguimiento del impacto de nuevas fuentes de Óxidos de Nitrógeno en localidades semi rurales. Así además, es importante desarrollar planes que tengan por objeto cumplir normas de Ozono en conjunto con Material Particulado, para el caso de Santiago. En tal caso se recomienda hacer una revisión de métodos de reducción de precursores de Ozono como los COVs, específicamente enfocado a aquellos que por abundancia y/o por reactividad (propano, derivados de petróleo) den cuenta de la formación de Ozono.

1.6 Propuesta de Cambio en la normativa

Considerando los antecedentes estudiados, se ha establecido la siguiente propuesta de cambio a las normativas. Las Tabla 1.6, Tabla 1.7 y Tabla 1.8, muestran las propuestas de cambio a la normativa vigente para SO₂, NO₂, O₃ y CO; y el motivo de la recomendación.

Tabla 1.6. Propuesta de cambio en la normativa

Contaminante	Métrica	Valor vigente en Chile (2009)	Propuesta	Fundamento
SO ₂	Anual	31 ppb [80 µg/m ³]	Mantener o modificar/eliminar en función de la incorporación de norma de corto plazo de 1 hora.	La norma actual protege a la población de los efectos de exposición de largo plazo, no sería necesaria si existiera una norma de corto plazo de 1 hora que cumpliría el objeto de disminuir exposición crónica también.
SO ₂	Diario	96 ppb [250 µg/m ³]	Considerar modificación al valor guía OMS del año 2005 7,5 ppb [20 µg/m ³].	Norma OMS toma en cuenta evidencia reciente de efectos de SO ₂ en mortalidad, basado en datos diarios en Hong Kong, muestra baja de 2% al 4% de mortalidad, presentados en Guía OMS de 2005. Un estándar de 7,5 ppb en 24 horas asegura una mayor protección a la salud humana, en especial a la población vulnerable, como menores de edad, asmáticos, tercera edad, alérgicos, entre otros. Sin embargo, la modificación propuesta por la OMS en el año 2005, podría ocasionar que en promedio se supere este nuevo estándar entre un 30% a 40% ²⁰ , para algunas de las estaciones de monitoreo ubicadas en las ciudades. Es así como en la RM, por ejemplo, se tendría que las estaciones de Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, Independencia, Parque O'higgins, y Pudahuel (en orden de concentraciones) superarían ese valor guía.
SO ₂	1 hora	No existe actualmente (2010)	Considerar modificación de norma en el rango sugerido por EPA 50 a 150 ppb [133 a 400 µg/m ³]	Norma de corto plazo en estudio por EPA busca proteger a asmáticos de exposiciones cortas de SO ₂ que generan morbilidad respiratoria. Norma de corto plazo de la OMS de 10 minutos se basa en estudios de asmáticos, y es difícil de regular por instrumentos normativos. Norma de 1 hora puede cumplir el mismo objetivo.

²⁰ Porcentaje obtenido a partir de valores históricos de estaciones de monitoreo. Datos disponibles en CD anexo.

Contaminante	Métrica	Valor vigente en Chile (2009)	Propuesta	Fundamento
NO ₂	Anual	53 ppb [100 µg/m ³]	Implementar norma de OMS: 21 ppb [40 µg/m ³].	<p>El estudio principal que documenta los efectos del NO₂ sobre los síntomas respiratorios de niños es el de meta-análisis de Hasselbal²¹, éste muestra caída en función pulmonar en niños por exposición crónica. Otros estudios realizados por Gauderman²² importantes encontraron que la exposición crónica a NO₂ estaba asociada a caídas persistentes en el tiempo de función respiratoria.</p> <p>Si se aplica el valor Guía e la OMS propuesto, en las estaciones de la Región de O'Higgins se estaría cumpliendo la norma en practicamente todas las estaciones evaluadas.</p>
NO ₂	1 hora	213 ppb [400 µg/m ³]	Implementar norma de OMS: 110 ppb [200 µg/m ³]	<p>El estudio clínico de meta-análisis de Folinsbee²³ muestra efectos en la función respiratoria ante la exposición en cámaras en asmáticos. Los resultados del estudio muestran un aumento significativo en la resistencia aérea en alrededor del 70% de los sujetos asmáticos después de ser expuestos a concentraciones de 200 a 300 ppb [376 a 564 µg/m³] por media hora. Además, muestra el aumento en reacción alérgica por exposición a NO₂.</p> <p>En RM las estaciones sólo las Condes, Cerrillos y Pudahuel han medido NO₂ durante varios años. El año 2009, se ha empezado a reportar NO₂ en el resto de las estaciones, por lo que es difícil evaluar el cumplimiento las tendencias fuera de las estaciones mencionadas.</p> <p>En la V Región en tanto, la norma de 1 hora actual prácticamente no es superada, pero implementar la norma OMS ocasionaría que estos valores se encontrasen en el límite, lo que eventualmente ocasionaría superación.</p>

²¹ Hasselblad, V., Eddy, D.M., and Kotchmar, D.J. (1992). Synthesis of environmental evidence: nitrogen dioxide epidemiology studies. *J Air Waste Manage Assoc* 42, 662-671.

²² Gauderman, W.J., Avol, E., Lurmann, F., Kuenzli, N., Gilliland, F., Peters, J., and McConnell, R. (2005). Childhood asthma and exposure to traffic and nitrogen dioxide. *Epidemiology* 16, 737-743.

Gauderman, W.J., Gilliland, G.F., Vora, H., Avol, E., Stram, D., McConnell, R., Thomas, D., Lurmann, F., Margolis, H.G., Rappaport, E.B., *et al.* (2002). Association between air pollution and lung function growth in southern California children: results from a second cohort. *Am J Respir Crit Care Med* 166, 76-84.

Gauderman, W.J., McConnell, R., Gilliland, F., London, S., Thomas, D., Avol, E., Vora, H., Berhane, K., Rappaport, E.B., Lurmann, F., *et al.* (2000). Association between air pollution and lung function growth in southern California children. *Am J Respir Crit Care Med* 162, 1383-1390.

²³ Folinsbee, L.J. (1992). Does nitrogen dioxide exposure increase airways responsiveness? *Toxicol Ind Health* 8, 273-283.

Contaminante	Métrica	Valor vigente en Chile (2009)	Propuesta	Fundamento
O ₃	8 horas	61 ppb [120 µg/m ³]	Implementar norma de OMS: 50 ppb [100 µg/m ³]	<p>Nuevos estudios (Bell, 2005²⁴; Gryparis, 2004²⁵; Ito, 2005²⁶; y Levy, 2005²⁷), muestran una asociación entre O₃ y aumento de mortalidad. Un estándar de esta naturaleza mantendría el exceso de muertes por debajo del 2% diario.</p> <p>El estudio de Horstman, (1990)²⁸, encontró indicaciones de obstrucción pulmonar e hiperreactividad de las vías aéreas en jóvenes adultos cuando fueron expuestos a concentraciones de O₃ entre 80 y 100 ppb [160 a 200 µg/m³] por 6 horas.</p> <p>Si se se aplicara el valor guía del año 2005 de la OMS, todas las estaciones de monitoreo de la RM tendrían superación de norma durante el año, particularmente Las Condes, (137 superaciones), La Florida (67 superaciones), y Parque O'higgins (51 superaciones). Similar situación ocurriría tanto en la Región de Valparaíso como en la Región de O'Higgins.</p>
CO	1 hora	26 ppm [28 µg/m ³]	Mantener	No existen nuevos antecedentes científicos, norma actual en el rango de la OMS.
CO	8 horas	9 ppm [10 µg/m ³]	Mantener	No existen nuevos antecedentes científicos, norma actual en el rango de la OMS.

²⁴ Bell, M.L., Dominici, F., and Samet, J.M. (2005). A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study. *Epidemiology* 16, 436-445.

²⁵ Gryparis, A., Forsberg, B., Katsouyanni, K., Analitis, A., Touloumi, G., Schwartz, J., Samoli, E., Medina, S., Anderson, H.R., Niciu, E.M., *et al.* (2004). Acute effects of ozone on mortality from the "air pollution and health: a European approach" project. *Am J Respir Crit Care Med* 170, 1080-1087

²⁶ Ito, K., De Leon, S.F., and Lippmann, M. (2005). Associations between ozone and daily mortality: analysis and meta-analysis. *Epidemiology* 16, 446-457

²⁷ Levy, J.I., Chemerynski, S.M., and Sarnat, J.A. (2005). Ozone exposure and mortality: an empiric bayes metaregression analysis. *Epidemiology* 16, 458-468

²⁸ Horstman, D.H., Folinsbee, L.J., Ives, P.J., Abdul-Salaam, S., and McDonnell, W.F. (1990). Ozone concentration and pulmonary response relationships for 6.6-hour exposures with five hours of moderate exercise to 0.08, 0.10, and 0.12 ppm. *The American review of respiratory disease* 142, 1158-1163

Tabla 1.7. Recomendación respecto de criterio de completitud de los datos, criterio de excedencia y monitoreo

Contaminante	Métrica	Completitud	Criterio de Excedencia	Monitoreo
SO ₂	Anual	No se recomienda cambio, dado que el criterio de 75% de existencia de datos es ampliamente utilizado a nivel internacional.	Se recomienda considerar solamente el último año de mediciones, si es que no se deroga la norma	No se recomiendan cambios a nivel de tipo de estaciones de monitoreo, pero se recomienda cambios respecto del aumento de la cobertura de acuerdo a análisis realizado en sección 3.8.
SO ₂	Diario		Se recomienda declarar saturada aquellas zonas que no cumplan norma 1 año, y no esperar tres años de superación.	No se recomiendan cambios a nivel de tipo de estaciones de monitoreo, pero se recomienda cambios respecto del aumento de la cobertura de acuerdo a análisis realizado en sección 3.8.
SO ₂	1 hora		Además, se aconseja disminuir la excedencia permitida desde 4 días (percentil 99) a 1 día (percentil 99.75).	
NO ₂	Anual	No se recomienda cambio, dado que el criterio de 75% de existencia de datos es ampliamente utilizado a nivel internacional.	Se recomienda declarar saturado aquellas zonas que no cumplan norma 1 año, y no esperar tres años de superación.	Se recomienda establecer estaciones de monitoreo de máxima exposición (ejemplo: autopistas, rutas, etc.), de acuerdo a la propuesta de norma y efectos en salud.
NO ₂	1 hora		Se recomienda declarar saturada aquellas zonas que no cumplan norma 1 año, y no esperar tres años de superación. Además, se aconseja disminuir la excedencia permitida desde 4 días (percentil 99) a 1 día (percentil 99.75).	
O ₃	8 horas	No se recomienda cambio, dado que el criterio de 75% de existencia de datos es ampliamente utilizado a nivel internacional.	Se recomienda mantener criterio de media trianual de percentil 99 de los máximos diarios de la media de 8 horas, debido a que políticas de control de emisiones de precursores que podrían tener efectos no lineales, además de que obedecen a políticas de largo plazo.	Se recomienda agregar el compuesto NOx a la red de monitoreo de calidad de aire para localidades saturadas en Ozono.
CO	1 hora	No se recomienda cambio, dado que el criterio de 75% de existencia de datos es ampliamente utilizado a nivel internacional	Se recomienda declarar saturada aquellas zonas que no cumplan norma 1 año, y no esperar tres años de superación.	Se recomienda establecer estaciones de monitoreo de máxima exposición, de acuerdo a efectos en salud.
CO	8 horas		Además, se aconseja disminuir la excedencia permitida desde 4 días (percentil 99) a 1 día (percentil 99.75).	No se recomiendan cambios a nivel de tipo de estaciones de monitoreo, pero se recomienda cambios respecto del aumento de la cobertura.

Tabla 1.8. Recomendación respecto de principio de monitoreo

Contaminante	Método actual	Propuesta de cambio
SO ₂	Fluorescencia ultravioleta Espectrometría de absorción diferencial con calibración in-situ o Método equivalente propuesto por EPA o CE.	El principio más utilizado en las estaciones de monitoreo chilenas es la fluorescencia ultravioleta, no se recomienda cambio en el método de medición ya que este presenta el estado del arte actual
NO ₂	Quimioluminiscencia Métodos basados en método modificado de Griess-Saltzman Espectrometría de absorción óptica diferencial, con calibración in-situ Método equivalente propuesto por EPA o CE.	El principio más utilizado en las estaciones de monitoreo chilenas es la quimioluminiscencia, este método es ampliamente utilizado por la mayoría de los países incluido Estados Unidos y recomendado por la comunidad Europea. No se recomienda el método de Griess-Saltzman modificado ya que tiene menos sensibilidad, y presenta posibles interferencias por cloruro de sodio.
CO	Fluorescencia ultravioleta Espectrometría de absorción diferencial con calibración in-situ o Método equivalente propuesto por EPA o Comunidad Europea.	El principio más utilizado a nivel internacional y a nivel nacional es la espectrometría de absorción diferencial. Por esto y el hecho de que es el método de recomendado por la EPA, no se recomienda cambios en la metodología
O ₃	Quimioluminiscencia con etileno Fotometría de absorción ultravioleta Cromatografía líquida gas/ sólido Espectrometría de absorción óptica diferencial Método equivalente propuesto por EPA o CE.	El principio más utilizado por estaciones de monitoreo es fotometría de absorción ultravioleta, no se recomienda cambio de método ya que este también es el de referencia para Comunidad Europea y EPA. Se recomienda retirar como método aceptado la quimioluminiscencia de etileno, ya que este método puede tener interferencias en lugares con muchos hidrocarburos, como es el caso de áreas urbanas.

2 INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la ley 19.300, es deber del Estado dictar normas que prevengan la exposición a contaminantes que presenten un riesgo para la salud de las personas, que favorezcan la preservación de la naturaleza y que favorezcan la conservación del patrimonio ambiental. En este contexto, la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) debe colaborar en la coordinación del proceso de generación de las normas de calidad ambiental y la determinación de los programas y plazos de cumplimiento de las mismas.

Las normas primarias de calidad de aire son instrumentos que permiten prevenir la exposición de la población a contaminantes presentes en la atmósfera. Establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población, y definen los niveles que originan situaciones de emergencia²⁹.

En 1978 se dictó la primera norma de calidad primaria de aire, mediante la resolución 1.215 del Ministerio de Salud, denominada “Normas Sanitarias Mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica”. La primera normativa incluyó niveles de calidad de aire para Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Dióxido de Azufre (SO₂) y Partículas Totales en Suspensión (PTS).

En el año 1995, se estableció el Reglamento para dictación de normas de calidad ambiental y de emisión, Decreto Supremo N°93. En este se ha determinado el procedimiento para dictación y para revisión de normas de calidad ambiental y de emisión.

En este reglamento se indica que la revisión de las normas de calidad ambiental y de emisiones debe realizarse a lo menos cada cinco años, sujetándose en criterios de eficacia de la norma en cuestión y de eficiencia en su aplicación, realizando una revisión de los antecedentes considerados para la determinación de la norma, el nivel de cumplimiento y vigencia actual de los objetivos tenidos en cuenta al momento de su dictación, cambios en las condiciones ambientales consideradas al momento de dictarse la norma y los resultados de las investigaciones científicas que aporten antecedentes nuevos sobre efectos adversos a las personas o a los recursos naturales o sobre nuevas metodologías de medición.

Es así como el 17 de Diciembre de 1999, se da inicio al proceso de revisión de normas primarias de calidad del aire para Anhídrido Sulfuroso (SO₂), Partículas

²⁹ Artículo 2° Decreto Supremo N°93 de 1995.” Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión”.

Totales en Suspensión (PTS), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂), dando como resultado las actuales normas primarias de calidad de aire para Anhídrido Sulfuroso, Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Monóxido de Carbono contenidos en cuatro decretos supremos D.S. N° 112 (D.O. 06.03.2003), D.S. N° 113 (D.O. 06.03.2003), D.S. N° 114 (D.O. 06.03.2003), D.S. N° 115 (D.O. 10.09.2002). En general, los actuales niveles de las normas se basaron en valores guías de la Organización Mundial de Salud (OMS) publicados el año 2000.

Mucho ha cambiado desde entonces; el PIB del país ha crecido considerablemente. El precio del cobre ha causado un aumento de producción por parte de fundiciones. Las carreteras urbanas e inter urbanas han incentivado el uso del automóvil, causando un aumento considerable del parque automotriz. Todas estas actividades generan un incremento en las emisiones de gases contaminantes, lo que a corto plazo disminuye la calidad del aire generando efectos sobre la salud y calidad de vida de las personas expuestas a estos contaminantes.

Tal como se establece en la normativa, es pertinente, luego de cinco años, la realización de una revisión de la normativa actual. En este contexto se enmarca el presente estudio. Para el estudio se revisan los recientes conocimientos científicos con respecto a valores norma recomendados (tomando en cuenta regulaciones internacionales, valores guía de la OMS, y publicaciones de corriente principal). Este estudio analiza la evolución de la calidad de aire en Chile desde la última revisión de la norma, y estudia los riesgos asociados a los valores registrados. Finalmente estima los efectos en salud debido a estos riesgos, entregando recomendaciones de nuevas normativas, con la finalidad de mantener el objetivo de las normas, que es proteger a la salud humana.

3 AVANCES CIENTÍFICOS SOBRE LOS EFECTOS CRÓNICOS Y AGUDOS DE LOS CONTAMINANTES SOBRE LA SALUD

En esta revisión de antecedentes científicos se recurrió a la revisión sistemática de dos fuentes principales de información, las Guías de Calidad de Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los documentos asociados a los estándares de calidad de aire de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés).

La primera de las guías de la OMS apareció en 1987 bajo el nombre de “Guías de calidad de aire para Europa” (WHO, 1987). Posteriormente, se editó una segunda edición para Europa en el año 2000 (WHO, 2000b) la cual era la base para una publicación global llamada “Guías de calidad de aire” (WHO, 2000a). Finalmente, el año 2005 se entrega una revisión global llamada “Guías de calidad de aire – revisión mundial” (WHO, 2005) en la cual se entregan valores revisados para muchos contaminantes, incluyendo algunos revisados en el presente estudio. En las siguientes secciones se presentan la evolución de los valores guía entregados por la OMS en los diferentes años (1987, 2000 y 2005) junto con los principales antecedentes científicos que respaldan dichas guías.

3.1 Desarrollo de las guías de la OMS

El propósito principal de las guías de calidad del aire es entregar las bases para proteger la salud pública de los efectos de la contaminación del aire, y lograr la eliminación o reducción a niveles mínimos de los contaminantes que son conocidos o probablemente dañinos para la salud de las personas.

De esta forma, las guías de calidad de aire (GCA) proveen antecedentes sobre contaminantes y entregan recomendaciones para las naciones al momento de elaborar estándares de calidad del aire. En ellas prevalece la información sobre niveles de exposición y características del medio ambiente, sociales, económicas y culturales relacionadas con cada nación o región estudiada.

Las guías idealmente representan concentraciones de contaminantes en el aire bajo las cuales se minimizarían los efectos en salud de la población expuesta. Sin embargo, la evaluación realista de los riesgos en la salud humana necesita de la distinción entre seguridad absoluta y riesgos aceptables. Para alcanzar la seguridad absoluta se necesitaría saber la relación dosis-respuesta en individuos en relación a todas las fuentes de exposición. Además, se requeriría saber el tipo de efecto inducido por el contaminante específico o sus mezclas, la existencia (o inexistencia) de “umbrales” para efectos específicos, las significancia de interacciones, y variaciones de exposición y sensibilidad en la población. Esta información no siempre está disponible por lo que juicio científico y consensos juegan un rol importante al establecer niveles de exposición aceptables.

Para el caso de los contaminantes criterios (el cual es el caso para los compuestos evaluados en este estudio), el punto de partida para definir una guía de la OMS, es la concentración más baja en la cual se observan efectos en humanos, animales y plantas. La diferencia entre el valor más bajo en que se encuentran efectos y el valor en el cual no se observan efectos está entre los factores que se incluyen entre los juicios concernientes al margen de protección apropiado.

3.1.1 Criterio para la selección de un nivel mínimo en el que se observan efectos (LOAEL)

La distinción entre efectos adversos y no-adversos plantea una gran dificultad. La definición de efecto adverso está dada por “cualquier efecto que resulte en una insuficiencia funcional y/o lesión patológica que afecte el funcionamiento de todo el organismo, o que contribuya a reducir la capacidad para responder a un cambio adicional”.

3.1.2 Criterio para la selección de factores de incertidumbre

Estos factores buscan dar un margen adecuado de protección a la población. La toxicología de los contaminantes, incluyendo el tipo de metabolitos, la variabilidad en el metabolismo, o las respuestas generadas en grupos humanos más susceptibles, y la probabilidad de que el compuesto o sus metabolitos se acumulen en el cuerpo, han sido tomadas en cuenta para establecer los factores de incertidumbre. Estos factores de incertidumbre fueron esencialmente determinados por criterios científicos.

3.1.3 Criterios para la selección del tiempo de exposición a promediar

Como los contaminantes pueden causar efectos graves, leves, reversibles después de la exposición breve, e irreversibles o prolongados después de una larga exposición, la opinión de expertos tuvo que ser basada en el peso de la evidencia disponible. Generalmente cuando las exposiciones a corto plazo dan lugar a efectos adversos, se toman esos tiempos de corto plazo como los recomendados. En otros casos solo es suficiente conocer la relación dosis-respuesta para recomendar una medida a largo plazo.

3.1.4 Desarrollo del Proceso

Para muchos de los contaminantes clásicos del aire las directrices de OMS se basaron en estudios de exposición controlada, o en estudios epidemiológicos que demuestran un umbral de efecto. Los factores de incertidumbre, o factores de protección, se aplican a los datos publicados para permitir representar de mejor manera a los grupos de personas más sensibles que podrían haber sido sesgadas en la representatividad de los estudios. Muchas veces hay directrices que son mal interpretadas como índices LOAEL cuando realmente no lo son.

3.1.5 Relación exposición - respuesta

Los estudios epidemiológicos son preferidos por la OMS para el diseño de las guías de calidad de aire con respecto a los los estudios de exposición controlada ya que proporcionan información sobre las respuestas de las poblaciones y sobre los efectos de la exposición real a los contaminantes y las mezclas de contaminantes.

3.1.6 Para pasar de directrices a normas

Un estándar de aire es una descripción de un nivel de calidad del aire que es adoptada por una autoridad. En su forma más simple, una norma de calidad del aire debe ser definida en términos de una o más concentraciones y tiempos promedio. Además, los datos deben incluir información sobre la forma de exposición, el control pertinente para evaluar el cumplimiento de la norma, y sobre los métodos de análisis de datos y control de calidad.

En algunos países el estándar es calificado mediante la definición de un nivel aceptable de cumplimiento o de incumplimiento. Los niveles de cumplimiento pueden ser definidos en términos de las unidades fundamentales que definen la norma. Por ejemplo, si la unidad definida por el estándar es el día, un requisito para el 99% de cumplimiento del estándar sería la no superación de este en más de 3 días al año. El costo de alcanzar cualquier nivel fijado dependerá del grado de cumplimiento que éste requiera. En consecuencia, puede ser razonable considerar cuidadosamente los costos y beneficios de los diferentes niveles de cumplimiento a la hora de decidir sobre una norma.

3.1.7 Los factores a considerar en la fijación de una Norma de Calidad del Aire

Cuando los estudios publicados sobre las asociaciones entre los contaminantes del aire y los efectos sobre la salud son distintos para determinadas regiones, es prudente que las autoridades responsables de establecer los estándares nacionales deban evaluar la aplicabilidad de las directrices de la OMS para cada caso particular.

Las poblaciones vulnerables o grupos sensibles se definen como aquellos afectados por la ocurrencia de enfermedades u otras limitaciones fisiológicas, y aquellos que tienen características específicas que hacen que las consecuencias sanitarias de la exposición a contaminantes sean mucho más importantes. Además, otros grupos pueden ser considerados de riesgo especial frente a la exposición debido a que la dosis efectiva para cada exposición puede aumentar, como en el caso de los niños, por ejemplo. Las poblaciones sensibles pueden variar entre países debido a las diferencias en el número de personas con acceso fallido a la atención médica, en la prevalencia de ciertas enfermedades

endémicas, en los factores genéticos, o en la prevalencia de enfermedades debilitantes o deficiencias nutricionales.

3.1.8 Factores de Incertidumbre

En el desarrollo de las guías la OMS y la derivación de guías a partir de datos publicados, se usó la opinión de los expertos para determinar la magnitud de los factores de incerteza.

3.1.9 Análisis Costo-beneficio y otros factores

Al pasar de las guías a estándares nacionales, la OMS sugiere que los países realicen análisis de costo-beneficio.

El costo de la reducción de los niveles de contaminación del aire debe ser sopesado con los beneficios producidos. Un análisis costo-beneficio es una forma de llevar a cabo formalmente este proceso, y utiliza el dinero como una moneda común para los costos y beneficios. El concepto es que las concentraciones de contaminantes se reduzcan al menos hasta que se equilibren los costos y beneficios asociados: más estrictamente, las emisiones se reducen hasta que los costos y beneficios marginales son iguales.

Es probable que sea más difícil asignar valores monetarios a los beneficios obtenidos que a los costos asociados. Algunos aspectos de la reducción de la morbilidad, tales como una reducción en el uso de las instalaciones del hospital y medicamentos, son fácilmente comparables con los costos; otras como la reducción de muertes prematuras y los síntomas no lo son.

La aplicación de los valores monetarios sobre la base de una "voluntad de pagar" (WTP) ha sido aceptado como apropiado por los economistas para los temas de salud. Este enfoque ha sido mucho más aceptado que el basado sólo en índices tales como pérdida de producción, ingresos para gastos, etc.

3.1.10 Estándar EPA

Por su parte, los estándares de la EPA están asociados a la declaración del Acta del Aire Limpio (Clean Air Act) emanada del Congreso de los Estados Unidos. En esta acta se mandataba la creación de Estándares Nacionales de Calidad de Aire (National Ambient Air Quality Standards – NAAQS) para los contaminantes criterio. Estos contaminantes "criterio" a grandes rasgos se definen como aquellos contaminantes que se encuentran ampliamente distribuidos por el territorio de los Estados Unidos y que suponen un riesgo importante a la salud de la población. Actualmente, tanto el SO₂, NO₂, O₃ como el CO son contaminantes criterio.

Los primeros estándares de calidad de la EPA fueron dictados en los 70. Los criterios para establecer los estándares de calidad de aire primario son las de proteger la salud humana con un margen adecuado de seguridad basado en la última evidencia científica. Existe la obligación de ser revisados por comités científicos y de participación ciudadana cada 5 años. En la medida que aparezca nueva evidencia científica los estándares pueden ser modificados. En la presente revisión se muestran los aspectos fundamentales considerados por la EPA para promulgar los estándares vigentes y anteriores, y para algunas sugerencias de cambios de estándares que se encuentran en proceso.

A continuación, se presentan la evolución de los valores guía entregados por la OMS en los diferentes años (1987, 2000 y 2005) indicando los principales antecedentes científicos que respaldan dichas guías, junto con los estándares de la EPA.

3.2 Dióxido de Azufre (SO₂)

3.2.1 Antecedentes internacionales – Guías de la OMS

La guía actual de la OMS para SO₂ (WHO, 2005) incluye solamente valores para la exposición de corto plazo. Primeramente, existe un valor guía para el promedio de 24 horas que es de 7,5 ppb [20 µg/m³] y adicionalmente otro valor para el promedio de 10 minutos de 188 ppb [500 µg/m³]. El valor de largo plazo, expresado como promedio anual, ha sido retirado recientemente.

En Chile la norma vigente es de 96 ppb [250 µg/m³] como promedio de 24 horas y de 31 ppb [80 µg/m³] como media anual. No existe una norma de corto plazo del orden de los 10 minutos.

3.2.1.1 Evolución de las guías

El valor de 24 horas de la guías fue primeramente propuesto en las guías del año 1987 con un valor de 47 ppb [125 µg/m³]. Este valor fue mantenido en las guías del año 2000 y fue rebajado en las guías del 2005 a 7,5 ppb [20 µg/m³]. Mientras, la guía de 10 minutos fue introducida primeramente en la guía del 2000 con el valor actual de 188 ppb [500 µg/m³].

La guía de largo plazo (anual) fue introducida en las guías de 1987 con un valor de 18,8 ppb [50 µg/m³], la cual fue mantenida en la guía del 2000. Sin embargo, dada la gran reducción en las guías de corto plazo, se consideró que la guía de 24 horas era suficiente para proteger a la población de los efectos de corto y largo plazo por lo que una guía anual no era necesaria.

3.2.1.2 Antecedentes científicos para la guía de 24 horas

La guías de 24 horas de 47 ppb [125 µg/m³] entregada en el documento de 1987 se basaba en estudios de panel (grupos pequeños de participantes que son seguidos por un período de tiempo determinado) en que se encontró una

exacerbación significativa en síntomas respiratorios cuando estos sujetos se encontraban expuestos a concentraciones de 92 ppb [250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Este valor se consideró como un valor de valor más bajo de efectos observados (LOEL) y la guía final de 47 ppb [125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] se sugirió considerando un factor de incerteza de 0,5.

Para el año 2000 se consideró bastante evidencia nueva proveniente de estudios de series de tiempo³⁰ en que se analiza mortalidad diaria (total, cardiovascular y respiratoria) (Anderson et al., 1996; Dab et al., 1996; Katsouyanni et al., 1995; Schwartz and Dockery, 1992; Spix et al., 1993; Sunyer et al., 1996; Touloumi et al., 1996; Wietlisbach et al., 1996; Zmirou et al., 1996) y admisiones de emergencia en hospitales (Dab et al., 1996; Ponce de Leon et al., 1996; Schouten et al., 1996; Schwartz and Morris, 1995; Sunyer et al., 1991) por causas respiratorias o de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Estos efectos se encontraron a concentraciones mucho más bajas que las de la guía de 1987 (medias anuales de bajo 18,8 ppb [50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] y medias diarias que no superaban usualmente los 46 ppb [125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]). Aún más, los resultados no mostraban evidencias de que existiera un umbral bajo el cual no se encontrarán efectos en la población. Sin embargo, existía la incerteza si los efectos observados eran atribuibles al SO_2 o si el SO_2 estaba siendo un sustituto de otros contaminantes como por ejemplo las partículas ultrafinas. Debido a esto la guía no se cambió.

Para las guías publicadas el año 2005, sin embargo, aparecieron nuevas e importantes evidencias científicas principalmente de análisis de series de tiempo. La mayor evidencia proviene de un estudio realizado en Hong Kong, en el cual se analizaron series de tiempo durante un período en que se realizaron reducciones mayores al contenido de Azufre de los combustibles. Como consecuencia las concentraciones anuales bajaron desde 16,5 ppb [44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] antes de la intervención en 1990 a 7,9 ppb [21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] de SO_2 , manteniéndose los niveles de los demás contaminantes relativamente constantes. Análisis mostraron caídas en la mortalidad como producto de la intervención de entre 2% a 4% para mortalidad total, cardiovascular y respiratoria (Hedley et al., 2002). Similarmente, se encontraron efectos en morbilidad respiratoria y cardíaca (hospitalizaciones, etc.) producto de la intervención (Wong et al., 2001). Este mismo estudio comparó los efectos de la variación diaria del SO_2 tanto en Londres como en Hong-Kong y encontró efectos similares. En resumen, la intervención de Hong-Kong sugiere que grandes beneficios en salud se pueden lograr al bajar las concentraciones a niveles de alrededor de 7,9 ppb [21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$].

³⁰ En los estudios de series de tiempo se analiza la cantidad de muertes u hospitalizaciones que se observan diariamente y se las relaciona con la concentración de contaminantes del mismo día o del día anterior. Típicamente, se controla por otras variables como meteorología o día de la semana o también por otros contaminantes (modelos con 2 contaminantes). El análisis de datos incluye usualmente modelos de regresión de tipo Poisson y la relación concentración-respuesta se modela usualmente en forma lineal (excepto en los modelos no lineales GAM) en que los resultados se interpretan como el aumento porcentual en mortalidad u hospitalizaciones por cada aumento en concentración de contaminantes.

En otra línea de evidencia, un estudio de series de tiempo en 12 ciudades de Canadá encontró efectos de SO₂ sobre mortalidad diaria a niveles de concentraciones de alrededor de 1,9 ppb [5 µg/m³]. Esta evidencia sumada a las observaciones del estudio de cohorte de la ACS en 126 ciudades de EEUU en que se encontraron efectos de SO₂ sobre la mortalidad a niveles de concentración promedio de 18 ppb [6,8 µg/m³] (Pope et al., 2002), sugieren que no existiría un umbral de seguridad para las concentraciones de SO₂, o si existe este es muy bajo.

Otra evidencia importante encontrada proviene del estudio de Tunnicliffe y col (Tunnicliffe et al., 2001). En este estudio de tipo panel se encontró una asociación entre la variabilidad de las concentraciones horarias de SO₂ y la variabilidad en la frecuencia cardíaca. Esta última está asociada con aumento en las incidencias de infarto y muerte, por lo que las observaciones del estudio de Tunnicliffe sustentan un mecanismo causal para las observaciones de aumento de mortalidad y morbilidad cardíaca asociada a la exposición a SO₂.

En consecuencia, y considerando las nuevas evidencias emanadas, se estimó conveniente bajar el límite de la guía anterior usando un principio de precaución. El nuevo valor guía de 24 horas se fijó en 7,5 ppb [20 µg/m³]. Sin embargo, considerando que muchos países tendrían dificultad en cumplir este objetivo, se generaron dos objetivos interinos. El primero de 46 ppb [125 µg/m³] es el valor guía anterior del año 2000. El segundo es un valor de 18,8 ppb [50 µg/m³], el cual se considera que es un valor alcanzable para países en desarrollo al controlar fuentes vehiculares, industriales o de producción de electricidad. Por último, se consideró que una guía de 24 horas de esta magnitud proveería protección adecuada para los efectos de largo plazo del SO₂ por lo que una guía anual no sería necesaria y no es incluida dentro de las guías actuales.

En resumen, estudios de series de tiempo en Hong Kong, Londres y Canadá, muestran efectos en salud de SO₂ a niveles de concentraciones de 24 horas mucho menores que el valor sugerido en la guía anterior. Además, el estudio de intervención de Hong-Kong sugiere con fuerza un efecto causal de SO₂. Por esto se sugiere una nueva guía de 24 horas de 7,5 ppb [20 µg/m³].

3.2.1.3 Fundamentos científicos para el valor de 10 minutos

El valor guía de 10 minutos se sustenta principalmente en estudios clínicos con sujetos asmáticos que fueron expuestos a concentraciones de SO₂ mientras realizaban ejercicios. Numerosos estudios han observado estos efectos y son conocidos desde la década de los 80.

Uno de los estudios que más claramente muestra estos efectos es el de Linn y col. del año 1983 (Linn et al., 1983). En este estudio, sujetos asmáticos fueron expuestos a distintas concentraciones de SO₂ por períodos de 1 hora mientras

realizaban ejercicios. A los sujetos se les midió parámetros de función respiratoria antes del test y a los 15 y 55 minutos después de ser expuestos. Los sujetos mostraron efectos, según la concentración, a los 15 minutos de ser expuestos. Los principales efectos fueron caídas en la función respiratoria medidos como VEF1³¹. A concentraciones bajas de 200 ppb [532 µg/m³] los sujetos no mostraron mayores cambios, mientras que a concentraciones de 400 ppb [1.064 µg/m³] y 600 ppb [1.594 µg/m³] se encontraron caídas de 10% y 15% respectivamente.

La significancia clínica de estas caídas ha sido discutida recientemente (ATS 2000), sin embargo para la OMS los efectos observados serían de importancia. Comentamos que la EPA a usado en otras evaluaciones un principio de graduación de los efectos en función de la medición de VEF1 en que se considera que un efecto pequeño es una caída de entre un 3% y 10%, un efecto moderado es una caída de entre un 10 y un 20% y un efecto grande es una caída de más de un 20%.

Dado que una exposición de alrededor de 200 ppb [532 µg/m³] por 15 minutos produce efectos sin relevancia clínica y una exposición a 400 ppb [1.064 µg/m³] por 15 minutos produce efectos significativos, y considerando que existen estudios que muestran efectos del SO₂ luego de 10 minutos de exposición, se sugiere una guía de 10 minutos de 188 ppb [500 µg/m³].

3.2.1.4 Valores de contingencia o emergencia

Para el SO₂, la OMS no tiene sugerencias de valores de emergencia o contingencia (similares a los *Air Quality Index* de la EPA o a las alertas y preemergencias chilenas).

3.2.2 Antecedentes internacionales – Normas de la EPA

Las actuales normas de la EPA para el SO₂ son de 140 ppb [372 µg/m³] como promedio de 24 horas y de 30 ppb [80 µg/m³] como promedio anual.

En Chile la norma vigente es de 96 ppb [250 µg/m³] como promedio de 24 horas y de 31 ppb [80 µg/m³] como media anual.

3.2.2.1 Evolución de los estándares

Los estándares actuales de la EPA datan de 1971 (EPA, 2009b). Durante los 80s y 90s se sugirieron nuevos estándares de corta duración (5 minutos) basados en nuevos antecedentes de efectos en salud del SO₂ en asmáticos. Finalmente, el administrador en 1996 decidió no sugerir cambios a los estándares. Sin embargo,

³¹ FEV1: Volumen de expiración forzada en un minute. Caídas sobre 10% se consideran indicio de obstrucción.

esta decisión fue objetada en tribunales por la Sociedad Americana del Pulmón (*American Lung Association*).

Actualmente los estándares se encuentran en proceso de revisión, cuyos resultados se darán a conocer en Enero de 2010, existiendo una sugerencia de incorporación de un nuevo estándar de corto plazo del orden de 1 hora con una concentración en el rango de 50 a 150 ppb [133 a 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Se sugiere que en el caso que se acepte un estándar en el rango bajo de concentraciones, los estándares diarios y anuales de SO_2 debieran ser revisados y/o revocados (EPA, 2009b). Los antecedentes para la formulación de los estándares actuales y el estándar de corto plazo sugerido se entregan a continuación.

3.2.2.2 *Antecedentes científicos para los efectos de corto plazo*

Las principales líneas de evidencia para la EPA provienen de los estudios de clínicos y de los estudios epidemiológicos de series de tiempo.

Tal como para la OMS, la EPA se basó, principalmente, en su última revisión en los estudios de sujetos asmáticos expuestos por tiempos cortos (10 – 60 minutos) a SO_2 mientras realizaban ejercicios. La misma línea de evidencia de la OMS se aplica en esta circunstancia citándose el mismo grupo de estudios como por ejemplo el de Linn de 1983 (Linn et al., 1983).

Apoyando estos resultados se encuentran los estudios de series de tiempo en los cuales se han encontrado aumentos en las tasas de hospitalizaciones y visitas a las salas de emergencia con aumento en las concentraciones de SO_2 . Estos estudios han encontrado que los efectos del SO_2 son en general robustos e independientes de otros co-contaminantes gaseosos incluyendo el NO_2 (Anderson et al., 1998; Lin et al., 2004; Sunyer et al., 1997) y el O_3 (Anderson et al., 1998; Hajat et al., 1999; Tsai et al., 2006; Yang et al., 2005; Yang et al., 2003).

Estas dos líneas de evidencia han sido calificadas por la EPA como suficientes para inferir una relación causal entre la exposición a SO_2 de corto plazo y la aparición de efectos en salud respiratorios y son los efectos que tienen mayor relevancia para la dictación de nuevas normas o modificaciones de normas anteriores.

En la propuesta de norma alternativa se consideró que i) los principales efectos se observaban en exposiciones cortas a SO_2 (del orden de 5 a 15 minutos); ii) que algunos estudios de morbilidad respiratoria (series de tiempo) muestran efectos asociados al máximo de una hora diario; iii) que un estándar de 5 minutos no ofrece un objetivo regulatorio estable³². Tomando estos antecedentes en cuenta

³² La EPA considera que las concentraciones de 5 minutos de SO_2 tendrían una muy alta variabilidad temporal (año a año) y espacial.

proponen una nueva norma de 1 hora y la revisión de las normas actuales de 24 horas y anuales. Se considera que una norma de 1 hora aún ofrecería resguardo con respecto a exposiciones cortas de 5 minutos.

Para determinar las concentraciones recomendadas para el estándar de 1 hora se consideraron principalmente los estudios clínicos con asmáticos. Como objetivo se propuso determinar concentraciones de 1 hora que disminuyeran sustancialmente las exposiciones de 5 minutos a concentraciones de 400 ppb [$1.064 \mu\text{g}/\text{m}^3$] o más y de limitar apreciablemente la exposición de 5 minutos a concentraciones de 200 ppb [$532 \mu\text{g}/\text{m}^3$] o más. Como se comentó anteriormente en la sección de la OMS, estas concentraciones representan el rango de respuesta observado en los estudios clínicos de asmáticos (Linn et al., 1983).

Tomando estos antecedentes en consideración se sugiere que un estándar horario en el rango de 50 a 150 ppb [133 a $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$] ofrecería protección adecuada contra exposiciones a SO_2 de 5 minutos en los rangos descritos anteriormente. Se considera que si se acepta un estándar del orden de los 50 ppb, los estándares diario y/o anual debieran ser revisados y/o revocados.

3.2.2.3 Valores de contingencia o emergencia

La EPA cuenta con varios valores asociados a situaciones de contingencia o emergencia. El primer set de valores son los llamados Índices de Calidad de Aire (*Air Quality Index* AQI). Estos valores han sido diseñados para unificar la información al público con respecto a la calidad de aire. Toman valores entre 0 y 500 siendo 0 el mejor valor y 500 el peor. Según el valor que adopte se notifica a los usuarios con un color, una descripción del riesgo asociado, y en general alguna recomendación con respecto a los grupos de riesgo (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Índice de calidad de aire (AQI)

Índice de Calidad de Aire	Descripción	Color
0-50	Bueno	Verde
51-100	Moderado	Amarillo
101-150	Poco saludable para grupos sensibles	Naranja
151-200	Poco saludable	Rojo
201-300	Muy poco saludable	Morado
301 y más	Peligroso	Café

Fuente: Air Quality Index

En general el valor 100 se establece en el valor del estándar de corto plazo (1 hora o un día) mientras que el valor 50 se establece usando el valor de estándar anual. Por otro lado el nivel 500 se establece usando el nivel de daño significativo (*significant harm level* - SHL). Estos valores han sido identificados por la EPA usando la literatura científica y se refieren a los valores en los que se encuentra evidencia que existe un daño significativo a la población normal.

Los valores de AQI entre 0 y 200 se establecen en forma proporcional a las concentraciones de los estándares de corto plazo, mientras que los valores entre 300 y 500 (dado que son valores de mayor peligrosidad) se hacen proporcionales al valor de SHL.

Finalmente, existe la recomendación de niveles de alerta, advertencia y emergencia para el manejo de las situaciones de contingencia. Estas son sugerencias de la EPA para que los estados regulen a nivel local las situaciones de contingencia. En general estos niveles están asociados a los niveles 200, 300 y 400 del AQI.

Para SO₂ el nivel de SHL se estableció en 1000 ppb [2.620 µg/m³] como promedio de 24 horas.

Los niveles de cada uno de los AQI se indican en la Tabla 3.2 3.2. Se incluyen también los niveles que clasifican las regiones de prioridad de planes de descontaminación I o II (Tabla 3.3). Siendo, las regiones de tipo I las de mayor prioridad. Mientras que los niveles sugeridos para alertas y emergencias se muestran en la Tabla 3.4 3.4. Como comparación mostramos los niveles de emergencia a nivel nacional en la Tabla 3.5 3.5. En comparación parece que el nivel de emergencia nacional no tiene relación con los niveles de emergencia de la EPA, además los niveles descritos son mucho mayores que los niveles de estándares de calidad de aire propuestos por la EPA.

Es probable que si se incorporan nuevos estándares de calidad de aire, los niveles AQI y otros cambien concomitantemente.

Tabla 3.2. Índice de Calidad de Aire para SO₂.

Nivel	Concentración
0-50	0 - 34 ppb [0 - 44,50 ug/m ³] media 24 horas
51-100	35 - 144 ppb [45,8 - 188,5 ug/m ³] media 24 horas
101-150	145 - 224 ppb [189,8 - 293,19 ug/m ³] media 24 horas
151-200	225 - 304 ppb [294,5 - 397,9 ug/m ³] media 24 horas
201-300	305 - 604 ppb [399,2 - 790,5 ug/m ³] media 24 horas
301-400	605 - 804 ppb [791,8 - 1052,4 ug/m ³] media 24 horas
401-500	0,805-1,004 ppm [1053,6 - 1314,1 ug/m ³] media 24 horas

Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.3. Niveles que determinan Región I o II

Niveles	Media de 24 horas	Anual
Región I	170 ppb [455 µg/m ³]	40 ppb [100 µg/m ³]
Región II	100 - 170 ppb [260 - 445 µg/m ³]	20 - 40 ppb [60 - 100 µg/m ³]

Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.4. Niveles sugeridos para planes de contingencia a nivel estatal

Nivel	Concentraciones
Alerta	300 ppb [800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] media 24 horas
Advertencia	600 ppb [1.600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] media 24 horas
Emergencia	800 ppb [2.100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] media 24 horas

Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.5. Niveles de emergencia ambiental a nivel nacional

Nivel	Concentraciones
Nivel 1	750 a 990 ppb [1.962 - 2.615 ug/m^3] Máx. 1 hora
Nivel 2	1000 a 1490 ppb [2.616 - 3.923 ug/m^3] Máx. 1 hora
Nivel 3	1500 ppb o más [3.924 ug/m^3 o más] Máx. 1 hora

Fuente: Air Quality Index

3.2.3 Antecedentes nacionales

Existen dos estudios recientes que han analizado el efecto de la exposición a SO_2 en la mortalidad diaria en Santiago, el estudio de Cifuentes y col. (Cifuentes et al., 2000a) y el estudio de Cakmak y col. (Cakmak et al., 2007). El estudio de Cifuentes encontró una asociación significativa entre SO_2 y mortalidad diaria para los modelos de series de tiempo que incluyeran solamente SO_2 , sin embargo, al incluir otros contaminantes en el modelo, esta asociación disminuía y se tornaba no significativa.

Por otro lado, el estudio de Cakmak encontró asociaciones significativas entre SO_2 y mortalidad aun considerando el efecto de los demás contaminantes. Aún más, este estudio encontró que los efectos del SO_2 (y de otros contaminantes) aumentan en la medida que se considera población de mayor edad (mayores de 65 años).

Estos estudios contribuyen y están en relación con la evidencia internacional sobre los efectos del SO_2 en la mortalidad de la población.

3.2.4 Resumen

La OMS, ha propuesto guías de calidad de aire para SO_2 de 24 horas y 10 minutos basados largamente en estudios clínicos con sujetos asmáticos realizando ejercicio físico y en estudios de series de tiempo y morbilidad respiratoria. Gran relevancia tienen los estudios de intervención en Hong Kong. Los valores propuestos son de 188 ppb [500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] para un período de 10 minutos y de 7,5 ppb [20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] para un período de 24 horas. Dadas estas guías un estándar anual no es necesario.

La EPA, basándose en los estudios clínicos con asmáticos, está estudiando un nuevo estándar de 1 hora con concentraciones de entre 50 y 150 ppb. A su vez se considera revisar y eventualmente dependiendo del nivel de 1 hora eliminar los estándares de 24 horas y anual.

Los niveles de emergencia de la EPA no tienen relación con los niveles de emergencia nacionales.

3.3 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

3.3.1 Antecedentes internacionales – Guías de la OMS

La guía actual de la OMS para NO₂ incluye valores para la exposición de corto y largo plazo. Primeramente, existe un valor guía de corto plazo para el promedio de 1 hora de 106 ppb [200 µg/m³]. El estándar de largo plazo es anual y corresponde a un promedio de concentraciones de 21 ppb [40 µg/m³].

En Chile la norma vigente es de 213 ppb [400 µg/m³] como promedio de 1 hora y de 53 ppb [100 µg/m³] como media anual.

3.3.1.1 Evolución de las guías

El valor de 1 hora de la guía fue primeramente propuesto en las guías del año 2000 con un valor idéntico al actual. Este valor fue mantenido en las guías del año 2005 (WHO, 2005). Asimismo, la guía anual fue introducida el año 2000 (Bauer et al., 1986) y mantenida el 2005 con el mismo valor.

3.3.1.2 Antecedentes científicos para la guía de 1 hora

Los principales estudios que sustentan esta guía son, nuevamente, estudios clínicos con asmáticos en situación de laboratorio.

Numerosos estudios han buscado demostrar los efectos de exposición a NO₂ en sujetos asmáticos o con EPOC. Estos estudios han mostrado que sujetos asmáticos o con EPOC expuestos a bajas concentraciones de NO₂ en condiciones de laboratorio, presentan una disminución significativa de la función pulmonar medida como VEF1 o capacidad vital forzada (CVF) o del aumento de la resistencia de las vías aéreas.

El menor nivel de exposición NO₂ que consistentemente fue capaz de producir un efecto en función pulmonar en distintos experimentos fue de 300 ppb [560 µg/m³] cuando sujetos fueron expuestos por 2 horas (Avol et al., 1989; Bauer et al., 1986; McDonnell et al., 1997; Roger et al., 1990).

Por otro lado, en otro de los estudios más significativos para la OMS se comenta un estudio de meta-análisis de 20 estudios de bronco constricción en asmáticos. Los estudios de meta-análisis usan herramientas estadísticas sofisticadas que

permiten “agrupar” los resultados de distintos estudios en un solo resultado. Además buscan ver si los efectos observados entre los distintos estudios son estadísticamente significativos vistos en su conjunto. El estudio de meta-análisis mencionado (Folinsbee, 1992) encontró que existe una respuesta de las vías aéreas a concentraciones del orden de 110 ppb [200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$].

Adicionalmente, se mencionan estudios recientes en que la exposición a NO_2 aumenta la respuesta alérgica de los pacientes (Barck et al., 2005; Barck et al., 2002; Strand et al., 1997; Strand et al., 1998; Tunnicliffe et al., 1994). En estos estudios los pacientes son expuestos a NO_2 para posteriormente ser desafiados con un alérgeno común como el polen o ácaros algunas horas después. Se encontró que luego de ser expuestos a concentraciones del orden de 265 a 425 ppb [500 a 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] se aumentó la respuesta alérgica de los pacientes, medida como función pulmonar, síntomas y parámetros bioquímicos.

Dado que la mayoría de los estudios muestran efectos a concentraciones de alrededor de 265 ppb [500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] e incluso uno de los meta-análisis muestra efectos a 110 ppb [200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$], la OMS sugiere actualmente una guía de 1 hora de 110 ppb [200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] como una exposición que tendría un riesgo aceptable.

3.3.1.3 Antecedentes científicos para la guía anual

Los principales estudios que sustentan esta guía son estudios epidemiológicos que muestran una disminución consistente de la función pulmonar de niños expuestos a NO_2 y los efectos del NO_2 intramuros.

Con respecto al NO_2 intramuros, este proviene principalmente de las fuentes de combustión como las cocinas y estufas.

El estudio principal que documenta los efectos del NO_2 sobre los síntomas respiratorios de niños es el de meta-análisis de Hasselblad (Hasselblad et al., 1992). En este estudio se agrupan los resultados de varios estudios que midieron los síntomas respiratorios en niños expuestos a distintos niveles de concentración de NO_2 a nivel intramuros. Se concluye que la exposición a largo plazo a NO_2 bajo estas condiciones aumenta la prevalencia de síntomas respiratorios en niños menores a 12 años en un 20% asociado a un aumento en la concentración de NO_2 de 16 ppb [30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$].

Otros estudios importantes son los de efectos de NO_2 en función respiratoria. Dentro de estos se destacan los estudios realizados en California del Sur (Gauderman et al., 2004; Gauderman et al., 2002; Gauderman et al., 2000). En estos se encontró que la exposición crónica a NO_2 estaba asociada a caídas persistentes en el tiempo de función pulmonar (medidas como VEF1 o CVF). El más reciente de estos estudios (Gauderman et al., 2004) muestra caídas de CVF de 95 mL y de VEF1 de 101 mL para rangos de concentraciones de alrededor de

35 ppb [69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Las asociaciones se encontraron aún a concentraciones de 20 ppb [10,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$].

La OMS reconoce que muchos de estos estudios tienen la incerteza respecto a si NO_2 es el agente causal de los efectos observados o es un sustituto para otros agentes. Es importante mencionar que NO_2 es formado rápidamente a partir de NO el cual es un producto directo de fuentes de combustión incluyendo emisiones vehiculares.

Dado esto se considera que los antecedentes de salud sugieren una norma más baja pero dada la incerteza respecto a si NO_2 es el agente causal se sugiere una guía anual conservadora de 21 ppb [40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] la cual está dentro del rango alto de las concentraciones en que se encontraron algunos efectos.

Se considera que esta guía es adecuada si se requiere evaluar los efectos del NO_2 en sí. Si la intención del regulador es controlar los efectos de fuentes asociadas a NO_2 , se recomienda usar un valor guía menor que el sugerido.

Por último, pese a que no existe claridad sobre la causalidad de los efectos de largo plazo del NO_2 , se considera que el regular el NO_2 trae el beneficio de controlar las mismas fuentes que emiten los contaminantes asociados a NO_2 que pudieran ser la causa real de los efectos observados.

3.3.1.4 Valores de contingencia o emergencia

Para el NO_2 , la OMS no tiene sugerencias de valores de emergencia o contingencia (similares a los *Air Quality Index* de la EPA o a las alertas y preemergencias chilenas).

3.3.2 Antecedentes internacionales – Normas de la EPA

La actual norma de la EPA para el NO_2 es de 53 ppb [100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] como promedio anual.

En Chile la norma vigente es idéntica de 53 ppb [100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] como promedio anual.

3.3.2.1 Evolución del estándar

El estándar actual de la EPA data de 1971(EPA, 2009a). Se han hecho revisiones de los documentos criterio para NO_2 en 1982 y 1993. Pese a la incorporación de nueva evidencia, no se encontró necesario modificar el estándar de anual de NO_2 o introducir nuevos estándares.

Actualmente, los estándares se encuentran en proceso de revisión, existiendo una sugerencia de incorporación de un nuevo estándar de corto plazo de un promedio de exposición de 1 hora con una concentración en el rango de 65 a 150 ppb [122 a 282 $\mu\text{g}/\text{m}^3$].

3.3.2.2 Antecedentes científicos para los efectos de corto plazo (1 hora)

Los estudios que sustentan un estándar de corto plazo para el NO₂ se basan en dos líneas de evidencia, los estudios clínicos y los estudios epidemiológicos de morbilidad de respiratoria estudiada por series de tiempo.

Entre los estudios epidemiológicos de morbilidad, dos estudios recientes son citados, el estudio de Peel del 2005 (Peel et al., 2005) y el de Tolbert del 2007 (Tolbert et al., 2007). Estos estudios evaluaron las visitas de emergencia para todas las edades en Atlanta entre 1993 y 2000. En el estudio de Peel, usando modelos de un contaminante encontraron un aumento de significativo de 2,4% en las visitas de emergencia asociado a un aumento de 30 ppb en la máxima de 1 hora. Para los individuos de 2 a 18 años se encontró un aumento significativo de un 4,1%. Tolbert reanalizó esta información agregando 4 años más de datos encontrando esencialmente los mismos resultados. Sin embargo, encontraron que los resultados no eran significativos si incorporaban otros contaminantes en el análisis.

Como evidencia del efecto del NO₂ en estudios clínicos se menciona el meta-análisis de Folinsbee (Folinsbee, 1992). Este estudio recopila y agrupa información de 19 estudios distintos de exposición a nivel de laboratorio de sujetos asmáticos. Los resultados del estudio muestran un aumento significativo en la resistencia aérea en alrededor del 70% de los sujetos asmáticos después de ser expuestos a concentraciones de 200 a 300 ppb [376 a 564 µg/m³] por media hora.

Además, tal como para la OMS, se mencionan los estudios que aumentan la reacción alérgica de los sujetos luego de exposición a NO₂.

De los datos entregados, la EPA considera que los estudios clínicos sugieren un nivel aceptable de riesgo a concentraciones de 100 ppb [158 µg/m³]. Por su parte los estudios epidemiológicos descritos anteriormente encontraron efectos en ciudades en que las concentraciones estaban, en general, por debajo de concentraciones de 50 ppb [79 µg/m³].

Basado en estas consideraciones la EPA propone un estándar de entre 80 y 100 ppb [150 y 188 µg·m³], con un rango inferior de 65 ppb [122 µg·m³] y un rango máximo de 150 ppb [282 µg/m³].

Tal como la OMS, la EPA muestra su preocupación con respecto a la evidencia respecto a que el NO₂ puede presentar una gran variedad espacial debido a las emisiones locales del tráfico.

Con respecto a este punto la EPA sugiere implementar estaciones de monitoreo que permitan medir de mejor forma la exposición de las personas en las condiciones de mayor influencia de tráfico.

El estándar mencionado arriba considera una red de monitoreo con una alta influencia de tráfico. En caso que los monitores se ubiquen lejos de las fuentes de emisión (carreteras) se propone un estándar más bajo del orden de los 50 a 75 ppb [94 a 141 $\mu\text{g}/\text{m}^3$].

3.3.2.3 Antecedentes científicos para los efectos de largo plazo (anual)

El estándar de anual se basa actualmente principalmente en los estudios epidemiológicos de Gauderman y de Brauer (Brauer et al., 2007; Gauderman et al., 2004; Gauderman et al., 2005) los cuales se basan principalmente en la medición de función pulmonar en niños asociado a la exposición crónica a NO_2 . Los estudios muestran bajas significativas en la función pulmonar asociados a exposición crónica a NO_2 .

Sin embargo, la EPA muestra su preocupación debido a que muchos de los efectos pueden deberse a un co-contaminante que cause los efectos observados.

A este respecto en el documento RIA (EPA, 2009a) se concuerda que existe evidencia limitada sobre los efectos de largo plazo de la exposición a NO_2 pero, además, no existe ninguna evidencia que muestre positivamente que no existe efecto.

Tomando esto en consideración la EPA opta por no cambiar el estándar anual de 53 ppb [100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$].

3.3.2.4 Valores de contingencia o emergencia

Los valores de contingencia y emergencia han sido descritos en la sección sobre el SO_2 .

Los niveles de cada uno de los AQI se indican en la Tabla 3.6 3.6. Los niveles que clasifican las regiones en I o II se muestran en la Tabla 3.7 3.7. Mientras que los niveles sugeridos para alertas y emergencias se muestran en la Tabla 3.8 3.8. Como comparación mostramos los niveles de emergencia a nivel nacional en la Tabla 3.9. Los niveles de emergencia nacionales son los mismos que los niveles de emergencia de la EPA.

Es probable que si se incorporan nuevos estándares de calidad de aire, los niveles AQI y otros cambien concomitantemente.

Tabla 3.6. AQI para NO_2

Nivel	Concentración
0-50	ND
51-100	ND
101-150	ND

151-200	ND
201-300	650 – 1.240 ppb [1.222-2.331 ug/m ³] Máx. 1 hora
301-400	1.250 – 1.640 ppb [2.350-3.083 ug/m ³] Máx. 1 horar
401-500	1.650 – 2.040 ppb [3.102-3.835 ug/m ³] Máx. 1 horar

Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.7. Niveles que determinan Región I o II

Niveles	Anual
Región I	60 ppb [100 µg/m ³] media anual
Región II	ND

Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.8. Niveles sugeridos para planes de contingencia a nivel estatal

Nivel	Concentraciones	Concentraciones
Alerta	600 ppb [1.130 µg/m ³] media horaria	150 ppb [282 µg/m ³] media 24 horas
Advertencia	1.200 ppb [2.260 µg/m ³] media horaria	300 ppb [565 µg/m ³] media 24 horas
Emergencia	1600 ppb [3.000 µg/m ³] media horaria	400 ppb [750 µg/m ³] media 24 horas

Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.9. Niveles de emergencia ambiental a nivel nacional

Nivel	Concentraciones
Nivel 1	601 a 1.201 ppb [1.130 – 2.259 ug/m ³] máx.1 hora
Nivel 2	1.202 a 1.595 ppb [2.260 – 2.999 ug/m ³] Máx. 1 hora
Nivel 3	1.596 ppb o más [3.000 ug/m ³ o más] Máx. 1 hora

Fuente: Air Quality Index

3.3.3 Antecedentes nacionales

Los estudios en Chile que abordan este contaminante son escasos y los pocos existentes, han abordado el efecto del NO₂ en la mortalidad, síntomas respiratorios y admisiones de urgencia por causa respiratoria. Los estudios referidos consideran exposiciones breves a NO₂ de 24 horas. Un resumen de los estudios considerados se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Resumen de evidencia en Chile

Ref.	Efecto
Ostro, B y col. (1996)	Mortalidad: RR:1,02+ PM10 (NS) a niveles de NO ₂ de 52,6 ppb [99 µg/m ³]
Salinas y col. (1995)	Mortalidad (NS)
Ilabaca, M y col. (1999)	Incremento en urgencias respiratorias infantiles a niveles de exposición de 45,0 ppb [85 µg/m ³]
Cifuentes y col. (2000)	Mortalidad: RR: 1,024 -1,031 a niveles de exposición de 29,3 ppb-52,4 ppb [55 µg/m ³ – 99 µg/m ³] (promedio 8 horas)
Cakmak, Dales y col. (2009) ¹	Mortalidad: RR:1,11(95%IC: 1,08–1,14) Mortalidad por causas cardiacas: RR:1,17(95%IC:1,13–1,22) Mortalidad por causa respiratoria:

	RR=1,35 (95%IC:1.26–1,45) > 84 años(RR=1,20 (95%CI=1,15–1,26) Modelo: CO+NO ₂ +Carbono elemental y orgánico.
Pino y col., (1998)	Diseño: Caso control anidado en una cohorte (n=522; 121 casos (recurrencia de síntomas) y 131 controles). No encuentra diferencias significativas en el ambiente interior vs exterior de casos y controles
Pino y col., (2004)	Misma cohorte: No encontró efectos asociados a NO ₂
Dales y col., (2009)	Hospitalización por dolor de cabeza: RR: 1,11 (1,06 – 1,17) a promedios de exposición a NO ₂ de 15,4 ppb [28,97 ug/m ³] (24 horas)

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.1 Evidencia Nacional: Mortalidad

Los estudios Chilenos publicados hasta 1999 no encuentran efectos asociados a la exposición breve a NO₂ considerando como efecto la mortalidad diaria para el período 1989 al 1993 y para el período 1988-1991 (Ostro et al., 1996; Salinas and Vega, 1995). En 2000, Cifuentes y col., considerando información de mortalidad diaria por causas no accidentales para el período de 1988-1996 en Santiago de Chile, identificó un significativo efecto en la mortalidad asociado a la exposición, controlando el efecto de multi-contaminantes y otros confusores (Cifuentes et al., 2000b).

Un estudio reciente reportó un efecto significativo asociado a un conjunto de gases y componentes del MP2.5, incluido NO₂ mostrando un elevado riesgo sobre la mortalidad general por causas cardiacas y respiratorias, siendo mayor el riesgo en adultos mayores (Cakmak et al., 2009).

3.3.3.2 Evidencia Nacional: Síntomas respiratorios

En la revisión previa de experiencia en Chile (1999) se describe un estudio de cohorte realizado por Belmar y col. (1988) quienes asocian la presencia de sibilancias (sonido durante la respiración) con un aumento de este contaminante (Belmar, 1989). Dos estudios conducidos por Pino y col. (Pino et al., 1998; Pino et al., 2004) no identifican efectos significativos sobre sintomatología respiratoria en lactantes.

3.3.3.3 Evidencia Nacional: Consultas y admisiones hospitalarias

El estudio realizado por (Ilabaca et al., 1999) estudiando varios contaminantes y su relación con morbilidad respiratoria infantil en un hospital pediátrico de Santiago, muestra un exceso de riesgo de 11% para consultas de urgencia infantil, lo que equivaldría a un exceso de 4.617 consultas anuales atribuibles al NO₂.

3.3.4 Resumen

La OMS ha propuesto guías de calidad de aire para NO₂ de 1 hora de 110 ppb [200 µg/m³] basada principalmente en los estudios clínicos con asmáticos.

Además, sugiere una guía anual de 21 ppb [$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$] basado en evidencia de los efectos en función pulmonar a largo plazo de niños y al aumento de prevalencia de síntomas respiratorios debido a exposición a NO_2 intramuros.

La EPA propone un nuevo estándar de 1 hora con valores entre 80 y 100 ppb [150 y $188 \mu\text{g}/\text{m}^3$] basados en argumentos similares a la OMS. La EPA sugiere además que las redes de monitoreo se emplacen en sitios con un alto impacto de tráfico de modo de medir los niveles de la población más expuesta a las emisiones del tráfico vehicular.

La EPA retiene el estándar anual anterior de 53 ppb [$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$] aunque sostiene que la información que la sustenta no es conclusiva.

3.4 Ozono (O_3)

3.4.1 Antecedentes internacionales – Guías de la OMS

La guía actual de la OMS para O_3 es de corto plazo solamente y es de 50 ppb [$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$] para un promedio de 8 horas.

En Chile la norma vigente es de 61 ppb [$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$] como promedio de 8 horas.

3.4.1.1 Evolución de la guía.

La primera guía para O_3 apareció en las guías de 1987. Era una guía para concentración de 1 hora y consideraba un rango entre 75-100 ppb [150 a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$]. Luego, en la revisión del 2000 el valor de 1 hora fue reemplazado por el de 8 horas cuya concentración correspondía a 60 ppb [$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$]. Finalmente la guía para una concentración de 8 horas fue reemplazada en la revisión del 2005.

3.4.1.2 Antecedentes científicos para la guía de 8 horas

Principales razones de la OMS para fijar el estándar de 8 horas son los estudios epidemiológicos de series de tiempo que analizan la mortalidad asociada a la exposición a O_3 y los estudios clínicos de sujetos expuestos a O_3 .

Los estudios epidemiológicos de series de tiempo, analizan la variación en la mortalidad diaria en función de las concentraciones observadas de contaminantes, en este caso O_3 . Se han publicado recientemente 4 estudios de meta-análisis que analizan el impacto del O_3 en la mortalidad (Bell et al., 2005; Gryparis et al., 2004; Ito et al., 2005; Levy et al., 2005). Si bien los efectos son menores que los del material particulado, se ha encontrado con son independientes de éste, y que los efectos se pueden encontrar a concentraciones tan bajas como 37 ppb [$75 \mu\text{g}/\text{m}^3$] (Gryparis et al., 2004). Además, no se encuentra evidencia de que exista un umbral de respuesta.

La siguiente línea de evidencia viene de los estudios de clínicos de exposición. Uno de los principales estudios es el de Horstman y col. (Horstman et al., 1990) en el cual adultos jóvenes fueron expuestos a concentraciones de O₃ entre 80 y 100 ppb [160 a 200 µg/m³] por 6 horas, encontrándose indicaciones de obstrucción pulmonar e hiperreactividad de las vías aéreas para todas las concentraciones estudiadas. Además, se observó que había una gran variabilidad individual a las respuestas a O₃.

De estos estudios se concluyó que dados los efectos del O₃ en mortalidad y la gran variabilidad entre sujetos, que era necesario reducir la antigua guía de 60 ppb [120 µg·m³] a 50 ppb [100 µg/m³].

Se destaca que usando este valor guía, los días que se observen concentraciones con valores cercanos a la guía, la mortalidad aumentaría entre un 1 a 2%.

3.4.2 Antecedentes internacionales – Normas de la EPA

Las actuales normas de la EPA para el O₃ son de 75 ppb [150 µg/m³] como promedio de 8 horas.

En Chile la norma vigente es de 61 ppb [120 µg/m³] como promedio de 8 horas.

3.4.2.1 Evolución de los estándares

La norma de la EPA ha evolucionado desde una norma de 1 hora para una concentración de 120 ppb [240 µg/m³] implementada el año 1986, a una de 8 horas que fue introducida el año 1996 con un valor de 80 ppb [160 µg/m³]. El año 2008 se revisó la norma de 8 horas al valor actual de 75 ppb [150 µg/m³].

3.4.2.2 Antecedentes científicos para la norma de 8 horas

En su revisión más reciente la EPA consideró como evidencia principal los estudios clínicos con exposición de sujetos en cámaras.

La EPA considera que los estudios principales que sustentan el estándar anterior de 80 ppb [160 µg/m³] son los estudios de exposición de adultos en cámaras como los de Horstman y MacDonnel (Devlin et al., 1999; Horstman et al., 1990; McDonnell et al., 1997). En estos se encontraron cambios significativos en función pulmonar asociado a concentraciones tan bajas como 80 ppb [160 µg/m³].

Recientemente aparecieron 2 estudios que han tenido un gran impacto, los estudios de Adams (Adams 2002 y 2006). Estos estudios de exposición en cámaras replican los resultados anteriores pero encuentran que algunos sujetos muestran reacciones de función pulmonar a concentraciones tan bajas como 60 ppb [160 µg/m³]. Estas observaciones están en línea con un estándar del nivel de las guías de la OMS.

Sin embargo, le EPA en consideración a estos estudios rebajó su estándar a 75 ppb [$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$] en consideración a estos estudios argumentando que este valor era suficiente para proteger la salud pública con un adecuado margen de seguridad. Además, se menciona que la Acta de Aire Limpio no indica la necesidad de obtener niveles de riesgo cero sino de niveles que reduzcan el riesgo lo suficiente para proteger la salud pública con un margen adecuado de seguridad.

3.4.2.3 Valores de Contingencia o Emergencia

Los valores de contingencia y emergencia han sido descritos en la sección sobre el SO_2 .

Los niveles de cada uno de los AQI se indican en la Tabla 3.11 3.11. Los niveles que clasifican las regiones en I o II se muestran en la Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.12 Tabla 3.12. Mientras que los niveles sugeridos para alertas y emergencias se muestran en la Tabla 3.13 3.13. Como comparación mostramos los niveles de emergencia a nivel nacional en la Tabla 3.14 3.14. Los niveles de emergencia nacionales son los mismos que los niveles de emergencia de la EPA.

Es probable que si se incorporan nuevos estándares de calidad de aire, los niveles AQI y otros cambien concomitantemente.

Tabla 3.11. AQI para O_3 .

Nivel	Concentración
0-50	0 - 59 ppb [$0 - 57,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$] 8 horas
51-100	60 - 75 ppb [$58,8 - 73,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$] 8 horas
101-150	76 - 95 ppb [$74,6 - 93,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$] 8 horas
151-200	96 - 115 ppb [$94,2 - 112,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$] 8 horas
201-300	125 - 164 ppb [$122,6 - 137,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$] 1 hora
301-400	165 - 204 ppb [$161,9 - 200,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$] 1 hora
401-500	116 - 374 ppb [$113,8 - 367,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$] 8 horas

Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.12. Niveles que determinan Región I o II

Niveles	Anual
Región I	100 ppb [$195 \mu\text{g}/\text{m}^3$] máx. 1 hora
Región II	ND

Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.13. Niveles sugeridos para planes de contingencia a nivel estatal

Nivel	Concentración
Alerta	200 ppb [$400 \mu\text{g}/\text{m}^3$] media horaria.

Advertencia	400 ppb [800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] media 1 hora
Emergencia	500 ppb [1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] media 2 hora

Fuente: Air Quality Index

Tabla 3.14. Niveles de emergencia ambiental a nivel nacional

Nivel	Concentración
Nivel 1	204 a 407 ppb [400 - 799 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] Máx. 1 hora
Nivel 2	408 a 509 ppb [800 - 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] Máx. 1 hora
Nivel 3	510 ppb o más [1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] Máx. 1 hora

Fuente: Air Quality Index

3.4.3 Antecedentes nacionales

La normativa de la CONAMA del año 2001 fija una norma de 8 horas para Ozono de 60 ppb [118 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] modificándose la normativa anterior basada en promedios de exposiciones de 1 hora. Las principales fuentes que fundamentaron tal decisión fueron las guías de la OMS y los documentos de la EPA, citándose principalmente los estudios clínicos que mostraban efectos sobre la salud respiratoria de personas saludables a concentraciones de 80 ppb [157 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] para exposiciones de 6 horas. Además, se cita explícitamente los documentos del “Clean Air Scientific Advisory Committee” (CASAC) de la EPA, el cual recomendó pasar del estándar de 1 hora a 8 horas basado en estudios epidemiológicos que sostenían que “un estándar de 1 hora no protege adecuadamente a la gente de efectos adversos en la salud” y se indicaba que una normativa de 8 hora tendría un efecto protector más uniformes³³.

A los estudios nacionales citados con anterioridad, lo encontrado como nuevos trabajos relevantes respecto a Ozono y salud, debemos nombrar a las publicaciones de Sabit Cakmak, Robert E. Dales y Claudia Blanco Vidal “Air Pollution and Mortality in Chile: Susceptibility among the Elderly” publicado en Environ Health Perspect en el año 2007 y la publicación de Michelle L Bell, Marie S O’Neill, Nalini Ranjit, Víctor H Borja-Aburto, Luis A Cifuentes y Nelson C Gouveia⁵ “Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in Sao Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico” publicado en el International Journal of Epidemiology en el año 2008.

El primero de estos se centran en la mayor susceptibilidad de las personas adultas mayores y el segundo en la vulnerabilidad asociada a las temperaturas ambientales sugiriéndose una mayor mortalidad para las personas de avanzada edad y ha temperaturas ambientales elevadas.

³³ EPA Revised Ozone Stansar Fact Sheet, USEPA , QAQPS, Julio 17, 1997

3.4.4 Resumen

La OMS ha planteado guías de 8 horas de 50 ppb [$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$] basado principalmente en estudios de series de tiempo que analizan la mortalidad y estudios clínicos de exposición en cámaras.

La EPA ha reducido recientemente su estándar 75 ppb [$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$] en vista de nuevos antecedentes de estudios clínicos en cámaras de exposición

3.5 Monóxido de Carbono (CO)

3.5.1 Antecedentes internacionales – Guías de la OMS

La guía actual de la OMS para CO es de 25 ppm [$27 \mu\text{g}/\text{m}^3$] para 1 hora y 10 ppm [$12 \mu\text{g}/\text{m}^3$] para 8 horas. Estos valores se han matenido desde la publicación por primera vez de las Guías de calidad del aire en el año 1987.

La norma actual en Chile es de 26 ppm [$28 \mu\text{g}/\text{m}^3$] para 1 hora y 9 ppm [$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$] para 8 horas.

3.5.1.1 Evolución de la norma

La guía de CO no ha cambiado desde su introducción, correspondiente al año 1987.

3.5.1.2 Antecedentes científicos

La guía está basada en cálculos que estiman las concentraciones esperadas de carboxihemoglobina en la sangre. El valor límite planteado es una concentración en sangre de carboxihemoglobina de 2 a 3 %, valor por sobre el cual aparecen efectos en el sistema nervioso central. Basado en los estudios de Coburn de 1965, se calcula que las concentraciones de CO y el tiempo de exposición necesarios para alcanzar los niveles de carboxihemoglobina comentados son los descritos por las guías.

3.5.2 Antecedentes internacionales – Normas de la EPA

Las actuales normas de la EPA para el CO son de 35 ppm [$40 \text{mg}/\text{m}^3$] como promedio de 1 hora y de 9 ppm [$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$] como promedio de 8 horas.

La norma actual en Chile es de 26 ppm [$28 \text{mg}/\text{m}^3$] para 1 hora y 9 ppm [$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$] para 8 horas.

3.5.2.1 Evolución de los estándares

Los estándares no han sido modificados desde su creación en 1971.

3.5.2.2 *Antecedentes científicos*

Similar a las guías de la OMS, los estándares están basados en cálculos que estiman las concentraciones esperadas de carboxihemoglobina en la sangre. Los valores límite se basan en los estudios de Coburn de 1965. El valor límite planteado es una concentración en sangre de carboxihemoglobina de 2.7 a 3 %, valor por sobre el cual aparecen efectos en el sistema nervioso central. Se calculó que las concentraciones de CO y el tiempo de exposición necesarios para alcanzar los niveles de carboxihemoglobina comentados son los descritos por las guías.

3.5.3 **Antecedentes nacionales**

Los estudios nacionales que hacen referencia a la cuantificación de los efectos del CO en la salud de la población: los principales efectos que aborda son relativos a la mortalidad y morbilidad respiratoria.

3.5.3.1 *Mortalidad*

Un estudio reciente de Sanhueza y col. (Sanhueza et al., 2009) determinó los valores de riesgo (Riesgo Relativo, RR) relacionados al incremento de la concentración de CO en 1 ppm [$1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$] en la ciudad de Santiago, además de los efectos significativos en mortalidad ocasionados por prolongadas exposiciones de CO. Este estudio concluyó que existe una diferencia en el riesgo de mortalidad cardio-respiratoria para la población mayor a 65 años (> 65) producida por la inequidad en las concentraciones (y exposiciones) de CO en toda la ciudad de Santiago. El mayor riesgo está concentrado en las zonas sur-este de la ciudad (concentraciones altas), mientras que el menor riesgo está en las zonas norte y centro de la ciudad (concentraciones bajas).

3.5.3.2 *Morbilidad*

En los estudios de morbilidad SGA informo los resultados obtenidos por Ilabaca y col. (Ilabaca et al., 1999), el cual analiza los efectos del CO en las consultas infantiles de urgencias en un hospital de Santiago, no reportando efectos sobre esta variable.

Existen pocos o casi nulos estudios nacionales que determinen concisamente los efectos en morbilidad relacionados a las exposiciones de CO, ya sean de corto o largo plazo.

3.5.4 **Resumen**

Tanto la norma de la EPA como las guías de la OMS se basan en estudios de concentración de carboxihemoglobina en la sangre.

No ha habido estudios científicos reciente que cambien las guías o estándares propuestos.

Los estándares nacionales son similares a los propuestos internacionalmente.

4 REVISIÓN DE NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES DE CALIDAD DE AIRE RELACIONADAS CON LOS CONTAMINANTES NORMADOS: SO₂, O₃, NO₂ Y CO.

En este apartado se presenta la comparación de la normativa nacional e internacional relativa a la calidad del aire, considerando valores máximos permisibles, las situaciones de prevención alerta y emergencia, las tecnologías y métodos de medición, y el seguimiento y control de las medidas que se implementan, analizando los contaminantes de Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃) y Monóxido de Carbono (CO). Los países u organizaciones consideradas en base a una representación heterogénea cultural y geográfica son: la Organización Mundial de la Salud, Estados Unidos, la Unión Europea, México, Argentina, Brasil, China, Japón, Sudáfrica y Australia.

4.1 Breve historia reglamentaria en materia de calidad de aire para países seleccionados

4.1.1 Organización Mundial de la Salud

Las guías de calidad del aire de la OMS son directrices que sirven de base a las distintas naciones en la determinación de políticas y medidas para disminuir los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población. Estas guías se publicaron por primera vez en 1987, se revisaron luego en 1999, y en 2005 se vuelven a actualizar basándose en una evaluación mundial y regional de enfermedades causadas por la contaminación del aire. En esta revisión se entregan nuevos valores guías para tres de los cuatro contaminantes examinados. El Monóxido de Carbono (CO), no se incluyó en la revisión del 2005 por razones presupuestarias, prevaleciendo los valores del año 2000.

Uno de los principales resultados de esta revisión es la permanencia de posibles efectos adversos en la salud a pesar que el valor guía se cumpla tanto para SO₂, como para O₃ y NO₂ (también para material particulado). Por esta razón, se recomienda a los países intentar aplicar estándares aún más bajos de los recomendados por la OMS. Se entregan además, objetivos intermedios que definen etapas o pasos para una reducción progresiva de la contaminación del aire para las zonas más contaminadas. De esta forma se da la posibilidad a los gobiernos conjugar circunstancias locales con riesgos a la salud, factibilidad tecnológica, consideraciones económicas y otros factores relacionados con la especificidad del lugar³⁴.

³⁴ WHO (World Health Organization), 2006. Who Air Quality Guidelines for Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global Update 2005, World Health Organization, Geneva, disponible en <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf> Consultado en Octubre de 2009.

4.1.2 Unión Europea

Aunque la Comunidad Económica Europea se forma como tal en 1956, no fue hasta finales de los 70's que las directivas de calidad de aire se desarrollaron. La primera Directiva en calidad de aire ambiental es la Directiva 80/779/EEC relativa a los valores guías límites y valores guías para Dióxido de Azufre y material particulado. A esta Directiva la siguió la directiva 82/884/EEC relativa al plomo y la directiva 85/203/EEC relativa a los valores del Dióxido de Nitrógeno. En 1999 la Directiva 99/30/EC aúna las tres anteriores y se le denomina la "primera directiva hija" estableciendo nuevos valores límite de Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, partículas y plomo en el aire. El 2000 se crea la "segunda directiva hija" 2000/69/CE de los valores límites para el benceno y Monóxido de Carbono, y el 2002, se crea la "tercera directiva hija" 2002/3/EC que regula el Ozono en el medioambiente.

En junio del 2008 entró en vigencia la Directiva 2008/50/CE relativa a la Calidad del Aire Ambiente y a una Atmósfera más Limpia en Europa. La Directiva 2008 reemplaza a la Directiva 96/62/EC sobre Evaluación y Gestión de la Calidad del Aire y hace suya las tres directivas Hijas, antes mencionadas. La nueva directiva del 2008 busca aclarar y simplificar las provisiones existentes en calidad de aire ambiental e incorporar los últimos conocimientos científicos.

Como puntos cruciales, la Directiva 2008/50/CE establece la necesidad de reducir los niveles de contaminación que limiten al mínimo los efectos perjudiciales para la salud humana, prestando especial atención a las poblaciones más vulnerables y al medio ambiente en su conjunto. Además, subraya la necesidad de mejorar el control y la evaluación de la calidad de aire, incluidos el depósito de contaminantes, así como mejorar los canales de información hacia sus ciudadanos.³⁵

4.1.3 Estados Unidos

La Ley de Aire Limpio (*Clean Air Act*) de 1970 y sus enmiendas de 1977 y 1990 autoriza a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) establecer los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (*NAAQS i.e. National Ambient Air Quality Standards*) para 6 contaminantes criterios: Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Ozono, Monóxido de Carbono, plomo y material particulado (Título 40 del Código de regulación federal Parte 50). Estos contaminantes criterios que provienen de diversas y numerosas fuentes móviles y estacionarias tienen la intención de proteger la salud pública con "*un adecuado margen de seguridad*", incluyendo la salud de la población más sensible como son los asmáticos, los niños y los adultos mayores. En este sentido, la Ley de Aire

³⁵ Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of The Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. (Disponible en: <http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/07/st03/st03696.en07.pdf> Consultado en Octubre 2009)

Limpio 1990 prescribe que los estándares primarios estén basados completamente en información relacionada a la salud, muchas veces sin considerar costos en alcanzar el estándar. A tal respecto, la EPA tiene una gran autoridad para implementar y fiscalizar las regulaciones que reducen las emisiones de contaminantes atmosféricos, con especial énfasis en enfoques costo efectivo, como el uso de tecnologías apropiadas y bonos de emisiones.

A pesar que la Ley de Aire Limpio es una ley federal, la EPA exige que los estados desarrollen e implementen planes para cumplir con los valores norma, los que requieren ser nacionalmente uniformes, o más exigentes, como es el caso del estado de California.

4.1.4 Chile

En 1978, Chile dicta la primera norma de Calidad de Aire, Resolución 1.215/78 del Ministerio de Salud, llamada “Normas Sanitarias Mínimas Destinadas a Prevenir y Controlar la Contaminación Atmosférica”. Los contaminantes normados son Monóxidos de Carbono, oxidantes fotoquímicos (Ozono), Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre y partículas en suspensión. En 1994 se promulga la Ley de Bases del Medio Ambiente y se implementa la red de monitoreo en Santiago. El 2002, se revisa los valores normas que da origen a los D.S. N° 115/2002 para CO, D.S. N° 112/2002 para O₃, D.S. N° 113/2002 para SO₂ y D.S. N° 114/2002 para NO₂.

4.1.5 Argentina

La Ley N° 20.284 de 1973 “Salud Pública-Normas para la Preservación de los Recursos del Aire” faculta a la Autoridad Sanitaria Nacional en la fijación de normas de calidad de aire, así como de los niveles de alarma y alerta ambiental. Los gobiernos provinciales pueden seguir los estándares nacionales o promulgar sus niveles de emisión máximo permisible según el tipo de fuente fija³⁶. Sin embargo, esta ley carece de adhesión provincial, por lo que no resulta aplicable, salvo en casos de contaminación atmosférica interjurisdiccional. La ley 5965, Decreto 3395/96 de Régimen Provincial establece normas de calidad de aire, límites de emisión de nuevas fuentes y niveles guía de emisión para establecimientos preexistentes a la vigencia de la norma³⁷.

³⁶ Argentina, ley 20.284, Normas para la preservación de los recursos del aire. Anexo II, p. 12. Publicación B.O. 3/V/73 (16 de abril de 1973), disponible en <http://www2.medioambiente.gov.ar/mlegal/aire/ley20284.htm> consultado en Octubre 2009.

³⁷ Indicadores de aplicación y cumplimiento de la normativa ambiental de la República de Argentina. Materia Agua y Aire. Fundación Ambiente y Recursos Naturales 2006 http://www.farn.org.ar/arch/agua_aire.pdf

4.1.6 Brasil

La Ley de Política Nacional Ambiental (Ley 6938/81) estableció el Sistema Nacional de Medioambiente (SISNAMA) que consiste en organismos y entidades gubernamentales a nivel federal, estatal y municipal responsables de la protección y el control de la calidad ambiental bajo la umbrela del Consejo Nacional medioambiental (CONAMA). La Resolución Federal de CONAMA N°005/89 establece el Programa Nacional de Calidad de Aire (PRONAR) y fija los Criterios de política de Calidad de Aire, mientras que la Resolución Federal de CONAMA N° 003/90 fija los estándares primarios y secundarios de calidad de aire³⁸. El 2006 CONAMA promulga la Resolución N° 382/06 relativa a nuevos estándares de fuentes estacionarias de emisión para actividades relacionadas con gas natural petróleo, caña de azúcar, papel, etc.

4.1.7 México

En 1994, el Gobierno federal estableció las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental que regulan la concentración de contaminantes de aire para proporcionar un margen adecuado de seguridad de protección a la salud de la población en su conjunto, como de los grupos más susceptibles de la nación. Al momento de su elaboración, no se consideraron estudios epidemiológicos, toxicológicos ni de exposición por un tema de recursos e infraestructura, por lo que su base se encuentra en criterios y estándares usados en otros países³⁹. Los contaminantes regulados en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), son el NO₂, CO, SO₂, PST, PM₁₀, PM_{2.5} y Plomo. Su complemento son las normas Oficiales Mexicanas (NOM-ECOL) que definen los métodos de referencia o equivalentes para medir estos contaminantes.

4.1.8 China

El Comité del Quinto Congreso Nacional de Gente aprobó la “Ley de Protección Ambiental para la Gente de la República China” como la ley ambiental básica, la que en 1982 promulgó el documento de “Estándar de Calidad de Aire Ambiental”. En este documento se establecen diferentes niveles de estándares ambientales según tipo de áreas, además de fijar límites máximos para concentraciones de contaminantes que no permiten excedencia alguna permitida.

China tiene varias clases de uso de suelo para determinar su calidad aire, algo parecido a lo que la OMS hizo con los objetivos intermedios. En 1996 y 2000 se

³⁸ Brasil, resolución CONAMA No. 003/90 de 28 de junio de 1990, véase en <http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/res/resol90/res0390.html>, disponible en <http://www.temasactuales.com/assets/pdf/gratis/CONAMARes03-90.pdf> Consultado en Octubre 2009.

³⁹ Calidad de Aire en las principales Ciudades de México (2000) De la Luz, G, et.al. Instituto Nacional de Ecología. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaidis/caliaire/mexicona/R-0209.pdf>

revisaron estos estándares, valores que no han cambiado desde la promulgación de la ley.⁴⁰

Estas tres clases representan la protección de 3 áreas⁴¹:

- La Clase I representa el estándar ideal, para la conservación de medios naturales, *resort*, áreas turísticas y de monumentos históricos.
- La Clase II fija un umbral de concentración con efectos en plantas sensibles, para áreas residenciales urbanas, comerciales, culturales y rurales.
- La Clase III representa el nivel en el que es necesario proteger a la gente de intoxicación aguda y crónica y para proteger animales y plantas (excepto las sensibles). Estándar para la gestión ambiental en distritos industriales, y centros con mayor tráfico automovilísticos. El gobierno permite mayores niveles de contaminación en la Clase III por el menor tiempo de permanencia de la gente en esa área.

4.1.9 Japón

La Ley N° 97 de 1968, conocida como la Ley de Control de la Contaminación del Aire bajo el Ministerio del Gobierno de Medioambiente de Japón, estipula las normas de calidad de aire en toda la nación. Su última revisión fue en 1996 con la Ley N° 32. Desde su promulgación en 1968, los límites máximos permisibles no han experimentado modificaciones a lo largo del tiempo por la severidad de los niveles de la norma desde su dictación.

El propósito de esta ley es la de proteger la salud pública y preservar el medioambiente viviente con respecto a la contaminación del aire, fijando por ejemplo los límites máximos permisibles de gases de fuentes móviles. El segundo objetivo de esta ley es la de ayudar a las víctimas de la contaminación atmosférica al proveer de un régimen de responsabilidad de daño de salud causado por la contaminación del aire emitidas por las actividades empresariales⁴².

4.1.10 Sudáfrica

La Ley Nacional de Gestión Ambiental o National Environmental Management Act, 1998 (Ley 107 de 1998), en su sigla en inglés “NEMA”, fija una serie de principios de gestión ambiental para toda legislación que afecte el medio ambiente. Desde

⁴⁰ Ambient air quality standard. National standards in People's Republic of *China*. Beijing, State Environmental Protection Administration, 1982 en Environmental Law and Policy in the People's Republic of China Beyer *Chinese Journal of International Law*.2006; 5: 185-211.

⁴¹ Ambient air quality standards in China Toufiq A. Siddiqi and Zhang Chong-Xian. Environmental Management, Volume 8, Number 6 / November, 1984.

⁴²Japón, Air Pollution Control Law. Notificaciones sobre normas de calidad ambiental para Dióxido de Azufre, 16 de mayo de 1973, (Disponible en <http://www.env.go.jp/en/laws/air/air/alch.html#ch1> Consultado en Octubre 2009).

su dictación, varios estatus ambientales han sido promulgados, entre ellos la Ley de Calidad de Aire del 2004 o Air Quality Act, 2004 (Act 39 of 2004), en su sigla en inglés “AQA”. La ley AQA se creó para reemplazar la Ley de Prevención de Contaminación Atmosférica de 1965 y tiene como ejes principales la elaboración de un marco nacional de calidad de aire, la fijación de valores límites y estándares de emisión, protección de áreas sensibles, licencias de operación y control de emisiones⁴³. Sin embargo, la Ley de Prevención de Contaminación Atmosférica no ha sido reemplazada completamente por la Ley de Calidad de Aire.

4.1.11 Australia

A través del Consejo Nacional de Protección del Medioambiente (NEPC), los Gobiernos estatales y territoriales de Australia acordaron la Medida de Protección para la Calidad del Aire y el Medio Ambiente Nacional (*Air NEPM*) en Junio de 1998. El Gobierno desarrolló esta medida junto con profesionales de la salud, grupos ambientalistas y la comunidad. Estos estándares revisten calidad de obligatoriedad en cada nivel administrativo del gobierno, por lo que todos los ciudadanos de este país tienen el mismo nivel de protección de calidad de aire. Los estándares tenían que ser cumplidos el 2008, y tiene una meta para las excedencias máximas permitidas en un período de 10 años. Las jurisdicciones comenzaron sus reportes formarles el 2002. El año 2005 se hace una revisión, pero se mantienen los valores de la norma de 1998⁴⁴.

4.2 Valores límites de Contaminantes Normados y criterios de excedencia

Las normas de calidad de aire son un dispositivo legal para establecer el límite máximo de concentración de un contaminante atmosférico durante un tiempo promedio de muestreo, de manera a proteger la salud pública y el ambiente.

A continuación, se revisan los valores guías recomendados por la OMS y las normas de Calidad del aire ambiente en países como Estados Unidos, Unión Europea, Chile, Argentina, México, Brasil, Japón, China, Sudáfrica y Australia. Se entregan los valores límites vigentes para cada país, y al final de este apartado se entrega una línea de tiempo de las normativas internacionales a medida que son revisadas y actualizadas para evidenciar una evolución en el tiempo.

⁴³ Sudáfrica, Department of Environmental Affairs and Tourism, South Africa. National Environment Management: Air Quality Act, 2004. *Government Gazette*, 2005, No. 27318: 1–29. Disponible en: <http://www.elaw.org/system/files/a39-04.pdf> Consultado Octubre 2009) y http://www.unep.org/urban_environment/PDFs/EABAQ2008-airqualitylegislationSAOct08.pdf

⁴⁴ Australia, The National Environment Protection Measure for Ambient Air Quality (Air NEMP), 1997. Disponible en: <http://www.environment.gov.au/atmosphere/airquality/publications/standards.html>; <http://www.nphp.gov.au/enhealth/council/pubs/pdf/suldiox.pdf>

4.2.1 Valores límites y criterios de excedencia para Dióxido de Azufre (SO₂)

Los valores guías de SO₂ recomendados por la OMS para períodos de exposición media de 10 minutos continúan siendo 191 ppb [500 µg/m³], como en la última revisión de la OMS de 1999, en base a estudios que siguen demostrando un cambio en la función pulmonar y en síntomas respiratorios de personas con asma que se encuentran ejercitando. Para períodos de 24 horas, la OMS adopta un enfoque precautorio, rebajando los niveles de concentración de SO₂ de 48 a 19 ppb [125 a 20 µg/m³] por incertidumbres en la asociación directa entre niveles de SO₂ y efectos específicos en la salud. El valor guía de 19 ppb [50 µg/m³] para un período anual vigente en el año 2000, pasa a ser un objetivo intermedio, tal como se muestra en la Tabla 4.1, facilitando a los países la reducción gradual de sus niveles de contaminación, los cuales apuntan a fuentes emisoras, tales como vehículos motorizados, industrias, y plantas generadoras de energía (reducción a menor costo). Los valores se expresan originalmente en [µg/m³]⁴⁵

Tabla 4.1. Valores Guías para SO₂ de la Organización Mundial de la Salud

Tiempo Promedio	Valor límite OMS 2005	Objetivo Intermedio 1	Objetivo Intermedio 2	Objetivo Intermedio 3
10 minutos	191 ppb [500 µg/m ³]	-	-	-
24 horas	8 ppb [20 µg/m ³]	48 ppb [125 ¹ µg/m ³]	19 ppb [50 ² µg/m ³]	-

1: Valor Guía 24 horas 2000; 2: Valor Guía anual 2000.

Fuente: OMS

La Tabla 4.2, presenta los valores límites de SO₂, además de tiempos de exposición con excedencias permitidas para los países o agrupaciones de países (caso de la Unión europea), considerados.

En general, la exposición de tiempo considerado para este contaminante es de 24 horas y de 1 año. Los valores de la norma de 1 año están en concentraciones que fluctúan los 30 ppb, como es el caso de Chile, excepto para China (zona residencial), Australia y Sudáfrica, que tienen concentraciones máximas más estrictas de 23, 20 y 19 ppb [60, 52 y 50 µg/m³] respectivamente. La Unión Europea y Japón no tienen esta norma y USA está proponiendo reemplazarlas por la de una hora.

Por otro lado, la norma de 24 horas presenta variadas concentraciones límites en los distintos países, desde 40 ppb para Japón hasta 140 ppb [367 µg/m³] para Estados Unidos, así como para Argentina y Brasil. Chile tiene una concentración de 96 ppb, que se acerca más a la norma australiana, pero Australia solo permite 1 excedencia mientras que Chile 4 al año. Chile se asemeja mas a la Unión

⁴⁵ WHO (World Health Organization). 2006. Who Air Quality Guidelines for Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global Update 2005. World Health Organization, Geneva. Disponible en <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf>. Consultado en Octubre 2009.

Europea en cuanto a la excedencia permitida, pero el valor límite normado es de 50 ppb [$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$], aproximadamente la mitad del de Chile.

Tabla 4.2. Valores Límites de SO₂ para normas primarias de Calidad de Aire de los países en estudio

País	Valor límite SO ₂	Tiempo	Excedencia o condiciones de superación
Estados Unidos ⁴⁶	140 ppb [365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de una vez al año.
	30 ppb [80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	Ninguna.
	50-150 ppb ⁴⁷ [125-393 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 hora	Propuesto
Unión Europea ⁴⁸	130 ppb [350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 hora	No más de 24 veces anuales Valor límite aplicable desde 01-01-2005.
	50 ppb [125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de 3 veces anuales Valor límite aplicable desde 01-01-2005.
Chile ⁴⁹	96 ppb [250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	Promedio de 3 años del percentil 99 de los máximos diarios observados en 1 año calendario.
	31 ppb [80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	Promedio aritmético de 3 años consecutivos es mayor o igual a lo indicado.
Argentina ⁵⁰	140 ppb [365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de una vez al año.
	31 ppb [80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	-
Brasil ⁵¹	140 ppb [365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de una vez al año.
	31 ppb [80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	-
México ⁵²	130 ppb [350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24 horas	No más de una vez al año.
	30 ppb [80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 año	-
China (I, II, III)	60/200/300 ppb [150/500/700]	1 hora	Ninguna

⁴⁶ Página Oficial EPA NAAQS <http://www.epa.gov/air/criteria.html>

⁴⁷ The American Lung Association (Asociación Americana de Pulmón) recomienda a la EPA adoptar el nivel más exigente, el de 50 ppb. Esta asociación lleva varios años con acciones legales en contra de la EPA por los niveles de regulación del SO₂. <http://www.cleanairstandards.org>

⁴⁸ Directive 2008/50/EC. <http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/07/st03/st03696.en07.pdf> Consultado en Octubre 2009.

⁴⁹ Normas de Calidad de Aire.

⁵⁰ Resolución N° 242/97, complementaria al Decreto 33 95/96. La ley <http://www.opds.gba.gov.ar/index.php/leyes/ver/170>. Ley 20.284. Normas para la preservación de los recursos del aire. Anexo II, p. 12. Publicación B.O. 3/V/73 (16 de abril de 1973) no tiene legalidad nacional.

⁵¹ Resolución CONAMA No. 003/90 de 28 de junio de 1990 (Véase en <http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/res/resol90/res0390.html>).

⁵² Página Oficial Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes.aspx>

País	Valor límite SO ₂ µg/m ³	Tiempo	Excedencia o condiciones de superación
	19/ 57/96 ppb [50/150/250 µg/m ³]	24 horas	
	8/23 /38 ppb [20/60/100 µg/m ³]	1 año	
	100 ppb [261 µg/m ³]	1 hora	
Japón ⁵³	40 ppb [105 µg/m ³]	24 horas	Ninguna
	191 ppb [500 µg/m ³]	10 minutos	
Sudáfrica	48 ppb [125 µg/m ³]	24 horas	Ninguna
	19 ppb [50 µg/m ³]	1 año	
	200 ppb [500 µg/m ³]	1 hora	
Australia	80 ppb [210 µg/m ³]	24 horas	1 día al año
	20 ppb [52 µg/m ³]	1 año	Ninguna

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los países en estudio, solo la Unión europea, China, Japón y Australia tienen una norma horaria, y sus valores de concentración alcanzan los 100 ppb para Japón, 200 ppb para Australia y China (zona residencial). Por otro lado, a pesar de que la Unión Europea se acerca más a los valores límites de Japón, con una concentración de 130 ppb, sus excedencias permitidas pueden alcanzar 24 veces al año, a diferencia de los otros países que no permiten ninguna superación (Australia, 1 sola vez). En Noviembre de 2009, la EPA propuso, reemplazar los estándares de SO₂ anuales y de 24 horas por el nuevo estándar de una hora que podría fijarse con concentraciones de SO₂ entre 50 a 100 ppb [125 a 261 µg/m³]. El nuevo estándar propuesto se alinea con las recomendaciones hechas por el Comité Científico Asesor de Aire Limpio (*Clean Air Scientific Advisory Committee*) que busca evitar la exposición de concentraciones altas por periodos cortos.

Para evitar la excedencia del estándar, la EPA propone dos opciones: una es la concentración del percentil 99 para un período promedio de 3 años y la otra es la 4^{ta} concentración máxima diaria más alta en un año. En caso que la EPA adopte un nivel de concentración de 150 ppb [393 µg/m³] para un estándar de 1 hora, retendría el estándar de 24 horas y revocaría el estándar anual⁵⁴. Chile, en la

⁵³ Página Oficial de Gobierno de Japón, Ministry of Japan. Disponible en:
<http://www.env.go.jp/en/air/qa/qa.html>

⁵⁴ <http://www.epa.gov/air/sulfurdioxide/pdfs/20091116SO2NPR.pdf>

revisión de su norma Res. N° 1.15 consideró esta regulación, pero no encontró justificación de costo beneficio que la avalara.

La Figura 4.1, grafica el gran desafío normativo que los países tienen que sobrellevar para poder alcanzar un valor de concentración de SO₂ recomendado por la OMS de 7,5 ppb [20 µg/m³] en su última actualización del año 2005.

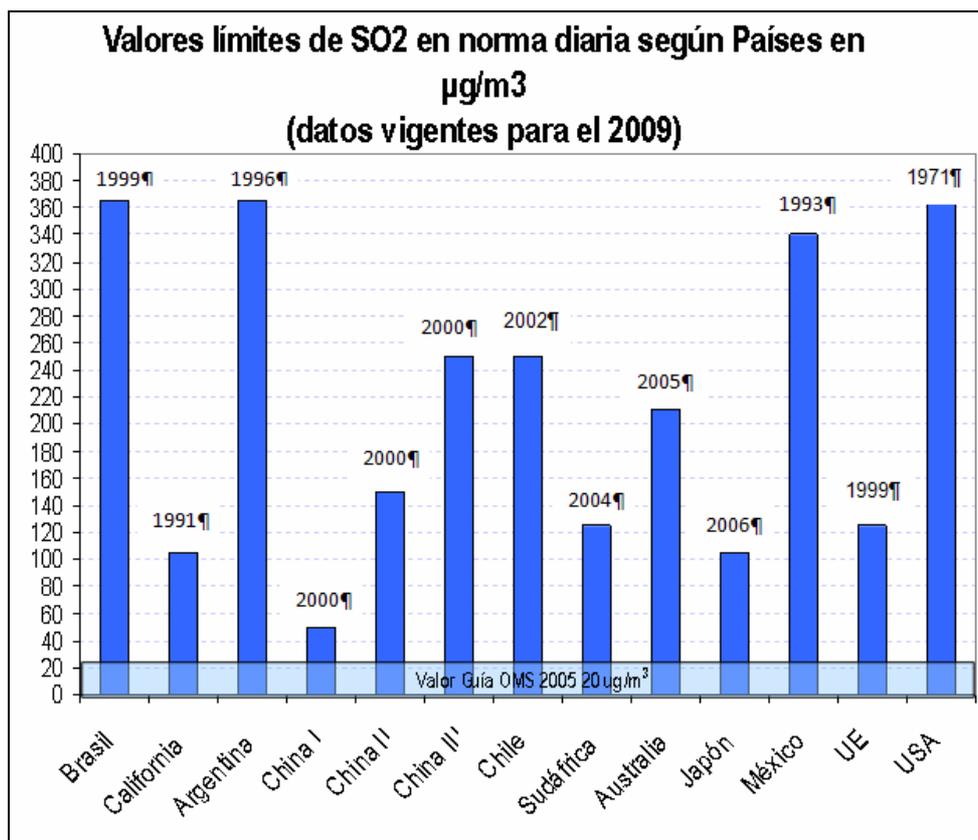


Figura 4.1. Comparación de las normas diarias de calidad de aire para Dióxido de Azufre
Fuente: Elaboración propia.

El cumplimiento de los niveles nacionales de concentración de SO₂ es variable a lo largo de los países revisados. Por ejemplo, Estados Unidos y Australia, casi no presentan excedencias de su norma de SO₂. Incluso China cumple con su norma desde el 2000⁵⁵. En cambio Europa casi todos los países han excedido el valor límite⁵⁶. Muchos de los países presentan una declinación de sus emisiones, debido a mejoras en la calidad de los combustibles, control en las emisiones

⁵⁵ Clean Air in the People's Republic of China: Summary of progress on improving air quality. CAI-Asia Center China Program (2008). Disponible en: http://www.cleanairnet.org/caiasia/1412/articles-70822_PRC.pdf
⁵⁶ Página Oficial de European Environment Agency. Disponible en: http://themes.eea.europa.eu/IMS/ISpecs/ISpecification20080701123452/IAssessment1219309276318/view_content

industriales, y medidas más estrictas para otorgar permisos (procesos y tecnologías limpias). En el caso de Estados Unidos, por ejemplo, desde los años 80's la disminución de emisiones ha sido significativa, debido a las normas existentes y a los programas nacionales entre los que destacan el *Acid Rain Program*, Tier 2 Tailpipe and Fuel standards (*Clean Air interstate Rule, Diesel fuel sulfur standards for on-highway diesel engines -Light-duty and heavy-duty- and nonroad diesel engines, standards for marine diesel engines and fuels*)⁵⁷.

4.2.2 Valores límites y criterios de excedencia para Ozono (O₃)

La edición anterior de las guías de calidad de aire de la OMS (2000) establecían un valor de Ozono de 61 ppb [120 µg/m³] para un promedio de 8 horas, que en la actual edición recomienda una concentración de 51 ppb [100 µg/m³]. Tal como lo indica la Guía de la OMS, las mayores pruebas de asociación pequeñas pero significativas entre mortalidad diaria y niveles de Ozono las han arrojado los estudios epidemiológicos longitudinales.

Para el Ozono, también se establecen valores de objetivos intermedios, como lo muestra la Tabla 4.3, para ir disminuyendo gradualmente el valor, demostrando que mientras más elevadas son las concentraciones por sobre el valor guía, los efectos en la salud son cada vez mayores y graves. El valor guía de concentración 82 ppb [160 µg/m³] afectó la función pulmonar para adultos jóvenes realizando ejercicio en forma discontinua⁵⁸.

Tabla 4.3. Valores guías y objetivos intermedios para el Ozono OMS 2005

	Máxima diaria de 8 horas	Efectos en los niveles de O ₃ seleccionados
Nivel Alto	122 ppb [240 µg/m ³]	Efectos significativos en la salud proporción sustancial de la población vulnerable
Objetivo Intermedio 1	82 ppb [160 µg/m ³]	Efectos importantes en la salud, no proporciona una protección adecuada de la salud pública
Guía de Calidad de Aire	51 ppb [100 µg/m ³ (2005)] 61 ppb [120 µg/m ³ (2000)]	Esta concentración va a proveer de una adecuada protección de la salud pública, aunque bajo este nivel pueden producirse ciertos efectos en la salud de las personas.

Fuente: OMS

En marzo del 2008, la EPA concluyó que el estándar primario de 8 horas de 80 ppb del año 1997 no era adecuado para proteger la salud pública con un adecuado margen de seguridad, el que es reemplazado por un valor menor de 75 ppb. En septiembre del 2009, la EPA anuncia que va a reconsiderar el estándar de Ozono del 2008 aludiendo a que este estándar no es suficiente para proteger la salud, de acuerdo al panel de asesores científicos, el Comité Científico Asesor de

⁵⁷ Proposal to revise the Primary Ambient Air Quality Standards for Sulfur Dioxide (SO₂). Disponible en: <http://www.epa.gov/air/sulfurdioxide/pdfs/SO2proposalbriefing.pdf>

⁵⁸ WHO (World Health Organization)

Aire Limpio (*Clean Air Scientific Advisory Commitee*, en su sigla en inglés CASAC). La reconsideración se va a basar en los registros técnicos y científicos que fueron usados para la revisión del 2008, que incluye más de 1.700 estudios científicos. La reconsideración final va a ser en agosto 2010⁵⁹.

La Tabla 4.4, presenta los valores límites de O₃, además de tiempos de exposición con excedencias permitidas para los países considerados. Uno de los países que está reconsiderando nuevamente la revisión de su valor límite para O₃ es Estados Unidos. En junio del 2012, está prevista la revisión de los valores límites de este contaminante por la EPA con una decisión final de mantener o cambiar el valor en marzo del 2013⁶⁰.

Tabla 4.4. Valores Límites de O₃ para normas primarias de Calidad de Aire para los 11 países en estudio

País	Valor límite O ₃	Tiempo promedio	Excedencia (o condiciones de superación)
Estados Unidos ⁶¹	120 ppb (desde 1979) ⁽¹⁾ [235 µg/m ³]	1 hora	Una vez al año
	75 ppb (2008) 80 ppb (1997) [160 µg/m ³]	8 horas	El promedio de tres años consecutivos del cuarto valor más alto anual del máximo diario no debe superar el valor norma.
Unión Europea	61 ppb [120 µg/m ³]	8 horas	No se puede sobrepasar más de 25 días por año, promediado en 3 años, a partir del 01-01-2010.
Chile	61 ppb (2002) [120 µg/m ³] 81ppb (1977) [160 µg/m ³]	8 horas	Promedio de 3 años del percentil 99 de los máximos diarios observados en 1 año calendario.
Argentina	120 ppb [235 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
Brasil	80 ppb [160 µg/m ³]	1 hora	No más de una vez al año.
México	110 ppb [216 µg/m ³]	1 hora	No se puede exceder más de 1 vez al año y se calcula considerando al menos 75% de los valores horarios diarios (18 horas). Si hay menos de 75% de los datos, la norma no se cumple si uno de los valores horarios es mayor a 110 ppb
	80 ppb [157 µg/m ³]	8 horas	4 veces al año. La concentración del promedio de 8 horas debe ser menor o igual a 80 ppb, tomado como el 5to máximo dentro de un año.
China – Clase I, II y III	60/80/100 ppb [120/160/200 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.

⁵⁹ Fact Sheet. EPA to reconsider Ozone Pollution Standard

http://www.epa.gov/groundlevelozone/pdfs/O3_Reconsideration_FACT%20SHEET_091609.pdf

⁶⁰ Video en la página de Broadcast Materials and Archived Video. Kimber Scavo y Rhea Jones
<http://www.epa.gov/apti/broadcast.htm>

⁶¹ Valores obtenidos en The Clean Air Act Handbook (2004) Martineau, R.J y Novello, D. The ABA Association y de la página de EPA <http://www.epa.gov/air/criteria.html>

País	Valor límite O ₃	Tiempo promedio	Excedencia (o condiciones de superación)
Japón	60 ppb [118 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
Sudáfrica	120 ppb [235 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
Australia	100 ppb [200 µg/m ³]	1 hora	Una vez al año.
	400 ppb [200 µg/m ³]	4 horas	Una vez al año.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al Ozono, en general los países analizados presentan tiempos de exposición normados de 1 y 8 horas. Las concentraciones reguladas en 1 hora son más comunes entre los países, y los niveles de concentración se limitan alrededor de 100 ppb [196 µg/m³]. Nuevamente es Japón el país que tiene valores límites más exigentes, mientras Estados Unidos junto a Sudáfrica y Argentina son los países que tienen valores límites más altos para este contaminantes, 120 ppb [236 µg/m³]. Chile y la Unión Europea no tienen norma horaria.

Por otro lado, pocos países tienen norma de 8 horas para Ozono, entre los que cuentan Chile, Estados Unidos, Unión Europea y México. En Chile, el valor normado de concentración para O₃ en 8 horas es equivalente a los exigidos por la Unión Europea, tal como se aprecia en la Figura 4.2, pero Chile presenta condiciones de superación más exigentes que la Unión Europea. Sin embargo, el valor de concentración para este contaminante que rige en Chile aún corresponde al valor guía recomendado por la OMS en el año 2000.

México publicó las Normas Oficiales Mexicanas relativas a la calidad de aire en 1994.

California publicó por primera vez su norma estatal de Ozono en 1959.

Unión Europea publicó por primera vez en 2002 los estándares de O₃.

Estados Unidos ha actualizado varias veces los límites permisibles de O₃ desde su promulgación en 1971.

A pesar de haber sido recientemente actualizada, está la intención de revisar la norma nuevamente.

En general, el Ozono sigue siendo el contaminante criterio que más problemas de excedencia tiene en cada uno de los países. A pesar que se puede notar una disminución leve a lo largo del tiempo (Protocolo de Montreal) existen peaks de excedencia de un año a otro. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente,

desde 1997, cerca de un 61% de la población urbana puede haber estado respirando niveles de Ozono por sobre el objetivo de la Unión Europea⁶².

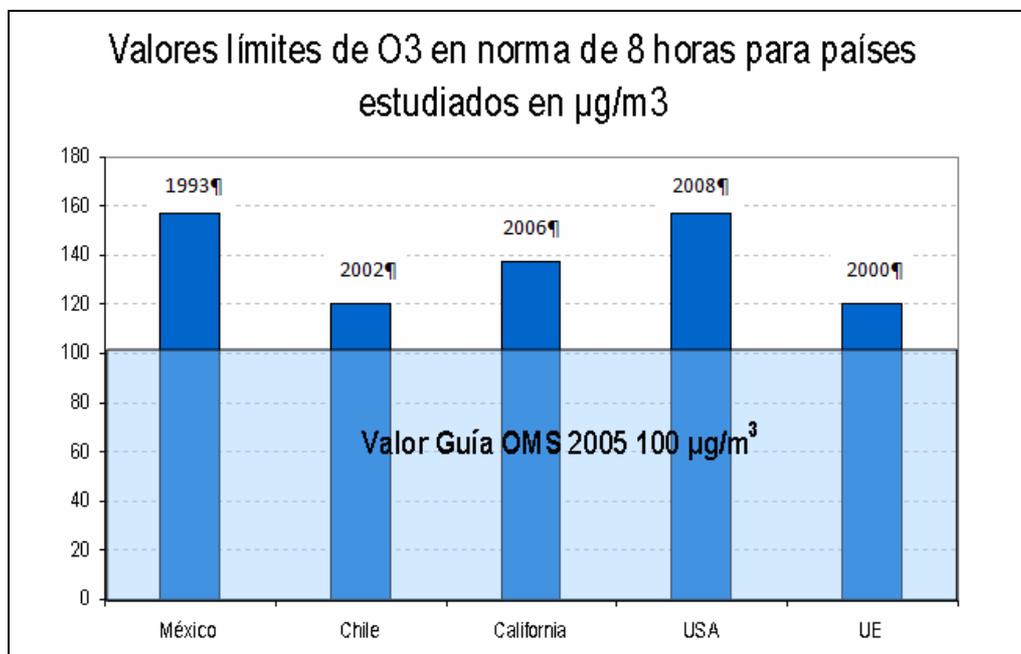


Figura 4.2. Comparación valores límite O₃ norma 8 horas para distintos países estudiados, en µg/m³

Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Valores límites y criterios de excedencia para Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

La Organización Mundial de la Salud sigue manteniendo los valores guía desde la última actualización en el año 2000, tal como lo muestra la Tabla 4.5. Según datos experimentales tanto en humanos como en animales, se mantiene la evidencia que el NO₂ es tóxico sobre concentraciones 106 ppb [200 µg/m³], y en estudios en animales este nivel es tóxico para períodos más prolongados. Como ya es sabido, el NO₂ es precursor de Ozono y PM_{2.5}, y no existe evidencia suficiente que demuestre efectos en la salud a concentraciones menores.

Tabla 4.5. Valores guías para NO₂ de la OMS (2000-2005)

Período	Concentración
1 hora	106 ppb [200 µg/m ³]
Anual	20 ppb [40 µg/m ³]

Fuente: OMS

⁶² EEA Ozone web. Ozone pollution across Europe.

La Tabla 4.6, presenta los valores límites de NO₂, además de tiempos de exposición con excedencias permitidas para los países considerados. Uno de los países que luego de 38 años revisó la norma de NO₂ para incorporar un nuevo estándar horario es Estados Unidos. La norma horaria propuesta sugería concentraciones máximas entre 65 y 150 ppb [122 µg/m³ – 282 µg/m³]. El 22 de enero del 2010 finalmente se fijó el nuevo estándar de 1 hora al nivel de 100 ppb [188 µg/m³] que define la concentración máxima permitida en cualquier parte de un área. Es decir, protege, según la EPA, contra los efectos asociados con una exposición de NO₂ de corto tiempo, incluyendo efectos respiratorios que pueden resultar en admisiones hospitalarias. En cuanto a las condiciones de superación, el nuevo estándar se rige por el promedio de 3 años del percentil 98 de una distribución anual de los máximos diarios de concentraciones promedios de 1 hora⁶³. Chile tiene una norma horaria desde el 2002 y con excedencias más restrictivas que Estados Unidos, pero con un valor límite dos veces más alto que ese país (213 ppb), además de estar aún muy alejado del valor de concentración de 106 ppb sugerido por la Organización Mundial de la Salud y normado por la Unión Europea.

Las normas anuales que limitan las concentraciones de NO₂ se encuentran alrededor de 50 ppb, salvo para el caso de Australia y la Unión Europea. En la Figura 4.3, se observa que Chile posee el valor norma de concentraciones de NO₂ menos exigente entre los países considerados, seguido por México, Argentina y Brasil. California, conceptualizado como un estado progresista relativo a calidad de aire ambiente, sobrepasaba el valor límite chileno hasta el año 2008, cuando enmendó su valor límite máximo permisible de NO₂ a 180 ppb [338 µg/m³].

China promulgó los estándares de calidad de aire en 1982 por primera vez. China I: áreas de conservación, China II: áreas residenciales, China III: áreas industriales y alto tráfico.

California promulgó por primera vez el estándar para NO₂ horario en 1969.

Brasil y México muestran la fecha de promulgación de sus normas. Hasta la fecha no se encontró información de revisiones.

Argentina tiene la ley N° 20.284 desde 1973 relativa a la calidad de aire que ha sido de a poco reemplazada por el Decreto 3395/96 de Régimen Provincial.

Sudáfrica publicó la ley de Calidad de Aire el 2004.

Australia promulgó la ley Air NEPM en 1998.

⁶³Página Oficial USEPA, Final Revision to the National Ambient Air Quality Standards for Nitrogen Dioxide. Fact Sheet. Disponible en <http://www.epa.gov/air/nitrogenoxides/pdfs/20100122fs.pdf>

Unión Europea publicó por primera vez en 1985 los estándares de NO₂. Estados Unidos mantiene las concentraciones de NO₂ desde su promulgación en 1971. Actualmente está en revisión.

Tabla 4.6. Valores Límites de NO₂ para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio

País	Valor límite NO ₂	Tiempo promedio	Excedencia (o condiciones de superación)
Japón	40 - 60 ppb [65 ppb - 150 ppb/m ³ [122 µg/m ³ - 282 µg/m ³]	24 horas	Ninguna
Estados Unidos	100 ppb [188 µg/m ³] (Final)	1 hora	No más de una vez al año.
	50 ppb [79 µg/m ³]	1 año	No se especifica
Sudáfrica	100 ppb [160 µg/m ³]	24 horas	No puede superarse más de 18 veces (=18 horas) especiales. Valor límite aplicable el 01-01-2010
Unión Europea	50 ppb [79 µg/m ³]	1 año	No se especifica Valor límite aplicable 01-01-2010 (1)
Australia	120 ppb [226 µg/m ³]	1 hora	Promedio aritmético de 3 años consecutivos no más de una vez al año.
Chile	400 µg/m ³ 30 ppb [56 µg/m ³]	1 hora 1 hora 1 año	No más de una vez al año. Ninguna Ninguna o igual a lo indicado
	53 ppb [100 µg/m ³]	1 año	Promedio aritmético de 3 años consecutivos es mayor o igual a lo indicado.
Argentina	200 ppb [367 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
	53 ppb [100 µg/m ³]	1 año	Ninguna.
Brasil	170 ppb [320 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
	53 ppb [100 µg/m ³]	1 año	Ninguna.
México	210 ppb [395 µg/m ³]	1 hora	No más de una vez al año.
China (I, II, III)	60/60/130 ppb [120/240/240 µg/m ³]	1 hora	Ninguna
	40/40/60 ppb [80/120/120 µg/m ³]	24 horas	
	20/20/40 ppb [40/80/80 µg/m ³]	1 año	

(1): Con la nueva Directiva los Estados Miembros pueden solicitar una extensión de hasta 5 años (i.e. máximo hasta el 2015) en una zona específica. La solicitud de extensión está sujeta a la Evaluación de la Comisión

Europea. En caso de aprobarse la extensión, el valor límite se aplica la ecuación: VALOR LIMITE + MARGEN DE TOLERANCIA MÁXIMO (26 ppb [$48 \mu\text{g}/\text{m}^3$] para un valor límite anual de NO_2)⁶⁴.
Fuente: Elaboración propia.

A pesar que varios países muestran un cumplimiento con la norma de NO_2 , que coincide con los valores guía de la OMS, hay variaciones en cuanto al comportamiento de sus concentraciones a lo largo del tiempo. En el caso de Estados Unidos, se observa una tendencia hacia la disminución, lo que no es el caso de La Unión Europea, donde las concentraciones de NO_2 han aumentado de 6,3% en 2000 a 10,6% a 2005 en promedio, a lo largo de las estaciones de monitoreo en 10 localidades en Europa⁶⁵.

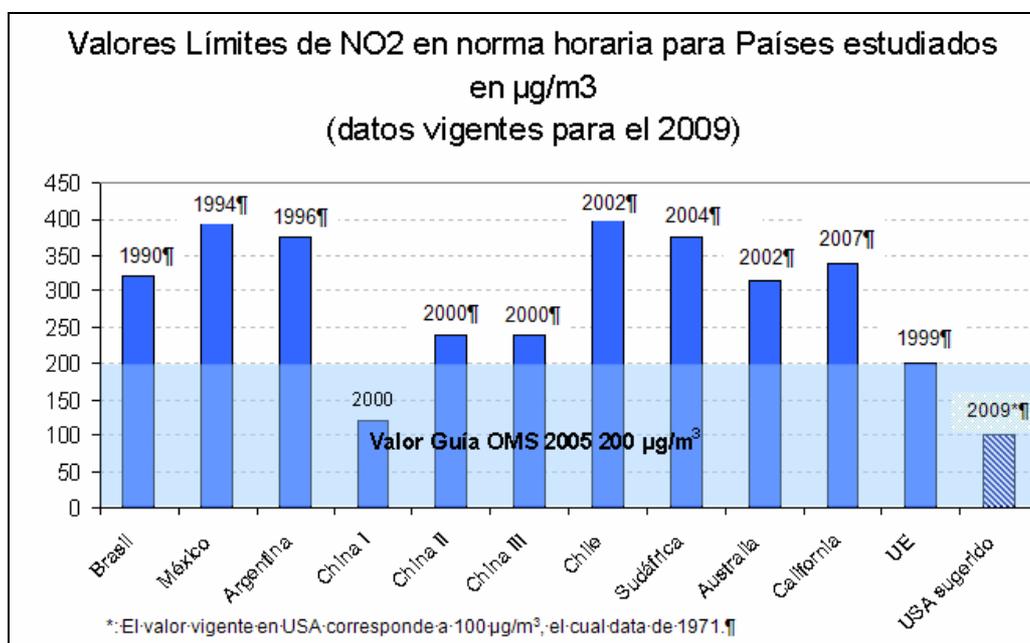


Figura 4.3. Valores límite de NO_2 norma horaria para países estudiados, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Valores vigentes en el 2009

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Valores límites y criterios de excedencia para Monóxido de Carbono (CO)

En la actualización de los valores guías de calidad de aire de la Organización Mundial de la Salud del año 2005 no se contempla la revisión para el Monóxido de Carbono, como se comentó anteriormente y se muestra en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Valores guía para Monóxido de Carbono de la OMS (2000 y 2005)

⁶⁴ <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

⁶⁵ Recent Trends and Projections of primary NO_2 emissions in Europe. Grice, S, et al (2009) Atmospheric environment vol.43 n°13.

Período	Valor Guía
15 min	87 ppm [100.000 µg/m ³]
30 min	52 ppm [60.000 µg/m ³]
1 hora	26 ppm [30.000 µg/m ³]

Fuente: OMS

La Tabla 4.8, muestra los valores límites de CO, además de tiempos de exposición con excedencias permitidas para los países considerados. Estados Unidos tiene previsto comenzar el proceso de revisión de la norma en octubre del 2010 y decidir acerca de actualizar o mantener los valores en mayo del 2011⁶⁶.

Tabla 4.8. Valores Límites de CO para normas primarias de Calidad de Aire para los países en estudio

País	Valor límite CO	Tiempo Promedio	Excedencia o condiciones de superación
Estados Unidos	35 ppm (desde 1971) [40.000 µg/m ³]	1 hora	No más de una vez al año.
	9 ppm (desde 1971) [10.000 µg/m ³]	8 horas	No más de una vez al año.
Unión Europea	9 ppm [10.000 µg/m ³]	8 horas	Valor límite aplicable desde 01-01-2010
Chile	26 ppm [30.000 µg/m ³]	1 hora	Promedio aritmético de 3 años consecutivos del percentil 99 de los máximos promedios de 1 hora registrados durante un año no puede ser mayor o igual a lo indicado
	9 ppm [10.000 µg/m ³]	8 horas	
Argentina	35 ppm [40.082 µg/m ³]	1 hora	Ninguna.
	9 ppm [10.000 µg/m ³]	8 horas	Ninguna.
Brasil	50 ppm [57.250 µg/m ³]	1 hora	No más de una vez al año.
	10 ppm [11.450 µg/m ³]	8 horas	No más de una vez al año.
México	11 ppm [12.595 µg/m ³]	8 horas	Ninguna
China (I, II, III)	9/9/18 ppm [10.000/10.000/20.000 µg/m ³]	1 hora	Ninguna
	4/4/5 ppm [4.000/4.000/6.000 µg/m ³]	24 horas	
Japón	20 ppm [22.800 µg/m ³]	8 horas	Ninguna
	10 ppm [11.400 µg/m ³]	24 horas	Ninguna

⁶⁶ Broadcast materials and archived video. Kimber scavo y rhea jones. Disponible en: <http://www.epa.gov/apti/broadcast.htm>

Sudáfrica	No hay Valores Norma	-	-
Australia	15 ppm [17.670 µg/m ³]	8 horas	No más de una vez al año.

Fuente: Elaboración propia.

Japón, China y Chile presentan valores límites de CO mucho menos estrictos que los límites recomendados por la OMS y que de la mayoría de los países considerados. En la Figura 5.4, se exponen los valores límites de CO para una norma horaria de los distintos países estudiados, junto con las recomendaciones de la OMS. Chile presenta las condiciones de superación más laxas de todos los países estudiados, que en la mayoría de los países no se permite ninguna excedencia anual.

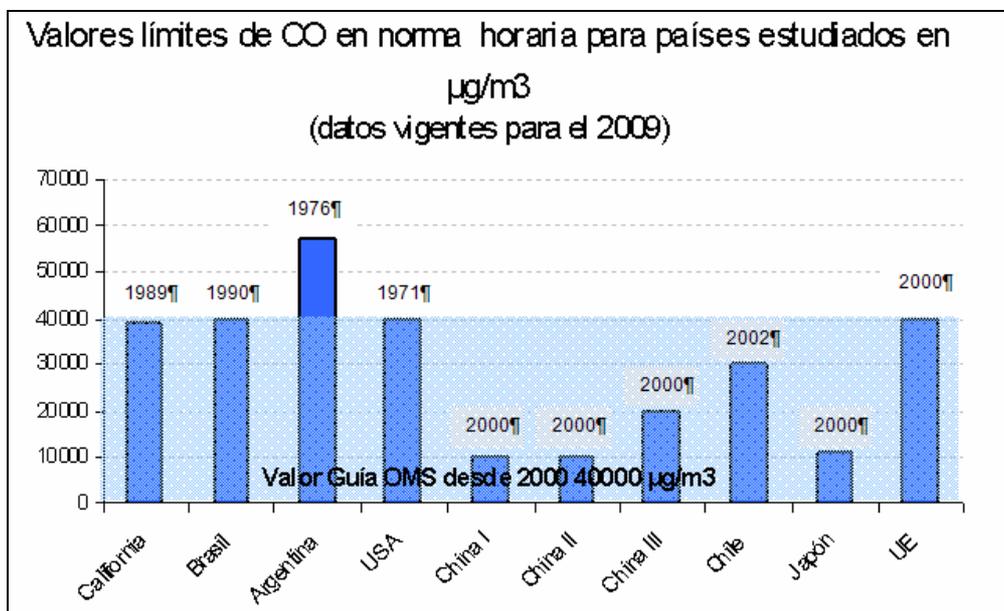


Figura 4.4. Valores límites de CO en norma horaria para países estudiados, en µg/m³

Fuente: Elaboración propia.

China promulgó los estándares de calidad de aire en 1982 por primera vez. China I: áreas de conservación, China II: áreas residenciales, China III: áreas industriales y alto tráfico.

California promulgó por primera vez la para CO en 1969.

Brasil muestra la fecha de promulgación de la Resolución N° 03. Hasta la fecha no se encontró información de revisiones.

Argentina tiene la ley N° 20.284 desde 1973 relativa a la calidad de aire que ha sido de a poco reemplazada por el Decreto 3395/96 de Régimen Provincial.

Japón promulgó la ley N° 97 de Control de la Contaminación de Aire en 1968. Su última revisión fue el 2006, cuando se introdujo el control de Asbestos.

Unión Europea publicó por primera vez el 2000 los estándares de CO.

Estados Unidos mantiene los valores de CO desde su promulgación en 1971. Su última revisión fue el 2000.

El Monóxido de Carbono muestra en general una tendencia a la disminución, y por ende mayores posibilidades de que los niveles permitidos sean respetados. Parte de esta disminución se debe a controles a las emisiones de motores y a permisos de funcionamiento de los grandes establecimientos industriales⁶⁷.

4.3 Completitud de los datos en medición de contaminantes Criterios

La completitud de los datos se refiere a la cantidad de datos que deben existir para considerar como válida la información de concentración de contaminantes en cada sitio de monitoreo y así poder evaluar con certeza la calidad de aire. Estos criterios se revisan por contaminante, tomando como referencia a Estados Unidos y la Unión Europea.

Cabe notar que, a nivel general, independientemente del período de exposición normado (1 hora, 24 hora, 1 año), la información es válida en tanto se dispongan con al menos el 75 por ciento de los datos.

4.3.1.1 Validación datos de Dióxido de Azufre

Si bien Estados Unidos y Chile norman las concentraciones de SO₂ en base a un año y 24 horas, existen ciertas diferencias.

Por un lado, Estados Unidos⁶⁸ considera sobrepasada la norma considerando la concentración anual en media aritmética en base a concentraciones de una hora, con al menos el 75% de los datos en períodos trimestrales y Chile mide la concentración anual en base a concentraciones de 24 horas, con al menos un 75% de los datos disponibles, también para un período trimestral, durante 3 años consecutivos. Por otro lado, Estados Unidos considera el segundo valor más alto de un promedio de 24 horas para su norma diaria en base a concentraciones de una hora, con al menos 75% de los datos, en períodos trimestrales. En Chile, en cambio, conceptúa la validez en estimar la superación de la norma diaria en base a que el percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas en un año, contenga al menos un 75% los de datos de 24 horas (274 de 365 valores). El

⁶⁷ Carbon Monoxide EPA's Efforts to reduce CO. <http://www.epa.gov/air/urbanair/co/effrt1.html>

⁶⁸ <http://www.epa.gov/oar/oaqps/greenbk/40cfr50.html#sec.50.4>

percentil 99 para 100% de los datos válidos es equivalente al valor cuarto más alto, lo que en la práctica permitiría 4 superaciones de norma anuales.

Ambos países contemplan la validez de la concentración de 24 horas en tanto existan al menos el 75% de los datos de concentración de 1 hora disponibles para un período de 24 horas (al menos 18 mediciones). En el caso en que solo haya 18, 19, 20, 21, 22 o 23 datos diarios, la concentración de 24 horas promedio debe calcularse usando la suma de esos datos disponibles, usando como divisor 18, 19, etc., dependiendo de los datos existentes. Ambos países concuerdan que en la situación de disponer de menos de 75% de datos y de sustituir por ceros los datos faltantes se demuestra una excedencia de la norma, se mantiene como válida la concentración de 24 horas.

Chile agrega además, la necesidad de dar cuenta de una variación estacional de los datos y de considerar la concentración de 1 hora para la validez de la norma de 24 horas, en tanto se dispusiere de 30 minutos sucesivos de medición.

Los valores normas de la Unión Europea están basados en concentraciones de 1 hora y de 24 horas. A tal respecto, la Unión Europea considera la validez de valores horarios en tanto se dispusieren de un 75% de los datos (es decir 45 minutos) y para los valores correspondientes a 24 horas se requieren 75% de las medias horarias (es decir, valores correspondientes a 18 horas como mínimo)⁶⁹. La validez de la norma primaria en México se asemeja a lo contemplado en la Unión Europea. En general en esencia las recomendaciones de completitud de Chile, México, Estados Unidos, y la UE son virtualmente equivalentes. En cuanto a cantidad de superaciones permitidas por año, el percentil 99 definido por Chile generalmente es menos exigente que México, la Unión Europea, y Estados Unidos.

4.3.1.2 Validación datos para Ozono

No se comentará acerca del estándar de una hora de O₃ para Estados Unidos por la actual transición al estándar de 8 horas toda vez que una zona cumpla con la calidad de aire estipulada bajo la norma horaria, tal como se codifica en CFR 40 parte 81.

En cuanto a la norma primaria de calidad de aire para Ozono como concentración de 8 horas, Chile contempla su cumplimiento basado en el promedio aritmético de 3 años consecutivos, del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas (4to más alto), equivalente al de Estados Unidos⁷⁰ donde el cumplimiento reside en el 4to valor anual más alto de una concentración máxima de 8 horas, promediado en 3 años (sin mediar percentiles).

⁶⁹ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:ES:PDF>

⁷⁰ <http://www.epa.gov/oar/oaqps/greenbk/40cfr50.html#appi>

La concentración promedio de 8 horas es válida si se disponen de 75% de los datos de concentración de 1 hora (6 de 8) para un período de 8 horas. También ambos países hacen referencia a calcular el valor de concentración de 8 horas usando como divisor 6 o 7

Tanto para Estados Unidos como Chile, la concentración máxima diaria de 8 horas es válida si se disponen de 75% de los datos de concentración de 8 horas para un período de 24 horas (18 de 24). En caso de que existieran menos datos, la concentración máxima diaria de 8 horas se mantiene en caso de haber excedencia.

Una disponibilidad de 75% de los datos tiene que haber tanto para el percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas en Chile (274 de 365) y el 4to valor más alto de concentración máxima de 8 horas para Estados Unidos. En Estados Unidos el monitoreo contempla las condiciones meteorológicas que pueden influir en datos vacíos que no reflejen superación de la norma, ante lo cual la autoridad regional tiene la última decisión

Tanto Estados Unidos y la Unión Europea resuelven los criterios de completitud de los valores considerando tanto la norma primaria y secundaria de Ozono.

Para la Unión Europea, la norma de 8 horas para Ozono se supera en el caso que se presenten más de 25 días con concentraciones por sobre 61 ppb por cada año civil de promedio en un período de 3 años, equivalentes al percentil 93. Al igual que Chile y Estados Unidos, la Unión Europea el máximo de las medias de concentraciones de 8 horas, calculados a partir de datos horarios. Los datos anuales mínimos necesarios para validar el cumplimiento de los valores objetivos (para el 2010) corresponden a 1 año en el caso de la norma primaria (3 años en el caso de la secundaria). En este sentido las normativas de Estados Unidos y Chile parecieran ser equivalentes en cuanto al valor que define la aplicación de la norma, en base a 100% de valores de 8h máximos diarios en el año. En caso de no contar con mediciones el año completo, la norma chilena es más exigente.

4.3.1.3 Validación datos para Dióxido de Nitrógeno

Tanto Estados Unidos como Chile tienen una norma anual que se valida trimestralmente con un porcentaje de datos del 75%, pero en el caso de Estados Unidos el porcentaje de validez para el promedio anual está basado en datos horarios, mientras que en el caso chileno en datos de concentración de 24 horas (que a su vez tiene que validarse los datos de concentración de 1 hora en tanto existan 18 datos disponibles).

Estados Unidos, como se señaló, está en proceso de revisión y propuesta de un estándar de 1 hora, que podría tener un criterio de completitud en base a un

promedio aritmético de tres años consecutivos del percentil 99 de los máximos de diarios de concentración de 1 hora⁷¹, tal como es el caso de Chile.

En el caso de la Unión Europea, de acuerdo a la Directiva 2008, se señala que la validez para la media anual requiere de 90%⁷² de los valores horarios o, si no están disponibles, de los valores correspondientes a 24 horas a lo largo del año, lo que se puede deber a posibles temas de control de calidad de datos de NO₂.

Para los valores horarios, se necesitan 45 minutos de medición, en cambio en el caso de Chile, se necesitan 30 observaciones minutarias consecutivas.

4.3.1.4 Validación de datos para Monóxido de Carbono

Para Estados Unidos una concentración promedio de 8 horas es considerada válida en tanto se cuenten con al menos el 75% de los promedios de concentración de una hora para un período de 8 horas. En el caso que solo estén disponibles 6 (o siete) promedios de una hora, éste número (seis o siete) se debe usar como divisor. Solo se permite una excedencia al año.

En el caso de Chile, la concentración de de 8 horas para el Monóxido de Carbono se considera válido en tanto existan el 75% de los datos de concentración de 1 hora para un período de 8 horas, el 75% de los datos máximos diarios de concentración de 8 horas para un año en relación al percentil 99 y 75% de los datos de concentración de 8 horas para un período de 24 horas para validar la concentración máxima diaria de 8 horas.

La Comunidad Europea repite los criterios de validación para SO₂ y NO₂, en tanto 45 observaciones minutarias sucesivas para validar la concentración de una hora y 6 observaciones horarias de un total de 8 datos de concentración de 1 hora.

4.4 Cronología de normas de calidad de aire según países seleccionados

4.4.1 Línea de tiempo de promulgación y enmienda de valores límites para los países estudiados

Año 1971

- Estados Unidos: Promulgación de los NAAQS (National Ambient Air Quality Standards) para Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Ozono.
 - SO₂ 24 horas: 140 ppb [365 µg/m³].
 - SO₂ 1 año: 30 ppb [80 µg/m³].

⁷¹ Página Oficial de American Lung Association. Disponible en h

⁷² Los requisitos para el cálculo de la media anual no incluyen las pérdidas de datos debidas a la calibración periódica o el mantenimiento normal de la instrumentación. DIRECTIVA 2008/50/CE

- NO₂ 1 año: 53 ppb [100 µg/m³].
- CO 8 horas: 9 ppm [10.000 µg/m³].
- CO 1 hora: 35 ppm [40.000 µg/m³].
- O₃ 1 hora: 82 ppb [160 µg/m³].

Año 1973

- Japón: Ley de Control de la Contaminación del Aire
 - SO₂ 1 hora: 100 ppb [260 µg/m³].
 - SO₂ 24 horas: 40 ppb [104 µg/m³].
 - NO₂ 24 horas: 40-60 ppb [75 -113 µg/m³].
 - CO 8 horas: 20 ppm [22.222 µg/m³]. Ningún valor límite puede ser excedido.
 - CO 24 horas: 10 ppm [11.111 µg/m³].
 - O₃ 1 hora: 60 ppb [120 µg/m³].

Año 1978

- Chile: Resolución N° 1215 establece estándares de normas de calidad de aire
 - SO₂ anual: 31 ppb [80 µg/m³].
 - SO₂ 24 horas: 140 ppb [365 µg/m³]. No puede ser sobrepasado más de una vez.
 - NO₂ Anual: 53 ppb [100 µg/m³]. No permite excedencias.
 - CO 1 hora: 35 ppm [40 mg/m³]. No puede ser sobrepasado más de de 1 vez al año.
 - CO 8 horas: 8,7 ppm [10 mg/ m³]. No permite excedencias.
 - O₃ 1 hora: 82 ppb [160 µg/m³]. No puede ser sobrepasada una vez al año.
- Estados Unidos
 - Anuncia revisión y actualización del documento que dio origen a los valores límites de CO.

Año 1979

- Estados Unidos: anuncia revisión regulación de emisiones de SO₂.
 - Anuncia revisión del documento original que regula las emisiones de SO₂. A finales de 1983, las recomendaciones de CASAC (*Clean Air Scientific Advisory Committee*) hacen declinar a la EPA la revisión del estándar⁷³. Desde entonces una seguidilla de acciones legales han ocurrido entre organizaciones y estados en contra de la EPA (amparada en la Sección 304 de Clean Air Act) en relación a una norma con exposiciones de menor tiempo. Sigue vigente con decisión para el 2010.

⁷³ The Clean Air Act Handbook (2004), Martineau, R.J. and Novello, D. 2nd ed. ABA, Chicago, Illinois.

- Estados Unidos: revisa la Norma para el Ozono y se establece un valor menos exigente
 - O₃ 1 hora: 120 ppb [240 µg/m³]. No se puede exceder de concentraciones promedio máximas de 1 hora superiores a 240 µg/m³

Año 1980

- Unión Europea: Directiva 80/779/EEC Valores límites y valores guía de calidad de aire para Dióxido de Azufre y Material Particulado (1980)⁷⁴.
 - SO₂ anual: 30-46 ppb [80 -120 µg/m³]. Mediana de los valores medios diarios registrados durante el año.
 - SO₂ 24 horas: 95-134 ppb [250-350 µg/m³]. Percentil 98 de todos los valores medios diarios registrados durante el año.

Año 1984

- Estados Unidos: mantiene valores originales para Dióxido de Nitrógeno
 - Revisa los NAAQS para Dióxido de Nitrógeno y los mantiene en sus valores originales. Así también sucede con el Monóxido de Carbono.

Año 1985

- Unión Europea: Directiva 85/203/EEC en estándar de Calidad de aire para Dióxido de Nitrógeno (1985).
 - NO₂ anual: 106 ppb [200 µg/m³]. Percentil 98 calculado a partir de los valores medios por hora, o períodos inferiores a la hora, tomados a lo largo de todo el año⁷⁵.

Año 1989

- Unión Europea: Directiva 89/427/EEC enmienda Directiva 80/779/EEC Valores límites y valores guías de calidad de aire para Dióxido de Azufre y Material Particulado.
 - Valores SO₂ se repiten de la Directiva 80/779/EEC.

Año 1993

- México: Promulga la Norma Oficial Mexicana. para SO₂, O₃, CO y NO₂
 - Promulga la Norma Oficial Mexicana. NOM-022-SSA1-1993 para SO₂, NOM-020-SSA1-1993 para O₃, NOM-021-SSA1-1993 para CO, NOM-023-SSA1-1993 para NO₂.

⁷⁴ En esta directiva se establecen otros valores durante la época invernal (del 1 octubre al 31 de Marzo) de 50 a 69 ppb [130 a 180 µg/m³].

⁷⁵ Para que se reconozca la validez del cálculo del percentil 98, será necesario poder disponer del 75 % de los valores posibles y que, dentro de lo posible, éstos se hallen repartidos uniformemente en el conjunto del año.

Año 1994

- Estados Unidos: decide no revisar los NAAQS para CO
 - A través de la EPA decide no revisar los NAAQS para CO y mantiene los valores límites originales.

Año 1995

- Estados Unidos: decide no revisar los NAAQS para NO₂
 - A través de la EPA decide no revisar los NAAQS para NO₂ y se les presentan cargos legales en su contra.

Año 1996

- Estados Unidos: decide no revisar los NAAQS para SO₂
 - A través de la EPA decide no revisar los NAAQS para SO₂ y propone solo cambios técnicos menores.

Año 1997

- Estados Unidos: revisa los NAAQS para Ozono y decide incluir la norma de 8 horas y mantener el valor de la norma horaria⁷⁶.
 - O₃ 1 hora: 120 ppb [236 µg/m³]. No puede ser excedida una vez al año. La norma será reemplazada en una localidad hasta que luego de 3 años consecutivos la calidad de aire cumpla con el estándar de 1 hora.
 - O₃ 8 horas: 81 ppb [160 µg/m³]. Estándar que se define como “basado en la concentración”, se cumple cuando el promedio de los 3 años consecutivos del cuarto valor diario más alto de las concentraciones de 8 horas es igual o menor a 81 ppb. Se tiene que cumplir para el 2015.

Año 1999

- Unión Europea: Directiva 99/30/EC en Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno y Óxidos de Nitrógeno, Material Particulado y Plomo en el Aire Ambiente (1999). Reemplaza La Directiva de Dióxido de Azufre, 80/779/EEC y La Directiva de Dióxido de Nitrógeno, 85/203/EEC, además de Directiva del Plomo.
 - SO₂ 1 hora: 134 ppb [350 µg/m³]. No puede sobrepasarse más de 24 veces por año.
 - SO₂ 24 horas: 48 ppb [125 µg/m³]. No puede sobrepasarse más de 3 veces por año.
 - NO₂ 1 hora: 76 ppb [200 µg/m³]. No puede sobrepasarse más de 18 veces por año.
 - NO₂ Anual: 15 ppb [40 µg/m³].

⁷⁶ EPA's 1997 Revised Ozone Standard. Fact Sheet. <http://www.epa.gov/ttn/oarpg/naaqsfino3fact.html>

Año 2000

- Unión Europea: Directiva 2000/69/CE Valores límites para el benceno y Monóxido de Carbono en el aire ambiente.
 - CO 8 horas promedio: 9 ppm [10 mg/m³]. El valor tenía que cumplirse para el año 2005⁷⁷.
- México: Revisión de la Norma Oficial Mexicana NOM 020 SSA1, NOM 021 SSA1, NOM 022 SSA1, NOM 023 SSA1
 - Los valores se mantienen a los de 1993 para todos los contaminantes criterios.

Año 2002

- Unión Europea: Directiva 2002/3/EC relativa al Ozono en el medioambiente
 - O₃ 8 horas: 61 ppb [120 µg/m³]. Valores se miden como el máximo de las medias de 8 horas del día. No podrá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años.
- Chile: Revisa la Resolución N° 1215
 - Revisa la Resolución N° 1215 y da origen a las normas de calidad de aire en los documentos D.S. N° 115/02 para CO, D.S. N° 112/02 para O₃, D.S. N° 113/02 para SO₂ y D.S. N° 114/02 para NO₂.

Año 2008

- Unión europea: Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad de aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.
 - Reúne todas las Directivas anteriores, con excepción de la Directiva 2004/107/EC.
 - Todos los valores se mantienen igual que en las directivas originales.
- Estados Unidos: Se mantiene norma de 1 hora para Ozono y más restrictiva para norma 8 horas.
 - Revisión NAAQS para Ozono. Se mantiene la norma de 1 hora porque aún hay localidades que no logran la calidad de aire requerida, y la norma de 8 horas se vuelve más exigente⁷⁸.
 - O₃ 8 horas: 75 ppb [147 µg/m³]. El cuarto valor más alto de los promedios de concentraciones de 8 horas para un promedio de 3 años consecutivos no debe sobrepasar 0.075 ppm.

Año 2009

⁷⁷ Tiene un margen de tolerancia para poder cumplir con el valor límite para el año 2005

⁷⁸ Fact Sheet Final Revision to the National Ambient Air Quality Standards for Ozone
http://www.epa.gov/groundlevelozone/pdfs/2008_03_factsheet.pdf

- Estados Unidos: Revisión NAAQS para NO₂ y SO₂ Valores y períodos de exposición sugeridos.
 - NO₂ 1 hora: 65 - 150 ppb [122- 282 µg/m³]. Resolución de la EPA por acciones de la corte en Enero 2010.
 - SO₂ 1 hora: 50-150 ppb [125-393 µg/m³]. Resolución de la EPA por acciones en la corte en Junio del 2010.

4.5 Métodos de Medición

La especificación de los métodos de medición en la formulación de estándares de calidad de aire es crucial para determinar y cumplir con las normas primarias de calidad de aire. Las muestras de gases que se toman para revisar el cumplimiento de la norma también sirven para la efectividad del control, así como también para determinar relaciones entre niveles de contaminación y salud ambiental.

En general, se nombran dos métodos de medición de calidad del aire, los de referencia y los de equivalencia. Los métodos de referencia, son aquellos utilizados como estándar, los cuales deben ser usados para determinar el cumplimiento de la norma⁷⁹.

Por otro lado, los métodos de equivalencia, que aplican principios de medición distintos a los de referencia han demostrado arrojar resultados semejantes y consistentes en relación al método de referencia. La equivalencia con los métodos de referencia la establece alguna institución autorizada basada en la aplicación de pruebas al principio de operación o funcionamiento del instrumento⁸⁰.

Adicionalmente, los métodos de referencia pueden ser manuales o automáticos y necesitan de una continuidad en la recolección de muestras gaseosas por un tiempo prolongado⁸¹, mientras que los métodos de equivalencia son más automatizados y permiten obtener datos en forma continua y conectada de forma directa al centro de información, con el objetivo de detectar contingencias en tiempo casi real⁸².

A pesar de que los métodos de referencia tienen un estatus regulatorio primario, es común que uno o más métodos equivalentes sean frecuentemente usados en actividades diarias de monitoreo, y por ende, si es aprobado por la EPA (40 CFR Parte 53) también puede verificar la norma (40 CFR Parte 58).

⁷⁹ Chow, J.C; Watson J.G (2008) New Directions: Beyond compliance air quality measurements. *Atmospheric Environment*, Vol 42, 20, 5166-5168

⁸⁰ Métodos de monitoreo de la Calidad de Aire. Bravo y Sosa (fecha sin identificar) <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/eco/036993-l/036993-1.4.pdf>

⁸¹ Métodos de monitoreo de la Calidad de Aire. Bravo y Sosa (fecha sin identificar) <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/eco/036993-l/036993-1.4.pdf>

⁸² Glosario de términos ambientales de EcoPortal.net <http://www.ecoport.net/content/view/full/169/offset/13>

La Tabla 4.9, muestra los métodos de referencia del gobierno federal de Estados Unidos que están sujetos, junto a los métodos de equivalencia, a una evaluación extrema de su desempeño antes de ser aprobados para medir la calidad de aire⁸³.

Los métodos que se nombran a continuación son los métodos de referencia declarados en las normativas de los países considerados, los que en la mayoría de los casos se basan en los requisitos elaborados por la EPA., por lo que los métodos de medición de los contaminantes criterios usados por los países son semejantes.

Tabla 4.9. Métodos de Referencia del Gobierno Federal de USA

Contaminante	Método de Referencia
Dióxido de Azufre	Espectrofotometría (método pararrosanilina)
Ozono	Quimiluminiscencia
Dióxido de Nitrógeno	Quimiluminiscencia fase gaseosa
Monóxido de Carbono	Fotometría infrarroja no dispersiva

Fuente: Godish (2004)

4.5.1 Análisis por país de métodos de medición de Dióxido de Azufre en estaciones de monitoreo

En Chile, la Resolución N° 1.215, estableció que el método de análisis usado para medir el Dióxido de Azufre fuera el colorométrico de la pararrosanilina o algún otro método equivalente aprobado por el Ministerio de Salud. El método de pararrosanilina espectrofotométrico es el de referencia federal en Estados Unidos y es de aplicación manual (conocido también como ISO 6767, 1990). Consiste en recolectar SO₂ al hacer pasar aire por una solución de potasio de tetracloromercurio para formar un complejo que con reacciones subsecuentes de formaldehído y pararrosanilina hidroc্লórica descolorida produce un producto rojo violeta, que se mide por espectrofotometría y se convierte en concentraciones de SO₂ usando una curva de concentración estandarizada.

Al ser este método un tanto engorroso, otros métodos equivalentes son usados, como la conductimetría, la amperometría o la electroquímica, la fluorescencia ultravioleta, la fotometría de llama y la cromatografía gaseosa.

Con la norma D.S. N°113, el método de referencia más usado para medir las concentraciones de SO₂ en las estaciones de monitoreo con representación poblacional para gases (EMRPG) es el de Fluorescencia Ultravioleta⁸⁴. El método

⁸³ Godish, T (2004) Air Quality. 4th edition. Lewis Publishers, Florida.

⁸⁴ Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire <http://sinca.conama.cl/>

de Fluorescencia Ultravioleta consiste en la excitación de moléculas por rayos UV, a cierto intervalo de onda que decaen a su nivel energético fundamental y emiten una radiación fluorescente (medida por un tubo fotomultiplicador) equivalente a la concentración de SO₂. Otro método de medición que es nombrado en la norma es el de Espectrometría de absorción diferencial con calibración in – situ, además de cualquier otro método que sea aprobado por la EPA o las Directrices de la Unión Europea

Tal como lo muestra la Tabla 4.10, los países han establecido métodos de referencia manual y automáticos. Hay varios de ellos que siguen haciendo uso de la pararosanilina como método de medición, como la EPA en CFR 40 Appendix A to Part 50. Chile es uno de los pocos que ha hecho la transición a la Fluorescencia ultravioleta como la Unión Europea (EN 14212: 2005).

Tabla 4.10. Métodos de medición para SO₂ por país

País/Organización	Método de medición SO ₂
Estados Unidos ⁸⁵	Espectrofotometría (método de Pararosanilina)
California	Pararosanilina y Fluorescencia UV
Unión Europea ⁸⁶	Fluorescencia ultravioleta
México ⁸⁷	Pararosanilina
Brasil ⁸⁸	Pararosanilina
China ⁸⁹	Fluorescencia ultravioleta y método DOAA
Japón ⁹⁰	Fluorescencia UV o conductimétrico
Sudáfrica	-
Australia ⁹¹	Analizador molecular fluorescencia UV
Argentina ⁹²	Técnicas de muestreo de EPA
Chile ⁹³	Fluorescencia ultravioleta

Fuente: Elaboración propia.

⁸⁵ CFR 40 Appendix A to Part 50. Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method)

⁸⁶ EN 14212: 2005 en DIRECTIVA 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa

⁸⁷ NOM-CCAM-005-ECOL /1993

⁸⁸ Resolución CONAMA No. 003/90 de 28 de junio de 1990

⁸⁹ Automated Methods for Ambient Air Quality Monitoring of HJ/T193-2005 <http://www.cleairnet.org/caiasia/1412/article-72782.html>

⁹⁰ Ministry of the Environment. Environmental Quality Standard in Japan. Air Quality. <http://www.env.go.jp/en/air/aq/aq.html>

⁹¹ National Environment Protection Measure for Ambient Air Quality Ambient Air Quality Monitoring Plan for the Australian Capital Territory

http://www.ephc.gov.au/sites/default/files/AAQ_MntPln__ACT_Monitoring_Plan_Final_200101.pdf

⁹² Art. 4 Resolución 242 del 97

⁹³ D.S. N° 113/02

4.5.2 Análisis por país de métodos de medición de Ozono en estaciones de monitoreo

En la resolución N° 1215 el método de referencia de medición de Ozono en Chile era el de quimioluminiscencia. Este método es el de referencia utilizado en Estados Unidos. Este método está basado en la medición de emisiones de luz producidos por la reacción de Ozono con rodamina B contenida en un disco. Debido a que la rodamina B no alcanza rápidamente una estabilidad luego de exponerse al Ozono, los analizadores UV fueron aprobados como métodos equivalentes en casi todas las estaciones de monitoreo de Estados Unidos⁹⁴.

Con la norma D.S. N°112, el método más usado para medir las concentraciones de O₃ en las estaciones de monitoreo con representación poblacional para gases (EMRPG) es el de Fotometría Ultravioleta⁹⁵. El método de Fotometría Ultravioleta también es usado por la EPA (CFR 40 Appendix D to Part 5) y por la Unión Europea EN 14625: 2005) y se basa en el principio fotométrico de la absorción de luz en el rango de radiación ultravioleta por el Ozono.

A pesar de que el método de Quimioluminiscencia con etileno también es considerado dentro de la norma chilena D.S. N° 112, no se observa su uso en las EMRPG en Chile. Este es el método de referencia para México, Brasil y Japón. En la Tabla 4.11, se presentan los métodos de referencia para la medición para Ozono en distintos países incluido Chile.

Tabla 4.11. Métodos de medición para O₃ por país

País/Organización	Método de medición O ₃
Estados Unidos ⁹⁶	Fotometría Ultravioleta
California	Fotometría Ultravioleta
Unión Europea ⁹⁷	Fotometría Ultravioleta
México ⁹⁸	Quimioluminiscencia
Brasil ⁹⁹	Quimioluminiscencia
China ¹⁰⁰	Fluorescencia Ultravioleta
Japón ¹⁰¹	Espectrofotometría con absorción de solución neutra de yoduro de potasio, espectrofotometría con absorción ultravioleta; o Quimioluminiscencia con Etileno

⁹⁴ Godish, T (2004) Air Quality. 4th edition. Lewis Publishers, Florida

⁹⁵ Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire <http://sinca.conama.cl/>

⁹⁶ CFR 40 Appendix D to Part 50. Reference Method for the Determination of Ozone in the Atmosphere

⁹⁷ EN 14625: 2005 en DIRECTIVA 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa

⁹⁸ NOM-036-ECOL-1993

⁹⁹ Resolución CONAMA No. 003/90 de 28 de junio de 1990

¹⁰⁰ Automated Methods for Ambient Air Quality Monitoring of HJ/T193-2005 <http://www.cleairnet.org/caiasia/1412/article-72782.html>

¹⁰¹ Ministry of the Environment. Environmental Quality Standard in Japan. Air Quality. <http://www.env.go.jp/en/air/aq/aq.html>

País/Organización	Método de medición O ₃
Sudáfrica	-
Australia	Fotometría Ultravioleta
Argentina	Técnicas de Muestreo EPA
Chile	Fotometría de Absorción Ultravioleta y Quimiluminiscencia con Etileno

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Métodos de medición de Dióxido de Nitrógeno en estaciones de monitoreo. Análisis por país

El método de medición de referencia establecido en la Unión Europea (EN 14625: 2005) y en Estados Unidos (CFR 40 Appendix F to Part 50), así como en la mayoría de los países es la Quimiluminiscencia en fase gaseosa. Tal como se aprecia en la Tabla 4.12, también es el caso de Chile, y se usa en la toma continua de muestras de NO₂ en la mayoría de las EMRPG.

Este método consiste en pasar la muestra de gas por un horno a 400° C que reduce el NO₂ a Monóxido y que al entrar a una cámara de reacción se obtiene una señal que es proporcional a la cantidad de Óxidos de Nitrógeno. Restando este valor y el valor de NO se obtiene la cantidad de Dióxido de Nitrógeno.

Otros de los métodos de referencia que se señalan tanto para Chile y Japón es el Método de Griess-Saltzman modificado. Este método se basa en una reacción de NO₂ con ácido sulfanílico para formar sal diazoica. Esta solución se mezcla con N-(1-naftil) etilendiamina dihidroclorada para formar una tintura azo cuya absorción a 550 nm se mide espectrofotométricamente, y el análisis de NO₂ se tiene que completar dentro de una hora, determinándose concentraciones de NO₂ de 0,02 a 0,75 ppm. Sin embargo, no se ha observado su uso en ninguna estación de monitoreo con representación poblacional.

Tabla 4.12. Métodos de medición para NO₂ por país

País/Organización	Método de medición NO ₂
Estados Unidos ¹⁰²	Quimiluminiscencia fase gaseosa
California	Quimiluminiscencia fase gaseosa
Unión Europea ¹⁰³	Quimiluminiscencia
México ¹⁰⁴	Quimiluminiscencia en fase gaseosa
Brasil ¹⁰⁵	Quimiluminiscencia

¹⁰² CFR 40 Appendix F to Part 50. Reference Method for the Determination of Nitrogen Dioxide in the Atmosphere

¹⁰³ EN 14211: 2005 en DIRECTIVA 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa

¹⁰⁴ NOM-CCAM-004-ECOL/1993

¹⁰⁵ Resolución CONAMA No. 003/90 de 28 de junio de 1990

País/Organización	Método de medición NO ₂
China ¹⁰⁶	Quimiluminiscencia y método DOAS ⁽¹⁾
Japón ¹⁰⁷	Método de Griess-Saltzman modificado o Quimiluminiscencia usando Ozono
Sudáfrica	-
Australia	Quimiluminiscencia
Argentina	Técnicas de muestreo EPA
Chile	Quimiluminiscencia en fase gaseosa Método de Griess-Saltzman modificado

(1): Differential Optical Absorption Spectroscop.

Fuente: elaboración propia.

4.5.4 Análisis por país de métodos de medición de Monóxido de Carbono en estaciones de monitoreo.

La fotometría infrarroja no dispersiva es el método de referencia base de casi todos los países consultados, tal como se aprecia en la Tabla 4.13, y el que es usado por la EPA desde los años 70's y sigue vigente de acuerdo a la CFR 40 Appendix C to Part 50.

Tabla 4.13. Métodos de medición para CO por país

País/Organización	Método de medición CO
Estados Unidos ¹⁰⁸	Fotometria infrarroja no dispersiva
California	Fotometria infrarroja no dispersiva
Unión Europea ¹⁰⁹	Espectroscopía infrarroja no dispersiva
México ¹¹⁰	Absorción infrarroja por medio de un fotómetro no dispersivo
Brasil ¹¹¹	Espectroscopía infrarroja no dispersiva
China	N/A
Japón ¹¹²	Método analítico infrarrojo no dispersivo
Australia	Fotometría infrarroja no dispersiva
Argentina	Técnicas de muestreo EPA
Chile	Fotometria infrarroja no dispersiva

Fuente: Elaboración propia.

¹⁰⁶Automated Methods for Ambient Air Quality Monitoring of HJ/T193-2005
<http://www.cleanairnet.org/caiasia/1412/article-72782.html>

¹⁰⁷ Ministry of the Environment. Environmental Quality Standard in Japan. Air Quality.
<http://www.env.go.jp/en/air/qa/qa.html>

¹⁰⁸ CFR 40 Appendix C to Part 50. Measurement Principle and Calibration Procedure for the Measurement of carbon Monoxide in the Atmosphere (Non-Dispersive Infrared Photometry)

¹⁰⁹ EN 14626: 2005 en DIRECTIVA 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa

¹¹⁰ NOM-CCAM-001-ECOL /1993

¹¹¹ Resolución CONAMA No. 003/90 de 28 de junio de 1990

¹¹² Ministry of the Environment. Environmental Quality Standard in Japan. Air Quality.
<http://www.env.go.jp/en/air/qa/qa.html>

El método de fotometría infrarroja no dispersiva consiste en hacer pasar la muestra de CO por una celda, la que absorbe la radiación en la región infrarroja del espectro. Se mide la diferencia de absorción que es convertida en una señal eléctrica equivalente a la concentración de Monóxido de Carbono.

4.6 Fiscalización y Períodos de regulación

4.6.1 Unión Europea

La oficina que supervisa los temas de calidad de aire es la *Air and Transport*, bajo el Departamento de *Climate Change and Air*. El marco normativo recae en la Directiva 2008/50/CE relativa a la Calidad del Aire Ambiente y a una Atmósfera más Limpia en Europa que apunta a armonizar la estructura ambiental para evaluar y gestionar la calidad de aire a través de Europa.

Las funciones regulativas de las leyes que gobiernan la calidad de aire son las de establecer los estándares de calidad de aire ambiental y las emisiones de aire para determinadas fuentes; otorgar permisos o licencias para ciertas actividades que causen emisiones en el aire; monitorear e inspeccionar actividades para asegurar las condiciones de permisos se estén cumpliendo y fiscalizar¹¹³.

La Comisión Europea vigila la implementación de la legislación europea, incluyendo la acción de los Estados Miembros en el cumplimiento de sus obligaciones contraídas en el tratado con la Comunidad Europea. La Agencia Europea de Medio Ambiente, por su lado, es la que recolecta la información de calidad de aire de los Estados Miembros a través de su programa CORINAIR, que luego publica de forma abierta¹¹⁴.

Uno de los principios en la regulación de calidad de aire ambiente es la necesidad de los Estados Miembros de dividir el territorio en un número de zonas o aglomeraciones. En cada una de estas zonas, los Estados Miembros tienen que llevar a cabo evaluaciones de los niveles de contaminación de aire a través de mediciones o modelaciones e informar estrategias de disminución de contaminación. Cuando los niveles son superiores a los valores límites, los Estados Miembros tienen que elaborar un plan o programa de calidad de aire para asegurar el cumplimiento con los valores límites de concentraciones de contaminantes. Además del plan tienen que ejecutar medidas uniformes para la

¹¹³ Handbook for Implementation of EU Environmental Legislation - Air Quality <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/air.pdf>

¹¹⁴ Assessment of the Effectiveness of European Air Quality Policies and Measures B4-3040/2003/365967/MAR/C1. Final Report. Case Studies Comparing the EU Experience with the Experience of The USA and Other Countries. CH. 2. October 2004. Danish National Environmental Research Institute and the Center for Clean Air Policy, Disponible en http://ec.europa.eu/environment/archives/air/cafe/activities/pdf/task_3_2_general.pdf

Comunidad, como calidad de combustible y estándares de productos (como el estándar EURO de los nuevos vehículos)¹¹⁵

Los planes tienen que incluir información acerca de¹¹⁶:

- Identificar lugar de ocurrencia de excesos de contaminación, tipo de zona y población expuesta
- La principal fuente de emisión responsable de la contaminación
- Autoridades responsables en la elaboración y ejecución de los planes de mejora
- La cantidad total de emisiones de esas fuentes y cualquier contaminación importada de otras regiones
- Análisis de factores responsable por la excedencia y medidas posibles para la mejora de la calidad de aire
- Detalles de medidas de mejoramiento incluyendo tiempos de implementación a corto y largo plazo
- Información de registros disponibles a la comunidad.

Los Estados Miembros deben asegurar que cumplen con los valores límites dentro de los plazos de cumplimiento fijados (Art. 9). Bajo la nueva Directiva 2008, existen extensiones de tiempo de cumplimiento de 5 años, hasta el 2015 sólo para el caso del Dióxido de Nitrógeno según los contaminantes primarios revisados¹¹⁷.

Los planes o programas tienen que estar disponibles al público y a la Comisión Europea luego de 2 años en que se haya constatado la excedencia en el valor límite de los contaminantes criterios.

Los Estados Miembros tienen que seguir ciertas medidas para cumplir con los estándares de calidad de aire dentro de sus territorios, Esto incluye controlar fuentes de emisión estacionarias, tales como grandes instalaciones de combustión, instalaciones industriales y de uso con solventes. También están las estrategias de reducción de emisiones de fuentes móviles, como son las de limitar las emisiones de varios tipos de vehículos motorizados así como estándares de calidad de combustibles. A pesar de que se les da cierta flexibilidad en cuanto a estrategias para cumplir con la normativa de calidad de aire dentro de sus territorios y que se les entrega un margen de tolerancia para reducir de forma gradual los niveles de contaminación, la intensidad en que son controlados depende de cuán efectivos sean en cumplir con los estándares fijados dentro de una zona determinada. Para esto, tienen que someterse a los umbrales de emisiones nacionales (*National Emissions Ceilings NEC*) para SO₂, NO_x, VOCs y

¹¹⁵ Página Oficial de Comisión Europea en Medioambiente. Implementation of air quality legislation <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/management.htm>

¹¹⁶ Directiva 2008/50/CE relativa a la Calidad del Aire Ambiente y a una Atmósfera más Limpia en Europa.

¹¹⁷ Benzeno también tiene una extensión de 5 años, mientras que el PM10 tiene 3 años.

NH₃ adoptados el 2001 (Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión)¹¹⁸

La Comisión Europea publica una lista anual de las zonas o aglomeraciones con los niveles de excedencia. Ésta debe entregar al Consejo y Parlamento Europeo los progresos realizados por los Miembros Estados relativos a los cumplimientos de los estándares y los NECs. Si los Estados Miembros no logran cumplir con los niveles establecidos y los NECs, la Comisión procede con una acción de infracción ante la Corte de Justicia Europea, bajo su poder de fiscalización por sobre los Estados Miembros.

4.6.2 Estados Unidos

El Clean Air Act o la ley de Aire Limpio de Estados Unidos prescribe un conjunto complicado de requisitos y responsabilidades basados en relaciones de trabajo colaborativo entre las oficinas de la EPA, la EPA regional, los Estados, y las localidades. El gobierno federal, a través de la Oficina de Planificación y Estándares de Calidad de Aire (i.e. *Office of Air Quality Planning and Standards*) bajo la división de la Oficina de Aire y Radiación, entrega ciertos lineamientos para la disminución y prevención de contaminación atmosférica a sus estados y localidades. Los lineamientos incluyen directas acciones en contra de fuentes que están violando provisiones del CAA (*Clean Air Act*), sanciones en contra de los estados que sobrepasan la norma en un plazo dado o a estados que fallan en cumplir con otros requerimientos estatutarios como desarrollar e implementar permisos para fuentes fijas, hacer cumplir permisos de emisión, monitorear calidad de aire, y hacer seguimiento de las emisiones. Además, está la cláusula de litigio ciudadano que vela porque las condiciones ambientales se hagan cumplir sin perjuicio del bienestar público¹¹⁹.

Sin embargo, son los Estados y gobiernos locales los que desarrollan, implementan y fiscalizan estrategias y medidas de control para poder cumplir con la norma. Las acciones que un estado contempla en relación a esta materia son:

- revisión de fuentes de contaminación en edificaciones nuevas o modificadas para evitar alcanzar los estándares nacionales de calidad de aire o causar un deterioro significativo de la calidad de aire.

¹¹⁸ Assessment of the Effectiveness of European Air Quality Policies and Measures B4-3040/2003/365967/MAR/C1. Final Report. Case Studies Comparing the EU Experience with the Experience of the USA and Other Countries. CH. 2. October 2004. Danish National Environmental Research Institute and the Center for Clean Air Policy. Disponible en http://ec.europa.eu/environment/archives/air/cafe/activities/pdf/task_3_2_general.pdf

¹¹⁹ Air Quality Management in the United States (2004). The National Academy Press. Washington, D.C. http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=10728&page=88

- reunir información acerca de fuentes de contaminación del aire.
- solicitar a las fuentes de contaminación atmosférica instalar equipos de monitoreo, conservar registros, e informar emisiones al gobierno estatal.
- implementar un sistema para detectar infracciones e investigar reclamos públicos acerca de contaminación atmosférica.

Existen varios mecanismos de fiscalización, desde respuestas informales, como cartas de advertencia, hasta respuestas más formales, como exigir instalar aparatos de control de contaminación de aire o modificar procesos industriales, o penalidad civil (multas), exigencias en apoyar investigaciones relativas a la contaminación del aire, incluso medidas como reclusión de libertad. Estos tipos de fiscalización varían según los estados específicos, por ejemplo políticas de fiscalización local¹²⁰.

El *Clean Air Act*, reforzó la autoridad fiscalizadora de la EPA. La EPA puede incluso imponer multas administrativas por sobre US\$25.000 al día por emisiones que sobrepasan la norma. También empoderar a inspectores de dar una papeleta de infracción durante una rutina de fiscalización. También se da la posibilidad de establecer un sistema de mercado basado en un intercambio de emisiones para reducir los niveles emitidos de SO₂¹²¹.

Parte de la fiscalización se relaciona con el cumplimiento y los permisos. Con respecto a fiscalizar el cumplimiento, se usa el “*auto monitoreo*” de instalaciones reguladas y las “*inspecciones in situ*”. El “*auto monitoreo*” implica un monitoreo detallado, reportes informativos y registros que son entregados a la Oficina de Control de Contaminación del Aire u otra oficina según el estado específico. Las *inspecciones in situ*, por otro lado, tienen el objetivo de evaluar el estatus de cumplimiento de una instalación, recolectar evidencias de infracción a la ley y crear presencia visual y real en los regulados. Estas inspecciones pueden ser visitas rutinarias, o incitadas por alguna razón específica, pero la falta de recursos obliga a fijar una lista de facilidades prioritarias que son más susceptibles de ser visitadas. Los permisos, por otro lado, son el método más común de cumplimiento.

En la última enmienda del *Clean Air Act* en 1990, el sistema de permisos, bajo el Título V de la Ley de Aire Limpio (*Title V of the 1990 Clean Air Act*) estipula que las fuentes grandes y algunas pequeñas necesitan permisos de operación. Los permisos contemplan monitoreo y límites de emisiones, registros clasificados, y reportes informativos, así como el estatus de cumplimiento que tiene la instalación con respecto a condiciones de permisos otorgados. El programa federal de permisos operativos apunta a las fuentes industriales existentes, mientras que los

¹²⁰ National Associations of Clean Air Agencies (STAPPA and ALAPCO)
<http://www.4cleanair.org/TopicDetails.asp?parent=13>

¹²¹ <http://www.epa.gov/oar/oaqps/eog/course422/ce7d.html>

Permisos Federales para la Construcción de Fuentes Nuevas vigilan las operaciones de las fuentes en construcción.

Sin embargo, la base de la autoridad estatal relativa a la fiscalización de programas de control de contaminación es el “Plan de Implementación Estatal”¹²² (*SIP i.e. State Implementation Plan*). Sobre la base de la información de las redes de monitoreo de calidad de aire NAMS/SLAMS, se designan zonas como “en cumplimiento”, “sin cumplimiento” o “inclasificable”. Según la Section 107 (d) Requisitos del Clean Air Act o Ley de Aire Limpio, a no más de un año de promulgado o revisado el estándar de calidad de aire para cualquier contaminante bajo la sección 109, el gobernador de cada estado debe entregar al Administrador, una lista de las áreas del estados.

Estas zonas que se denominan Áreas de Control de Calidad de Aire. Cada Área de Control de Calidad de Aire, que pueden ser áreas metropolitanas, por ejemplo, se identifican según el contaminante criterio monitoreado. A modo de ilustración, el período de regulación del O₃ es el promedio de 3 años del cuarto valor más alto de concentraciones de 8 observados en un año. Si este valor sobrepasa el valor norma, es decir 75 ppb, el Área de Control de Calidad de Aire tiene que elaborar un Plan de Implementación Estatal o SIP¹²³. Los Estados tienen que entregar SIPs que cubran los estándares nacionales de calidad de aire ambiental (NAAQS) para las Áreas de Control de Calidad de Aire dentro de sus áreas dentro del plazo de 1 año de promulgado o revisado el estándar y deben entregare al Administrador. Los SIPs pueden ser de tipo “mantención” en caso de que esté en cumplimiento o de tipo “demostración” en caso que no esté en cumplimiento. Como sea, los planes cubren todas las áreas independientemente del nivel de cumplimiento con la norma de calidad de aire¹²⁴.

El Plan de Implementación Estatal contempla 3 ítems: inventario de emisiones, análisis de modelos de simulaciones de calidad de aire así como datos relativos a determinar la cantidad y los tipos emisiones por reducir dentro del plazo estipulado, además de una descripción de las estrategias de control de emisiones y medidas de fiscalización para las reducciones estipuladas¹²⁵. Una medida común que toman los estados dentro de los SIPs es el requisito de que todos los autos

¹²² Enforcement- State Authority, Air Pollution Control Orientation Course. EPA official webpage <http://www.epa.gov/oar/oaqps/eog/course422/ce7a.html>

¹²³ Air Quality Management in the United Status (2004). The National Academy Press. Washington, D.C. http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=10728&page=88

¹²⁴ Assessment of the Effectiveness of European Air Quality Policies and Measures B4-3040/2003/365967/MAR/C1. Final Report. Case Studies Comparing the EU Experience with the Experience of the USA and Other Countries. CH. 2. October 2004. Danish National Environmental Research Institute and the Center for Clean Air Policy. Disponible en http://ec.europa.eu/environment/archives/air/cafe/activities/pdf/task_3_2_general.pdf

¹²⁵ Air Quality Management in the United Status (2004). The National Academy Press. Washington, D.C. http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=10728&page=88

motorizados dentro de un SIP se inspeccionen y controlen en sus emisiones. A pesar que los SIPs son desarrollados por los estados, necesitan la aprobación de la EPA.

Un programa de apoyo federal es la Guía de Técnicas de Control (CTG, *ie Control Techniques Technology*) que entrega información a los estados respecto de las tecnologías de control referidas a las Tecnologías de Control Razonablemente Disponibles (*Reasonably Available Control Technology, i.e. RACT*). Los RACTs se requieren en zonas “sin cumplimiento” con los estándares. Las Mejores Tecnologías Disponibles de Control (*Best Available Control Technology, i.e. BACTs*) se exigen en grandes instalaciones ya sean nuevas o modificadas en zonas “en cumplimiento”. Las Menores Tasas de Emisión Practicable (*Lowest Achievable Emission Rate, i.e. LAER*) se exigen en fuentes nuevas o modificadas en zonas de “no cumplimiento”¹²⁶

4.6.3 Chile

La fiscalización de la norma primaria de calidad de aire corresponde a los Servicios de Salud (actualmente SEREMI de Salud Regionales). Como bien lo define en la página de la Seremi de Salud de la Región Metropolitana, “*el rol fiscalizador de la Seremi de Salud RM consiste en detectar aquellas fuentes de contaminación y regularizar su funcionamiento de acuerdo a la normativa vigente*”.

La SEREMI de Salud fiscaliza la emisión de fuentes fijas y de calidad de aire mediante el Subdepartamento Calidad de Aire, dependiente del Departamento de Acción Sanitaria y Sección de Red de Monitoreo de Calidad de Aire, que pertenece al Departamento de Salud Pública Sanitaria.

Según lo estipula el decreto para las normas de gases, luego de 3 años de su publicación deberá realizarse un Diagnóstico de Calidad de Aire. Este diagnóstico debe informar la calidad del aire que se genere en los organismos públicos y privados. En base a este diagnóstico los SEREMIs disponen de 2 años para elaborar e implementar un programa priorizado de monitoreo para el seguimiento de la norma. Este programa de monitoreo deberá revisarse periódicamente en base a nuevos antecedentes¹²⁷.

4.6.4 Argentina y Brasil

En Argentina la Autoridad Sanitaria tiene el deber de controlar y fiscalizar las normas de emisiones. Bajo el Decreto 3395/1996128, como decreto reglamentario

¹²⁶ Technology Transfer Network Clean Air Technology Center RACT/BACT/ LAER Clearinghouse. http://www.epa.gov/ttn/catc/rblc/htm/welcome_eg.html

¹²⁷ Evaluación y Propuesta de Rediseño para la Red de Monitoreo Automático de Calidad de Aire de la Región Metropolitana Red MACAM -2, (2007) Centro Mario Molina <http://www.conama.cl/rm/568/article-41184.html>

¹²⁸ Decreto 3395/1996 <http://www.ecogestionar.com.ar/normativa/Control-de-Aire-CA-D3395-96.PDF>

de la ley 5.965, se le otorga las competencias a los municipios los cargos de fiscalización de generadores además de la aplicación de sanciones. Por lo consultado, la fiscalización se limita a permisos de emisiones que de sobrepasar los valores normados terminan en infracciones.

En cuanto a Brasil, la Resolución N° 03/90 que establece los estándares primarios y secundarios de contaminantes de aire indica que los estados son responsables de los programas de monitoreo. Nuevamente se ve el caso que los estados pueden promulgar sus propios estándares de calidad de aire, los que no pueden ser menos estrictos que los nacionales. El estado de Sao Paulo, con su Decreto Estatal N° 48,523/04 establece reglas relacionadas con emisiones en áreas saturadas y el Decreto 8,468/76 define “área saturada como aquellas localizadas en una región con emisiones por sobre los límites máximos permitidos según el estándar. El nuevo Decreto Estatal N° 50,753/06 enmienda el Decreto 8,468/76 en cuanto a las reglas referentes a las emisiones. Basándose en la normativa norteamericana, establece áreas de saturación considerando concentraciones límites de los contaminantes primarios contemplados en la Resolución N° 03/90 en los últimos 3 años. En base a esta información, clasifica las regiones en “saturadas”, “casi saturadas” y “no saturadas”. El CETESB- *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo*, tiene que diseñar un Programa de Reducción de Emisiones de Aire (PREA) para las regiones “saturadas” y “casi saturadas”. A tal respecto, Brasil homologa a USA en estrategias de permisos, de RACT, de bonos de carbono¹²⁹.

4.6.5 México

La gestión de la contaminación atmosférica en México ha tomado un matiz colaborativo parecido al observado en Estados Unidos en cuanto a la coordinación entre los distintos niveles de gobierno, federal, estatal y municipal. El instrumento jurídico con mayor peso es la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente¹³⁰ que le otorga las facultades al gobierno federal para regular las fuentes de contaminación. Mientras el gobierno federal establece las normas de calidad de aire, los estados tienen que seguir la exigencia de esas normas o fijarlas incluso más estrictas. El sistema de calidad del aire en México, sin embargo, está formado por un conjunto de normas federales que no son obligatorias sobre la calidad de aire y de normas de emisiones que sí lo son. En este sentido, los estados y el Distrito Federal legislan acerca de sus propias leyes,

¹²⁹ Trends on Brazilian Legislation Regarding Air Pollution, 2007. Sales, R, et al. Baker & McKenzie http://www.bakernet.com/NR/rdonlyres/82804705-7F0C-4481-BFE5-CEA378CA08BB/0/brazil_air_pollution_legislation.pdf.

¹³⁰ <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaidis/caliaire/mexicona/R-0209.pdf>

y cada uno tiene el poder de aplicar su propia legislación y controlar la contaminación de las industrias y fuentes móviles dentro de sus jurisdicciones¹³¹.

Por otro lado, la Secretaría de Salud es la encargada de establecer la Norma Oficial Mexicana, NOM, para las concentraciones ambientales de los contaminantes criterios, entre ellos CO, O₃, NO₂, y SO₂, los que deben ser revisados cada 5 años. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), por su parte, elabora leyes y reglamentos, además de desarrollar estrategias ambientales en tanto metas de reducción de contaminación. Bajo el capítulo II del título de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, SEMARNAT tiene que establecer las NOM sobre las emisiones máximas permitidas en diversas zonas o áreas en relación a valores límites de contaminantes de manera a proteger la salud pública de la población según lo acordado por la Secretaría de Salud.

A pesar de que las normas de calidad de aire en México se basan en metas a cumplir (por ejemplo el programa Proaire 2002-2010 busca lograr reducciones de 16% de SO₂, 26% de CO, 43% de NO_x), la Ley General sí obliga a los estados a desarrollar planes de mejoramiento de la calidad de aire dentro de los 180 días de promulgada una norma que explique cómo alcanzar una mejor calidad de aire. Sin embargo, el problema redunda en que no hay sanciones hacia los estados por no cumplir con un plan efectivo de mejoramiento, que proporcione medidas reales para una mejor calidad de aire. Como todo sistema de regulación de aire, México cuenta con un régimen de permisos y licencias para fuentes de emisión bajo jurisdicción.

4.6.6 China

Para China, al igual que Estados Unidos, la gestión de la calidad de aire está en manos del Estándar Nacional de Calidad de Aire (National Air Quality Standards) para los contaminantes de SO₂, NO₂, y PM₁₀. Son estos contaminantes los que son monitoreados constantemente¹³². Al igual que Estados Unidos, el gobierno central provee de lineamientos generales en política ambiental, mientras que los gobiernos locales son responsables de la implementación y fiscalización dentro de un margen de libertad en el diseño de medidas apropiadas al mejoramiento de la calidad de aire. Del mismo modo, en China el modo de cumplir con las normas de calidad de aire es a través de Planes Estatales de Implementación, pero con un rol fiscalizador preponderante en las Oficinas Locales de Protección Ambiental (*EPBs i.e. environmental protection bureau*) lo que dificulta la fiscalización de regulaciones ambientales de este tipo. En cuanto a mecanismos fiscalizadores,

¹³¹ Normas, reglamentos, planeación y aplicación de las leyes nacionales, estatales y locales sobre calidad del aire y cambio climático en América del Norte Comisión para la Cooperación Ambiental (2004) http://www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/CEC-AQ-Report_es.pdf

¹³² http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=12001&page=61

China cuenta con un sistema de gravamen de contaminación bajo el concepto que el “contaminador paga”, un sistema de bonos de carbono desde 2002, además de un “Sistema de Responsabilidad Ambiental” en el que cada autoridad a nivel estatal, y comunal se compromete a través de un contrato cumplir con ciertos objetivos ambientales al final de su mandato. Otro programa es el Modelo de Ciudad Nacional de Protección Ambiental, en el cual las ciudades chinas más grandes entregan semanalmente un registro del estado de calidad de aire a través del Índice de Contaminación de Aire.

El control de las redes de monitoreo cae en la responsabilidad de las Oficinas Locales de Protección Ambiental, que típicamente informan la calidad del aire en términos de estándar cumplido al gobierno federal de la SEPA (*State Environmental Protection Administration*).

4.6.7 Japón

A pesar que la Agencia de Medioambiente (Environment Agency) se creó en 1971, en el año 2001 pasa a formar el Ministerio de Medioambiente (MOE). La implementación y la fiscalización de las leyes nacionales bajo la jurisdicción del MOE, entre ellas, la ley de Control de Contaminación de Aire, se delegan principalmente a las autoridades ambientales de las 47 prefecturas (i.e. 47 jurisdicciones gobernadas por un gobernador electo).

La responsabilidad de monitorear y vigilar periódicamente los niveles de contaminación atmosférica recae en el Gobernador de cada prefectura¹³³.

Todas las prefecturas y las ciudades más grandes que son designadas como prefecturas debido a su tamaño, tienen sus propios institutos de investigación ambiental y sus propios sistemas de monitoreo. Son estos institutos, bajo la dirección del gobernador, los que monitorean el aire y conducen inspecciones a las industrias y plantas. El MOE provee orientación a las autoridades locales, a través de capacitación técnica. Además, entrega a los gobiernos locales subsidios para mejorar los sistemas de monitoreo, promover medidas relativas a los Planes Básicos medioambientales, y bosqueja planes de acción local para reducir emisiones, entre otras actividades. Desde hace un tiempo, se ha promovido pasar de un paradigma de control a uno de incentivos para promover el control de la calidad de aire¹³⁴.

¹³³ Air Pollution Control Law. Ministry of the Environment Government of Japan (Tentative Translation) Law N° 97 of 1968 Latest Amendment by Law No. 32 of 1996, Disponible en: <http://www.asianlii.org/jp/legis/laws/apcl273/>

¹³⁴ Hidefumi, I; Schreurs, M (2005) Environmental Policy in Japan. The World Bank.

4.6.8 Sudáfrica

En Sudáfrica, la enmienda de NEMA (*National Environmental Management Act*) del 2005 crea recién la función y el cargo de Inspector de Gestión Ambiental (*The Environmental Management Inspector*) cumple un rango de poderes estatutarios para monitorear y hacer cumplir la ley. Los Inspectores son asignados por el Ministro de Asuntos Ambientales y turismo, los que fueron recientemente designados el 2006, y tienen la función de inspeccionar, investigar, fiscalizar, además de tener un poder administrativo. Estas provisiones se encuentran estipuladas en el marco legislativo de NEMA.

4.6.9 Australia

En 1998 el Concejo Nacional de Protección Ambiental, que abarca la nación, los estados y territorios, elaboró una Medida en Calidad de Aire (Measure on Ambient Air Quality i.e. MAAQ) Esta Medida estableció los estándares y las metas para los contaminantes criterios, resaltando los métodos de medición, evaluación y reporte que cada jurisdicción tiene que planear para cumplir con los estándares. Los planes de monitoreo de aire y los reportes tienen que realizarse al cabo de 3 años en que la Medida efectúa un solicitud formal a la jurisdicción, generalmente con poblaciones por sobre 25.000 habitantes.

Luego que la medida se estableció, los ministros conforman un Comité de Revisión para aconsejar los planes de cada jurisdicción¹³⁵.

4.7 Niveles de Contingencia

En esta sección se introducen los valores que distintos países usan para determinar situaciones de emergencia ambiental. Se hace una comparación por contaminante según país, las estrategias programadas en respuesta a estos episodios críticos de calidad de aire y por último se presentan los índices de calidad de aire.

Ya establecidos los niveles normados históricamente se han establecidos niveles de contingencia, fundamentados bajo distintos enfoques, ya sea por umbrales de efectos a salud, o niveles de riesgo. Estos niveles de alerta fundamentalmente se definen basados en índices de calidad de aire, que usualmente coinciden en que el valor 100 equivale al valor norma. Usualmente el valor de alerta se define como el valor 100 o 200 del índice de calidad de aire.

La Tabla 4.14 4.14 y la Tabla 4.15 4.15, muestran los niveles de contingencia de Estados Unidos para cada contaminante y las medidas que se aplican a nivel

¹³⁵ Página Oficial de Australian Government. Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. Disponible en: <http://www.environment.gov.au/atmosphere/airquality/publications/cmp.html>

federal cuando ocurren estos eventos. Estas medidas son generales y no específicas a estados que se encuentren con problemas de cumplimiento de norma, a los cuales generalmente se les aplican medidas específicas. El enfoque de los índices de calidad de aire es de prevención de la exposición, para los cuales se establecen claramente recomendaciones a grupos sensibles a cada contaminante distinto, además de qué actividades deberían evitarse. Así es como los eventos de contaminación atmosférica de CO sugieren reducción de exposición de personas con afecciones cardíacas, de O₃, NO₂, y SO₂ para personas con enfermedades respiratorias como el asma. Las advertencias y restricciones de actividades de O₃ y SO₂ apuntan a proteger a los niños. En cuanto al material particulado, las recomendaciones apuntan a personas con enfermedades cardiovasculares, y de la tercera edad.

Tabla 4.14. Niveles de alerta, preemergencia, y emergencia de calidad de aire y medidas control de emisiones de contingencia

Etapa	Descripción	Nivel	Medidas
Precaución - Pronóstico	El Servicio Meteorológico Nacional emite advertencia de mala ventilación	PM2.5: 80 ug/m ³ media 1 hora. 50 ug/ m ³ media 24 horas. PM10: 385 ug/ m ³ media 1hora. 150 ug/ m ³ media 24horas.	Toda quema abierta se prohíbe
Alerta	La calidad de aire se ha degradado, requiriendo restricciones en emisiones industriales	CO: 15 ppm [17 mg/m ³] media 8 horas. NO ₂ : 600 ppb [1130 ug/m ³] media de 1hora. 150 ppb [282 ug/m ³] media 24 horas. O ₃ : 200 ppb [400 ug/m ³] media de 1 hora. SO ₂ : 300 ppb [800 ug/m ³] media de 24 horas. PM10: 350 ug/m ³ media de 24 horas. PM2.5, No disponible.	Le restringe uso de equipos de altas emisiones. Se sugiere uso de combustibles limpios para operaciones industriales, comerciales, e institucionales
Preemergencia	Calidad de aire ha continuado su degradación, requiriendo acciones para mantener o mejorar la calidad.	CO: 30ppm [34 mg/m ³] media de 8 horas. NO ₂ : 1200 ppb [2260 ug/m ³] media de 1 hora. 300 ppb [565 ug/m ³] media de 24 horas. O ₃ : 400 ppb [800 ug/m ³] media de 1 hora. SO ₂ : 600 ppb [1600 ug/m ³] media de 24 horas. PM10, 420 ug/m ³ media de 24 horas. PM2.5: No disponible.	Las operaciones comerciales, industriales, o institucionales que usen carbón o petróleos pesados deberán convertirse completamente a gas natural, petróleos destilados, y si estos combustibles de bajo Azufre no están disponibles, restringir el uso dentro de lo posible, sin causar daño a las personas, ni al equipamiento.
Emergencia	Calidad de aire ha llegado un nivel de riesgo sustancial a la salud, requiriendo de medidas mayores a las emisiones	CO: 40 ppm [46 mg/m ³] media de 8 horas. NO ₂ : 1600 ppb [3000 ug/m ³] media de 1 hora. 400 ppb [750 ug/m ³] media de 24 horas. O ₃ : 500 ppb [1000 ug/m ³] media de 1 hora. SO ₂ : 800 ppb [2100 ug/m ³] media de 24 horas. PM10: 500 ug/m ³ media de 24 horas. PM2.5: No disponible.	Todos los lugares de empleo deben paralizar sus actividades inmediatamente, o disminuir emisiones en lo máximo posible. Cuando se declara emergencia por Monóxido de Carbono, la conducción de vehículos motorizados está prohibida a menos que sea para emergencias, bajo aprobación de la policía local o estatal.

Fuente: USEPA

Tabla 4.15. Resumen de efectos de salud y grupos de riesgo para distintos niveles de índices de calidad de aire y contaminantes para Estados Unidos (EPA, 2009)

Nivel de concentración	CO	O ₃	SO ₂	PM2.5	PM10
	Personas con enfermedades al corazón	Niños y personas con asma	Niños y personas con asma	Gente con enfermedades cardíacas o respiratorias, tercera edad y niños.	Gente con enfermedades respiratorias
100	-	Síntomas respiratorios para poblaciones sensibles, por lo que se recomienda reducir actividades exteriores prolongadas e intensas.	-	Síntomas respiratorios para poblaciones sensibles. Agravamiento de enfermedades pulmonares y cardíacas a personas con problemas cardiovasculares, o adultos mayores, por lo que se recomienda reducir actividades exteriores prolongadas e intensas.	Síntomas respiratorios para poblaciones sensibles. Agravamiento de enfermedades pulmonares y cardíacas a personas con problemas cardiovasculares, o adultos mayores, por lo que se recomienda reducir actividades exteriores prolongadas e intensas.
200	Reducción de tolerancia al ejercicio por aumento de síntomas cardiovasculares, como dolor al pecho, para la gente con angina, por lo que deberían evitar hacer esfuerzos físicos, y fuentes de CO, como tránsito vehicular.	Mayor probabilidad de síntomas respiratorios y dificultad para respirar en niños activos, y adultos con enfermedades respiratorias como el asma, por lo que deberían evitar ejercicio, especialmente los niños.	Aumento de síntomas respiratorios tales como estrechamiento del pecho, jadeo en personas con asma. Posible empeoramiento de enfermedades cardíacas y pulmonares. Niños, asmáticos, y personas con enfermedades cardíacas y pulmonares deberían evitar ejercicio al aire libre.	Agravamiento de enfermedades pulmonares y cardíacas. Mortalidad prematura en gente con enfermedades cardiovasculares, y tercera edad. Aumento de síntomas respiratorios en población general, por lo que los afectados deberían evitar ejercicios pesados o prolongados.	Agravamiento de enfermedades pulmonares y cardíacas. Mortalidad prematura en gente con enfermedades cardiovasculares, y tercera edad. Aumento de síntomas respiratorios en población general, por lo que los afectados deberían evitar ejercicios pesados o prolongados.

Nivel de concentración	CO	O ₃	SO ₂	PM2.5	PM10
	Personas con enfermedades al corazón	Niños y personas con asma	Niños y personas con asma	Gente con enfermedades cardíacas o respiratorias, tercera edad y niños.	Gente con enfermedades respiratorias
300	Agravamiento significativo de síntomas cardiovasculares, como dolor al pecho, para personas con enfermedades cardiovasculares, por lo que deberían evitar hacer esfuerzos físicos, y fuentes de CO, como tránsito vehicular.	Aumento de síntomas severos y respiración limitada en niños y adultos activos, y gente con enfermedades respiratorias, como el asma. Aumento de efectos respiratorios a la población general.	Aumento significativo de síntomas respiratorios, como jadeos, falta de aliento en gente con asma. Agravamiento de enfermedades cardíacas o pulmonares.	Agravamiento significativo de enfermedades cardíacas o pulmonares y mortalidad prematura en gente con enfermedades cardiovasculares y tercera edad. Aumento significativo de efectos respiratorios en población general.	Agravamiento significativo de enfermedades cardíacas o pulmonares y mortalidad prematura en gente con enfermedades cardiovasculares y tercera edad. Aumento significativo de efectos respiratorios en población general.
400	Agravamiento serio de síntomas cardiovasculares como dolor al pecho, para gente con enfermedades cardíacas. Limitaciones en actividades físicas fuertes para gente con angina, por lo que deberían evitar hacer esfuerzos físicos, y fuentes de CO, como tránsito vehicular. Toda la población debería evitar ejercicio pesado	Efectos respiratorios severos y respiración limitada para niños y adultos activos y gente con enfermedades respiratorias como el asma. Efectos respiratorios con aumento en su severidad para población general. Todos deben evitar ejercicios al aire libre.	Síntomas respiratorios severos, como jadeo, falta de aliento en gente con asma. Empeoramiento de enfermedades cardíacas y pulmonares. Posibles efectos respiratorios en población general. Niños, asmáticos, y gente con enfermedades cardíacas o pulmonares deberían permanecer bajo techo. Todos los demás deberían evitar ejercicio al aire libre.	Agravamiento serio de enfermedades cardíacas y pulmonares y mortalidad prematura para personas con enfermedades cardiovasculares y adultos mayores. Riesgo serio de efectos respiratorios para población general. La población completa debe evitar actividad física al aire libre. Personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, adultos mayores, y niños deberían permanecer bajo techo, limitando la actividad física.	Agravamiento serio de enfermedades cardíacas y pulmonares y mortalidad prematura para personas con enfermedades cardiovasculares y adultos mayores. Riesgo serio de efectos respiratorios para población general. La población completa debe evitar actividad física al aire libre. Personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, adultos mayores, y niños deberían permanecer bajo techo, limitando la actividad física.

Fuente: USEPA

La Tabla 4.16, muestra que los niveles de alerta, preemergencia y emergencia en el mundo son bastante variados. Dentro de los países con niveles de contingencia para SO₂ destacan Chile, Argentina, y Sudáfrica, con valores regulados de 750, 1000, 1500 ppb, respectivamente. En general, la mayoría de los países establecen niveles de 8 horas y 24 horas para la contingencia. Por ejemplo, Brasil y Estados Unidos tienen niveles de alerta de 24 horas para SO₂ de alrededor de 300 ppb, pero no regulan episodios de menor duración.

Tabla 4.16. Niveles de Alerta, Preemergencia y Emergencia para concentraciones SO₂ en países estudiados

	Compuesto (horas)	Alerta	Pre emergencia	Emergencia
Estados Unidos ¹³⁶	24	306 ppb [800 ug/m ³]	611 ppb [1600 ug/m ³]	802 ppb [2100 ug/m ³]
Unión Europea ¹³⁷	3	191 ppb [500 ug/m ³]	-	-
Chile ¹³⁸	1	750 ppb [1963 ug/m ³]	1000 ppb [2618 ug/m ³]	1500 ppb [3926 ug/m ³]
Argentina ¹³⁹	1	1000 ppb [2618 ug/m ³]	5000 ppb [13088 ug/m ³]	10000 ppb [26176 ug/m ³]
	8	300 ppb [785 ug/m ³]	No aplica	No aplica
Brasil ¹⁴⁰	24	300 ppb [785 ug/m ³]	610 ppb [1597 ug/m ³]	800 ppb [2094 ug/m ³]
México	24	130 ppb [340 ug/m ³]	-	--
China ¹⁴¹	1	800 ppb [2094 ug/m ³]	1600 ppb [4188 ug/m ³]	2100 ppb [5497 ug/m ³]
Sudáfrica	1	300 ppb [785 ug/m ³]	-	-
	24	100 ppb [262 ug/m ³]	-	-
Australia	1	400 ppb [1047 ug/m ³]	600 ppb [1571 ug/m ³]	800 ppb [2094 ug/m ³]
	24	160 ppb [419 ug/m ³]	240 ppb [628 ug/m ³]	320 ppb [838 ug/m ³]

Fuente: Elaboración propia.

¹³⁶ Basado en el Índice de Calidad de Aire (US Air Quality Index). También existe en el Code of Federal Registration 52 FR 24713, 1987 en la Parte de Prevención de Episodios de Emergencia de Contaminación de Aire valores según la clasificación de regiones. <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr;sid=6371046d4a75d4fb2562a959c594e5ad;rgn=div6;view=text;node=40:2.0.1.1.2.5;idno=40;cc=ecfr>

¹³⁷ Directiva 2008/50/EC. <http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/07/st03/st03696.en07.pdf> Consultado en Octubre 2009

¹³⁸ D.S. N° 113/02

¹³⁹ Ley 20.284. <http://www2.medioambiente.gov.ar/mlegal/aire/ley20284.htm>

¹⁴⁰ Resolución CONAMA N° 03, 1990

¹⁴¹ National Academy of Engineering and National Research Council. 2008. Energy Futures and Urban Air Pollution: Challenges for China and the United States. Washington, D.C. The National Academics Press. Disponible en http://www.Nap.edu/catalog.php?record_id=12001. Consultado en Octubre del 2009.

La Tabla 4.17, muestra los niveles de contingencia de concentraciones de O₃ en los países estudiados. Se observa que en general los períodos regulados son todos de 1 hora. Se destaca la Unión Europea con niveles de 120 ppb en alerta. Estados Unidos, México, Brasil, y Chile poseen límites de 200 ppb hacia arriba. Dentro de Latinoamérica, Argentina destaca por tener el nivel más bajo de alerta, definido en 150 ppb.

Tabla 4.17. Niveles de Alerta, Preemergencia y Emergencia para concentraciones O₃ en países estudiados

País	Período (horas)	Alerta	Pre emergencia	Emergencia
Estados Unidos	1	200 ppb [393 ug/m ³]	400 ppb [785 ug/m ³]	500 ppb [982 ug/m ³]
Unión Europea	1	120 ppb [236 ug/m ³]	-	-
Chile ¹⁴²	1	204 ppb [401 ug/m ³]	408 ppb [801 ug/m ³]	500 ppb [982 ug/m ³]
Argentina	1	150 ppb [295 ug/m ³]	250 ppb [491 ug/m ³]	400 ppb [785 ug/m ³]
Brasil ¹⁴³	1	204 ppb 400 µg/m ³	408 ppb 800 µg/m ³	509 ppb 1000 µg/m ³
México	1	200 ppb [393 ug/m ³]	300 ppb [589 ug/m ³]	400 ppb [785 ug/m ³]
China	1	400 ppb [785 ug/m ³]	500 ppb [982 ug/m ³]	600 ppb [1178 ug/m ³]
Australia	1	200 ppb [393 ug/m ³]	300 ppb [589 ug/m ³]	400 ppb [785 ug/m ³]

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4.18, muestra los niveles de contingencia de NO₂ para los países estudiados. En general, se regulan niveles en forma similar, alrededor de 600 ppb para las alertas en Estados Unidos, Chile, y Argentina.

Tabla 4.18. Niveles de Alerta, Preemergencia y Emergencia para concentraciones NO₂ en países estudiados

País	Período (horas)	Alerta	Pre emergencia	Emergencia
Estados Unidos	1	600 ppb [1129 ug/m ³]	1200 ppb [2258 ug/m ³]	1600ppb [3010 ug/m ³]
Unión Europea	-	-	-	-
Chile ¹⁴⁴	1	600 ppb [1129 ug/m ³]	1200 ppb [2258 ug/m ³]	1600 ppb [3010 ug/m ³]
Argentina	1	600 ppb [1129 µg/m ³]	1200 ppb [2260 µg/m ³]	-

¹⁴² D.S. N° 112/02

¹⁴³ Resolución CONAMA N° 03, 1990

¹⁴⁴ D.S. N° 114/02

País	Período (horas)	Alerta	Pre emergencia	Emergencia
	24	150 ppb [282 ug/m ³]	300 ppb [564 ug/m ³]	400 ppb [753 ug/m ³]
Brasil ¹⁴⁵	1	600 ppb [1.130 ug/m ³]	1200 ppb [2.260 ug/m ³]	1600 ppb [3.000 ug/m ³]
México	-	-	-	-
Japón	-	-	-	-
China	-	-	-	-
Sudáfrica	-	-	-	-
Australia	1	240 ppb [451 ug/m ³]	360 ppb [677 ug/m ³]	480 ppb [903 ug/m ³]

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4.19, muestra los niveles de contingencia del Monóxido de Carbono. En general es un compuesto que no es considerado prioritario. Estados Unidos y Chile presentan los niveles de Alerta más bajos. Brasil, Argentina, y México presentan valores mayores.

Tabla 4.19. Niveles de Alerta, Preemergencia y Emergencia para concentraciones CO en países estudiados

País	Período (horas)	Alerta	Pre emergencia	Emergencia
Estados Unidos	8	9 ppm [10307 ug/m ³]	15 ppm [17178 ug/m ³]	30 ppm [34356 ug/m ³]
Unión Europea	-	-	-	-
Chile ¹⁴⁶	8	9 ppm [10307 ug/m ³]	15 ppm [17178 ug/m ³]	30 ppm [34356 ug/m ³]
Argentina	1	100 ppm [114519 ug/m ³]	120 ppm [127423 ug/m ³]	150 ppm [171779 ug/m ³]
	8	15 ppm [17178 ug/m ³]	30 ppm [34356 ug/m ³]	50 ppm [57259 ug/m ³]
Brasil ¹⁴⁷	8	15 ppm [17178 ug/m ³]	30 ppm [34356 ug/m ³]	40 ppm [45807 ug/m ³]
México	8	21 ppb [24049 ug/m ³]	30 ppm [34356 ug/m ³]	40 ppm [45807 ug/m ³]
Japón	-	-	-	-
China	-	-	-	-

¹⁴⁵ Resolución CONAMA N° 03, 1990

¹⁴⁶ D.S. N° 115/02

¹⁴⁷ Resolución CONAMA N° 03, 1990

País	Período (horas)	Alerta	Pre emergencia	Emergencia
Sudáfrica	-	-	-	-
Australia	8	18 ppb [20613 ug/m ³]	27 ppb [30920 ug/m ³]	36 ppb [41227 ug/m ³]

Fuente: Elaboración propia.

4.8 Criterios de muestro de calidad de aire

4.8.1 Unión Europea

La Unión Europea en su directiva PE-CONS 3696/07, asociada a la directiva de calidad de aire 2008/50 EU, define criterios para la evaluación de la calidad de aire del continente. Esta organización, establece que las estaciones de monitoreo, deberán situarse, a lo menos, una estación por cada dos millones de habitantes, o una por cada 50.000 km². Aquellas estaciones de monitoreo que registren concentraciones de NO₂ deberán ser ubicadas a la mitad de la distancia que estaciones que midan sólo Ozono. Se exime de requerimientos de medición a lugares no habitados, e industrias que tengan provisiones de salud ocupacional adecuadas, y carreteras sin pasos peatonales.

La Tabla 4.20, muestra algunos criterios generales para la determinación de estaciones de monitoreo de material particulado y de gases regulados en normas primarias de calidad de aire.

4.8.1.1 Criterios de localización de estaciones

Respecto a los criterios de localización de estaciones la Unión Europea, establece que a microescala, se deben situar estaciones de monitoreo con condiciones específicas definidas como se define a continuación: El flujo hacia la sonda no debe tener ningún tipo de restricción o obstáculo, con libertad por lo menos en 270°, sin obstrucciones al flujo en la cercanía del instrumento (lejanía a edificios, balcones, árboles, u otros obstáculos, y por lo menos, a medio metro del edificio más cercano. En general, la sonda de medición deberá estar localizada entre 1,5 y 4 metros sobre el suelo, aunque es posible ubicarlas a alturas de hasta 8 metros en algunas circunstancias específicas. Además, se pueden localizar a alturas mayores si se quiere que sea representativa de un área mayor. La entrada del aire no debe estar cerca de ninguna fuente de ninguna categoría de emisión. La salida de la muestra no debe interferir con la entrada de la muestra. Las estaciones de monitoreo que están midiendo condiciones de tránsito deben estar a más de 25 metros de las intersecciones, y a no más de 10 metros de una cuneta. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta la no presencia de fuentes emisoras que interfieran, la seguridad de la estación, la accesibilidad y la factibilidad de conexión a la red eléctrica, la conectividad, la visibilidad en relación a alrededores, seguridad de público y operadores, y la posibilidad de añadir instrumentos para otros contaminantes.

Tabla 4.20. Categorización de estaciones de monitoreo de gases y criterios de localización, según Comunidad Europea.

Tipo de estación	Objetivo de medición	Representatividad	Criterios
Urbano	Protección de salud humana, donde existan altas densidades de personas, y concentraciones que se esperen ser altas	Algunos km ²	Sin influencia de tráfico, estaciones de bencina, industrias. Deben considerarse lugares parques o plazas sin alejados de grandes avenidas, que estén ventiladas y abiertas
Sub urbana	Protección de salud y vegetación, para lograr medir concentraciones viento debajo de las emisiones donde se esperan las mayores concentraciones de Ozono	Algunas decenas de km ²	A una distancia de la mayor densidad de emisiones, siguiendo la dirección preponderante del viento, representando condiciones viento abajo. Adicionalmente se recomienda la localización viento arriba para contrastar con condiciones regionales de Ozono.
Rural	Salud humana y vegetación, para evaluar la exposición de población y cosechas a concentraciones regionales de Ozono	Escala regional, nacional o continental de 1000 a 10.000 km ²	Las estaciones se pueden localizar en asentamientos humanos pequeños, alejados de fuentes grandes, carreteras, en áreas abiertas, pero no en cumbres de montañas
Background rural	Protección de vegetación y salud humana	Escala regional, nacional o continental de 1000 a 10.000 km ²	Localización a lo menos 20 km de áreas pobladas, industrias, y emisiones locales, evitando lugares encajonados, de inversiones térmicas potentes, y sitios costeros.

Fuente: Comunidad Europea.

4.8.1.2 Recomendaciones para la distribución de estaciones de monitoreo con respecto a la población

La Tabla 4.21, muestra las recomendaciones mínimas de estaciones de monitoreo de gases y material particulado de acuerdo a las directivas de la Comunidad Europea. En general, se requiere un enfoque mayor hacia el material particulado.

Dentro de lo posible, se recomiendan por lo menos una estación de *background* y otra orientada a mediciones de tránsito.

Tabla 4.21. Recomendaciones para determinar el mínimo de estaciones de monitoreo de SO₂, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, Pb, benceno, y Monóxido de Carbono en el aire ambiente.

Población (miles)	Concentraciones altas		Concentraciones bajas	
	Otros	MP10 más MP2.5	Otros	MP ₁₀ más MP _{2.5}
0-250	1	2	1	1
250-500	2	3	1	2
500-750	2	3	1	2
750-1.000	3	4	1	2
1.000-1.500	4	6	2	3
1.500-2.000	5	7	2	3

Población (miles)	Concentraciones altas		Concentraciones bajas	
	Otros	MP10 más MP2.5	Otros	MP ₁₀ más MP _{2.5}
2.000-2750	6	8	3	4
2.750-3.750	7	10	3	4
3.750-4.750	8	11	3	6
4.750-6.000	9	13	4	6
>6.000	10	15	4	7

Fuente: Comunidad Europea.

4.8.1.3 Recomendaciones para mediciones de precursores

Se entiende que es necesario tener mediciones de precursores de Ozono, esto con el objetivo de verificar la efectividad de políticas de reducción de emisiones.

Adicionalmente, es importante tener esta información, ya que el proceso de formación de Ozono es un proceso no lineal, que incluso puede tener desenlaces regulatorios contrarios si es que las políticas no están bien diseñadas. Tal es el caso de la reducción de Óxidos de Nitrógeno en ciudades, que redundan en aumento de Ozono regional¹⁴⁸. Además, este tipo de mediciones permite apoyar el entendimiento de los procesos de formación, representados en modelos fotoquímicos regionales. Se recomienda medir NO y NO₂, además de Compuestos Orgánicos Volátiles de relevancia fotoquímica, tales como el etano, etileno, acetileno, propeno, butano, buteno, butino, trans buteno, butadieno, pentanos, pentenos, isopreno, hexanos, heptano, octanos, compuestos BTEX, formaldehído, o como mínimo compuestos orgánicos no metánicos.

La comunidad científica también recomienda la medición del Nitrógeno reactivo total¹⁴⁹, que es un compuesto que más estable (suma de NO_x, HNO₃, y PAN) y que ayuda a determinar regímenes de formación de Ozono basado en razones entre Ozono y NO_x¹⁵⁰. Esta información es relevante, ya que los regímenes de formación de Ozono definen cuáles serían las estrategias de abatimiento de emisiones más efectivas para el control de formación de Ozono.

¹⁴⁸ Sillman, S. (1999). "The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments." *Atmospheric Environment* 33(12): 1821-1845.

¹⁴⁹ Trainer, M., et al. (1993), CORRELATION OF OZONE WITH NO_x IN PHOTOCHEMICALLY AGED AIR, *J. Geophys. Res.*, 98(D2), 2917-2925.

¹⁵⁰ Trainer, M., et al. (1993), CORRELATION OF OZONE WITH NO_x IN PHOTOCHEMICALLY AGED AIR, *J. Geophys. Res.*, 98(D2), 2917-2925.

4.8.2 Estados Unidos¹⁵¹

Los sistemas de monitoreo de Estados Unidos forman parte de una estrategia nacional de monitoreo de calidad de aire la cual posee diversos objetivos, tales como:

- Caracterizar condiciones de calidad de aire locales, regionales, y nacionales.
- Evaluar impactos a la salud.
- Evaluar efectividad de programas de control.
- Evaluar fuentes de impacto.
- Proveer de información al público general.

Estas redes plantean sus objetivos según los contaminantes a medir. Existen redes cuyo objetivo es el seguimiento de algún contaminante en particular (por ejemplo Ozono, o material particulado).

Estados Unidos tiene una estrategia nacional de medición, cuyo objetivo central es mejorar la competencia científica y técnica de redes de monitoreo existentes, de manera de entregar una mejor respuesta al público y las comunidades científicas y de la salud, en una forma flexible, que permita acomodar las necesidades futuras, en un ambiente de recursos restringidos optimizado. En la práctica, es una estrategia de medición que acomoda necesidades nacionales y locales, mejorando el flujo de información hacia el público, incorporando las nuevas tecnologías de medición de contaminantes tradicionales, como de sus precursores, en una forma responsable en cuanto a costos.

Esta estrategia viene de recomendaciones de una reciente revisión de la política de medición, la cual apunta principalmente a medir contaminantes que permita llevar un seguimiento de reducciones en emisiones.

Debido a que estudios de salud anticipan que en el futuro próximo los riesgos por contaminantes peligrosos serán más altos que los actuales, se ha evaluado la necesidad de mejorar la medición de contaminantes peligrosos. Adicionalmente, ha cobrado relevancia realizar mediciones de múltiples contaminantes en un mismo sitio. Esto tiene por objeto analizar la calidad de aire tanto en sus efectos para la salud, procesos atmosféricos, y fuentes de emisión, incluso con un explícito interés en integrar las mediciones a modelaciones.

¹⁵¹ EPA, 2002. National Ambient Air Monitoring Strategy Summary Document. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/monitorstrat/summary.pdf>

4.8.2.1 Red de medición de precursores¹⁵²

Adicionalmente a las redes de monitoreo de contaminantes regulados, existe una red de monitoreo para evaluación fotoquímica (PAMS) que se desarrolló desde hace más de una década, cuyo objetivo es medir precursores de Ozono (Compuestos Orgánicos Volátiles, Óxidos de Nitrógeno, y Nitrógeno reactivo, realizando mediciones verticales de parámetros meteorológicos). La red tiene 78 sitios, en 23 áreas que han sido identificadas como áreas con problemas severos de contaminación por Ozono. La red incluye mediciones del estado del arte en Compuestos Orgánicos Volátiles (50 especies) durante la época del Ozono.

Existen 4 tipos de estaciones de la red PAMS, basado en su localización geográfica, estas son:

- Tipo 1: localizado viento arriba de zonas de emisión, con la finalidad de caracterizar Ozono y precursores que entran a la zona.
- Tipo 2: localizado para medir el máximo impacto de precursores de Ozono. Generalmente se localizan dentro de centros financieros, y operan bajo la mayor intensidad y frecuencia en la red.
- Tipo 3: Localizado para medir la máxima concentración de Ozono, y típicamente se localizan viento abajo de los sitios tipo 2.
- Tipo 4. Localizado alejado de la zona saturada, para evaluar condiciones de viento abajo extremas. Algunas estaciones tipo 4 son estaciones tipo 1 de otros centros urbanos.

4.8.2.2 Especiación de material particulado

A pesar de que no es el tema central del estudio, es importante hablar de la red de monitoreo de especiación química de PM_{2.5} (CSN) que es parte de 54 sitios de tendencias de especiación química que tiene por objeto hacer seguimiento de la caracterización del material particulado. La red partió con 13 sitios en el año 2000. Hoy en día existe una red de 200 sitios que miden los componentes del material particulado con varios objetivos, incluyendo desarrollar herramientas de modelación, y aplicación de estrategias de reducción de precursores basados en la modelación atribución de fuente (*source apportionment*). Estos sitios miden material particulado en forma continua, pero cada tres y seis días se analizan elementos traza mediante filtros, incluyendo metales (aluminio, plomo, etc.), iones (sulfato, nitrato, y amonio) y las fracciones orgánicas y elementales del carbón.

¹⁵² EPA (2008) Ambient air monitoring strategy for state, local, and tribal air agencies. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/monitorstrat/AAMS%20for%20SLTs%20%20-%20FINAL%20Dec%202008.pdf>

4.8.2.3 Recomendaciones para estaciones de monitoreo¹⁵³

La EPA tiene recomendaciones para establecer redes de monitoreo específicas para el Ozono. Particularmente, distingue entre evaluar cumplimiento de la norma, desarrollar seguimiento de políticas de control de emisiones y datos para estudios de salud y calidad de aire. Para los estándares de 1 hora y 8 horas, se requieren un mínimo de dos estaciones de monitoreo para ciudades de más de 200.000 personas. Si no existe cumplimiento de norma se agregan hasta 5 estaciones, como parte de la red PAMS, de fotoquímicos y precursores de Ozono.

Para las estaciones se definen aquellas que representan fenómenos de micro escala y macro escala. Para la macro escala se recomienda que las estaciones viento arriba se encuentren dentro de la trayectoria de la dirección del viento preponderante matinal de la zona estudiada, y la estación viento abajo debe localizarse dentro de la dirección del viento preponderante de la tarde. La estación viento arriba tiene por objeto medir la concentración *background* de Ozono, así también la concentración de sus precursores. La estación viento abajo busca encontrar el *peak* de Ozono.

La dirección preponderante del viento debe determinarse mediante rosas de los vientos para los días de alto Ozono medido, o días conducentes a formación de Ozono. Además, deben considerarse criterios meteorológicos específicos, como temperatura, velocidad de viento, y humedad relativa. En sitios donde los episodios de Ozono son dominados por condiciones de estancamiento, los monitores de calidad de los cuales no salga una dirección preponderante de viento, deben localizarse dentro de los ejes de emisiones, dentro de 16 km del área urbana, es decir, nunca más de 16 km de los límites urbanos. Con respecto a episodios de 1 hora y 8 hora de Ozono, es posible que los sitios viento abajo estén más propensos a superaciones de norma de 8 horas que de 1 hora.

Para localización de micro escala, se recomienda que las tomas de aire estén de 3 metros a 15 metros por sobre el suelo. Las estaciones deben estar separadas a lo menos dos veces su altura desde cualquier obstáculo. Las estaciones deben mantener una distancia adecuada de las carreteras. A mayor tráfico del camino o carretera, mayor es la distancia de la estación. Por ejemplo, caminos con menos de 10.000 vehículos por día deben estar a lo menos 10 metros del camino, para caminos con más de 250.000 vehículos por día, deben estar por lo menos a 250 metros de la carretera. Las estaciones deben estar a lo menos 20 metros de árboles altos.

Si la estación va a ser utilizada para evaluar si está cumpliendo la zona la norma de calidad, es importante medir el Ozono en las zonas con mayor población. Es

¹⁵³EPA (1998), Guideline on ozone monitoring site selection, <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/criteria/reldocs/r-98-002.pdf>

importante tener cuidado que estas condiciones pueden generar grandes concentraciones de NO, que pueden formar el Ozono. Por lo que en áreas de alta población deben considerar tanto la población como la localización de fuentes de NOx. Si la red tiene por objeto hacer un seguimiento de las estrategias de control, es necesario tener mediciones de Ozono y sus precursores, particularmente de NOx y COVs, en zonas de alta emisión, generalmente en localidades de alto flujo vehicular. La Tabla 4.22, muestra los distintos tipos de estaciones de monitoreo utilizados por la EPA para sus políticas de cumplimiento de norma de calidad de Ozono.

Tabla 4.22. Tipos de estaciones de monitoreo de Ozono y precursores y sus objetivos para la EPA (2008)¹⁵⁴

Tipo	Contaminantes	Objetivo	Escala espacial	Notas
Máxima concentración viento abajo	Ozono	Cumplimiento norma	Urbana a regional	Parte de red básica de monitoreo
Máxima exposición	Ozono	Cumplimiento norma	Barrio o escala urbana	Parte de red básica, para medir exposición de zonas de alta densidad poblacional
Máxima emisión	NOx, COVs	Seguimiento de políticas de control	Escala mediana	Medir NO y VOC cerca de las fuentes, en apoyo a modelación
Viento arriba	NOx, COVs, O ₃	Seguimiento de políticas de control	Regional	Ver condiciones de entrada a Cuenca.
Exposición	Ozono	Datos para estudios de salud	Barro o escala urbana	Entrega información complementaria a red básica
Vegetación	Datos en muestras biológicas	Efectos de Ozono a agricultura y ecosistemas	Regional	Se usa para cuantificar efectos del Ozono a cosechas, bosques, etc.
Investigación	Ozono, NOx, COVs	Investigación	Mediana a regional	Específicos científicos para medición intensiva con fines no regulatorios.

Fuente: USEPA.

¹⁵⁴ <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/criteria/reldocs/r-98-002.pdf>

5 REVISIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA

5.1 Revisión de la eficacia y aplicabilidad de las normas desde su dictación hasta el presente. Cumplimiento de los plazos establecidos para control de la calidad de aire

Se han identificado los criterios en las Normas de Calidad Primarias de Aire para O₃, SO₂, NO₂ y CO, D.S. N° 112, 113, 114 y 115 respectivamente, para determinar la eficacia de las normas. Éstos son expuestos a continuación dentro del marco de los tres objetivos básicos de la aplicación de la norma.

5.1.1 Monitoreo de la calidad ambiental

En el texto de las normas, artículo 12, queda establecido un plazo para que los entes fiscalizadores respectivos determinen mediante una resolución fundada aquellas estaciones monitoras que se considerarán como EMRPG. Este plazo se extiende por 6 meses a contar de la fecha de publicación de los decretos supremos en el Diario Oficial. En otras palabras, se considera cumplido este criterio si el SESMA, en la Región Metropolitana y los Servicios de Salud regionales, para el resto del país, emitieron dichas resoluciones antes del 6 de septiembre de 2003. El medio de prueba lo componen las resoluciones sanitarias de declaración de estación de monitoreo.

Las redes de monitoreo en Chile han crecido bastante desde la última revisión de la norma. Desde el año 2000 en el país ha crecido el número de estaciones con datos de gases desde 27 a 51 en el año 2008. En un principio los datos de las redes operadas por el Ministerio de Salud se enfocaron principalmente en la red MACAM, de entonces 8 estaciones de monitoreo, principalmente de MP, con la medición de NO_x en solamente 5 de ellas. Hoy MACAM tiene 11 estaciones de monitoreo de los parámetros MP10, MP2.5, NO_x, CO, SO₂, y Ozono, con algunas midiendo hidrocarburos no metánicos (NMHC). En cuanto al resto de las redes públicas de calidad de aire, hoy se llega a un número total de 20 estaciones de monitoreo, incluyendo la nueva red SIVICA (Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire, <http://chile.fdns.net/>) derivada del proyecto COSUDE, en colaboración con el gobierno suizo. Hoy en día todas las estaciones de monitoreo públicas tienen resolución del Ministerio de Salud que las declara como de representatividad poblacional. Sin embargo la mayoría de las estaciones de monitoreo en Chile son de carácter privado, derivado de resoluciones de calificación ambiental, principalmente con la finalidad de preservar condiciones de calidad de aire para grandes fuentes, dentro del marco del Sistema de Evaluación de Calidad Ambiental. Una minoría de estas estaciones de monitoreo tienen resoluciones que declaren estas estaciones de tener representatividad poblacional para monitoreo de gases (35 de las 90 estaciones que miden gases, y de las 208 totales).

El tema de la representatividad no está tratado en profundidad en normativas internacionales. En las Normas Chilenas se establece la representatividad de ser 2 km alrededor. Tomando este criterio, y estableciendo que cada comuna que se encuentre dentro de este radio se encuentra representada por la estación, se le asigna una estación a cada comuna (Figura 5.1). De esta forma es posible determinar la representatividad de las estaciones. Este criterio es básico, pero pareciera ser el utilizado para Santiago, ya que existen muchas estaciones que se encuentran en los bordes de varias comunas. En el caso de Santiago se destaca la mala localización de la estación de Cerro Navia y Pudahuel, con una distancia de separación de menos de 2 km.

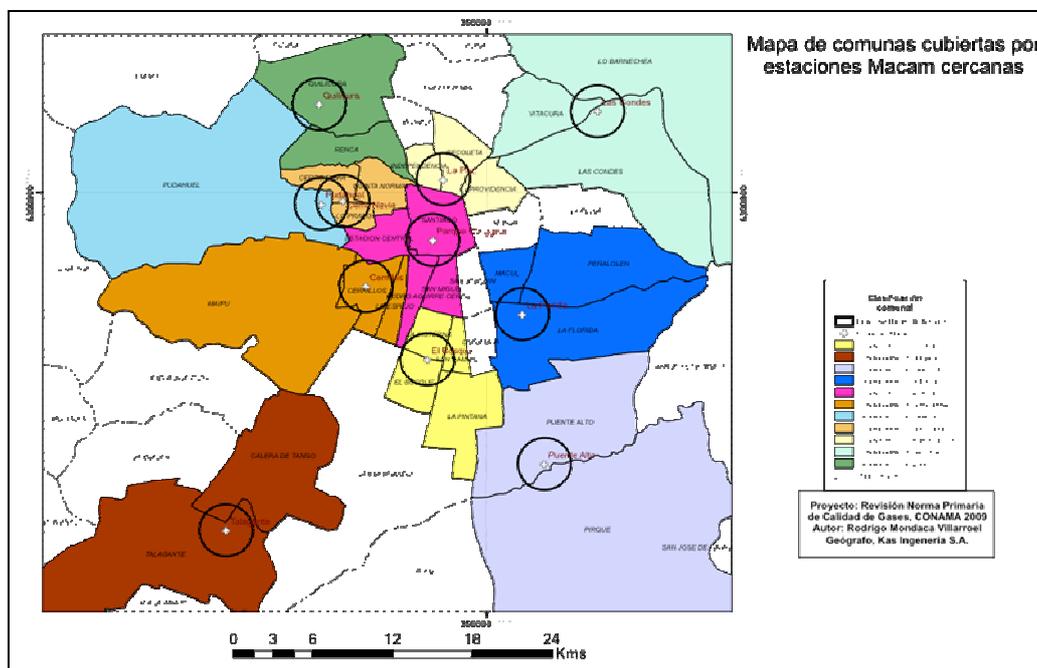


Figura 5.1. Estaciones de monitoreo de Red MACAM y su representatividad poblacional utilizando un radio de 2km alrededor.

De esta forma se determina la población representada por las estaciones. En el Anexo 1, se presenta una comparación de las redes públicas y privadas para asentamientos mayores de 30.000 personas.

En la actualidad del total de población de Chile (Censo 2002) solamente 7.186 (45%) tiene una estación de monitoreo estatal que mida las concentraciones a las que se expone. Adicionalmente, las estaciones de monitoreo privadas tienen finalidades distintas a la medición de exposición. En este sentido, la Unión Europea recomienda que las estaciones de medición de Ozono no se encuentren localizadas contiguas a grandes fuentes (efecto de titulación de Ozono). A manera de ejemplo, las estaciones privadas del Valle de Aconcagua tienen una disposición geográfica que probablemente no capte los valores más altos a los que se vea expuesta la población. Algo similar ocurre en la red MACAM, donde modelos

fotoquímicos sugieren que las concentraciones más altas de Ozono se encuentran en el sector Nororiente de la Capital, y solamente se tiene la estación Las Condes.

Para evaluar la eficacia en las mediciones de concentración se calcula el cociente entre los días válidos (aquellos con más de 18 datos diarios) y los días totales, para las concentraciones de 1, 8 y 24 horas. Y el cociente entre los trimestres válidos (aquellos con más de 68 días válidos en un trimestre) y los trimestres totales en el período considerado, para las concentraciones anuales. Así se podrá tener un valor para cada estación de monitoreo de acuerdo al gas y al período de concentración. En el Anexo 2, se muestra el porcentaje de días válidos para las normas, de las estaciones de monitoreo disponibles en SINCA.

En cuanto a la medición de todos los contaminantes en cada estación considerando todas las estaciones, públicas y privadas, se observa que existen todavía grandes vacíos. La Primera Región solamente mide Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Azufre (SO₂), no contando todavía con mediciones de Ozono (O₃) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂). La Región de Antofagasta históricamente se ha enfocado a las mediciones de SO₂. No existirían mediciones de otros gases. Similarmente la Tercera Región solamente se ha enfocado a la medición de Dióxido de Azufre (SO₂) y material particulado. La Cuarta Región no tiene mediciones de gases. La Quinta Región cuenta con dos estaciones operadas por el Ministerio de Salud, Viña del Mar, y Los Andes. De estas estaciones, solamente la Estación de Viña del Mar mide gases. Las estaciones privadas se pueden dividir entre las que se enfocan a SO₂ (Catemu, Puchuncaví, Quintero) y Ozono (Con Con, Quillota, Calera, La Cruz), aunque probablemente con un diseño de red que no está enfocado en captar las máximas concentraciones de Ozono, sino más bien las fuentes emisoras. Por su parte la Sexta Región, tiene una separación similar. Fundamentalmente su problema de Ozono en la macrozona central de esta Región, es cubierta por las estaciones de Rancagua, Rengo, San Fernando, Codegua, Casas de Peuco, y San Francisco de Mostazal. Por otro lado, existe otra red enfocada en medir SO₂ en operaciones mineras (Cipreses, Coya Club, Coya Población, y Cauquenes). En la Séptima Región, donde por su alta irradiación solar y temperaturas, podría haber un problema de Ozono, solamente tiene estaciones de monitoreo de gases en Teno, fundamentalmente cerca de grandes fuentes, como Cementos Bío Bío y Enlasa, lo que por estrategia de medición probablemente no observará peaks en Ozono. La Octava Región tiene fundamentalmente una red privada enfocada en el material particulado y SO₂, sin aportes estatales en la medición. Desde la Octava Región al sur solamente hay un enfoque de medición de material particulado.

De acuerdo a las recomendaciones de la Comisión Europea debería haber una estación de gases para cada 250.000 personas. Restringiendo el análisis a ciudades con más de 50.000 habitantes en Chile, bajo este criterio faltarían 47 estaciones de monitoreo. En la Tabla 5.1, se presenta el número de estaciones

recomendadas y requeridas para cada región de Chile de acuerdo a criterios de la Comunidad Europea.

De acuerdo a una cotización por parte de Ambiente y Tecnología, proveedor de los últimos equipos utilizados en la red MACAM, una estación de monitoreo completa, que mida NOx, O₃, SO₂, y CO tiene un valor aproximado de 136.500 USD. Entonces, para lograr la cobertura completa de las estaciones requeridas de acuerdo a recomendaciones de la Comisión Europea, se requeriría invertir aproximadamente unos 6.415.500 USD. Esta estimación se realizó considerando el criterio establecido por la Comunidad Europea el cual establece una estación de monitoreo por cada 2 millones de habitantes.

Tabla 5.1. Número de estaciones públicas actuales, recomendadas y requeridas para gases de acuerdo a criterios de Comunidad Europea

Región	Actuales	Recomendadas	Requeridas
I	0	1	1
II	0	3	3
III	0	2	2
IV	0	5	5
V	1	14	13
RM	28*	44	15
VI	2	5	3
VII	0	9	9
VIII	1	15	14
IX	1	7	6
X	0	6	6
XI	0	1	1
XII	0	1	1
XIV	1	4	3
XV	0	1	1
Total			83

*Considera estaciones que representan a más de una comuna
Fuente: Elaboración propia.

Estos requerimientos están basados en el criterio estricto de población. Sin embargo, la variabilidad geográfica y productiva de Chile permite optimizar este análisis.

5.1.1.1 Descripción de tecnologías y recursos humanos disponibles para monitoreo.

Las marcas que se usan actualmente en la red de monitoreo MACAM son principalmente la marca Thermo Environment. Esta empresa adquirió casi todas las grandes marcas de equipos, tales como API, TEOM, etc. Estos equipos tienen que cumplir con el requisito de certificación de la EPA. Estos requisitos están convenidos en el decreto N° 61 del 2008, relativo al Reglamento de estaciones de

medición de contaminantes atmosféricos se estipula todo lo referente a la instalación, mantención y cuidado de los equipos, personal, manejo de datos y responsabilidades.

El valor referencia de una estación de monitoreo es de alrededor de US\$ 135.500 (2009). Este valor incluye:

- Caseta para montaje de equipos (instalación eléctrica, aire acondicionado).
- Analizador de NOx ambiental, marca Thermo Environmental modelo 42i.
- Analizador de Ozono ambiental, marca Thermo Environmental modelo 49i.
- Analizador de CO ambiental, marca Thermo Environmental modelo 48i.
- Analizador de SO2 ambiental, marca Thermo Environmental modelo 48i.
- Monitor continuo modelo FH62C14.
- Datalogger Campbell Scientific, modelo CR1000.
- Software de programación.
- Calibrador multi task con generador de Ozono, modelo 6100, USA.
- Generador de aire cero marca Termo Environmental Instruments modelo 1160.
- Calibrador de gases.
- Sensores meteorológicos.

En base a una entrevista con el Sr. Víctor Berrios, de la Red Monitoreo de Calidad de Aire, del Depto Salud Pública Sanitaria, la cantidad actual de personas que trabajan exclusivamente en la red es de 15 personas.

Actualmente, están en un proceso de implementar un sistema de aseguramiento de calidad para la operación de la red de monitoreo, luego del estudio de Evaluación y Propuesta de Rediseño para la Red de Monitoreo Automático de Calidad del Aire de la Región Metropolitana Red MACAM 2 (2007) realizado por el Centro Mario Molina¹⁵⁵. Este sistema está en la fase de externalización, en la que se hace una auditoria internacional bi o tri anual del sistema. Esta externalización debería regularizarse en la medida que la operación de la red capte un flujo presupuestario continuo que hasta el momento ha sido irregular.

De acuerdo a la información entregada por funcionario de la Red Monitoreo de Calidad de Aire, el costo en horas hombres para la Red Macam II es de \$113.704 millones de pesos, considerando el período entre el 1 de Enero hasta el 31 de Agosto. Esta cifra incluye horas extras y viáticos.

¹⁵⁵ http://www.conama.cl/rm/568/articles-41184_CmmlInformeFinal.pdf

5.1.2 Declaración de zonas saturadas o latentes, según corresponda, si la contaminación excede los niveles aceptables de la norma

En el artículo 13 de las normas, se establece que los respectivos Servicios de Salud realizarán, a las luz de los datos del monitoreo, un diagnóstico de la calidad del aire para cada gas. Esto ocurre tres años después de la publicación en el Diario Oficial, es decir, el 6 de marzo de 2006. Para esta fecha debería establecerse si corresponde o no una declaración de zona saturada o latente. Si se observa, durante el análisis de los datos, que el promedio aritmético de los últimos tres años de concentraciones supera el valor saturado o latente sin que vaya acompañado de la declaración correspondiente, no se habrá cumplido con la norma.

De un modo similar, según lo expresado en el artículo 5 de las normas, se comprobará si la fiscalización fue eficaz en declarar una eventual emergencia ambiental del nivel correspondiente si se hubiesen sobrepasado los límites de concentraciones de una hora de un determinado contaminante, según la Tabla 5.2 que se reproduce a continuación.

Tabla 5.2. Límites de emergencia Ambiental

Emergencia ambiental	O ₃ ppbv	SO ₂ ppbv	NO ₂ ppbv	CO ppmv
Nivel 1	204-407 [401-799 µg/m ³]	750-999 [1963-2614 µg/m ³]	601 -1201 [1130-2259 µg/m ³]	15 -29 [17177-33210 µg/m ³]
Nivel 2	408-509 [800-999 µg/m ³]	1000- 1499 [2617-3923 µg/m ³]	1202 -1595 [2261-3001 µg/m ³]	30- 34 [34356-38936 µg/m ³]
Nivel 3	>510 [>1001µg/m ³]	>1500 [>3926 µg/m ³]	>1596 [>3003 µg/m ³]	>35 [>40081 µg/m ³]

Fuente: Normas Primarias de Calidad del Aire – D.S. N° 112, 113, 114 y 115 de 2002.

5.1.3 Implementación de un plan de descontaminación para el contaminante en la zona declarada saturada o latente

De acuerdo al inciso tercero del artículo 13 de las normas, luego de 2 años de realizado el diagnóstico de calidad del aire, esto es, para el 6 de marzo de 2008, los Servicios de Salud respectivos deberán elaborar e implementar un programa priorizado de monitoreo para el seguimiento de la norma. Se entiende que este programa debe elaborarse para hacer el seguimiento de la norma en la zona, haya sido o no declarada saturada o latente.

Cada uno de los criterios expuestos debe estar debidamente respaldado por estudios o documentos de análisis. La inexistencia o indisponibilidad de dichos documentos es indicio de falencias en la eficacia de la norma.

5.2 Revisión de la eficiencia de las normas

La eficiencia en la aplicación de la norma se puede determinar como la puntualidad en el cumplimiento de los tres plazos expuestos anteriormente: 6 de

septiembre de 2003 para la determinación de las estaciones monitoras, 6 de marzo de 2006 para el diagnóstico de la calidad del aire y 6 de marzo de 2008 para el programa de monitoreo. Cada Servicio de Salud debe presentar un documento en cada plazo estipulado. La no presentación del documento significa que la norma no se cumple eficazmente, de modo análogo, la presentación tardía implica que no se está aplicando eficientemente. Otra forma de revisar la eficiencia de la norma es determinar los costos de la inversión en monitoreo de las redes, y la cantidad de personas cuya calidad de aire está controlada por estos monitoreos. Los resultados de tal análisis se encuentran en la sección anterior.

5.3 Revisión de cumplimiento de normas

A continuación, se presenta el análisis de los datos de las estaciones de monitoreo disponibles en el Sistema de Información de Calidad de Aire (SINCA). La recopilación de datos se realizó a través del sitio web de SINCA¹⁵⁶ durante los meses de Julio y Agosto de 2009. El análisis de los datos se acotó para un período de tiempo de 10 años, equivalente al período entre 1998 y 2008.

Como conclusión de esta revisión se puede concluir que las superaciones de las normas anuales corresponden a tendencias que podrían relacionarse con exposición crónica, y que por lo general se pueden atribuir a exposición sistemática debido a emisiones relativamente constantes. Las normas de 8 horas, o 1 hora vienen a representar episodios más extremos, no necesariamente debido emisiones constantes, sino más bien a peaks en emisiones, o condiciones meteorológicas adversas para la dispersión. En la actualidad, una norma de 8 hora (Ozono, o Monóxido de Carbono, por ejemplo) son regulados bajo el percentil 99 de los valores. Esto significa que bastan 4 eventos extremos de contaminación para superar la norma. Lo mismo ocurre para las normas horarias. Entonces, es conducente hacer comparaciones de normas anuales con tendencias anuales de emisiones, pero la relación pierde fuerza cuando se trata de normas de 1 u 8 horas, donde la relación entre contaminación y emisiones se ve también influenciada por la meteorología.

5.3.1 Región Metropolitana

5.3.1.1 Monóxido de Carbono (CO)

Las emisiones de Monóxido de Carbono en Santiago están dominadas por el sector de transporte privado (87,4%), según el inventario de emisiones del DICTUC (2007) para el año 2005. Los otros sectores que emiten Monóxido de Carbono son la combustión a leña y la industria, ambos con menos del 3% de las emisiones. El avance que se ha logrado en la materia ha sido fruto de la entrada

¹⁵⁶ <http://sinca.conama.cl>

de vehículos con convertidor catalítico, los que cumplen estándares de emisión bastante más bajos. Por eso a pesar de que el parque vehicular ha crecido desde el año 2001 al 2008 en un 44%; en el año 2001, el 44% del parque era no catalítico, mientras que hoy representan un 20%. En ese período, de hecho, han salido de circulación cerca de 40% de los autos sin convertidor. Así los valores norma de 8 horas para cada comuna en Santiago notablemente. En un análisis estación por estación se puede observar que existe tendencia a la disminución del valor de 8 horas de CO desde el año 1999 al año 2006. Se observa además, que estaciones como Pudahuel y Cerro Navia registran los valores más altos, superando en el año 2008 incluso la norma de 8 horas, que anteriormente se cumplía. Esta tendencia indica un estancamiento en los valores de 8 horas, incluso muestra un aumento leve se repite en Cerrillos, El Bosque, La Florida, y Parque O'Higgins (Figura 5.2).

En cuanto a superaciones de la norma de 8 horas de CO se observa una tendencia a la disminución hasta el año 2005, en donde la estación Pudahuel superó la norma en una oportunidad, mientras que Cerro Navia la superó en cuatro oportunidades (Figura 5.3). Esto es una notable mejora desde el año 1998, donde estaciones fuertemente impactadas por las emisiones vehiculares como Parque O'Higgins llegó a superar la norma en 17 oportunidades. La tendencia reciente indica un aumento en las superaciones de norma de 8 horas. El año 2007, se superó la norma en forma combinada 16 oportunidades, mientras que el 2008, se superó en 14.

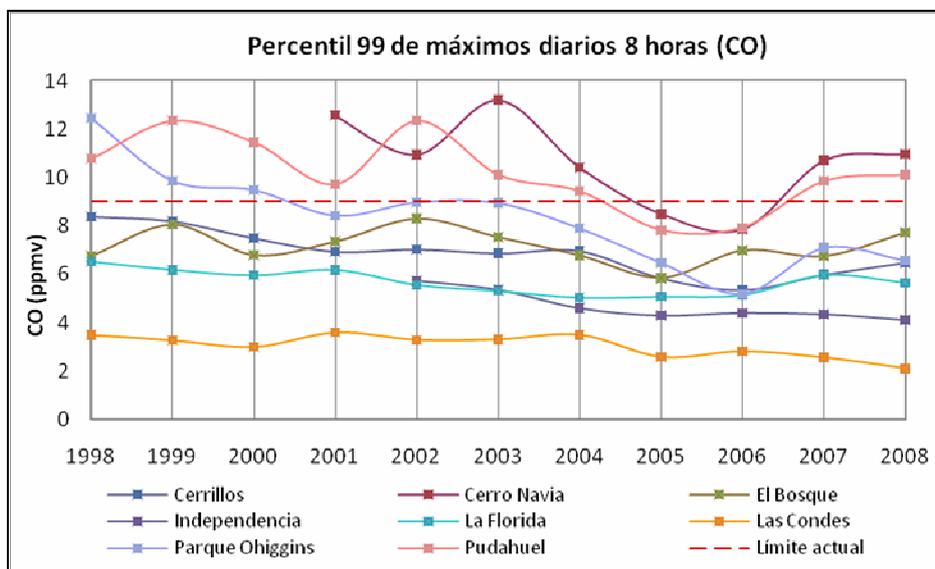


Figura 5.2. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, RED MACAM, separación por estación.

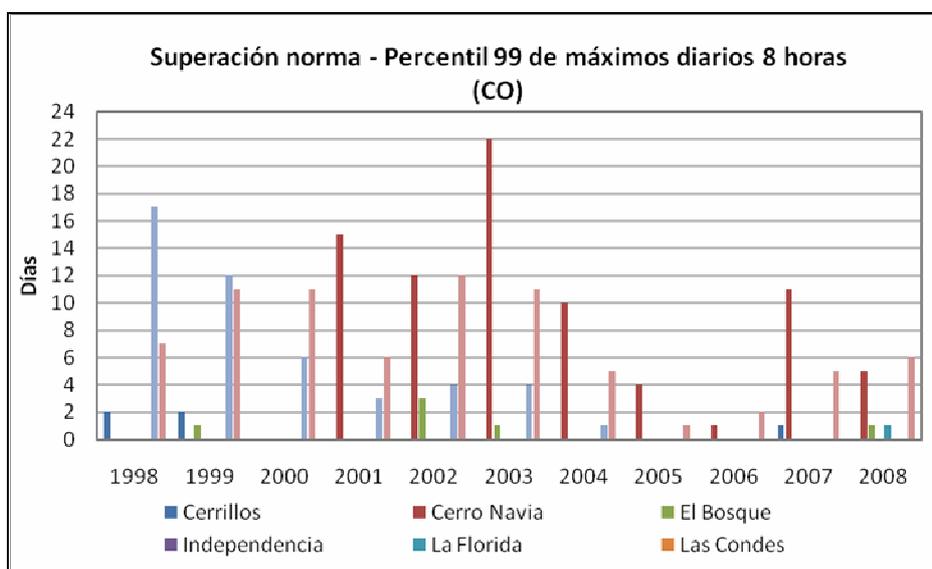


Figura 5.3. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM

En cuanto a la superación de la norma de 1 hora (Figura 5.4), que es de 26 ppm, se observa aunque no se supera, similar tendencia que la norma de CO de 8 horas, en donde los valores disminuyen a un mínimo en el año 2005, revertiéndose en el año 2007 y 2008. Dentro de las estaciones con mayores concentraciones registradas, el análisis disgregado muestra de que son algunas estaciones las que han aumentado sus concentraciones, principalmente Pudahuel, Cerrillos, y Parque O'Higgins. En cuanto a días por sobre la norma de 1 hora (Figura 5.5), se observa que los valores del año 2007 y 2008 sin duda representaron episodios críticos importantes, ya que por primera vez se superan las normas de 1 hora. El año 2007 se supera la norma en El Bosque, La Florida y Las Condes, mientras que el 2008 se supera tres veces en Cerrillos, y una vez Parque O'Higgins

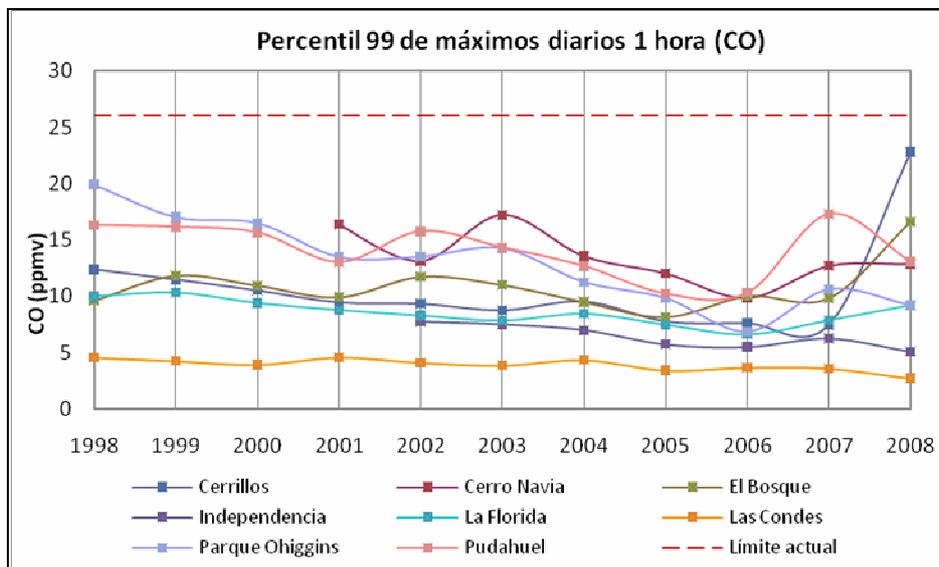


Figura 5.4. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, RED MACAM, separación por estación.

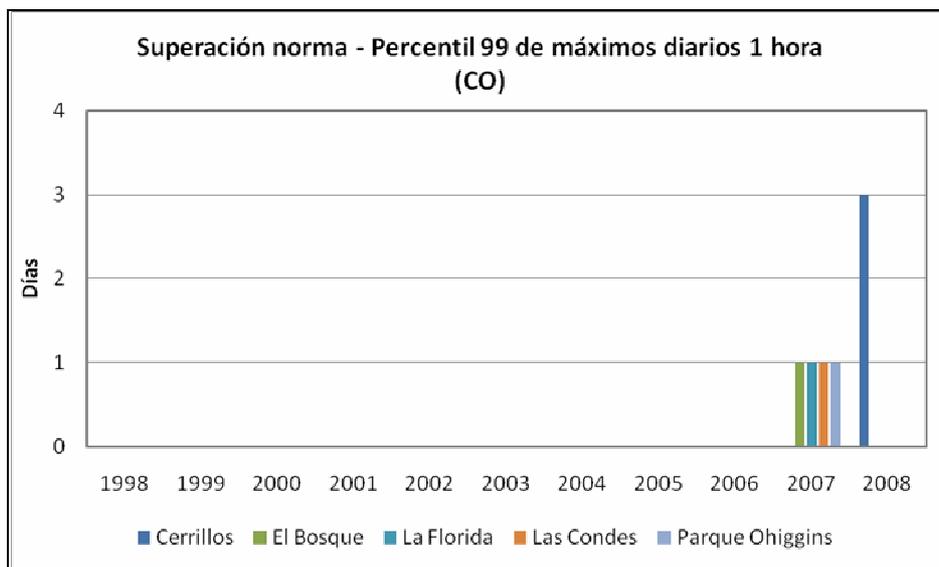


Figura 5.5. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM.

5.3.1.2 Ozono (O₃)

El Ozono es quizás es el contaminante gaseoso más importante del mundo y es un problema recurrente para ciudades en crecimiento. Su formación urbana se debe principalmente a la emisión de precursores (CO, NO_x, y COVs) en presencia de irradiación solar. La formación de Ozono tiene un perfil diurno con un Peak en

sus concentraciones horarias pasado el medio día. La fotoquímica del Ozono requiere de la reacción de sus precursores, para formar el radical HO₂ que finalmente transfiere el Oxígeno del O₂ al O₃. Se entiende que la reacción se logra a través del movimiento de la masa de aire desde su emisión, lo que causa que la formación máxima de Ozono se encuentre desplazada con respecto a las fuentes emisoras. La Figura 5.6, muestra a modo de ejemplo, que el Ozono modelado para la Región Metropolitana encuentra su concentración máxima en sectores de Lo Barnechea, más allá de la cobertura de la red MACAM.

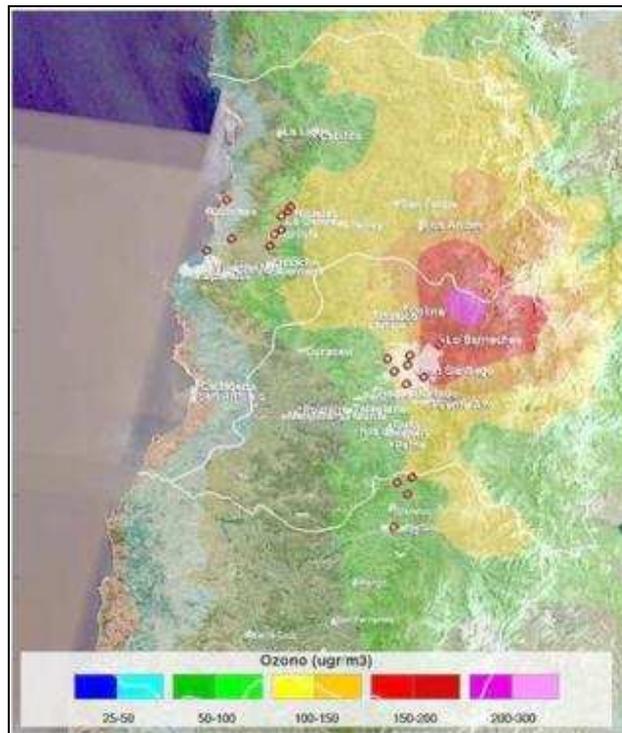


Figura 5.6. Concentración de Ozono máxima modelada por sistema WRF-CHEM, versión desarrollada por Universidad de Chile¹⁵⁷

Disgregando el análisis estación por estación, se observa que Las Condes ha presentado las concentraciones mayores, seguido por La Florida y Parque O'Higgins. Se observa que las estaciones de Cerrillos, La Florida, Las Condes, Parque O'Higgins no cumplen la norma de 8 horas para Ozono (Figura 5.7).

Probablemente el lento aumento en los valores de Ozono se debe a un aumento del parque automotriz (emisiones de Óxidos de Nitrógeno y Compuestos

¹⁵⁷Schmitz, R, M Falvey, J.Clerc (2008). Optimización del modelo fotoquímico de alta resolución implementado en la fase 2007 y ampliación de su alcance a material particulado respirable y precursores de interés. Segundo Informe de Avance. Comisión Nacional de Medio Ambiente.

Orgánicos Volátiles), y de fuentes areales de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles, como operaciones comerciales no industriales, descarga de combustibles, o emisiones residenciales. En cuanto a los días por sobre norma de calidad de aire para Ozono, podemos ver que se han rebajado de 140 el año 98, a 58 el año 2008. Se observa que solamente las estaciones de Cerrillos, Cerro Navia, Pudahuel no superan la norma de Ozono de 8 horas alguna vez del año. Las estaciones que más superan la norma son Las Condes, La Florida, y Parque O'Higgins, donde se cree que existe la mayor cantidad de fuentes móviles de precursores de Ozono (Figura 5.8).

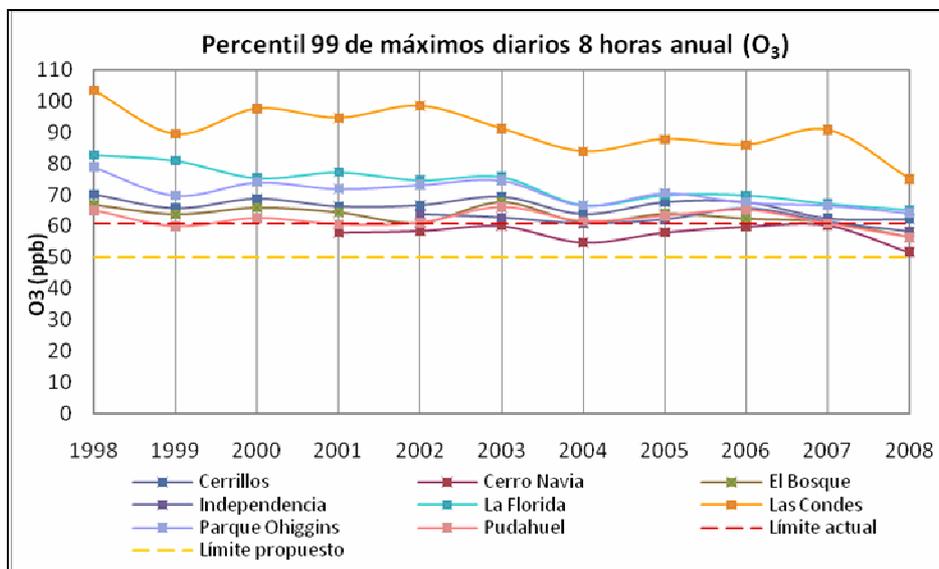


Figura 5.7. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, RED MACAM, separación por estación.

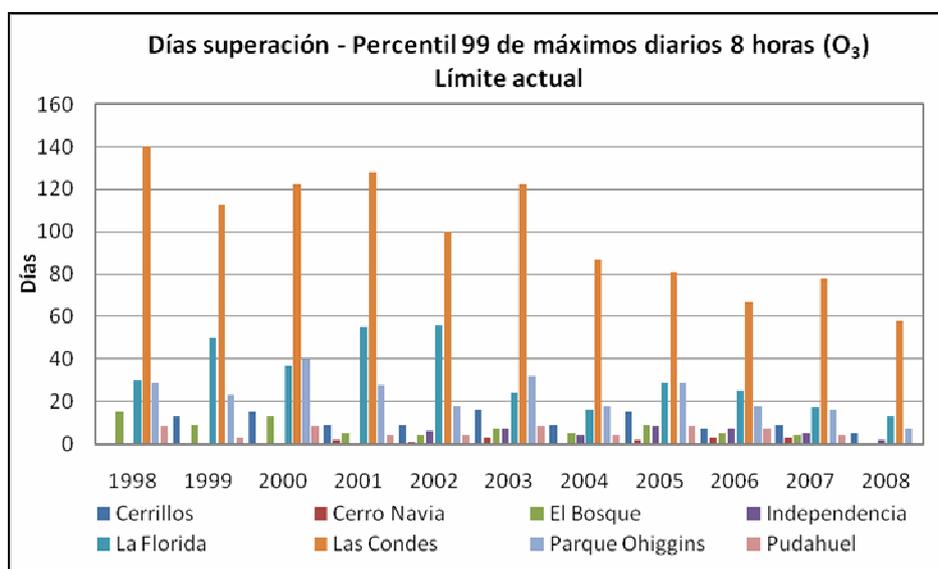


Figura 5.8. Días por sobre norma de calidad de aire de O₃ 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM

Ahora si se aplicara el valor guía del año 2005 de la OMS (50 ppb) como norma de 8 horas de Ozono, la cantidad de superaciones de norma aumentaría enormemente. Todas las estaciones de monitoreo de la RM tendrían superación de norma. Particularmente Las Condes, con 137 superaciones el año 2008, La Florida con 67, y Parque O´higgins con 51 superaciones (Figura 5.9)

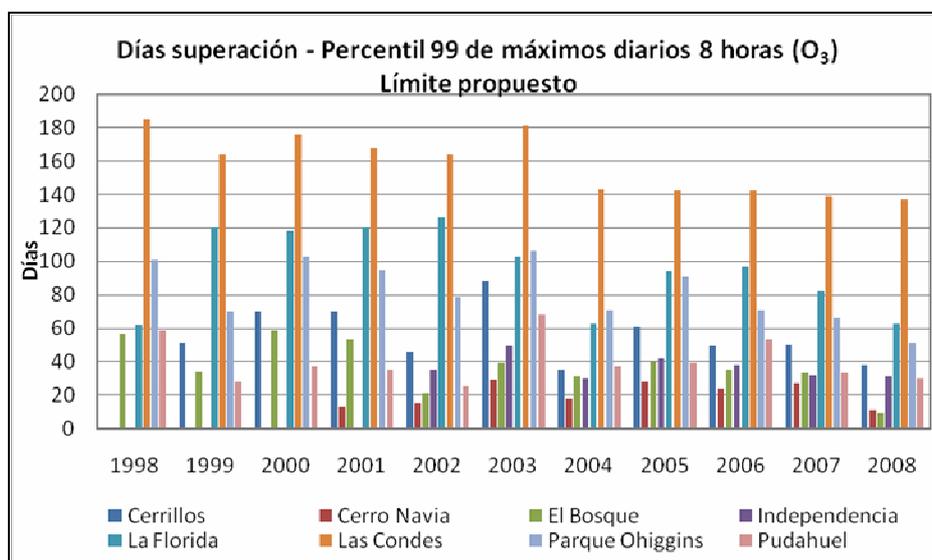


Figura 5.9. Días por sobre valor guía de OMS para O₃ 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM

5.3.1.3 Dióxido de Nitrógeno

El Dióxido de Nitrógeno se emite directamente en procesos de combustión en alrededor de 10% del NO_x . La formación de NO_2 se produce por la reacción fotoquímica entre el NO , en presencia del Oxígeno radical. Es un compuesto inestable y reactivo que tiene un perfil diurno claro, un Peak diario previo al Peak de Ozono (que se debe al período que se requiere para que reaccione el NO_x emitido en la congestión vehicular de la mañana en presencia de luz). La norma de exposición aguda de NO_2 es de 1 hora. La Figura 5.10, muestra de que el NO_2 se ha mantenido relativamente estable estos últimos años en sus valores máximos. Se muestra un análisis disgregado de la norma (por la cual la Región Metropolitana se encuentra bajo latencia, es decir un 80% del valor norma). Es importante destacar que el NO_2 no se mide directamente, sino que se calcula como la diferencia entre NO_x y NO , con presencia de interferencias que pueden afectar la calidad de la medición.

No existe cobertura completa de las estaciones de monitoreo en medición de NO_2 . Se observa que históricamente la estación con mayor concentración ha sido Las Condes, pero recientemente ha sido superada por Pudahuel. La Figura 5.11, muestra la cantidad de días que se supera la norma. Generalmente, la norma no se ha visto superada, a excepción del año 2007, cuando en Pudahuel se superó en 3 oportunidades. Ahora si se tomara el valor guía de la OMS para el NO_2 horario (110 ppb) se observa que no se cumpliría la norma horaria. En la Figura 5.12 se observa que en tal caso las superaciones de norma serían muchísimo más frecuentes, con Las Condes superando la norma casi 30 veces al año.

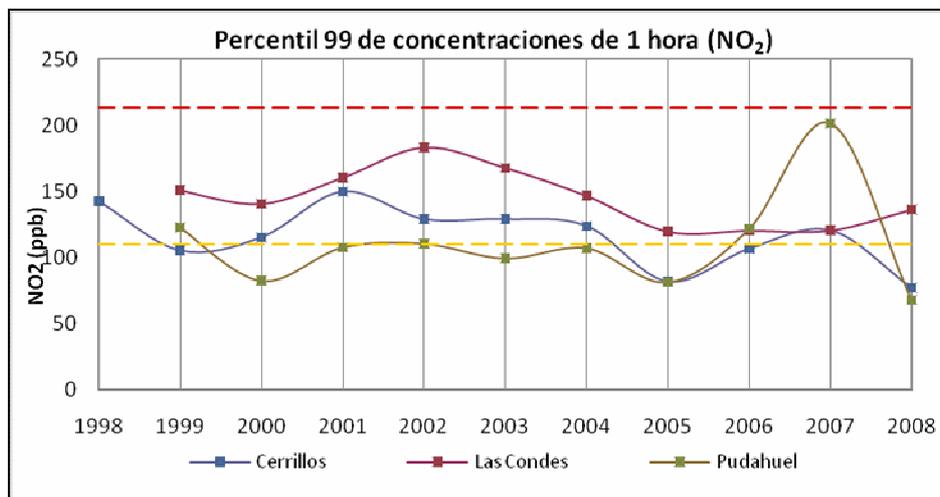


Figura 5.10. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO_2 , RED MACAM, separación por estación

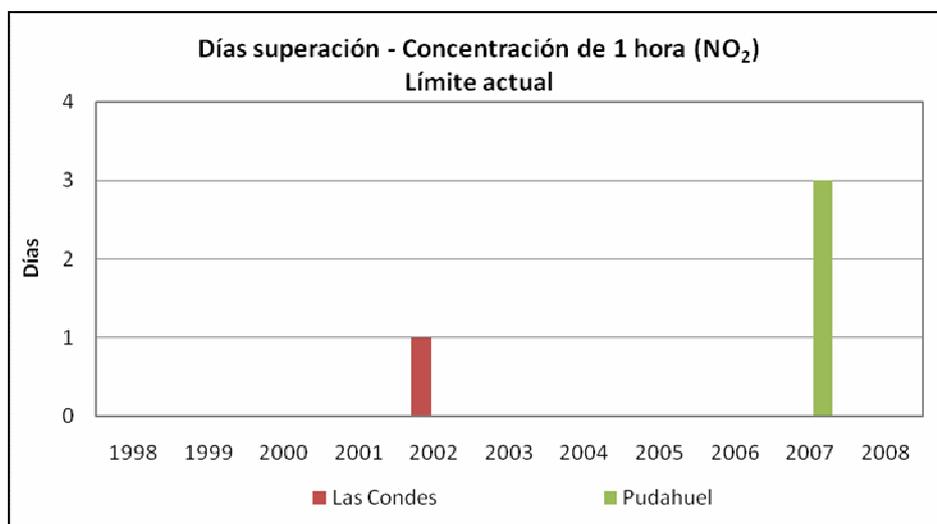


Figura 5.11. Días por sobre norma de calidad de aire de NO₂ 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM

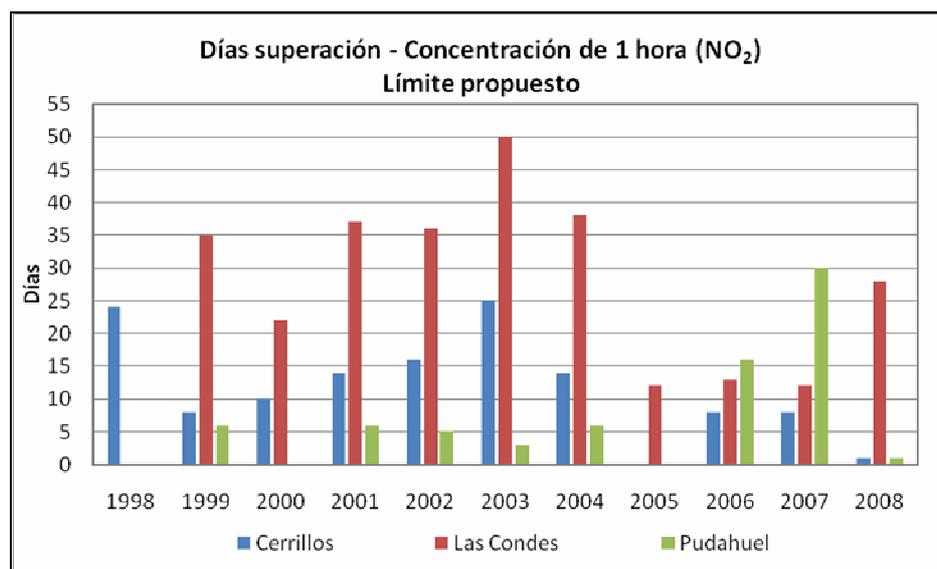


Figura 5.12. Días por sobre valor guía de OMS para NO₂ 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de MACAM

En cuanto a la norma anual de NO₂ se observa que tampoco existen tendencias pronunciadas, e incluso existe gran variabilidad dentro de las mismas estaciones de monitoreo (Figura 5.13). El análisis disgregado por estación muestra que la estación de Las Condes históricamente ha registrado los mayores valores anuales, seguido por Cerrillos y Pudahuel. Solamente el año 2009, se ha empezado a reportar NO₂ en el resto de las estaciones, por lo que es difícil evaluar el cumplimiento las tendencias fuera de las estaciones mencionadas. Se

observa que el valor guía para NO₂ anual también se superaría en algunas estaciones, por lo que la Región Metropolitana estaría saturada por NO₂ tanto en forma horaria como anual.

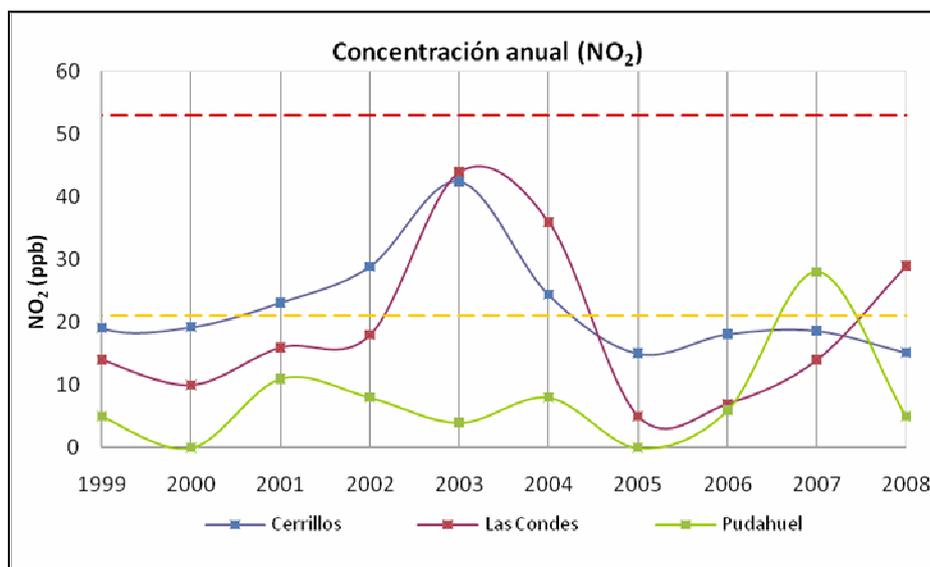


Figura 5.13. Serie de tiempo de media anual de NO₂, RED MACAM, separación por estación.

5.3.1.4 Dióxido de Azufre

Las tendencias de las concentraciones anuales de SO₂ han sido a la baja en forma sistemática. Principalmente los grandes avances se han debido a la irrupción del gas natural, además de la rebaja del contenido del azufre en los combustibles. En cuanto a los valores diarios de SO₂ se observa similares tendencias, pero con un aumento de los valores diarios en los últimos años. Se observa que en comparación con la norma de SO₂ de 24 horas, las concentraciones de SO₂ dentro de la red MACAM son bastante más bajas, aunque existe gran variabilidad dentro de la misma cuenca. Se observa además que los valores más altos a los que se ve expuesta la población han tenido una tendencia hacia la baja, hasta el año 2005, en donde se empezó una tendencia al alza. En un análisis disgregado por comuna se observa la misma tendencia (Figura 5.14).

Adicionalmente, se puede inferir de que los sectores más industriales registran los valores más altos de SO₂ (Cerrillos El Bosque, Pudahuel), mientras que las áreas más residenciales presentan valores menores (La Florida, Parque O'Higgins, y Las Condes). Ahora, si se considerara el valor guía de la OMS del año 2005 (7.5 ppb) para el SO₂ de 24 horas como norma, se tendría que las estaciones de Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, Independencia, Parque O'higgins, y Pudahuel (en orden de concentraciones) superarían ese valor guía.

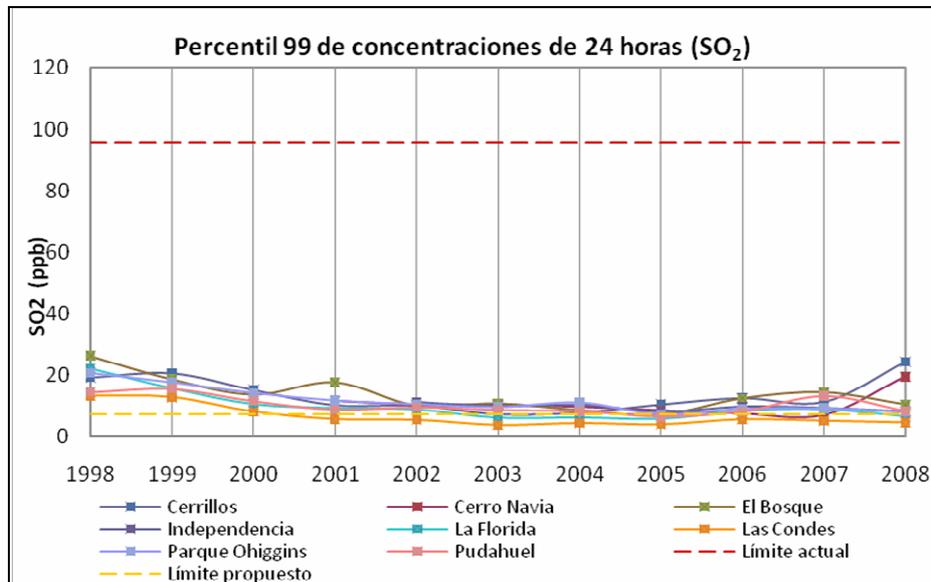


Figura 5.14. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO₂, RED MACAM, separación por estación.

En un análisis estación por estación a las tendencias anuales se confirma que no hay tendencia clara de aumento o disminución (Figura 5.15). La OMS en sus valores guías del 2005 recomiendan derogar normas anuales de SO₂ ya que la norma diaria cumple la finalidad de protección a la salud.

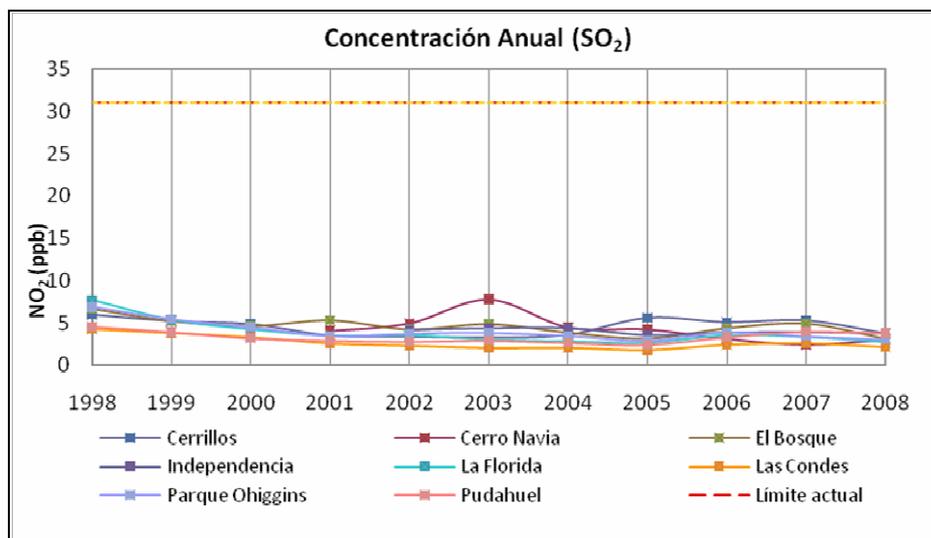
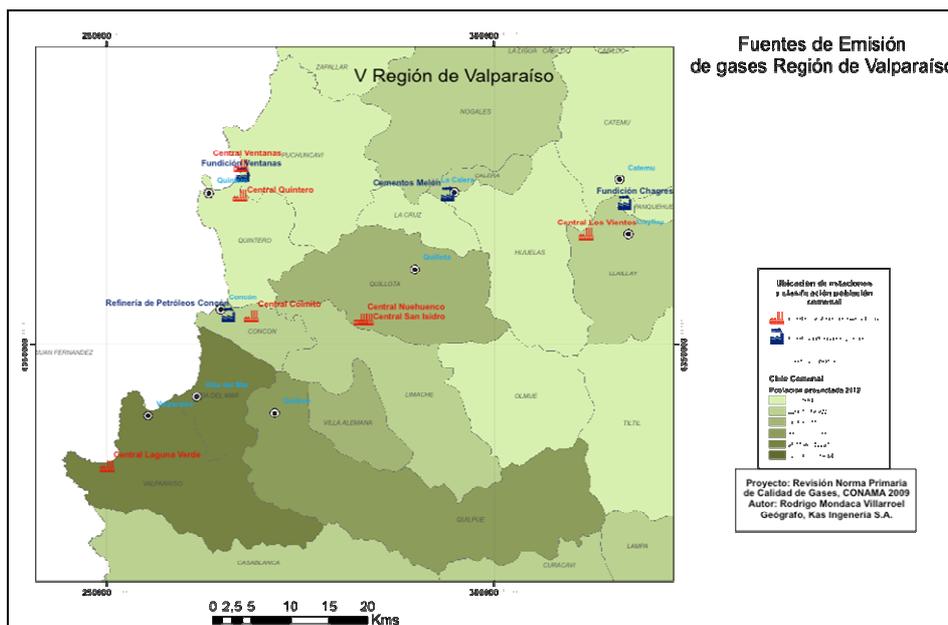


Figura 5.15. Serie de tiempo de media anual de SO₂, RED MACAM, separación por estación

En el Anexo 3.1, se presenta una cartografía gráfica con los niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008 para la Región Metropolitana.

5.3.2 Región de Valparaíso

A diferencia de la red MACAM, la red de la Quinta Región es principalmente una red privada, con sólo dos estaciones operadas por el ministerio de Salud. Las principales fuentes de emisiones en la Quinta Región son las termoeléctricas (sector Ventanas, Valle del Aconcagua), fundiciones (Ventanas, Catemu), y refinerías (Concón). Los grandes centros urbanos podrían tener emisiones de fuentes móviles, pero la templada temperatura de la costa podría impedir la formación de Ozono en Valparaíso y Viña del Mar. Adicionalmente el borde costero de Chile se destaca por tener una condición de nubosidad semi permanente¹⁵⁸ que inhibe la formación fotoquímica de Ozono.



¹⁵⁸ Garreaud et al., (2004). The diurnal cycle in circulation and cloudiness over the subtropical southeast Pacific: A modeling study. Journal of Climate (17) 8, 1699-1710

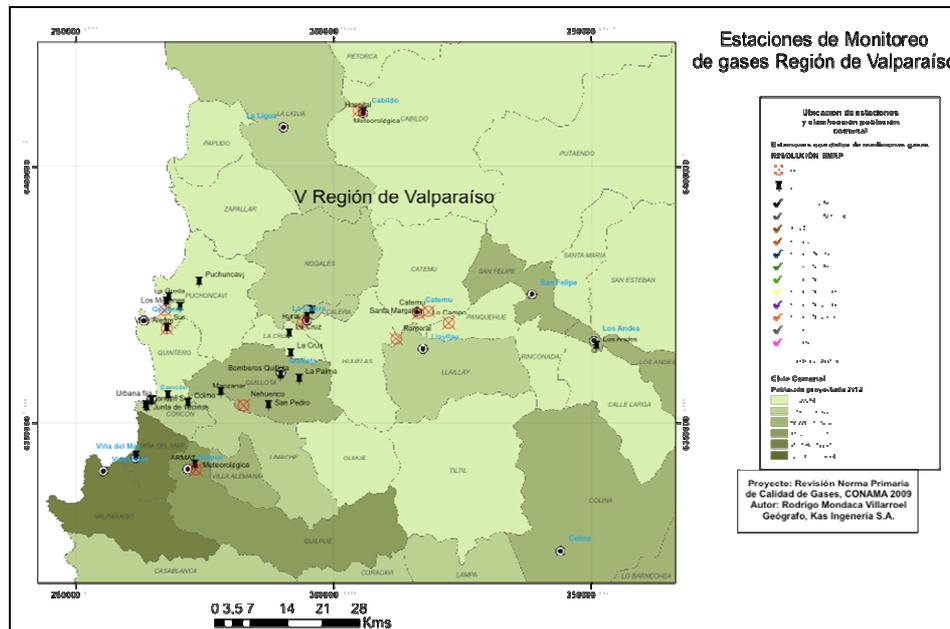


Figura 5.16. Localización de grandes fuentes y estaciones de monitoreo de gases, Quinta Región.

5.3.2.1 Monóxido de Carbono (CO)

En cuanto a la norma de calidad de CO de 8 horas y 1 hora se observa que solamente la estación San Pedro supera la norma (Figura 5.17), y el resto de las estaciones presentan valores mucho más bajos. La Estación San Pedro está localizada en las inmediaciones de la central termoeléctrica Nehuenco. A pesar de tener representatividad poblacional en material particulado, probablemente no sea representativa de condiciones ambientales del área, sino del sector en cuestión. Es por ello que de acuerdo a las superaciones de norma de CO de 8 horas, existe una gran cantidad de días de superación de norma para San Pedro. Sin embargo en años recientes se ha observado que ya no hay superaciones (Figura 5.18). Lo mismo ocurre para la norma de 1 hora (Figura 5.19 y Figura 5.20).

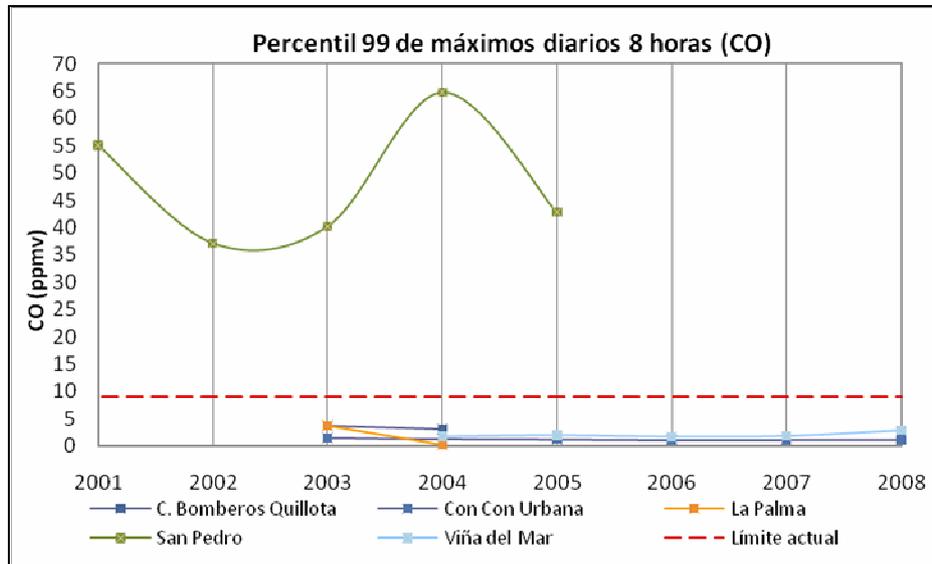


Figura 5.17. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, Quinta Región separación por estación.

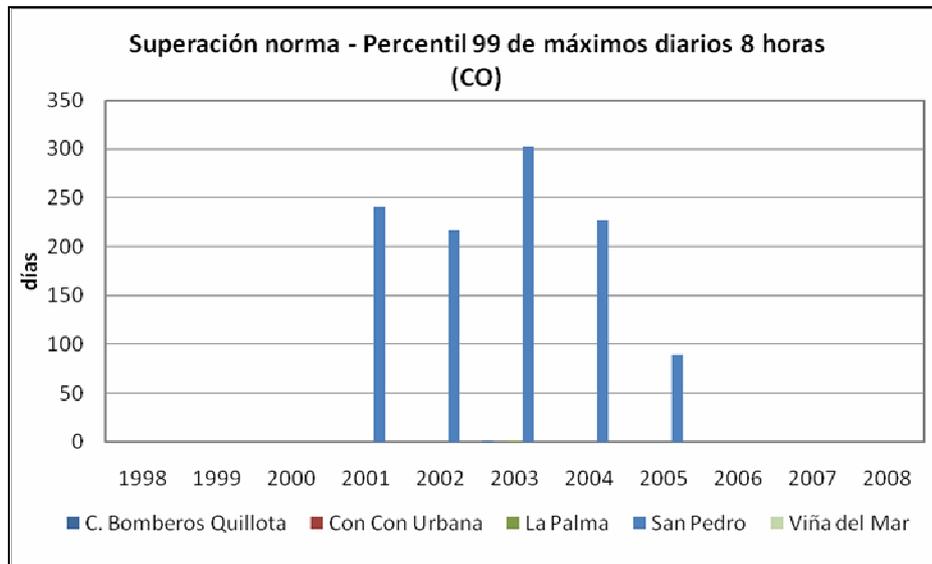


Figura 5.18. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región

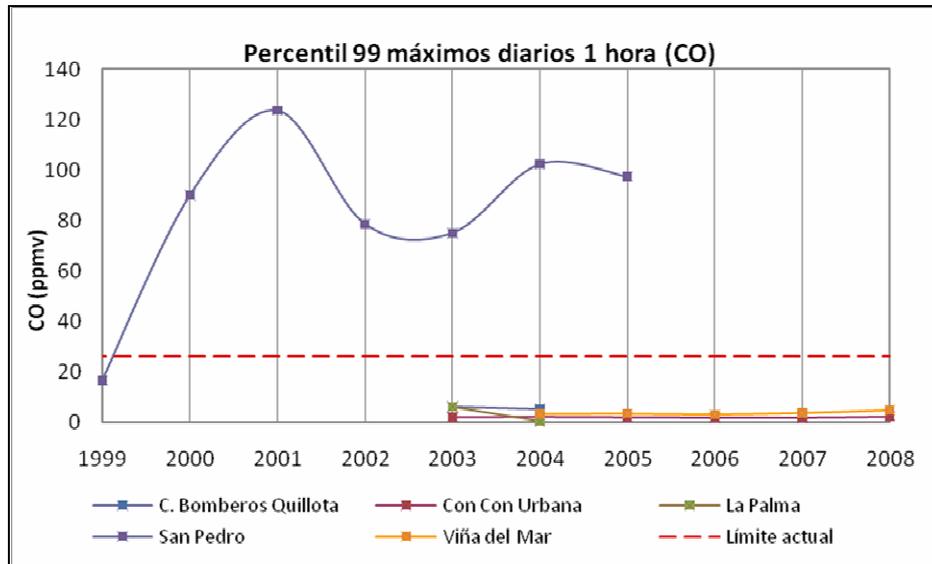


Figura 5.19. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, Quinta Región, separación por estación.

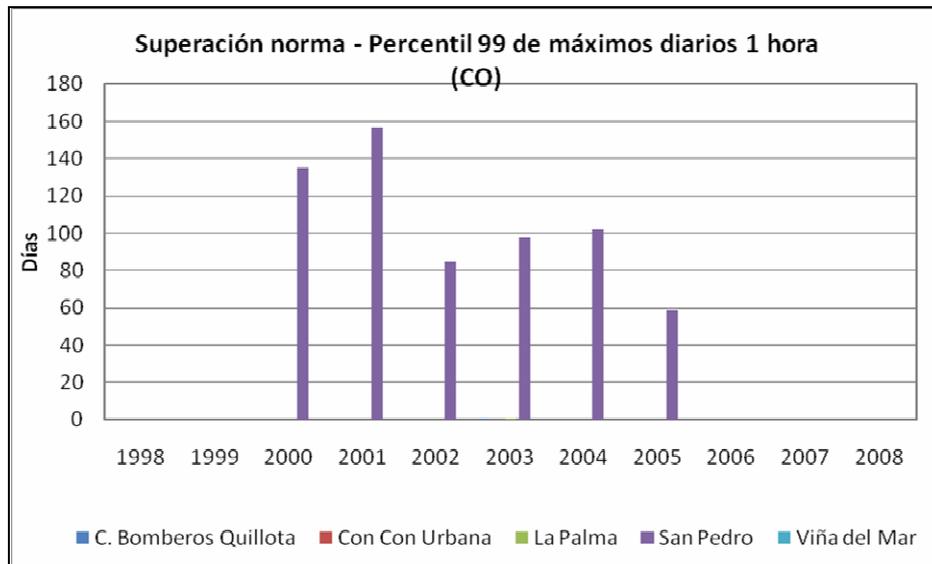


Figura 5.20. Días por sobre norma de calidad de aire de CO 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región

5.3.2.2 Ozono (O₃)

Las estaciones de monitoreo en la Quinta Región presentan excedencias a la norma de 8 horas para las estaciones de Cuerpo de Bomberos, Colmo, La Calera, La Cruz, La Cruz, Rural 1, y San Pedro (todas del Valle del Aconcagua). En los

ultimos años ha disminuido la concentración en Rural 1 y San Pedro, lo que se podría deber a la disminución de la operación de la central Nehuenco y San Isidro fruto de la crisis del gas natural. Históricamente, las centrales con mayores valores fueron La Cruz y Cuerpo de Bomberos Quillota, viento debajo de las grandes fuentes de NOx en las termoeléctricas. Sin embargo, ambas han mostrado una baja desde su peak en el año 2004 (desde 90 ppb a 67 ppb para Cuerpo de Bomberos) (Figura 5.21). De la misma forma se observa que la cantidad de días superando la norma de calidad de Ozono bajó de un máximo de 93 a 18 actualmente (Figura 5.22). Esta baja podría deberse a que la Central Nehuenco, una termoeléctrica con turbinas a gas, de ciclo combinado y ciclo abierto que ha disminuido su operación notablemente debido a la falta de gas natural.¹⁵⁹

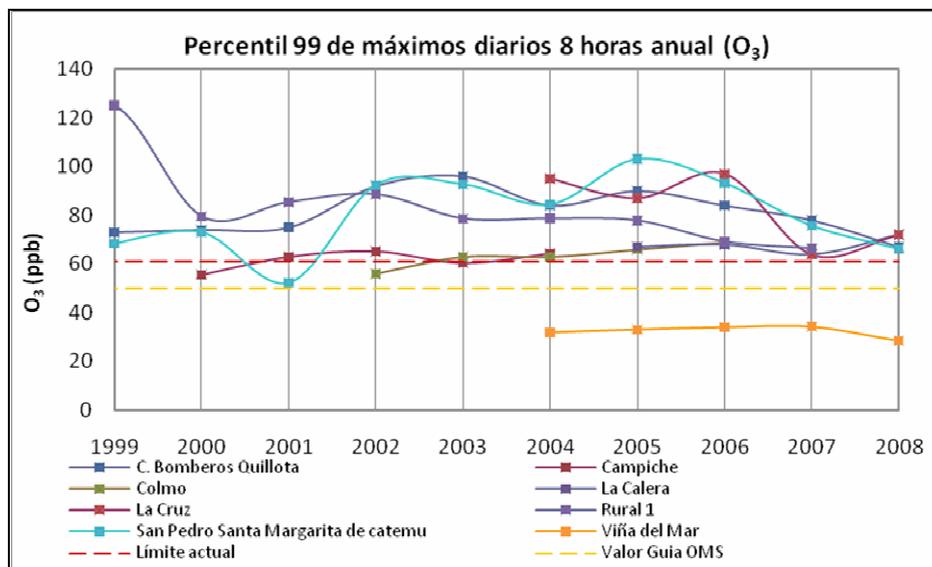


Figura 5.21. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, Quinta Región, separación por estación.

¹⁵⁹ La Nación, 22 de abril 2008.

http://www.lanacion.cl/prontus_noticias_v2/site/artic/20080422/pags/20080422155517.html

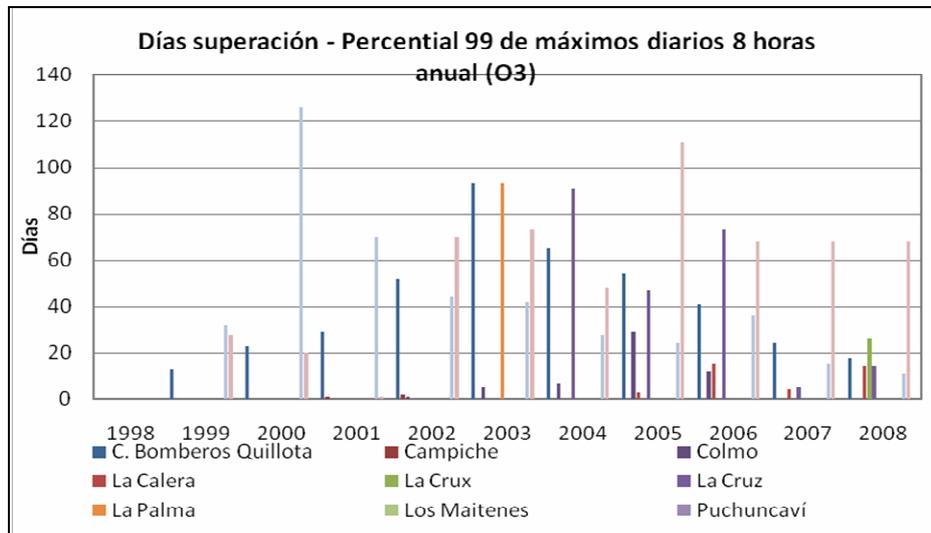


Figura 5.22. Días por sobre norma de calidad de aire de O₃ 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región

5.3.2.3 Dióxido de Nitrógeno

La actual norma horaria de NO₂ es solamente superada en Cuerpo de Bomberos de Quillota. Sin embargo, de establecerse como norma los valores guía de la OMS serían más las estaciones que superen la norma. La Calera, por ejemplo, fuertemente impactada por emisiones de NO_x tiene valores cercanos a la superación de la norma actual (Figura 5.23). Sin embargo, la norma actual no se ha superado desde el año 2006 (Figura 5.24).

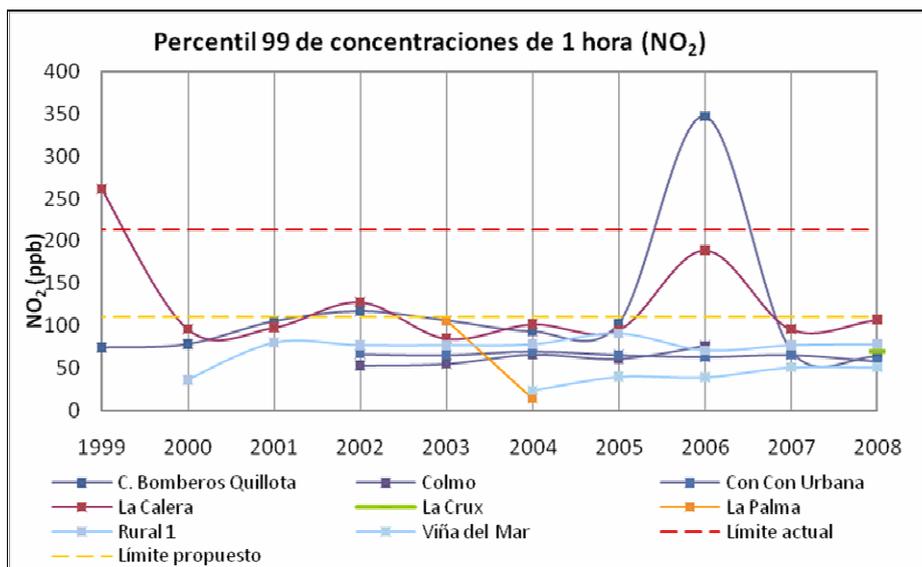


Figura 5.23. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO₂, Quinta Región, separación por estación

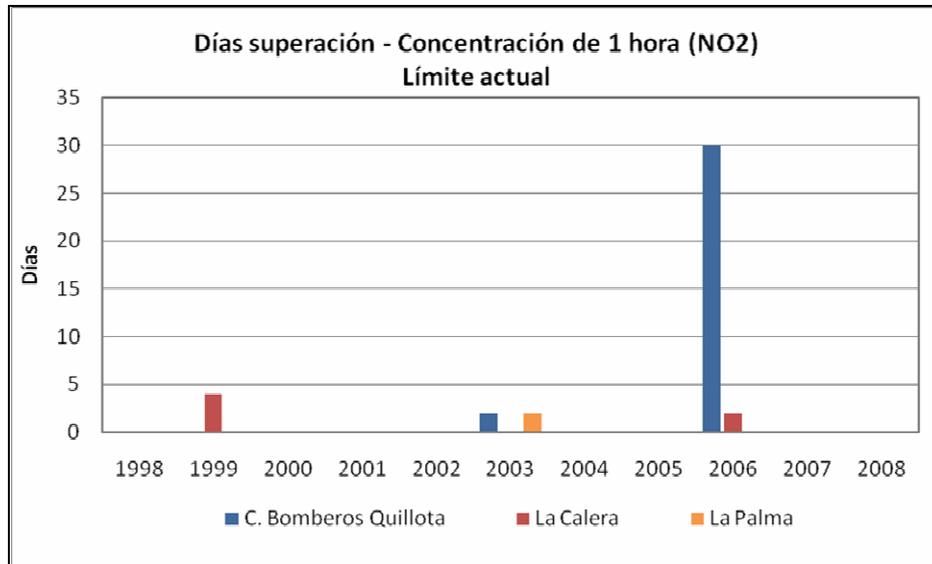


Figura 5.24. Días por sobre norma de calidad de aire de NO₂ 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región

La norma actual de NO₂ anual no es superada por ninguna estación, aunque el valor guía de la OMS de 23 ppb podría ser superada por La Calera (Figura 5.25).

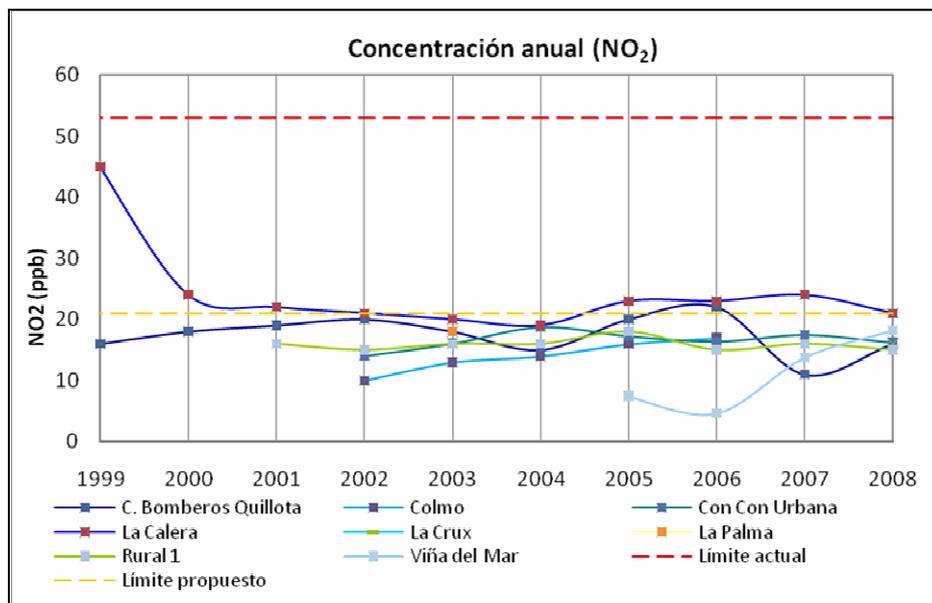


Figura 5.25. Serie de tiempo de media anual de NO₂, Quinta Región, separación por estación

5.3.2.4 Dióxido de Azufre

En términos del Dióxido de Azufre desde que se ha implementado el plan de descontaminación de Ventanas, con la disminución de emisiones de la fundición en cerca de 90%, se ha bajado las condiciones extremas de SO₂ desde un máximo diario de 135 ppb en Los Maitenes (Figura 5.26). Las superaciones de norma han disminuido desde 20 en Los Maitenes el año 1998 a 1 en la estación La Greda el año 2008 (Figura 5.27). La norma anual en cambio no es superada por ninguna estación en la Quinta Región, dando cuenta de la efectividad de los planes vigentes (Figura 5.28).

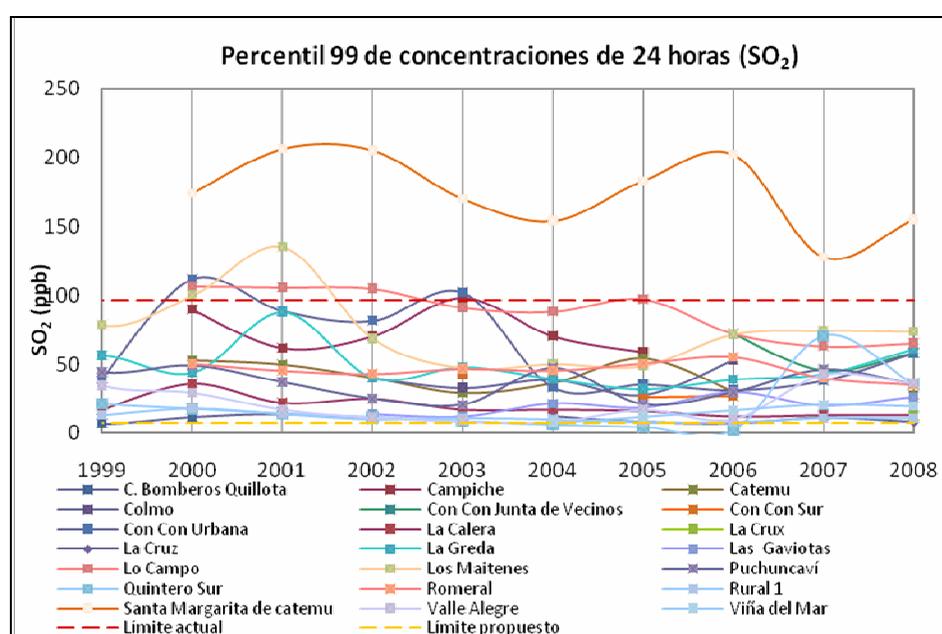


Figura 5.26. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO₂, Quinta Región, separación por estación

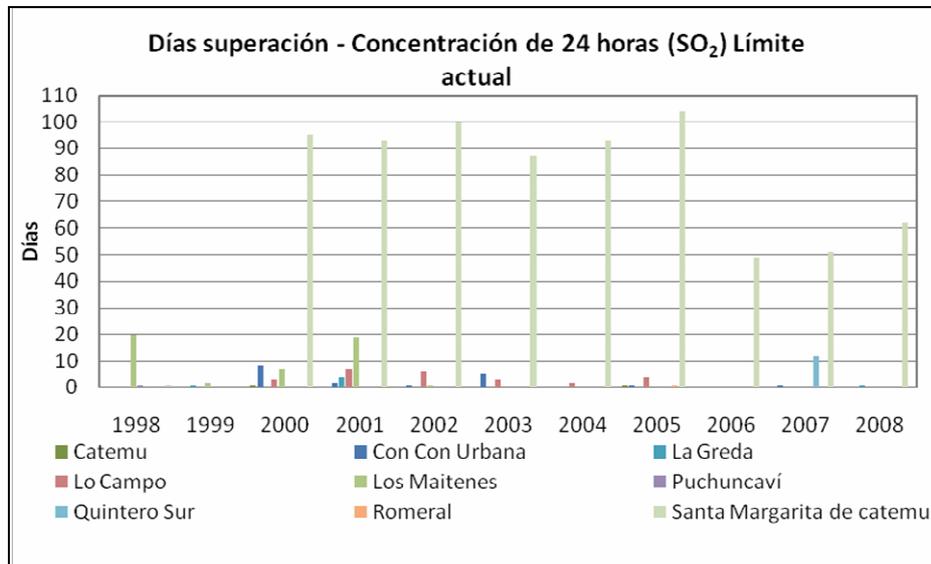


Figura 5.27. Días por sobre norma de calidad de aire de SO₂ 1 hora, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Quinta Región

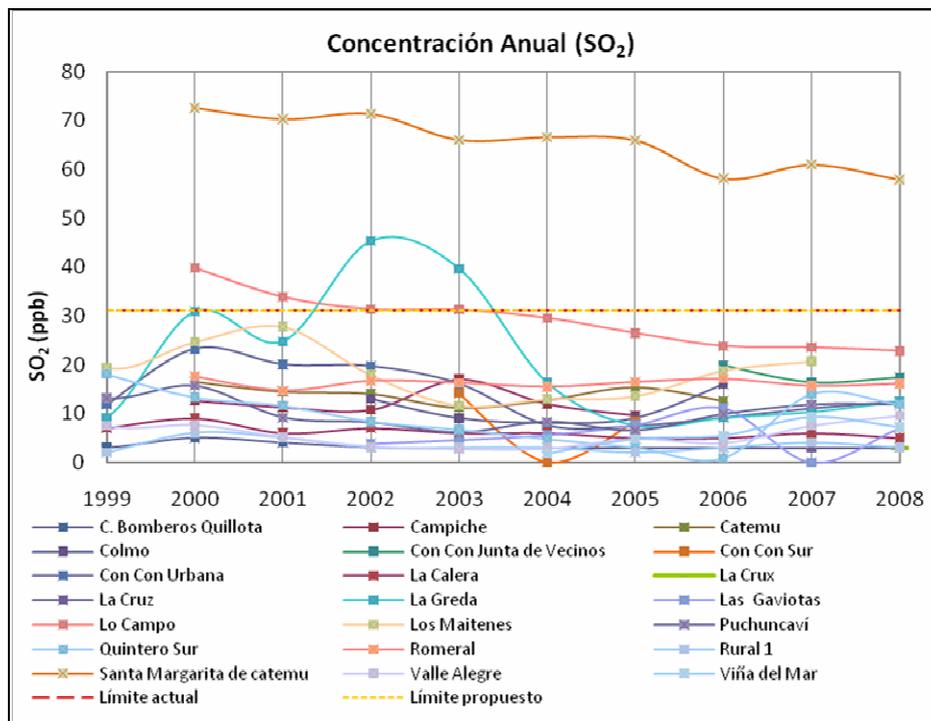
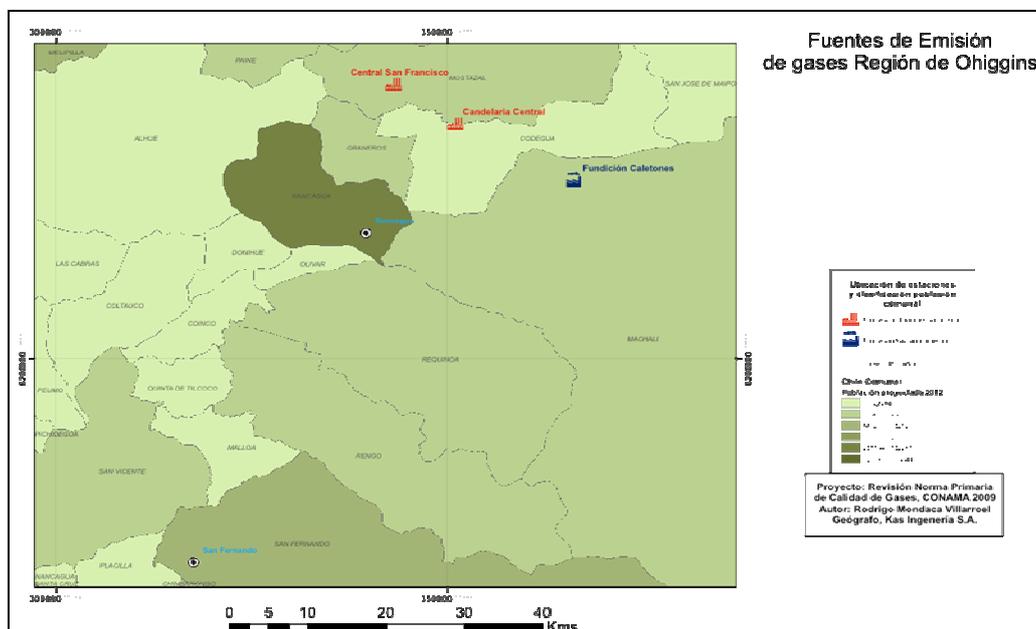


Figura 5.28. Serie de tiempo de media anual de SO₂, Quinta Región, separación por estación

En el Anexo 3.2, se presenta una cartografía gráfica con los niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008 para la Región de Valparaíso.

5.3.3 Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

La red de la Sexta Región se distingue en una que se enfoca en la formación de Ozono y la emisión de sus precursores (Codegua, Casas de Peuco, San Francisco, Rancagua, Rengo), con otra que se enfoca en velar por el cumplimiento del plan de descontaminación de Caletones (Coya, Cauquenes, Cipreses), enfocado al SO₂.



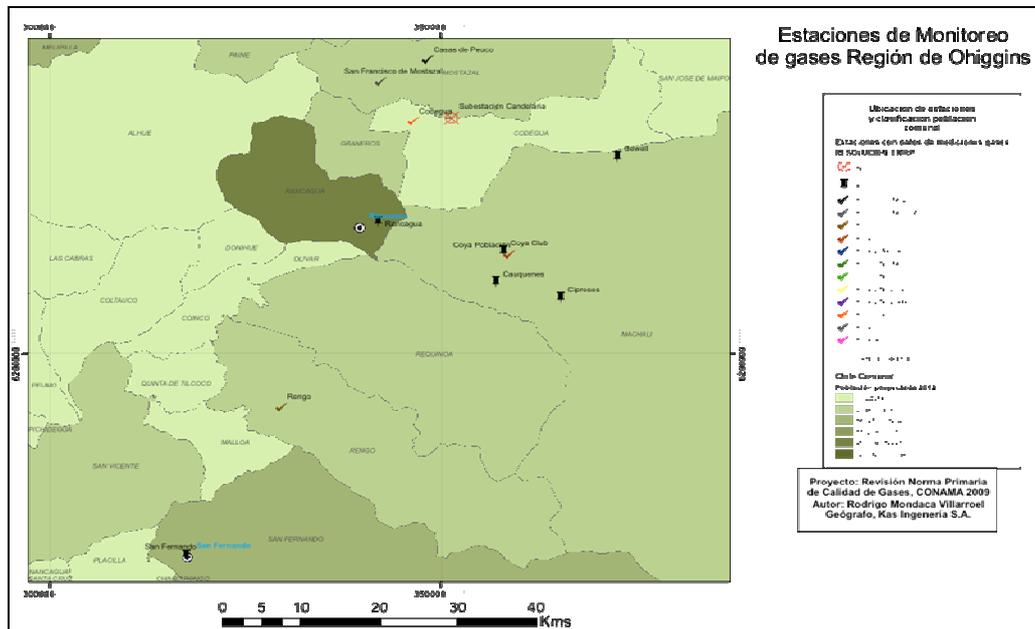


Figura 5.29. Localización de grandes fuentes de emisión, y de las estaciones de monitoreo de la Sexta Región

5.3.3.1 Monóxido de Carbono (CO)

La Figura 5.30 y Figura 5.31, muestran que los niveles extremos de CO de 8 horas y 1 hora de cada año son suficientemente bajos para cumplir la norma de calidad de aire. Se observa que el registro es reciente, solamente disponible desde el año 2004 en adelante. Se observa en Casas de Peuco y Codegua los mayores valores, probablemente debido a la presencia de las termoeléctricas Candelaria y San Francisco. También se observa un reciente repunte el año 2008 y 2009 en los valores extremos en Rancagua.

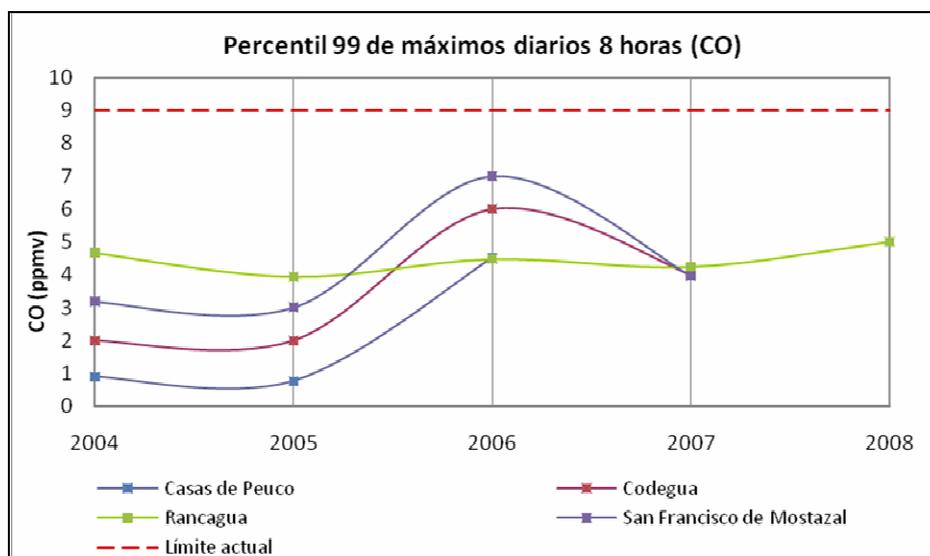


Figura 5.30. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, Sexta Región separación por estación.

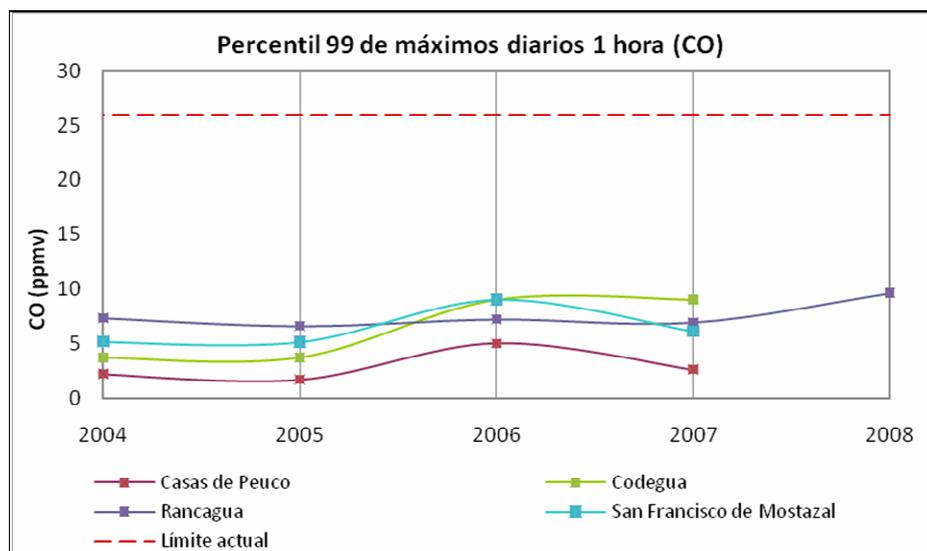


Figura 5.31. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, Monóxido de Carbono, Sexta Región, separación por estación.

5.3.3.2 Ozono (O_3)

En términos de Ozono, en la Figura 5.32, se observa que varias estaciones superan la norma de Ozono actual, como Casas de Peuco, Codegua, y San Francisco de Mostazal, con valores bastante más altos que los que se encuentran en la Región Metropolitana. Rancagua, y San Fernando (con datos 2009) presentan valores que cumplen la norma. Esto se debería a que las otras

estaciones se encuentran viento abajo de la ciudad de Rancagua, de donde provendrían la mayoría de los precursores de Ozono. La Figura 5.33, muestra que a pesar de que ha llegado a casi 200 (superaciones de norma al año (Casas de Peuco, 2005), se han rebajado la frecuencia de superaciones de norma a alrededor de 50 el año 2008. Sin embargo, los valores siguen siendo altos. Se le atribuye la formación de Ozono a las termoeléctricas de Candelaria y San Francisco.

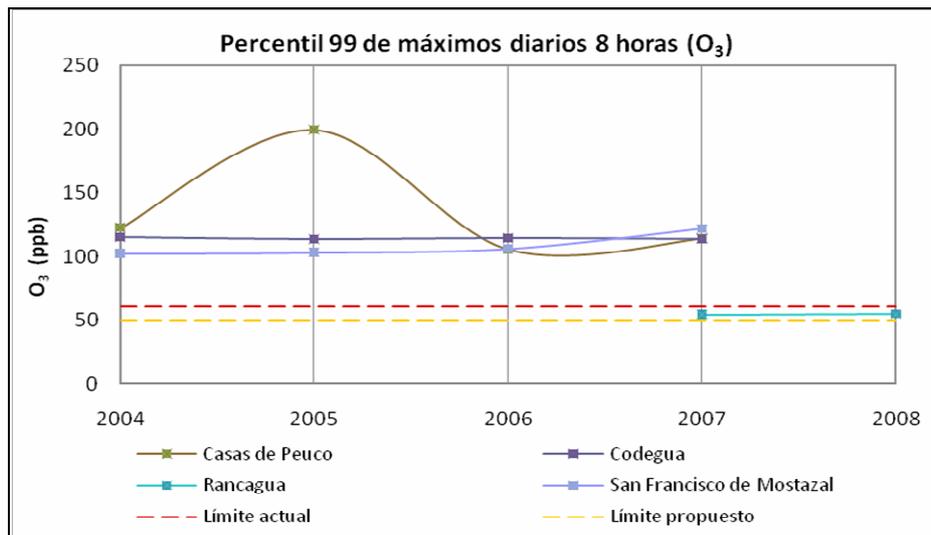


Figura 5.32. P99 de la media móvil de 8 horas, serie de tiempo anual, Ozono, Sexta Región, separación por estación.

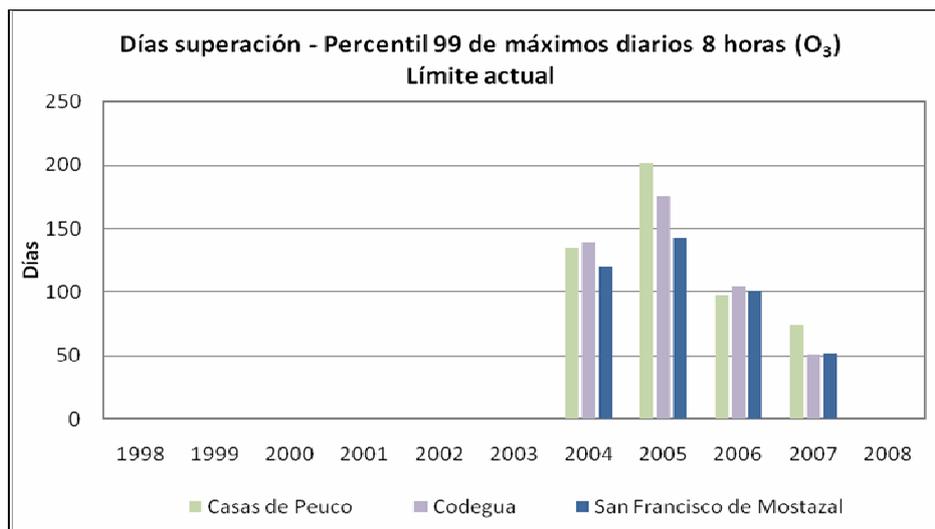


Figura 5.33. Días por sobre norma de calidad de aire de O₃ 8 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de Sexta Región

5.3.3.3 Dióxido de Nitrógeno

Se observa que coincide la estación de máximo Ozono y de NO₂ (Casas de Peuco). Adicionalmente se observa en la Figura 5.34, que la norma horaria de NO₂ se cumple. También se cumpliría los valores guías de la OMS para 1 hora. Similarmente la norma anual también se cumple, aunque si los valores guías de la OMS anual fueran norma, significaría que San Francisco de Mostazal se encontraría cercano a la latencia (Figura 5.35).

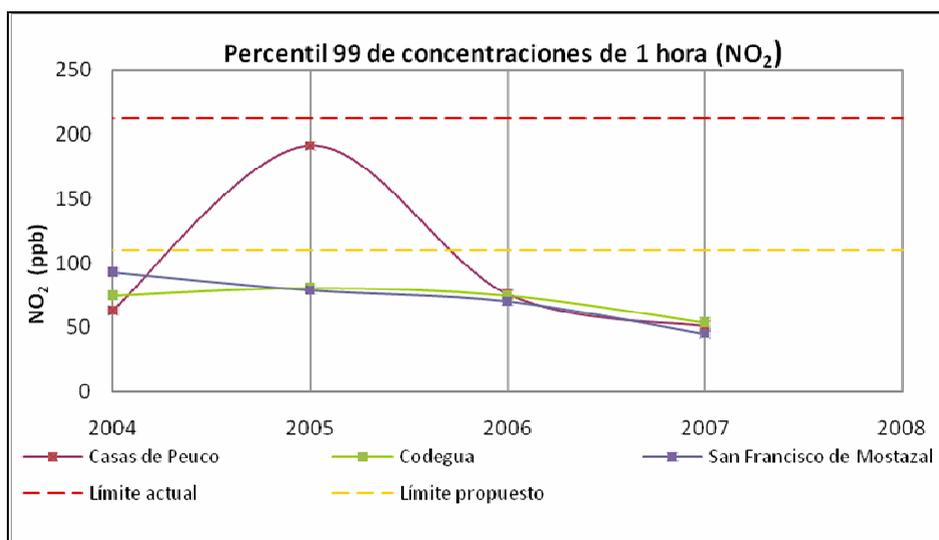


Figura 5.34. P99 de la media móvil de 1 hora, serie de tiempo anual, NO₂, Sexta Región, separación por estación

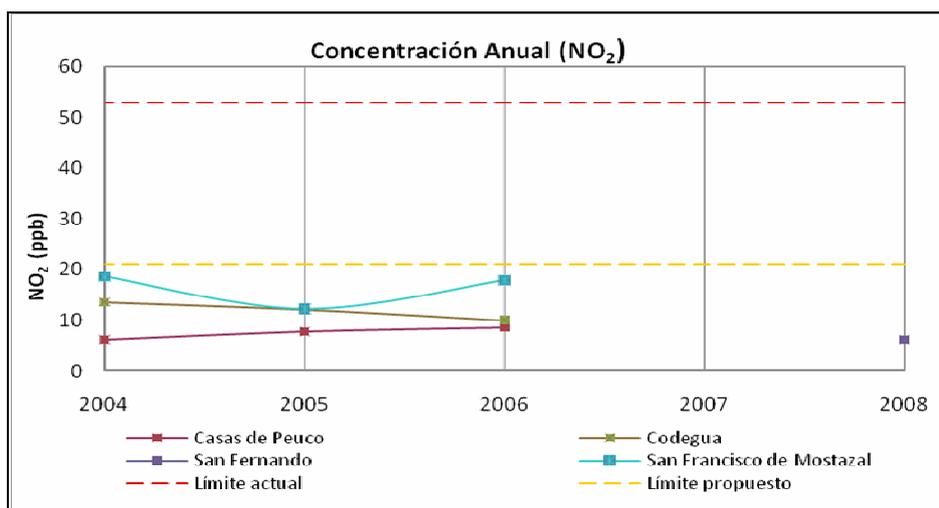


Figura 5.35. Serie de tiempo de media anual de NO₂, Sexta Región, separación por estación

5.3.3.4 Dióxido de Azufre

En términos del Dióxido de Azufre hoy en día no se cumple normativa en Coya Club, Coya Población y Cipreses. Todas estas estaciones se encuentran altamente impactadas por la Fundición Caletones. La Fundición Caletones ha estado afecta a un plan de descontaminación que ha disminuido sus emisiones en casi 90% (Ver Capítulo 7). Sin embargo, desde el año 2005 han vuelto a aumentar sus emisiones declaradas, lo que podría explicar el reciente repunte de la estación Coya Población (Figura 5.36).

La Figura 5.37, muestra que las superaciones de norma horaria de SO₂ llegaron a las 100 veces por año (2007) pero hoy Coya Club y Coya Población se combinan para un total de 60 veces por año.

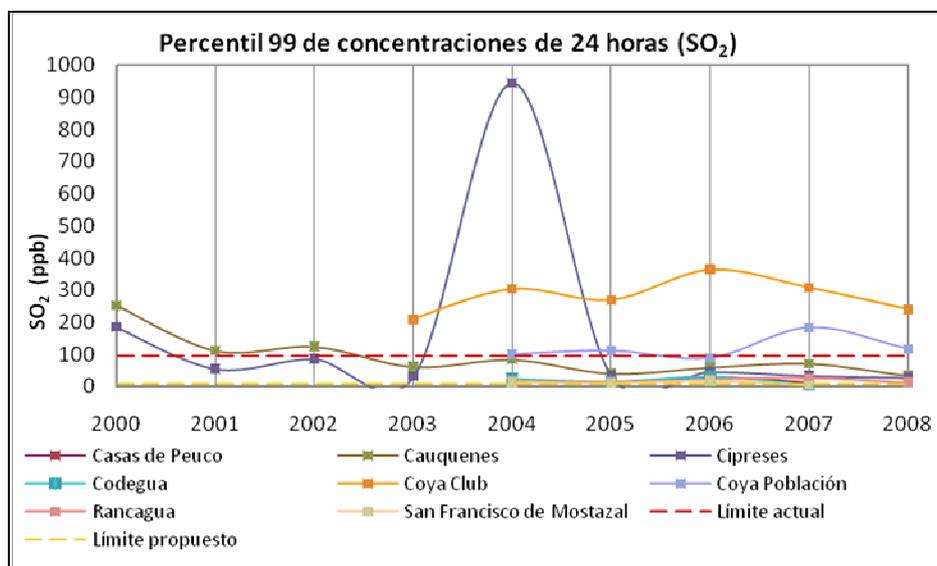


Figura 5.36. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO₂, Sexta Región, separación por estación.

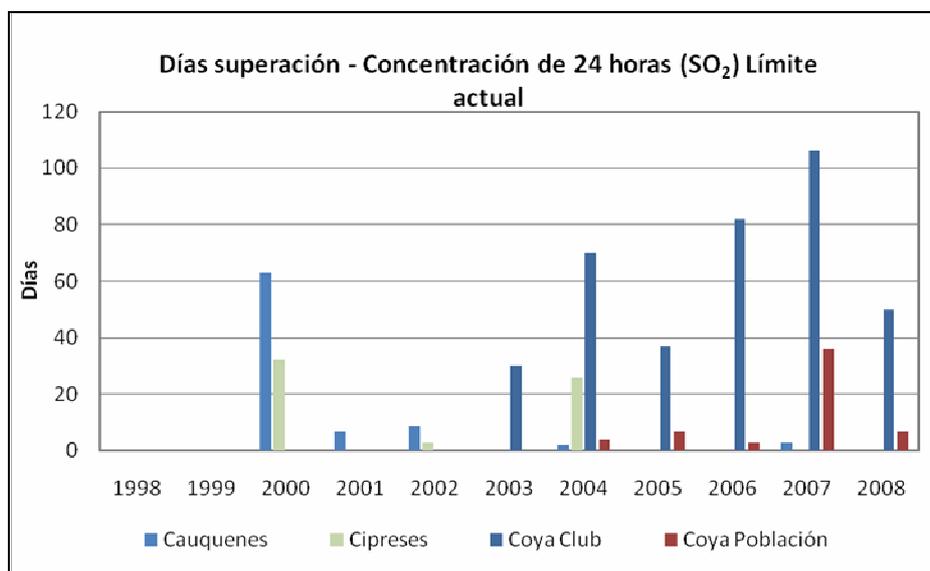


Figura 5.37. Días por sobre norma de calidad de aire de SO₂ 24 horas, serie de tiempo anual, separado por estaciones individuales de la Sexta Región.

En términos de la norma anual de SO₂ se observa con mayor claridad el efecto del plan de descontaminación el año 2000 al 2003, y el repunte reciente debido al aumento de emisiones de Caletones (Figura 5.38).

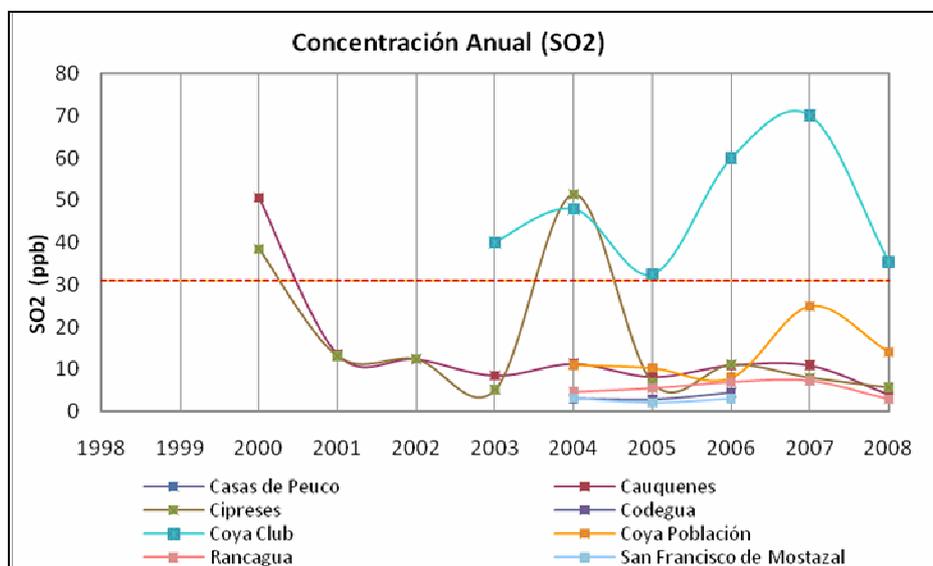
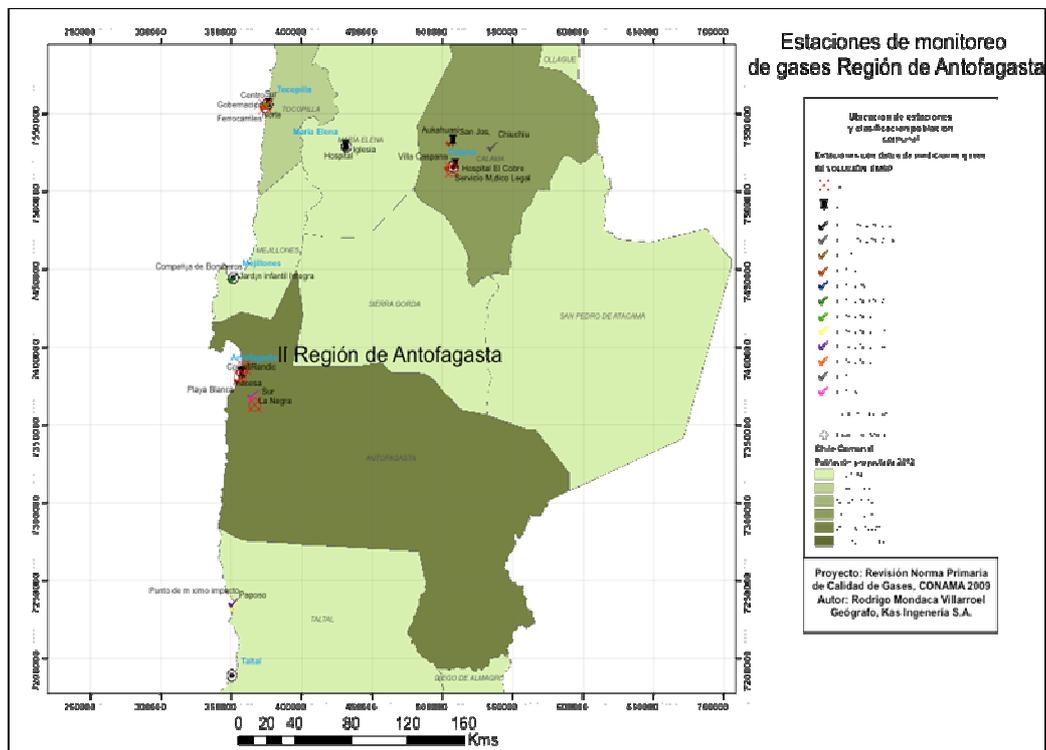


Figura 5.38. Serie de tiempo de media anual de SO₂, Sexta Región, separación por estación. En el Anexo 3.3, se presenta una cartografía gráfica con los niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008 para la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

5.3.4 Región de Antofagasta

La Segunda Región tiene una red de monitoreo 100% privada enfocada en grandes fuentes emisoras y fundiciones. La Figura 5.39, muestra la localización de las grandes fuentes puntuales (termoeléctricas y fundiciones) en la Segunda Región, además de la localización de las estaciones de monitoreo.



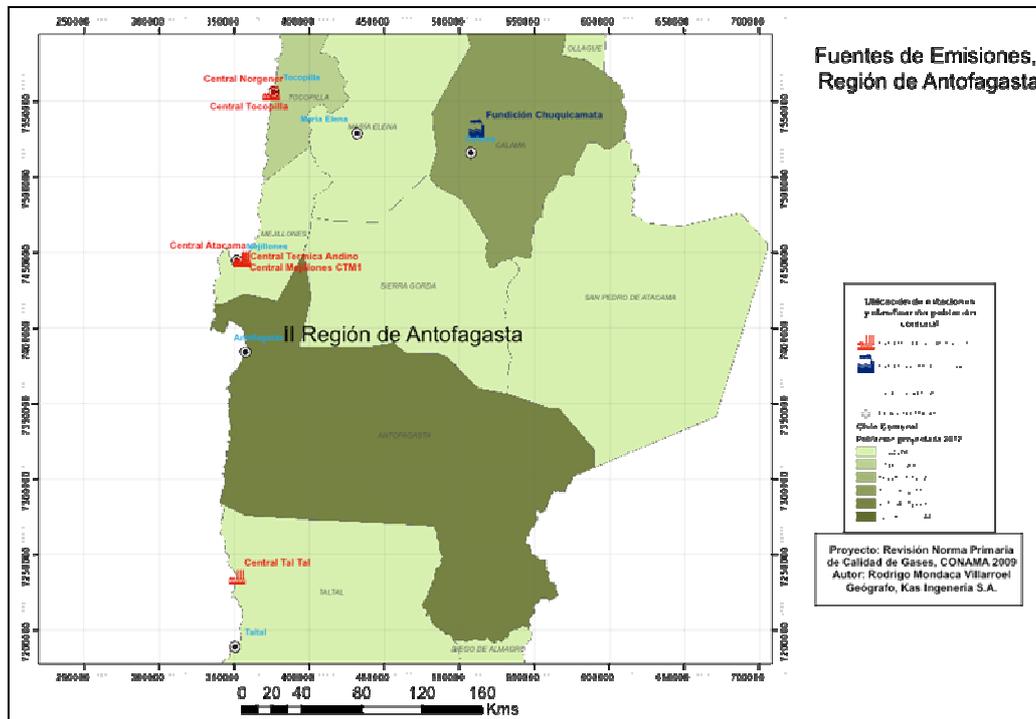


Figura 5.39. Localización de Grandes Fuentes de emisión y estaciones de monitoreo, Segunda Región.

5.3.4.1 Dióxido de Azufre

Respecto del Dióxido de Azufre, en la Figura 5.40, se muestran los valores extremos de las concentraciones de 24 horas de SO₂. Se observa que desde el año 2002 se ha dado cumplimiento a la norma en la región fruto del plan de descontaminación de Chuquicamata. Sin embargo, en años recientes se ha observado un aumento de los valores extremos registrados en las estaciones tanto en la norma de 24 horas, como en la norma anual (Figura 5.41).

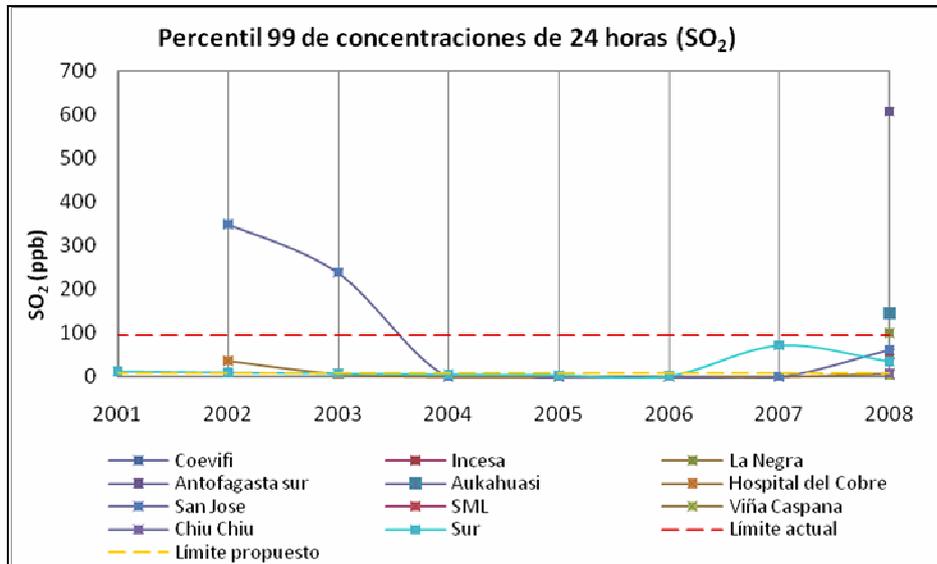


Figura 5.40. P99 de la media móvil de 24h, serie de tiempo anual, SO₂, Segunda Región, separación por estación.

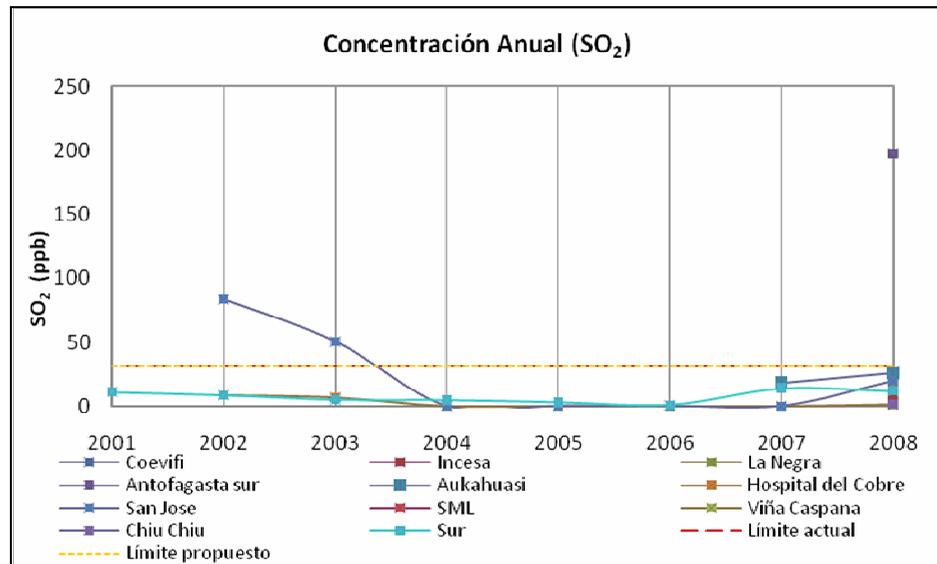


Figura 5.41. Serie de tiempo de media anual de SO₂, Segunda Región, separación por estación

En el Anexo 3.4, se presenta una cartografía gráfica con los niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008 para la Región de Antofagasta.

5.4 Resumen de Capítulo

La actual red de monitoreo cubre 45% de la población de Chile. Para cumplir las recomendaciones de la Comunidad Europea, considerando ciudades con más de 50.000 personas se requerirían 47 estaciones de monitoreo nuevas a un costo total de 6.415.500 USD. La red actual es fundamentalmente de corte privado, y el enfoque de medición ha sido basado en requerimientos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Esto hace que estas estaciones no se enfoquen en representatividad e impactos a salud, sino en un seguimiento de las emisiones de grandes fuentes. Por esto muchas veces las estaciones están localizadas en lugares de máximo impacto de emisiones, lo que tiene menor utilidad para contaminantes como el Ozono. En cuanto a calidad de aire en Chile se observa que los centros industriales mineros persisten en niveles altos que superan norma anual y diaria de SO₂. Tanto en Calama como en Coya se ha constatado un empeoramiento reciente fruto del aumento de emisiones de SO₂ por una mayor producción de cobre. La implementación de los valores guías para SO₂ de la OMS (7.5 ppb 24 horas) haría que todos los sectores donde existen fundiciones no cumplirían la norma. Las normas de calidad de aire de CO se cumplen en todas las estaciones en Chile, a excepción de algunas estaciones en Santiago. La norma actual de NO₂ se cumple en todo el territorio nacional. Concentraciones de NO₂ horaria y anual superan los valores guías de la OMS en la Sexta Región (Casas de Peuco), Quinta Región (La Calera), y Región Metropolitana (Las Condes). La norma actual de Ozono no se cumple en Las Condes, La Florida y Parque O'Higgins, esto se atribuye fundamentalmente a las emisiones areales. En la Quinta Región no se cumple la norma en San Pedro, La Cruz, y Quillota, probablemente debido a las emisiones de óxidos de nitrógeno de grandes fuentes industriales, como termoeléctricas y cementeras. En la Sexta Región el no cumplimiento ocurre en Codegua, Casas de Peuco, y San Francisco de Mostazal, lo que podría atribuirse a emisiones de NO_x debido a las termoeléctricas de Candelaria y San Francisco. Los valores guías de Ozono de la OMS no se cumplirían en ninguna estación de monitoreo en Santiago.

En general, Chile presenta problemas de calidad de aire muy distintos. Problemas de SO₂ debido a emisiones de fundiciones, problemas de NO₂ debido a fuentes móviles urbanas, y problemas de Ozono debido a contaminación urbana, o a grandes fuentes de NO_x. Esto hace importante que se establezcan estaciones de monitoreo en lugares donde se anticipen condiciones similares.

6 ESTABLECIMIENTO DE LOS RIESGOS ASOCIADOS A LAS ACTUALES CONDICIONES DE CALIDAD DEL AIRE

6.1 Metodología de cálculo de riesgo

Para lograr la estimación de los beneficios sociales que tendrían las Normas Primarias de Calidad del Aire propuestas se realizará un análisis de riesgo cuantitativo, que consiste en una modelación cuantitativa de la relación entre concentración de contaminantes en el medio ambiente, exposición de la población a estos contaminantes, efectos en salud y valoración económica de dichos efectos en salud, los cuales serían una medida de los daños dados por las actuales concentraciones de contaminantes.

En este estudio se considerarán los principales efectos en la salud de la población, ya sean estos agudos o crónicos.

Se realizarán estimaciones de riesgo para los contaminantes que se han propuesto cambios a la normativa (NO₂, SO₂ y O₃) con la finalidad de determinar los potenciales beneficios sociales que significaría una reducción en sus concentraciones.

6.1.1 Modelo de riesgo

Para lograr esta estimación se utilizarán métodos bien establecidos y usados anteriormente (Cifuentes et al. 2001). Primeramente, para estimar los casos de una determinada enfermedad o efecto en salud que se observa en la población se utilizan ecuaciones basadas en los modelos de Poisson. Este modelo estadístico es ampliamente usados en estudios epidemiológicos longitudinales (tales como los estudios que asocian mortalidad diaria con las concentraciones de contaminantes). Usando este modelo, se puede calcular el número esperado de casos asociado a una determinada concentración de contaminantes (Ecuación 2):

Ecuación 2:

$$E[Efectos(c_i)] = Tasa(c_i = 0) \cdot Población \cdot (\exp(\beta_i \Delta c_i) - 1)$$

Donde:

Tasa (c_i=0): Tasa base de los efectos. Cantidad de efectos en salud observados por unidad de tiempo para el caso que la concentración de contaminante *i* sea cero.

Población: número de habitantes de la población en estudio y que se encuentra expuesta al contaminante *i*.

El factor $(\exp(\beta_i \Delta c_i) - 1)$ estima el porcentaje o fracción de aumento del número de casos asociados a la reducción en concentración de contaminantes Δc_i . En este caso consideramos una diferencia entre las condiciones actuales y niveles de concentración de cero, esto es, se evalúa el riesgo total de estar expuesto a los niveles actuales de contaminantes y son comparados con una situación en que no hubieran contaminantes. El valor β_i proviene de los estudios epidemiológicos publicados e implica el aumento en la tasa de enfermedad por cada aumento en la concentración de contaminantes.

Para la cuantificación de los efectos de los contaminantes, se han considerado distintos grupos etarios a evaluar (población total, adultos) para que de esa manera se obtengan resultados segmentados y más certeros para cada grupo poblacional. Además, muchos de los estudios epidemiológicos obtienen estimados de efectos para ciertos grupos de la población y no se pueden extrapolar a la población general.

Con respecto a la tasa base de los efectos considerados, se utilizarán las tasas bases que correspondan a las estadísticas nacionales, exceptuando en aquellos casos donde no se encuentren disponibles y se deba recurrir a tasas bases de otros países.

En este capítulo se presenta el cálculo de los riesgos asociados a las actuales concentraciones de SO_2 , NO_2 y O_3 . Como ciudades de estudio se seleccionaron las comunas de la provincia de Santiago y algunas ciudades de las II, V y VI región. Estas últimas se seleccionaron por su probable impacto en la exposición a O_3 y SO_2 .

6.1.2 Población

Como población de estudio se usó la población de la provincia de Santiago de la Región Metropolitana y de comunas de la II, V y VI regiones. Estas provincias constan de 32 comunas las cuales concentran la mayor parte de la población de la región metropolitana y también del país. La población de cada comuna se estimó para el año 2008 tomando como base los datos del censo del 2002 (INE) y usando las tasas de crecimiento (INE) para cada comuna si estuviere disponible. La población de cada comuna se desagregó en la población total y la población de adultos. Como adultos se consideraron los individuos de edad entre 15 y 64 años. La Tabla 6.1, muestra la población total para las comunas estudiadas.

La comuna más populosa de las estudiadas fue la comuna de Maipú con 663.168 habitantes.

Tabla 6.1. Población de las comunas estudiadas.

Comuna	Población	Comuna	Población
RM - CERRILLOS	71476	RM - PEÑALOLÉN	240470
RM - CERRO NAVIA	143918	RM - PROVIDENCIA	126793

Comuna	Población	Comuna	Población
RM - CONCHALÍ	122447	RM - PUDAHUEL	239088
RM - EL BOSQUE	177712	RM - QUILICURA	244729
RM - ESTACIÓN CENTRAL	124259	RM - QUINTA NORMAL	97333
RM - HUECHURABA	82925	RM - RECOLETA	138703
RM - INDEPENDENCIA	59078	RM - RENCA	135939
RM - LA CISTERNA	79652	RM - SAN JOAQUÍN	88620
RM - LA FLORIDA	390363	RM - SAN MIGUEL	76535
RM - LA GRANJA	131727	RM - SAN RAMÓN	91540
RM - LA PINTANA	202981	RM - SANTIAGO	184505
RM - LA REINA	99701	RM - VITACURA	82977
RM - LAS CONDES	278125	II - ANTOFAGASTA	296905
RM - LO BARNECHEA	94409	II - CALAMA	138402
RM - LO ESPEJO	108800	V - CATEMU	12112
RM - LO PRADO	100617	V - LA CALERA	49503
RM - MACUL	107890	V - LA CRUZ	12851
RM - MAIPÚ	663186	V - QUILLOTA	75916
RM - ÑUÑO A	158667	VI - MACHALI	28628
RM - PEDRO AGUIRRE CERDA	105910		

Fuente: elaboración propia

6.1.3 Exposición a los contaminantes

Para esta evaluación sólo se consideran los efectos por exposición a SO₂, NO₂ y O₃.

La exposición de la población de las distintas comunas se estimó usando las mediciones disponibles durante el año 2008. Para Santiago, durante dicho año se encuentran mediciones disponibles en 8 estaciones. Para el resto de las comunas se usó la estación disponible dentro de la comuna. La Tabla 6.2, muestra la estación asignada a cada una de las comunas.

Tabla 6.2. Estaciones asignadas para las comunas de la provincia de Santiago

Comuna	Estación	Comuna	Estación
RM - Cerrillos	Cerrillos	RM - Peñalolén	La Florida
RM - Cerro Navia	Pudahuel	RM - Providencia	Parque O'Higgins
RM - Conchalí	Independencia	RM - Pudahuel	Pudahuel
RM - El Bosque	El Bosque	RM - Quilicura	Independencia
RM - Estación Central	Parque O'Higgins	RM - Quinta Normal	Pudahuel
RM - Huechuraba	Independencia	RM - Recoleta	Independencia
RM - Independencia	Independencia	RM - Renca	Independencia
RM - La Cisterna	El Bosque	RM - San Joaquín	Parque O'Higgins
RM - La Florida	La Florida	RM - San Miguel	Parque O'Higgins

Comuna	Estación	Comuna	Estación
RM - La Granja	La Florida	RM - San Ramón	El Bosque
RM - La Pintana	El Bosque	RM - Santiago	Parque O'Higgins
RM - La Reina	Las condes	RM - Vitacura	Las Condes
RM - Las Condes	Las condes	II- Antofagasta	Antofagasta La Negra
RM - Lo Barnechea	Las condes	II - Calama	Calama Aukahuasi
RM - Lo Espejo	Cerrillos	V - Catemu	Catemu Santa Margarita
RM - Lo Prado	Pudahuel	V - La calera	Rural 1
RM - Macul	La florida	V - La cruz	La Cruz
RM - Maipú	Cerrillos	V - Quillota	Cuerpo Bomberos
RM - Ñuñoa - Pedro Aguirre Cerda	Parque O'Higgins	Vi - Machali	Coya Población

Fuente: elaboración propia

6.1.4 Efectos en salud: tasas bases

Para la valoración social y económica se consideraron los principales efectos en salud del O₃, incluyendo la mortalidad por causas agudas. Sólo se consideraron los efectos en salud que pueden ser cuantificados y valorizados monetariamente. La Tabla 6.3 6.3, muestra los 5 efectos en salud considerados, además de la población susceptible considerada en los cálculos del riesgo. Como tasa base para cada uno de los efectos en salud de preferencia se usaron datos nacionales y en forma secundaria tasas informadas en estudios anteriores.

Para el caso de la *Mortalidad Aguda*, la tasa base se obtuvo desde las bases de datos de "mortalidad" del Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS) del Ministerio de Salud específica para los casos de ocurrencia del año 2005; en el caso de las *Admisiones Hospitalarias por Causas Respiratorias* asociadas a todas las edades (0-99 años) y a sujetos mayores de 65 años (tercera edad), las tasas base también fueron extraídas de la base de datos del DEIS.

Para los efectos en salud relacionados con *Ataques de Asma*, la tasa base fue obtenida específicamente del documento de Ostro (Ostro, 1999) para toda la población asmática que se viera afectada; de igual manera, la tasa base para las *Visitas a Salas de Emergencia por Motivos Respiratorios* asociada a todas las edades (0-99 años) también fue extraída del mismo documento.

En el caso de los *Días de Actividad Restringida*, la tasa base asociada a la ocurrencia de este efecto en la población adulta fue extraída de Clean Air Act: 1999-2010 (EPA, 1999).

Y finalmente, para los índices de ocurrencia de las *Visitas a Salas de Emergencia por Asma* asociados a toda la población afectada (0-99 años, sin exclusión de asmáticos) la tasa base fue extraída del Clean Air Act: 1999-2010 (EPA, 1999)

Tabla 6.3. Efectos en salud considerados: Población susceptible y tasa base considerada

Efecto en salud	Población susceptible	Tasa Base	Fuente
Mortalidad Aguda	Todas	0,0056	DEIS 2005. (DEIS 2009)
Admisiones de hospital por causas respiratorias	Todas	0,011375	DEIS 2005. (DEIS 2009)
Visitas a sala de emergencia por motivos respiratorios	Todos	0,12906	(Ostro et al. 1999)
Ataques de asma	Asmáticos	48,11	(Ostro et al. 1999)
Días de actividad restringida	Adultos	4,00531	(EPA 1999)
Visitas a Sala de Emergencia por Asma	Todos	0,0055	(Ito 2005, Peel et al. 2005)

Fuente: elaboración propia

6.1.5 Estimados del riesgo en salud asociados a exposición (betas)

Como estimadores del riesgo en salud por exposición a O₃ se usaron los estimados usados en un estudio anterior hecho para 3 ciudades de América Latina, incluyendo Santiago, y el cual está disponible en la literatura internacional (Cifuentes et al. 2001), para los cuales se privilegiaron los valores obtenidos en estudios locales (de Chile) o de estudios en América Latina (por ejemplo, México).

La Tabla 6.4, muestra los estimados de riesgo usados en este estudio. Como estimado del efecto del O₃ en la mortalidad se usa un estudio realizado para la ciudad de Santiago (Cifuentes et al., 2001). Para el estimado del riesgo de admisión en hospital por causas respiratorias no se encontró datos de estudios en América Latina por lo que se usó un estimado agrupado de dos estudios realizados en América del Norte, uno en Toronto, Canadá (Thurston et al., 1994) y el otro en Buffalo, NY, EEUU (Thurston et al., 1992).

Para el estimado de visitas a sala de emergencia por causas respiratorias, el artículo de Cifuentes y col. utiliza un estimado agrupado de tres estudios, uno en México (Tellez-Rojo et al., 1997), otro en Montreal, Canadá (Delfino et al., 1997) y un tercero en Ontario, Canadá (Burnett et al., 1998). Sin embargo, el estudio en Montreal estima el efecto para la población mayor de 65 años por lo que no es adecuado para agrupar con lo demás. Por otra parte el estudio de Burnett (Burnett et al., 1998) no analiza hospitalizaciones sino mortalidad. Por lo tanto para el presente estudio solamente usamos el estimado del estudio hecho en México.

Por último para los efectos del O₃ en los ataques de asma y días de actividad restringida, no fue posible encontrar el artículo original citado en (Cifuentes et al, 2001) para la ciudad de Santiago, por lo que se usaron las referencias citadas para la ciudad de Nueva York. Esto no parece una gran pérdida ya que el artículo

de Dockery y col. (Dockery et al., 1989) era para población de EEUU, además las citas usadas para la ciudad de Nueva York han sido usadas con anterioridad en otros estudios encargados por CONAMA (SGA, 1999).

Tabla 6.4. Estimados de riesgo en salud por exposición a O₃ usados en este estudio

Contaminante	Efecto en salud	Rango de edad	Grupo	Período	Beta	Referencia
O ₃	Mortalidad Aguda	Todos	Todos	1 hora max diario	0,000219	(Cifuentes et al. 2000)
O ₃	Admisiones de hospital por causas respiratorias	Todos	Todos	1 hora max diario	0,0030616	Agrupado de (Thurston et al. 1992, Thurston et al. 1994)
O ₃	Visitas a sala de emergencia por motivos respiratorios	Todos	Todos	1 hora max diario	0,00188	(Tellez-Rojo et al. 1997)
O ₃	Ataques de asma	Todos	Asmáticos	1 hora max diario	0,0005068	(Whittemore and Korn 1980)
O ₃	Días de actividad restringida	Adultos	Todos	1 hora max diario	0,0022	(Ostro and Rothschild 1989)
SO ₂	Visitas a Sala de Emergencia por Asma	Todos	Todos	24 horas media	0,030692	(Ito 2007)
NO ₂	Visitas a Sala de Emergencia por Asma	Todos	Todos	24 horas media	0,002264	NYS DH 2006

Fuente: elaboración propia

6.2 Metodología de valorización social de los beneficios en salud

6.2.1 Consideraciones sobre las metodologías de valoración

La reducción en las concentraciones de contaminantes ambientales así como la disminución en la presentación de efectos en salud relacionados con aquella, son aspectos medibles. Sin embargo, para poder comparar los beneficios obtenidos con una mejora en los niveles de calidad del aire, es necesario estimar los costos sociales de los efectos en salud. Para ello existen ciertas metodologías que dan una aproximación en mayor o menor grado al valor de cierto efecto en salud.

De manera general se puede hablar de beneficios en salud que incluyen efectos en mortalidad y morbilidad.

En un análisis de costo beneficio ambiental, el valor monetario de un beneficio ambiental disfrutado por un individuo es la cantidad frente a la cual la persona es indiferente entre experimentar aquel beneficio o poseer el dinero.

En términos generales, existen dos modos de estimar los beneficios en salud: mediante el costo de la enfermedad (cost of illness, COI), o mediante la disponibilidad a pagar (DAP) por una mejora en salud (Cifuentes, 2005). Otra clasificación entrega distintos enfoques para clasificar los costos sociales de los efectos en salud, resumida a continuación (Holz 2000):

❖ **Estimación de costos asociados a mortalidad:**

- Metodología del capital humano: basado en el supuesto de que el valor de un individuo radica en el que éste produce, medido a través del salario que recibe.
- Modelo de salarios hedónicos: basado en la existencia de trabajos más agradables que otros, lo que marca diferencias en el salario percibido.
- Método de valoración contingente: forma de valoración directa basada en encuestas, en que se pregunta de distintas formas la disponibilidad a pagar por un bien ambiental.

❖ **Estimación de costos asociados a morbilidad:**

- Costos directos asociados con la enfermedad: costos médicos o de tratamiento asociados a las distintas enfermedades y pérdida de productividad que se produce debido a la enfermedad.
- Enfoque de los costos defensivos: estimación por medio de la contabilización de los gastos que se realizan para disminuir los riesgos.

En general, la cantidad requerida para compensar a una persona ante la exposición a un efecto adverso es muy similar a la que está dispuesta a pagar para evitar tal efecto, surgiendo el concepto de la Disponibilidad a pagar (DAP). Debido a la dificultad de monetarizar los bienes ambientales, dicho valor puede ser inferido a partir de comportamientos observados en la gente, como la compra de bienes para reducir el riesgo de mortalidad o morbilidad; o mediante el uso de encuestas que solicitan directamente la DAP ante una mejora ambiental.

Al sumar las DAP individuales para evitar pequeños incrementos en el riesgo de muerte, se puede inferir el valor estadístico de una muerte prematura evitada o “valor estadístico de la vida”, expresado en dólares por muerte evitada.

El costo de la enfermedad (COI), por otra parte, por lo general subestima el verdadero valor de evitar un efecto en salud. Ellos reflejan los gastos directos relacionados con el tratamiento y no así la utilidad que un individuo deriva de un estatus mejorado de salud o un efecto en salud evitado.

De acuerdo a Holz (Holz 2000), las consecuencias económicas de los efectos adversos en salud incluyen los siguientes factores:

- Costos de tratamiento médico.
- Salarios perdidos debido a la imposibilidad de trabajar.
- Gastos defensivos y actividades asociadas a disminuir la exposición a los contaminantes.
- Imposibilidad de realizar actividades de tipo recreativo.

Evidentemente existen importantes diferencias entre países, considerando su ingreso per cápita, su sistema de salud, entre otros factores. Ello implica que el análisis de valoración de beneficios en salud para cada una de aquellas realidades pueda ser bastante disímil.

Debido a ello, y con el fin de generar una visión más amplia en cuanto a los costos sociales de los efectos en salud, es preferible contar con distintos escenarios de valoración.

6.2.2 Escenarios de valoración.

El Acta del aire limpio 1990-2010, de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) de Estados Unidos, cuenta con una recopilación y análisis de diversos estudios, lo que entrega un importante escenario de referencia (EPA 1999). Los valores de este informe fueron luego transferidos a la realidad chilena, como será detallado más adelante, lo que constituye el segundo escenario de valoración.

Para la realidad nacional, que constituye el tercer escenario, se utilizaron los datos de un estudio a nivel local, llevado a cabo el año 2000, y que sirvió de fundamento para la valoración de los beneficios en salud como parte del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (Conama) (Holz 2000).

1) Escenario estadounidense: Clean Air Act 1990-2010

Se obtuvieron estimaciones de valoración a partir de los diversos estudios analizados por la EPA, de los cuales se obtiene un valor central para la valoración de cada uno de los beneficios y una distribución de probabilidades alrededor de ese valor. En la tabla sólo se muestra el valor medio central (Tabla 6.5).

Con el fin de actualizar los valores de este reporte, se utilizó la razón deflactoria estadounidense 2008/1990 (U.S.D.L.B.L.S. 2009), obteniendo así valores en dólares de 2008.

Como se puede observar, los análisis de este informe señalan a la disminución en el riesgo de mortalidad prematura como el efecto que lidera el total de los beneficios en salud, adjudicándosele el mayor valor en comparación a los otros efectos.

Siempre que fue posible se utilizaron estimaciones de la media de la DAP. En los casos en que ello no fue posible, se utilizó el costo de tratar o mitigar ese efecto como una estimación alternativa.

En cuanto a la mortalidad, se utilizó la valoración estimada de riesgo de muerte realizada por la EPA basada en diversos estudios de relevancia en políticas (EPA 1999). La EPA estimó el valor medio en USD 4.8 millones, que fueron actualizados a dólares del año 2008, utilizando la razón deflactoria ya mencionada.

2) Trasferencia a realidad chilena

Según lo expresado por Cifuentes (Cifuentes, 2005), muchas ciudades latinoamericanas no cuentan con estimaciones locales, y en tales casos es posible transferir los valores desde otras ciudades. Con el fin de transferir los valores del Clean Air Act a la realidad chilena, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Valor transferido} = \text{valor USA} * (\text{IPC Chile} / \text{IPC USA})^{\text{Elasticidad}}$$

Se utilizó un valor de 1 para la elasticidad de la demanda por salud, según lo previamente utilizado por Cifuentes (Cifuentes, 2005). De este modo, las diferencias en la valoración pueden ser explicadas primariamente por diferencias en los ingresos.

Tabla 6.5. Valoración de efectos en salud, tomados del Acta del Aire Limpio 1990-2010 (Environmental Protection Agency, USA).

Efecto en Salud	Valores originales, en 1990 USD	Valores actualizados, en 2008 USD (*)	Valores Transferidos a Chile, en 2008USD
Mortalidad	4.800.000	7.907.078,4	2.451.194,30
Admisiones hospitalarias por todas las causas respiratorias	6.900	11.366,43	3.523,59
Visitas a salas de emergencia por Asma	194	319,58	99,07
Ataques de Asma	32	52,71	16,34
Días de Actividad Restringida	73,72	121,44	36,65

(*) Actualización de valores según razón deflactoria estadounidense 2008/1990, fuente: <http://www.usinflationcalculator.com/inflation/consumer-price-index-and-annual-percent-changes-from-1913-to-2008/>

3) Escenario nacional

La metodología utilizada por Holz, corresponde a la de Costos de Enfermedad (Cost of Illness, COI, utilizando la metodología indirecta de estimación de

beneficios, permitiéndole de manera sencilla calcular los costos de la enfermedad para mortalidad prematura y morbilidad. En la etapa de valoración monetaria se aplicaron los enfoques de capital humano y costos de la enfermedad, para mortalidad y morbilidad respectivamente. Se debe considerar a estos valores como la cota inferior de los verdaderos costos, debido a lo mencionado anteriormente.

Mortalidad

Para mortalidad, Holz utilizó el enfoque de capital humano, utilizando datos como la probabilidad de fallecer para edades determinadas, y el valor presente esperado de los ingresos futuros (utilizando datos salariales para la región metropolitana), logrando así determinar salarios correspondientes a distintas edades.

Por su parte, Ortúzar (Ortuzar, Cifuentes and Williams 2000) obtuvo el valor de la DAP para disminuir el riesgo en mortalidad.

Por ser estudios realizados en Chile, los valores de ambos trabajos fueron actualizados a valores en dólares de 2008, mediante el uso de la razón deflactoria en nuestro país, para los años correspondientes a los datos de cada uno.

Morbilidad

Se consideraron los siguientes costos (Tabla 7.6):

- Costo de días de actividad restringida: se definen como días en que las actividades laborales de las personas se ven restringen debido a los efectos de la contaminación, existiendo diversas razones, como por ejemplo la necesidad de guardar reposo en cama.
- Costo unitario de una admisión hospitalaria por enfermedad respiratoria: incluye días de hospitalización, exámenes y medicamentos, considerando el perfil epidemiológico de los pacientes adultos.
- Costo unitario de una visita a sala de urgencia por enfermedad respiratoria: se utilizó información sobre la distribución de la población afectada por enfermedades respiratoria.
- Costo unitario de un ataque de asma: utilizando el perfil epidemiológico de pacientes adultos, se estimó este valor gracias a distintas prestaciones y medicamentos.

El detalle de los cálculos de los costos se encuentra en las referencias entregadas en la Tabla 5.6.

Tabla 6.6. Valoración de efectos en salud para el escenario nacional.

Efecto en Salud	Holz 2000, en 1998 USD	Ortúzar 2000, en 1999 USD	Escenario nacional propuesto, 2008 USD (*)
Mortalidad	-	521.360	968.325
Admisiones hospitalarias por todas las causas respiratorias	1.669	-	1.752
Visitas a salas de emergencia por motivos respiratorios	77	-	81
Ataques de Asma	172	-	181
Días de Actividad Restringida	16	-	17

(*) Actualización de valores según razón deflactoria nacional, fuente: http://si2.bcentral.cl/Basededatoseconomicos/951_455.asp?f=M&s=IPCG-Vr%25M-m

De acuerdo a este análisis, se obtiene 3 escenarios de valoración que se resumen en la Tabla 6.7:

Tabla 6.7. Resumen de escenarios de valoración en dólares de 2008.

Efecto en Salud	Clean Air Act, valores actualizados	Clean Air Act, valores transferidos a Chile	Escenario nacional propuesto
Mortalidad	7.907.078,	2.451.194	968.325,
Admisiones hospitalarias por todas las causas respiratorias	11.366	3.523	1.752
Visitas a salas de emergencia por motivos respiratorios /asma	319	99	81
Ataques de Asma	52	16	180
Días de Actividad Restringida	121	36	17

Fuente: elaboración propia

Consideraciones finales

Ninguna de las metodologías mencionadas y utilizadas en la estimación del presente trabajo está libre de problemas, presentando ventajas y desventajas.

En cuanto a la valoración del riesgo por mortalidad prematura, existen distintos factores que la afectan, como son si el riesgo de muerte se asume de manera voluntaria o involuntaria, las distintas valoraciones según el rango etario de la población, según su estado de salud, etc., factores que deben ser considerados al momento de estimar el valor estadístico de una vida. Por otra parte, hay que considerar los sesgos propios de la aplicación de una encuesta (fallas en diseño, sesgos de información, etc).

Frente a la morbilidad, por otro lado, una metodología completa de valoración debería incluir todos los aspectos anteriormente mencionados al momento de evaluar costos de una enfermedad, lo que por supuesto no es posible.

La valoración contingente, el cual es un método de preferencia hipotética basada en encuestas, consultando de distintas maneras la disponibilidad a pagar para obtener un bien ambiental o para evitar un perjuicio a un conjunto representativo de una población objetivo, conlleva distintos sesgos, entre los que destaca el sesgo de la hipótesis, consistente en que las personas no tiene mayores

incentivos para dar una respuesta correcta, entregando cifras de disposición a pagar sin una mayor reflexión.

A pesar de que lo ideal sería contar con información acerca de la disponibilidad de pago en el escenario nacional, tal metodología implica un elevado uso de recursos para el diseño de encuesta y el trabajo de campo, lo que aún no se ha realizado en nuestro país. Además de ello, según lo expresado por Holz (Holz 2000), los resultados de un estudio de ese tipo aplicado a un país como Chile serían inciertos, ya que probablemente la población carezca de las herramientas para responder a las preguntas, tales como información sobre los costos y beneficios, poca costumbre para valorar ese tipo de bienes, etc.

6.3 Resultados: riesgos en salud asociados a los niveles actuales de exposición.

En esta sección se presentan los resultados de casos evitados producto de la reducción en concentraciones de contaminantes asociadas a la incorporación de las normas propuestas. Los casos calculados para cada comuna separados por contaminante y efecto se muestran en la Tabla 6.8.

Se observa que la mayor cantidad de efectos se aprecian para O₃ en las comunas de Santiago. Esto se debe a la gran cantidad de población expuesta y a las altas concentraciones observadas.

Adicionalmente, se observan efectos por reducción en SO₂ en ciudades de la II y VI región impactadas por la industria de la minería.

Tabla 6.8. Casos evitables atribuibles a reducción en exposición a contaminantes asociados a implementación de normas propuestas.

Comuna	Población	O ₃ - Mortalidad Aguda	O ₃ - Admisiones de hospital por causas respiratorias	O ₃ - Visitas a sala de emergencia por motivos respiratorios	O ₃ - Ataques de asma	O ₃ - Días de actividad restringida	SO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma	NO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma
RM - CERRILLOS	71476	4	110	745	7276	18308	49	14
RM - CERRO NAVIA	143918	7	216	1472	14381	35710	99	27
RM - CONCHALÍ	122447	0	0	0	0	0	0	0
RM - EL BOSQUE	177712	9	282	1917	18702	46890	98	0
RM - ESTACIÓN CENTRAL	124259	7	209	1420	13832	35302	68	0
RM - HUECHURABA	82925	0	0	0	0	0	0	0
RM - INDEPENDENCIA	59078	0	0	0	0	0	0	0
RM - LA CISTERNA	79652	4	127	859	8383	20963	44	0

Comuna	Población	O ₃ - Mortalidad Aguda	O ₃ - Admisiones de hospital por causas respiratorias	O ₃ - Visitas a sala de emergencia por motivos respiratorios	O ₃ - Ataques de asma	O ₃ - Días de actividad restringida	SO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma	NO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma
RM - LA FLORIDA	390363	21	626	4250	41450	108493	186	0
RM - LA GRANJA	131727	7	211	1434	13987	34884	63	0
RM - LA PINTANA	202981	11	322	2190	21362	53444	112	0
RM - LA REINA	99701	7	210	1412	13655	35211	37	37
RM - LAS CONDES	278125	19	585	3939	38093	100228	105	103
RM - LO BARNECHEA	94409	6	198	1337	12930	32953	36	35
RM - LO ESPEJO	108800	6	167	1134	11076	26621	75	21
RM - LO PRADO	100617	5	151	1029	10054	25676	69	19
RM - MACUL	107890	6	173	1175	11456	29280	52	0
RM - MAIPÚ	663186	34	1017	6913	67511	171915	455	128
RM - ÑUÑO A	158667	9	267	1813	17662	44497	86	0
RM - PEDRO AGUIRRE CERDA	105910	6	179	1210	11790	28857	58	0
RM - PEÑALOLÉN	240470	13	386	2618	25534	64312	115	0
RM - PROVIDENCIA	126793	7	214	1449	14114	36763	69	0
RM - PUDAHUEL	239088	12	360	2445	23891	59895	164	45
RM - QUILICURA	244729	0	0	0	0	0	0	0
RM - QUINTA NORMAL	97333	5	146	995	9726	24195	67	18
RM - RECOLETA	138703	0	0	0	0	0	0	0
RM - RENCA	135939	0	0	0	0	0	0	0
RM - SAN JOAQUÍN	88620	5	149	1013	9865	24778	48	0
RM - SAN MIGUEL	76535	4	129	875	8520	21555	42	0
RM - SAN RAMÓN	91540	5	145	987	9634	24001	50	0
RM - SANTIAGO	184505	10	311	2109	20539	55746	100	0
RM - VITACURA	82977	6	174	1175	11365	30001	31	31
II - ANTOFAGASTA	296905	0	0	0	0	0	865	0
V - CATEMU	12112	0	0	0	0	0	31	0
V - LA CALERA	49503	3	81	548	5342	0	28	10
V - LA CRUZ	12851	1	20	139	1358	0	7	0

Comuna	Población	O ₃ - Mortalidad Aguda	O ₃ - Admisiones de hospital por causas respiratorias	O ₃ - Visitas a sala de emergencia por motivos respiratorios	O ₃ - Ataques de asma	O ₃ - Días de actividad restringida	SO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma	NO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma
V - QUILLOTA	75916	4	130	879	8553	0	42	15
VI - MACHALI	28628	0	0	0	0	0	53	0

Fuente: elaboración propia

6.4 Resultados: Valorización económica y social de los riesgos en salud asociados a los niveles actuales de exposición

Los costos sociales y económicos se calcularon asignando un costo estimado para cada caso de cada uno de los efectos en salud observados, según se detalló en la sección anterior. La Tabla 6.9, muestra la valoración de los beneficios sociales y económicos asociados a la implementación de las normas propuestas considerando las mediciones del año 2008 como base.

Tabla 6.9. Valoración de los beneficios sociales y económicos asociados a la implementación de las normas propuestas considerando las mediciones del año 2008 como base (en miles de USD).

Comuna	O ₃			SO ₂			NO ₂		
	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 1	Valor 2	Valor 3
RM - CERRILLOS	32619	10094	5404	16	5	0	4	1	0
RM - CERRO NAVIA	64418	19934	10674	31	10	0	9	3	0
RM - CONCHALÍ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM - EL BOSQUE	83815	25936	13888	31	10	0	0	0	0
RM - ESTACIÓN CENTRAL	62053	19201	10281	22	7	0	0	0	0
RM - HUECHURABA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM - INDEPENDENCIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM - LA CISTERNA	37561	11623	6224	14	4	0	0	0	0
RM - LA FLORIDA	186307	57647	30856	60	18	0	0	0	0
RM - LA GRANJA	62659	19389	10383	20	6	0	0	0	0
RM - LA PINTANA	95719	29620	15860	36	11	0	0	0	0
RM - LA REINA	61255	18954	10151	12	4	0	12	4	0
RM - LAS CONDES	171120	52947	28352	33	10	0	33	10	0
RM - LO BARNECHEA	57956	17934	9606	11	4	0	11	3	0
RM - LO ESPEJO	49501	15319	8205	24	7	0	7	2	0
RM - LO PRADO	45123	13962	7474	22	7	0	6	2	0
RM - MACUL	51407	15907	8516	16	5	0	0	0	0
RM - MAIPÚ	302905	93729	50178	145	45	0	41	13	0
RM - ÑUÑO A	79165	24497	13118	28	9	0	0	0	0
RM - PEDRO AGUIRRE CERDA	52740	16321	8742	18	6	0	0	0	0
RM - PEÑALOLÉN	114462	35419	18965	37	11	0	0	0	0
RM - PROVIDENCIA	63409	19620	10503	22	7	0	0	0	0
RM - PUDAHUEL	107086	33137	17742	52	16	0	14	4	0
RM - QUILICURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Comuna	O ₃			SO ₂			NO ₂		
	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 1	Valor 2	Valor 3
RM - QUINTA NORMAL	43572	13483	7220	21	7	0	6	2	0
RM - RECOLETA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM - RENCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM - SAN JOAQUÍN	44207	13679	7325	15	5	0	0	0	0
RM - SAN MIGUEL	38198	11820	6329	13	4	0	0	0	0
RM - SAN RAMÓN	43155	13354	7151	16	5	0	0	0	0
RM - SANTIAGO	92543	28633	15322	32	10	0	0	0	0
RM - VITACURA	51065	15800	8460	10	3	0	10	3	0
II - ANTOFAGASTA	0	0	0	276	86	0	0	0	0
V - CATEMU	0	0	0	10	3	0	0	0	0
V - LA CALERA	22310	6916	3738	9	3	0	3	1	0
V - LA CRUZ	5671	1758	950	2	1	0	0	0	0
V - QUILLOTA	35719	11073	5985	13	4	0	5	1	0
VI - MACHALI	0	0	0	17	5	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia

6.5 Resumen de capítulo

Se realizó un análisis de riesgo cuantitativo y varolación para las condiciones actuales de exposición a NO₂, SO₂ y O₃ en comunas de la RM, II, V y VI regiones.

Los riesgos más altos se encontraron por exposición a O₃ en las comunas de las RM. Esto se debe a la gran cantidad de población expuesta y a los altos niveles de O₃ observados en estas comunas. La morbilidad por SO₂ es alta en algunas comunas con un alto impacto de mineras.

Los riesgos fueron valorizados económica y socialmente usando 3 escenarios. Los mayores costos están asociados a la exposición a O₃ en las comunas de las RM dada la gran concentración de este contaminante, alta población expuesta y el alto impacto de los efectos en salud estimados, sobre todo el aumento en la mortalidad aguda.

7 REVISIÓN DE LAS PRINCIPALES FUENTES EMISORAS DE DIÓXIDO DE AZUFRE, OZONO, DIÓXIDO DE NITRÓGENO Y MONÓXIDO DE CARBONO. ESTIMACIÓN DE LOS POTENCIALES DE REDUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza una revisión general de las principales fuentes de los contaminantes relativos a las normas de calidad analizadas. Además se establece una aproximación al potencial de reducción de emisiones para las diversas fuentes. En este análisis se ha revisado el potencial de reducción de emisiones de Dióxido de Azufre para las fundiciones de cobre y para las termoeléctricas, el potencial de reducción de emisiones para Dióxido de Nitrógeno en centrales termoeléctricas y fuentes móviles, el potencial de reducción de emisiones para monóxido de carbono en fuentes móviles y una descripción de la formación de Ozono en la atmósfera. Adicionalmente, se describirán estrategias de disminución de emisiones primarias de los contaminantes en cuestión, además de precursores de Ozono.

7.1 Emisiones y potencial de reducción de Dióxido de Azufre (SO₂)

El Dióxido de Azufre es un gas incoloro de olor acre. Bajo presión (mayor o igual a 3 bar) es un líquido y se disuelve fácilmente en agua. En el aire se origina principalmente de actividades tales como quema de carbón o aceite en centrales eléctricas o de la fundición del cobre. En la naturaleza, puede ser liberado al aire en erupciones volcánicas. Cuando se libera al medio ambiente el Dióxido de Azufre pasa al aire, en este puede convertirse en ácido sulfúrico, anhídrido sulfúrico y sulfatos. El Dióxido de Azufre se disuelve en agua y puede formar ácido sulfuroso.

7.1.1 Fundiciones de cobre

En el país, las emisiones de Dióxido de Azufre a la atmósfera están relacionadas principalmente con los procesos de fusión y refinación de cobre. Específicamente durante la quema de combustibles fósiles en la tostación, sintetización, fusión, conversión o refinado del metal sulfuroso (este último da cuenta de las mayores emisiones).

A nivel nacional existen siete fundiciones, de las cuales cinco se encuentran en zonas que han sido sometidas a planes de descontaminación ambiental (PPDA) debido a las deficientes condiciones de calidad de aire. A continuación una breve descripción del estado actual del nivel de emisiones de las fundiciones mencionadas.

7.1.1.1 Fundición Chuquicamata.

La fundición Chuquicamata, perteneciente a la división Codelco Norte de Codelco Chile, se ubica en la II Región de Antofagasta en la comuna de Calama.

El PPDA para la zona circundante a la fundición Chuquicamata en el año 2001, estableció el límite de emisiones anual de 56.600 ton/año de SO₂. Este límite se determinó considerando la relación entre niveles de emisión total y niveles de concentración de calidad de aire para anhídrido sulfuroso, a partir de datos históricos entre 1995 y 1999. Este análisis estipuló que para cumplir la norma primaria anual de calidad de aire de 31 ppb [80 µg/Nm³], considerando distintas condiciones meteorológicas, la emisión de SO₂ debería fluctuar entre 144.000 y 75.000 ton/año. Asimismo, para cumplir la norma primaria diaria de calidad de aire de 139 ppb [365 µg/Nm³], la emisión debiera fluctuar entre 58.000 y 52.000 ton/año¹⁶⁰.

La actual norma promulgada en 2002, introduce una modificación a la norma anterior en cuanto los límites para la norma de calidad de aire como concentración de 24 horas restringiéndose a 838 ppb [250 µg/Nm³]¹⁶¹.

Durante el período 2001-2004 la fundición Chuquicamata cumplió con el nivel de emisiones establecido en el plan de descontaminación. No así en el año 2005 cuando el límite fue levemente superado. Las condiciones de calidad de aire como concentración de 24 horas y como promedio anual presentaron durante este período una mejoría llegando a estar por debajo de los límites los años 2004 y 2005¹⁶².

Es así como, el año 2005, se le quita la denominación de zona saturada y se declara zona latente en norma de 24 horas de anhídrido sulfuroso. A partir de ese año las emisiones han presentado un aumento, como se muestra en la Figura 7.1.

¹⁶⁰ Plan de descontaminación zona circundante fundición Chuquicamata

¹⁶¹ PDA zona de Chuquicamata año 2001

¹⁶² Informe seguimiento plan de descontaminación de Chuquicamata año 2005.

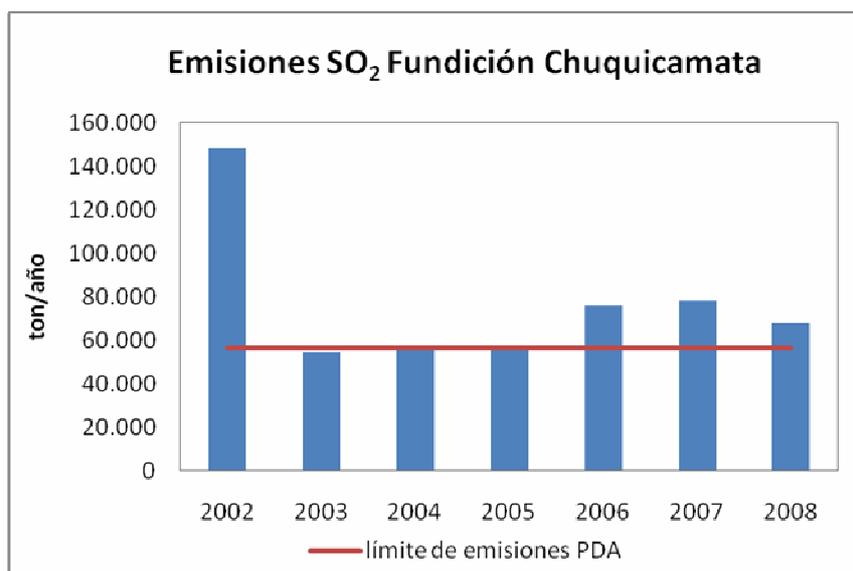


Figura 7.1. Emisión Fundición Chuquicamata periodo 2002-2008 de SO₂

Fuente: Elaboración propia en base a informe seguimiento plan descontaminación Chuquicamata año 2005 e "Informe de Sustentabilidad, Codelco, 2008.

7.1.1.2 Fundición Potrerillos.

La fundición Potrerillos, perteneciente a la división El salvador de CODELCO Chile, se ubica en la III Región de Atacama en la comuna de Diego de Almagro.

El área circundante a la fundición Potrerillos fue declarada zona saturada, en 1997, para los contaminantes Dióxido de Azufre (SO₂) y para material particulado (MP). En el año 1999 mediante un PDA para el área circundante a la fundición de Potrerillos se impuso restricciones graduales a las emisiones de la fundición, limitándolas a 352.000 toneladas anuales para 1999, a 100.000 toneladas anuales a partir de 2000 y cumplimiento de la norma de calidad de aire a partir de 2003.

Estos límites de emisiones se establecieron considerando estudios que relacionaban los niveles de emisiones y los niveles de calidad de aire, con los que se estimó que para un nivel de emisiones de 100.000 ton/año de SO₂ se tiene una probabilidad 76% de cumplimiento de la norma primaria anual y una probabilidad de 86% de cumplir la norma diaria¹⁶³. En la Figura 7.2 7.2, se presenta la evolución de las emisiones de la fundición Potrerillos.

¹⁶³ PDA área circundante fundición Potrerillos.

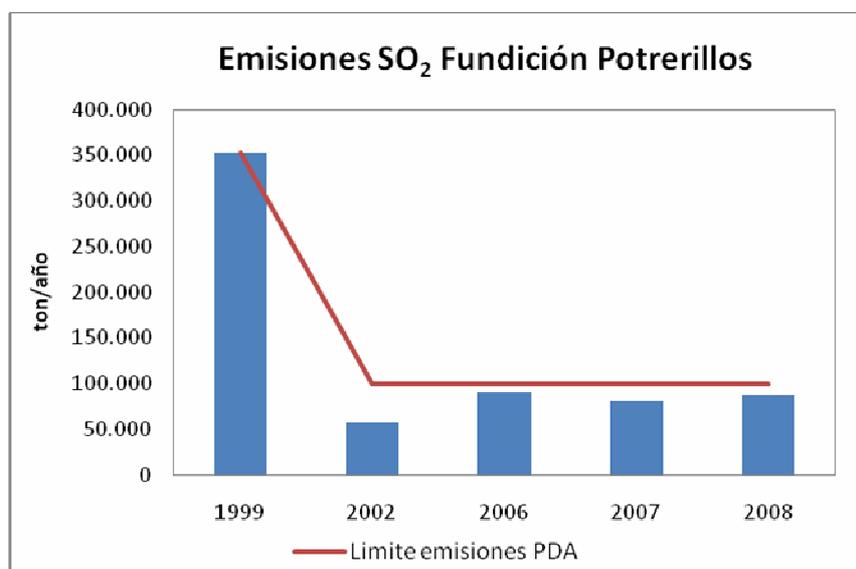


Figura 7.2. Emisión fundición Potrerillos periodo 1999-2008 de SO₂

Fuente: Elaboración propia en base a PDA área circundante fundición Potrerillos e "Informe de Sustentabilidad, Codelco, 2008".

7.1.1.3 Fundición Hernán Videla Lira.

La fundición Hernán Videla Lira de la empresa nacional de minería ENAMI se encuentra ubicada en la comuna de Copiapó, III Región de Atacama.

El área circundante a esta fundición, comunas de Tierra amarilla y Copiapó y localidades de San Fernando, fue declarada zona saturada para Dióxido de Azufre en 1993. Conforme al plan de descontaminación ambiental, las emisiones de la fundición debieron restringirse a partir de 1995, teniendo límites mensuales diferenciados para el periodo de mejores y peores condiciones climáticas. Además, en el PDA, se establece el cumplimiento de la norma de calidad ambiental a partir del año 2000.

Las emisiones de la fundición durante el periodo 1995-2004 se han mantenido por debajo de la restricción impuesta en el PDA. Esta evolución de las emisiones se muestra en la Figura 7.3.

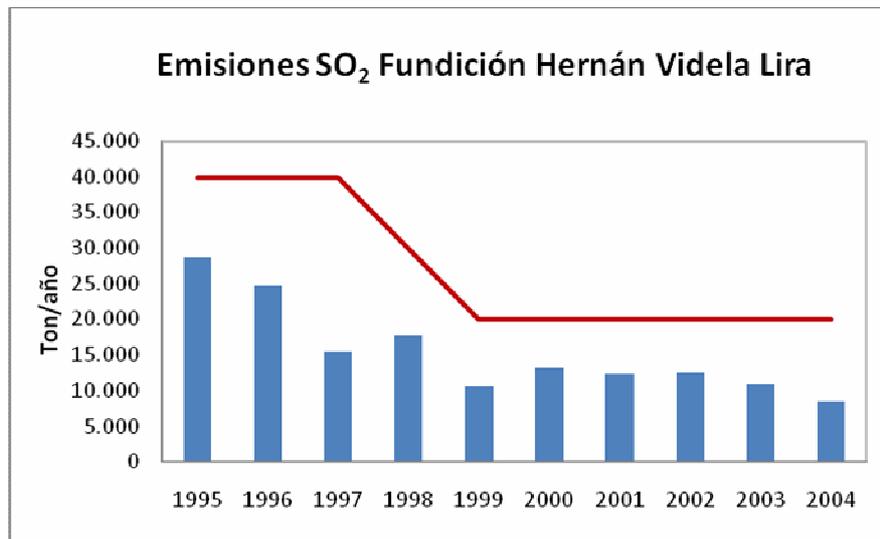


Figura 7.3. Emisiones fundición Hernán Videla Lira periodo 1995-2004 de SO₂

Fuente: Elaboración propia en base a información de "Resultados del Plan de descontaminación de la fundición Hernán Videla Lira".

Las condiciones de calidad de aire como concentración anual y diaria de Dióxido de Azufre, tras el PPDA, han logrado mantenerse dentro de norma en todas las estaciones de monitoreo a partir del año 1997¹⁶⁴.

7.1.1.4 Fundición Caletones.

La fundición Caletones, perteneciente a la división El teniente de CODELCO Chile, se ubica en la comuna de Machalí, VI región del Libertador Bernardo O'Higgins.

El área circundante a la fundición, comunas de Mostazal, Machalí, Requinoa y Codegua, fue declarada zona saturada para anhídrido sulfuroso y material particulado en el año 1994.

En el año 1998 el PDA de Caletones estableció restricciones graduales a las emisiones de anhídrido sulfuroso limitándolas a 230.000 toneladas anuales a partir de 2001. Este límite de emisiones se determinó considerando la relación entre niveles de emisión y niveles de calidad de aire, la que establecía que para ese nivel de emisiones en Coya Club de Campo se obtendrían niveles de concentración de anhídrido sulfuroso bajo la norma de calidad primaria anual y en Coya Poblacional se obtendrían niveles de concentración de anhídrido sulfuroso inferiores a las normas de calidad primaria y secundarias de anhídrido sulfuroso.

¹⁶⁴ Resultados del plan de descontaminación de la fundición Hernán Videla Lira.

Revisiones posteriores del cumplimiento del PDA han determinado el cumplimiento de las normas primarias diarias y anuales de calidad de aire en el periodo 2001-2005, con lo que se ha expuesto la solicitud de levantamiento de la denominación de zona saturada para anhídrido sulfuroso.

Las emisiones de la fundición en el periodo 2001-2008 se han mantenido por debajo del límite impuesto en el PDA, como se muestra en la siguiente figura.

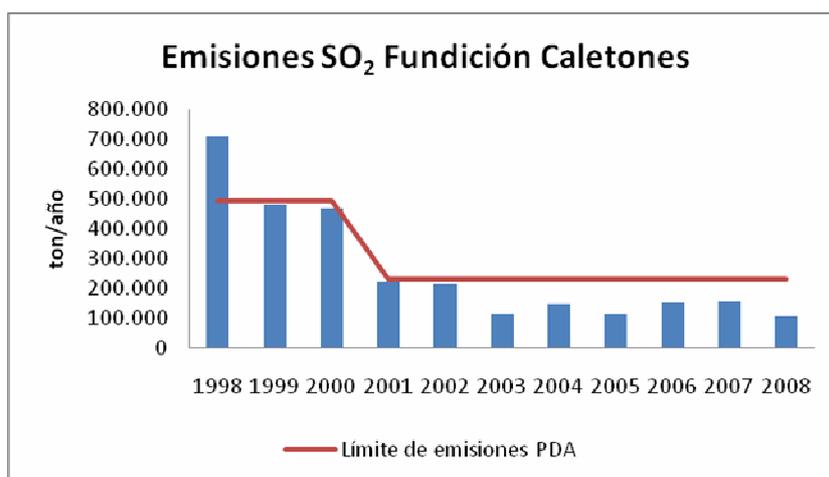


Figura 7.4. Emisión fundición Caletones periodo 1998-2008 de SO₂

Fuente: Elaboración propia en base a Plan de descontaminación de área circundante fundición Caletones e "Informe de Sustentabilidad, Codelco, 2008".

7.1.1.5 Refinería y Fundición Ventanas.

La Refinería y fundición Ventanas, perteneciente a la división Ventanas de CODELCO Chile, está ubicada en la comuna Puchuncaví, V región de Valparaíso. La refinería y fundición Ventanas junto con la termoeléctrica Ventanas de Aes Gener conforma el complejo industrial ventanas.

En 1993 la zona circundante al complejo industrial Ventanas, comunas de Puchuncaví y quinteros, es declarada zona saturada para anhídrido sulfuroso y material particulado.

En 1992 se estableció mediante el PDA para el complejo industrial ventanas, límites a las emisiones de anhídrido sulfuroso tanto para la fundición como para la termoeléctrica. Para las emisiones de la fundición se impuso gradualidad en la limitación de las emisiones, llegando a una meta de 45.000 toneladas anuales al año 1998. Durante el periodo 1993-2005 la fundición ventanas cumplió con el nivel de emisiones establecido en el plan de descontaminación. Las condiciones de calidad de aire, como concentración de 24 horas y como promedio anual de la

norma primaria, presentaron, durante este periodo, una mejoría llegando a estar por debajo de los límites a partir de los años 2003 y 2002¹⁶⁵, respectivamente. No así las normas secundarias de calidad ambiental de SO₂ que durante todo el periodo se han mantenido sobre la norma vigente.

A continuación, se muestra la evolución de las emisiones de la fundición Ventanas, como se puede apreciar estas se han mantenido por debajo de los límites establecidos durante todo el periodo 1993-2008.

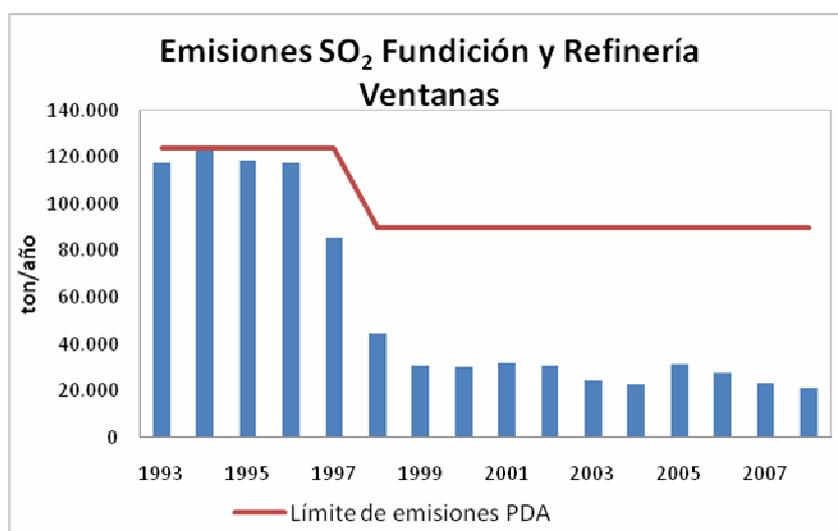


Figura 7.5. Emisión fundición y refinería Ventanas periodo 1993-2008.

Fuente: Elaboración propia en base a información de Informe "Evaluación plan de descontaminación del complejo industrial las ventanas 1993-2005" e "Informe Sustentabilidad, Codelco, 2008".

7.1.1.6 Potencial de reducción emisiones de Dióxido de Azufre asociado a fundiciones

Para obtener el potencial de reducción de emisiones del sector, se ha considerado la eficiencia de las distintas fundiciones en cuanto a emisiones de SO₂ por tonelada de concentrado de cobre procesado. En este análisis se ha incluido, además, a las fundiciones de Chagres y Alto Norte (fundiciones no sometidas a planes de descontaminación). En la Tabla 7.1, se presenta las emisiones de SO₂ para las distintas fundiciones estudiadas.

¹⁶⁵ Informe de evaluación plan de descontaminación del complejo industrial las ventanas 1993-2005.

Tabla 7.1. Emisiones de Dióxido de Azufre fundiciones

Fundición	Emisiones de SO ₂ [ton/año]	Concentrado [ton/año]
Chagres	5.754	538.200
Paipote	8.560	325.000
Chuquicamata	67.620	1.74.000
Ventanas	21.320	471.258
Alto norte	56.510	1.077.007
Caletones	10.980	1.230.000
Potrerosillos	86.890	750.000

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la capacidad de procesamiento y la información de las emisiones de SO₂ para las distintas fundiciones analizadas, se ha estimado un factor de eficiencia para cada una de ellas. La información se muestra en la Tabla 7.2 7.2, donde se han puesto las fundiciones en orden decreciente de eficiencia.

Tabla 7.2. Eficiencia producción-emisiones de SO₂

Fundición	Eficiencia [kg SO ₂ /ton concentrado]
Chagres	10,69
Paipote	26,34
Chuquicamata	38,84
Ventanas	45,24
Alto norte	52,47
Caletones	87,79
Potrerosillos	115,85

Fuente: Elaboración propia.

En base a esto se ha estimado un potencial de reducción considerando que todas las fundiciones pudieran llegar a la eficiencia en cuanto a nivel de emisiones de la fundición mejor posicionada, Chagres. La Tabla 7.3 7.3, muestra este potencial de reducción de emisiones como toneladas anuales y como porcentaje.

Las medidas recomendadas por el Banco Mundial¹⁶⁶ para controlar las emisiones de Dióxido de Azufre se presentan a continuación:

1. Procesar (fijar) el azufre para su almacenamiento seguro y/o uso como producto (por ejemplo, ácido sulfúrico, Dióxido de Azufre líquido, fertilizante y azufre elemental).
2. Considerar tecnologías que reduzcan los volúmenes de gases y aumenten la concentración de SO₂ en las corrientes de salida, para alcanzar

¹⁶⁶ Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fusión y refinado de metales.

- concentraciones mayores a 7% de manera de mejorar la recuperación de azufre (ejemplo, uso fusión Flash).
3. Implementar sistemas de control del proceso para garantizar un funcionamiento ordenado y dentro de márgenes aceptables de variabilidad.
 4. Instalar procesos de depuración que eliminen el SO₂ de las corrientes con baja concentración (menores a 7%).
 5. Mantener operaciones dentro de lugares cerrados para prevenir las emisiones fugitivas.
 6. Utilizar el tratamiento previo (por ejemplo, flotación) para eliminar el sulfuro no deseado y reducir el azufre en la alimentación.
 7. Utilizar combustible (por ejemplo, gas natural en lugar de fuel oil pesado o coque) y materias primas con poco azufre.

Tabla 7.3. Potencial de reducción de emisiones fundiciones

Fundición	Emisiones actuales de SO ₂ [ton/año]	Reducción de emisiones [ton/año]	[%]
Chagres	5.754	-	0
Paipote	8.560	5.085	59
Chuquicamata	67.620	49.007	72
Ventanas	21.320	16.282	76
Alto norte	56.510	44.995	80
Caletones	107.980	94.830	88
Potrerrillos	86.890	78.872	91
Total	354.634	289.071	82%

Fuente: Elaboración propia.

Algunas de estas recomendaciones han sido exitosamente aplicadas por las fundiciones nacionales. En Chagres los gases de fusión y de conversión son tratados en una planta de ácido sulfúrico, además se utiliza hornos Flash, tecnología que permiten disminuir el volumen de gases mediante la utilización de oxígeno, para mejorar el proceso de fijación de azufre. Por su parte, las fundiciones Caletones y Paipote han cambiado sus hornos reverberos por tecnologías más eficientes. La Fundición Ventanas ha introducido hornos eléctricos y una planta de ácido sulfúrico para tratamiento de gases. En la Tabla 7.4, se muestra el nivel tecnológico actual de las fundiciones de cobre.

Las nuevas tendencias de desarrollo tecnológico a nivel internacional promueven la construcción de nuevas fundiciones con tecnología Flash Outokumpu y Ausmelt (Asia, China e India) con incorporación de sistemas de captación de gases fugitivos y reemplazo de procesos batch por procesos continuos.

Tabla 7.4. Tecnologías de fusión, conversión y refinación de cobre utilizadas por las fundiciones

Compañía	Fundición	Fusión	Tratamiento de escorias	Conversión	Refinación de cobre
Codelco	Chuquicamata	1 flash+ 1 CT	1 h. eléctrico +1 HTE	4 CPS	6 H. Ánodos+ 2 H. Scrap
	Potrerrillos	1 CT	3 HTE	3 CPS	2 H. Ánodos
	Ventanas	1 CT	1 h. eléctrico	3 CPS	2 Reverberos + 1 H. ánodos
	Caletones	2 CT	4 HTE	3 CPS	3 H. Ánodos y 3 H. RAF
Enami	Paipote	1 CT	1 h. eléctrico	1 CPS	1 H. Ánodos
Xstrata	Alto Norte	1 Noranda	Flotación	2 CPS	3 H. Ánodos
Anglo american	Chagres	1 flash	Flotación + 2 HTE	2 CPS	2 H. Ánodos

Donde: CT: Convertidor teniente; Flash: Horno flash; CPS: convertidor Pierce Smith; HTE: horno recuperación de escorias. Fuente: Fundiciones de cobre "Tecnologías, desafíos y proyecciones del negocio de las fundiciones". Juan Carlos Vargas A. Jefe Planificación y control de la producción, Fundación Hernán Videla Lira. ENAMI

7.1.2 Termoeléctricas

Otra gran fuente de emisiones de Dióxido de Azufre es el sector Termoeléctrico, en la quema de combustible para los procesos de generación de energía. El año 2008 las emisiones de SO₂ bordearon las 110.000 toneladas de SO₂. De estas emisiones entorno al 90% pertenece a emisiones de centrales térmicas a vapor. En la Tabla 7.5, se presentan las emisiones de SO₂ disgregadas por tipo de tecnología de combustión.

Tabla 7.5. Emisiones de Dióxido de Azufre centrales termoeléctricas

Tecnología	Emisiones SO ₂ [ton/año]
Vapor	98.282
Turbina a gas	5.752
Ciclo combinado	1.323
Total	105.358

Fuente: AGIES norma de emisiones para termoeléctricas.

Para el control de emisiones de Dióxido de Azufre uno de los más significativos y simples cambios a nivel operacional, es la utilización de combustibles con menor contenido de azufre, lo que es factible dado el bajo contenido de azufre presente en el carbón a nivel nacional (<1%). En el caso del diesel este en la actualidad posee un contenido máximo de azufre de 350 ppm a nivel país.

Otra modificación al proceso de combustión es la implementación de lecho fluidizado para las calderas de vapor, esta implementación permite la

desulfurización integrada mediante la inyección de caliza en el lecho, lo que tiene eficiencias entre un 80% y 90%¹⁶⁷.

Para el abatimiento de Dióxido de Azufre existen las siguientes tecnologías de control secundario:

a) Desulfurización de gases vía húmeda.

En la desulfurización por vía húmeda, los gases de combustión se saturan con agua y la piedra caliza actúa como reactivo, para la transformación de azufre en fase gaseosa (SO_2) a yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La eficiencia de remoción puede llegar hasta un 98%.

Los costos operacionales están fuertemente influidos por la facilidad con la que se consigue el reactivo, por el alto consumo de agua y por el tratamiento posterior de las aguas residuales (venta o disposición de subproducto). El costo operacional, como consumo de energía, está entre el 1-2% de la energía generada.

b) Desulfurización en seco con humidificación controlada.

En este método de desulfurización, se utiliza la cal (CaO) como reactivo para la transformación de azufre gaseoso a azufre en fase sólida (CaSO_3) obteniéndose además, como residuos, mezcla de cenizas volantes y aditivos sin reaccionar. La eficiencia de remoción puede llegar hasta el 94% (menor a la eficiencia por vía húmeda) y el costo operacional, como consumo de energía, va entre el 0.5-1% de la energía generada, menor al consumo por vía húmeda, siendo en este caso mayor el precio del reactivo.

c) Desulfurización con agua de mar.

Este método utiliza la capacidad del agua de mar para absorber y neutralizar el Dióxido de Azufre llevándolo a la forma de sulfatos disueltos.

El agua de mar está disponible en grandes cantidades en las plantas costeras y es utilizada como agua de enfriamiento en los condensadores. Luego de pasar por los mismos, el agua de mar se reutiliza para controlar las emisiones de SO_2 . La absorción del SO_2 ocurre en una torre empacada, donde parte del agua de enfriamiento utilizada y el gas, en contracorriente, se ponen en contacto. No se necesita agregar ningún tipo de químico ni reactivo adicional. El agua de mar es alcalina por naturaleza, y tiene una gran capacidad de neutralización de los ácidos formados por la absorción del SO_2 .

El efluente absorbido ácido fluye por gravedad hasta la planta de tratamiento de agua de mar. Allí se mezcla con el resto del agua de mar proveniente de los condensadores y se oxida hasta que el azufre toma la forma de sulfato (SO_4^{2-}),

¹⁶⁷ Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para plantas de energía térmica 2008, Banco Mundial.

inocuo y soluble. Esta oxidación se produce por una aireación, antes que el agua tratada sea devuelta al mar.

El agua residual es arrojada al mar, por lo que es necesario examinar cuidadosamente el impacto sobre el medio marino en cuanto a reducción de pH, vertido de restos de metales pesados, cenizas volantes, temperatura, azufre, oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno.

Esta tecnología alcanza eficiencias de hasta 97% y tiene consumo de energía entre un 0.7% y un 1% de la energía generada.

Para el control de emisiones de Dióxido de Azufre se dispone de los tres sistemas de desulfurización mencionados anteriormente (húmeda, de humidificación controlada y de agua de mar). Estos métodos pueden ser utilizados en centrales dependiendo del nivel de azufre en el combustible que poseen¹⁶⁸, para el caso de la desulfurización de agua de mar el contenido de azufre debe ser menor a 1,5% si se trata de una central carbonera y menor a 2,5% si se trata de una central que utilice Fuel Oil.

Para obtener el potencial de reducción de emisiones se ha considerado tres tecnologías de abatimiento, desulfurización húmeda, de humidificación controlada y de agua de mar. La reducción de emisiones se muestra en la Tabla 7.6, en esta se ve que la menor reducción de emisiones se da al utilizar la desulfurización de agua de mar, esto se debe principalmente a que esta tecnología no puede ser utilizada en cualquier tipo de unidad generadora. En este caso sólo se ha aplicado a las unidades de vapor debido a que estas se encuentran ubicadas en las cercanías al mar y a que el contenido de azufre en el combustible utilizado es menor a 1.5%.

Tabla 7.6. Potencial de Reducción de Emisiones Dióxido de Azufre

Tecnología	Reducción de emisiones [ton/año]	[%]
DGC húmedo	103.256	98%
DGC semiseco	99.042	94%
DGC agua de mar	95.312	90%

Fuente: Elaboración propia.

7.2 Emisiones y potencial de reducción de Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

El Dióxido de Nitrógeno es producido directa o indirectamente por la quema de combustibles a altas temperaturas. En el proceso de combustión, el nitrógeno

¹⁶⁸ Tecnologías de Desulfurización de ALSTOM: Reduciendo emisiones de óxidos de azufre en plantas de generación de energía. Alain Bill, Paris, Francia. Svein-Ole Strommen, Oslo, Noruega.

(contenido en el combustible y en el aire) se oxida para formar principalmente ácido nítrico y en menor proporción Dióxido de Nitrógeno. El Óxido Nítrico se transforma en Dióxido de Nitrógeno mediante reacciones que suceden en presencia de smog fotoquímico. A su vez, el Dióxido de Nitrógeno puede combinarse con compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar para formar Ozono, así como con agua para formar ácido nítrico y nitratos.

Las principales fuentes de NO_x son los automóviles, las centrales eléctricas y otras fuentes industriales, comerciales y domésticas que queman combustibles a altas temperaturas.

En el país, al año 2005, del total de emisiones de Óxidos de Nitrógeno un 55% correspondía a fuentes fijas y un 45% a emisiones de fuentes móviles, como se muestra en la Tabla 7.7, construida en base a información de inventario de emisiones 2005 construido en base a información recopilada de CENMA, SECTRA, DICTUC y CONAMA.

Tabla 7.7. Distribución de emisiones de NO_x por fuente de origen.

Fuente	Emisiones NO _x [ton/año]	[%]
Fuentes Fijas	120.737	55%
Fuentes móviles	97.654	45%
Fuentes fugitivas	-	0%
Total emisiones	218.391	100%

Fuente: Elaboración propia en base a recopilación de información inventarios de emisiones 2005 (Estudio CONAMA 2006, SECTRA 2004, 2005 y 2006, DICTUC 2007 y 2008)

7.2.1 Fuentes fijas

Las emisiones de NO_x provenientes de fuentes fijas corresponden fundamentalmente a emisiones es el sector termoeléctrico. De acuerdo con el Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Atmosféricas provenientes del D.S. 138/2005 MiNSAL e inventarios de Emisiones provenientes de CONAMA, para el año 2006, a nivel nacional se emitieron un total de 80.174 ton NO_x/año, siendo la VIII Región aquella que registró un mayor aporte con un 31%, equivalente a 24.730 ton NO_x/año, seguido de la Región Metropolitana con 16% de las emisiones de NO_x a nivel nacional.

7.2.2 Potencial de reducción de emisiones del sector termoeléctrico

El sector termoeléctrico es una fuente importante de Material Particulado, Óxidos de Azufre y Óxidos de Nitrógeno. Las emisiones del sector al año 2008 bordearon las 45.000 toneladas, de ellas el 75% corresponde a emisiones de centrales de turbinas a vapor. El detalle de las emisiones según tipo de unidad generadora se muestra en la Tabla 7.8.

Tabla 7.8: Emisiones anuales sector termoeléctrico¹⁶⁹.

Tecnología	Emisiones NOx [ton/año]	[%]
Vapor	34.870	75%
Turbina a gas	3.929	8%
Ciclo combinado	7.533	16%
Total	46.529	100%

Fuente: Informe de avance AGIES norma de emisiones para termoeléctricas.

La formación de Óxidos de Nitrógeno puede controlarse mediante modificación del funcionamiento y del diseño de los procesos de combustión. Algunas de las modificaciones pueden ser el uso de quemadores Low NOx (35%-55% de remoción¹⁷⁰), recirculación de gases y combustión con bajo exceso de aire, en el caso de las calderas. Para las turbinas, es posible utilizar inyección de agua en la combustión, disminuyendo así la temperatura e inhibir la formación de Óxidos de Nitrógeno.

Para el abatimiento de los Óxidos de Nitrógeno existen las siguientes tecnologías¹⁷¹:

a) Sistema de reducción selectiva catalítica (SCR).

En este equipo de abatimiento, los Óxidos de Nitrógeno son reducidos químicamente a nitrógeno molecular (N₂) y vapor de agua (H₂O) mediante la utilización de urea o amoníaco. Para este proceso se utiliza un catalizador, el que permite una mayor eficiencia de remoción (80-90%) al permitir la reacción a menores temperaturas. Los catalizadores pueden contener metales pesados, razón por la cuál es necesario el manejo, desecho reciclaje adecuado de los que ya han terminado su vida útil.

Este sistema tiene un consumo pequeño de energía, en torno al 0.5% de la energía generada.

b) Sistema de reducción selectiva no catalítica (SNCR).

Al igual que el SCR, este sistema reduce la emisión de Óxidos de Nitrógeno mediante la reducción química de estos a N₂ y H₂O, utilizando urea o cal como reactivos. Sin embargo, en este caso no es utilizado un catalizador llegando de esta forma a eficiencias de entre 30% y 50%. Debido a que no se usa un catalizador, la reacción no se da a temperaturas bajas, razón por la cual no es recomendable usar en centrales de generación del tipo motor de combustión interna y del tipo turbina a gas.

El potencial de reducción de emisiones se ha estimado considerando la reducción de emisiones tras el uso de quemadores Low NOx, SCR y SNCR. Para el caso de

¹⁶⁹ Fuente: Informe de avance AGIES norma emisión para termoeléctricas, KAS Ingeniería- GEO aire.

¹⁷⁰ AP-42, 5ª Edition, "External combustion sources", "Bituminous and Sub bituminous Coal Combustion".

¹⁷¹ Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para plantas de energía térmica 2008, Banco Mundial

las calderas a vapor es posible el uso tanto de quemadores Low NO_x como de sistemas de reducción selectiva (SCR) y (SNCR). Para turbinas a gas y ciclos combinados se ha considerado sólo el uso de SCR. Con esto se ha obtenido un potencial de reducción de emisiones, que se muestra en la Tabla 7.9.

Tabla 7.9. Potencial de reducción de emisiones Óxidos de Nitrógeno.

Tecnología	Reducción de emisiones [ton/año]	[%]
SCR	44.203	95%
SNCR	17.435	37%
Quemadores Low NO _x	16.210	35%

Fuente: Elaboración propia.

7.2.3 Fuentes móviles.

Como se describió anteriormente, el 45% de las emisiones de NO_x corresponde a emisiones de fuentes móviles. La distribución de las emisiones según tipo de fuente al año 2005, se muestra en la Figura 7.6, en ella se ve que entorno al 50% de las emisiones son producidas por vehículos livianos.

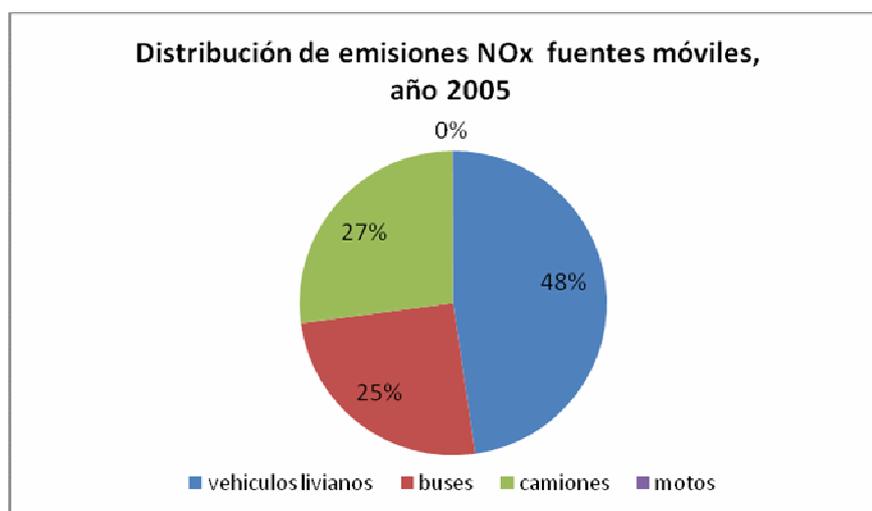


Figura 7.6: Distribución de emisiones de NO_x, según tipo de fuente móvil

Fuente: Inventario 2005 construido en base a información recopilada de CENMA, SECTRA, DICTUC y CONAMA.

A nivel nacional, al año 2005, se tenía un total aproximado de 2.5 millones de automóviles¹⁷², de ellos el 43% correspondía a la región Metropolitana. A nivel nacional cerca del 45% del parque automotriz no tenía catalizador, siendo la región Metropolitana, la región con menos porcentaje de no catalíticos (30%) y la región de Tarapacá, la con el mayor porcentaje de vehículos no catalíticos (70%).

¹⁷² Fuente: Parque de vehículos en circulación 2005 INE

Al año 2008, el parque de vehículos en circulación llega a 3 millones de automóviles¹⁷³, el porcentaje de ellos perteneciente a la región metropolitana se ha mantenido (43%). A nivel nacional el porcentaje de vehículos no catalíticos ha disminuido, llegando al 20%.

En la Figura 7.7, se muestra la distribución del parque vehicular para los años 2005-2008 en la región Metropolitana. En la figura se observa un aumento de la cantidad de vehículos catalíticos (52%) y una disminución de los vehículos no catalíticos (51%).

En la Figura 7.8 se muestra la distribución del parque vehicular para los años 2005-2008 a nivel nacional (excluida RM). En la figura se observa un aumento de la cantidad de vehículos catalíticos (112%) y una disminución de los vehículos no catalíticos (45%).

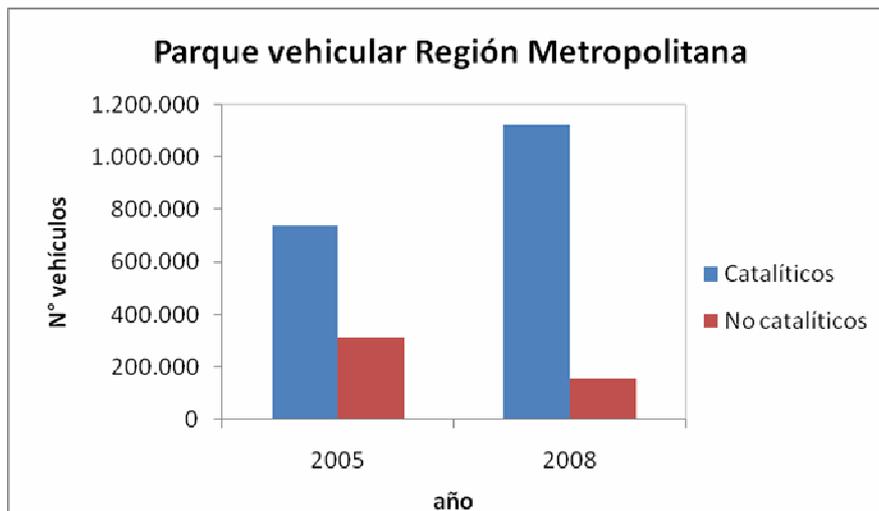


Figura 7.7. Parque vehicular RM

Fuente: Elaboración propia en base a información Parque de vehículos en circulación INE (2005 y 2008).

¹⁷³ Fuente: Parque de vehiculos en circulación 2008 INE

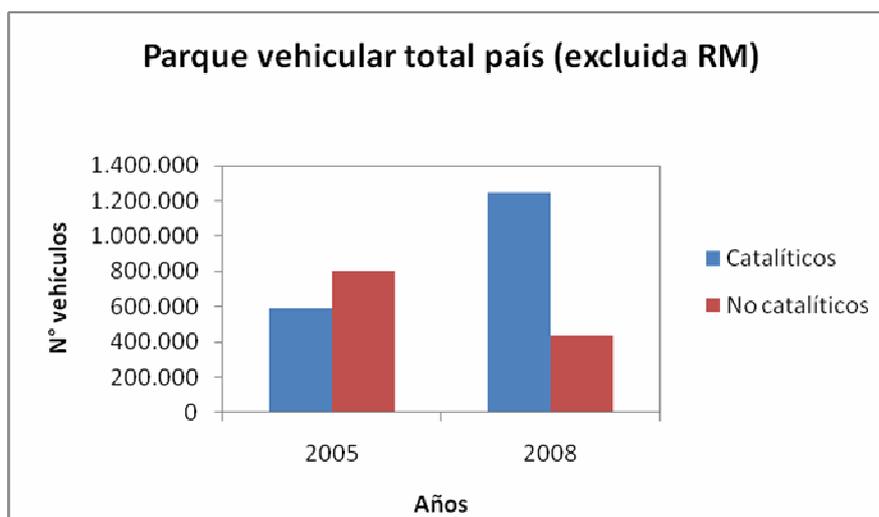


Figura 7.8. Parque vehicular nacional (excluida RM).

Fuente: Elaboración propia en base a información Parque de vehículos en circulación INE (2005 y 2008).

En base a información disponible sobre emisiones de fuentes móviles para el año 2005 (Inventario 2005 construido en base a información recopilada de CENMA, SECTRA, DICTUC y CONAMA) e información sobre el ingreso de nuevos vehículos obtenida de estadísticas del Instituto Nacional de estadísticas, se ha estimado el nivel de emisiones para el año 2008 para vehículos livianos (RM y resto del país) y buses (resto del país).

Para cada tipo de vehículo se ha considerado una disminución de la cantidad de vehículos de su clase (vehículos livianos, buses) no catalíticos y un aumento de la cantidad de vehículos no catalíticos según aumento o disminución porcentual indicada anteriormente.

Para el caso de los buses en la región metropolitana se ha estimado las emisiones al año 2008 según la información que se tiene de la flota de Transantiago (6365 buses). Para el resto del país se ha estimado las emisiones en base a las emisiones del 2005 y la entrada de buses Euro II a partir de 2005 y la salida de buses no catalíticos según información del INE.

Para vehículos livianos a gasolina se ha considerado entrada de autos Euro III en La región metropolitana y Euro I para el resto del país.

7.2.4 Potencial de reducción de emisiones para buses.

Las emisiones de NO_x para buses al 2008, se han estimado en base al nivel de emisiones del año 2005¹⁷⁴ sumado a las emisiones calculadas del ingreso de buses con nueva tecnología y restadas las emisiones producto de la salida de buses no catalíticos (salvo para la región metropolitana en la que se procede de forma distinta).

7.2.4.1 Región Metropolitana

Para estimar el nivel de emisiones en la región metropolitana se ha considerado la distribución de buses licitados según norma y según tipo (capacidad de pasajeros). En la Tabla 7.10, se muestra la distribución de buses según capacidad de pasajeros y según función que realiza (troncal o alimentador). En cuanto a la tecnología de los buses se ha considerado que, del parque de buses, un 28% corresponde a buses antiguos reacondicionados (Euro I y Euro II con filtros) y 72% a buses estándar Transantiago (Euro III)¹⁷⁵. De la porción de buses reacondicionados aún en funcionamiento ha supuesto que el 1% corresponde a buses con norma Euro I y el 99% a buses con Norma Euro II.

Tabla 7.10. Distribución flota de buses según función y capacidad.

Flotas	Diciembre de 2007
Buses troncales	Nº buses
Capacidad 160 pasajeros/bus	1.500
Capacidad 90 pasajeros/bus	1.012
Capacidad 75 pasajeros/bus	1.964
Buses alimentadores	Nº buses
Capacidad 75 pasajeros/bus	1.319
Capacidad 42 pasajeros/bus	478
Capacidad 60 pasajeros/bus	92
Total	6.365

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de "Análisis de Escenarios de Diseño para Transantiago", Fernández & De Cea Ingenieros Ltda.

El nivel de actividad considerado corresponde al kilometraje recorrido por tipo de bus al año, según malla al diciembre de 2007. La información se muestra en la Tabla 7.11, a continuación.

Para estimar las emisiones se ha considerado un factor de emisión según norma de emisión y tipo de bus. En la siguiente tabla se muestra esta información.

Tabla 7.11. Nivel de actividad buses Transantiago.

¹⁷⁴ Fuente: Inventario 2005 construido en base a información recopilada de CENMA, SECTRA, DICTUC y CONAMA.

¹⁷⁵ Discurso Ministro René Cortázar, Ministerio de transporte y telecomunicaciones, www.mtt.cl

Flotas	Buses troncales	[km recorridos/año]
	capacidad 160 pasajeros/bus	40.140,19
	capacidad 90 pasajeros/bus	27.099,77
	capacidad 75 pasajeros/bus	72.838,58
	Buses alimentadores	[km recorridos/año]
	capacidad 75 pasajeros/bus	72.838,58
	capacidad 42 pasajeros/bus	10.214,42
	capacidad 60 pasajeros/bus	1.920,11

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de "Análisis de Escenarios de Diseño para Transantiago", Fernández & De Cea Ingenieros Ltda.

Tabla 7.12. Factores de emisión según norma y tipo de bus

Norma	Factor de emisión [gr/km]
Euro I*	11,85 ⁽¹⁾
Euro II*	8,49 ⁽²⁾
Euro III*	6,47 ⁽³⁾
Euro III-B7	11,8 ⁽⁴⁾
Euro III-B9	12,34 ⁽⁵⁾
Euro II Filtro*	9,57 ⁽⁶⁾
Euro III-B7-Filtro	10,2 ⁽⁷⁾
Euro III-B9-Filtro	12,13 ⁽⁸⁾
Euro IV*	4 ⁽⁹⁾
Euro IV-B7	5 ⁽¹⁰⁾
Euro IV-B9	8,25 ⁽¹¹⁾

*: Buses de capacidad menor a 75 pasajeros; B7: Buses capacidad 90 pasajeros; B9: Buses capacidad 160 pasajeros. Fuente: (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8) "Actualización de factores de emisión para buses y transporte de carga de la región Metropolitana", Departamento de ingeniería mecánica, Universidad de Chile, 2007. (9), (10), (11) Declaración de Impacto Ambiental: "Terminal y Depósito de Minibuses Redbus Urbano S.A., El Salto, Huechuraba" Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda.

Con toda la información anterior se obtienen las emisiones al año 2008, la Tabla 7.13, muestra las emisiones de NOx según tipo de bus (capacidad y función) y en la Figura 7.9, se muestra la distribución de emisiones según norma.

Tabla 7.13. Emisiones de NOx buses Región Metropolitana año 2008

Flotas	Buses troncales	NOx [ton/año]
	Capacidad 160 pasajeros/bus	730,35
	Capacidad 90 pasajeros/bus	323,61
	Capacidad 75 pasajeros/bus	1.108,83
	Buses alimentadores	NOx [ton/año]
	Capacidad 75 pasajeros/bus	843,87
	Capacidad 42 pasajeros/bus	31,59
	Capacidad 60 pasajeros/bus	1,14
	Total	3.039,39

Fuente: Elaboración propia

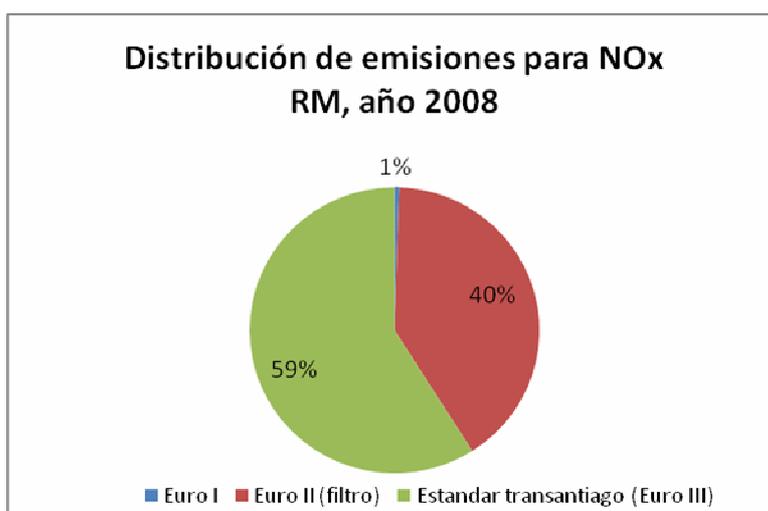


Figura 7.9. Distribución de emisiones de NOx para buses según norma de emisión en RM
Fuente: Elaboración propia

El potencial de reducción de emisiones se ha determinado según reducción de emisiones tras la homologación de la norma Euro IV para toda la flota de buses, con lo que se obtiene una reducción de emisiones de 48%, en la Tabla 7.14, se muestra la reducción de emisiones para la flota de buses.

Tabla 7.14. Reducción de emisiones con homologación norma Euro IV

	Buses troncales	Emisiones Actuales [ton/año]	Emisiones Euro IV [ton/año]	Reducción emisiones
Flotas	Capacidad 160 pas/bus	730,35	496,95	32%
	Capacidad 90 pas/bus	323,61	126,76	61%
	Capacidad 75 pas/bus	1.108,83	566,74	49%
	Buses alimentadores	Emisiones Actuales [ton/año]	Emisiones Euro IV [ton/año]	Reducción emisiones
	Capacidad 75 pas/bus	843,87	380,62	55%
	Capacidad 42 pas/bus	31,59	19,34	39%
	Capacidad 60 pas/bus	1,14	0,70	39%
	Total	3.039,39	1.591,11	48%

Fuente: Elaboración propia.

7.2.4.2 Resto del país

En la Tabla 7.15, se muestra la estimación de emisiones para el año 2008 y la información del año 2005 utilizada para ello, como se observa en esta el total de emisiones ha aumentado en un 21%, debido a que el reemplazo de buses sin norma no ha compensado el aumento de buses con norma Euro II. En la Figura 7.10, se muestra la distribución de emisiones de NO_x para año 2008 según norma de emisión.

Tabla 7.15. Emisiones de NOx para el país (excluida RM) año 2008

Tecnología Actual	2005 [ton/año]	2008 [ton/año]
Total	9.807	11.826
sin norma	2.616	1.434
Euro I	4.692	4.692
Euro II	1.756	4.957
Euro III	720	720
Euro IV	22	22

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008) e información estadística del INE (parque automotriz año 2005 y 2008).

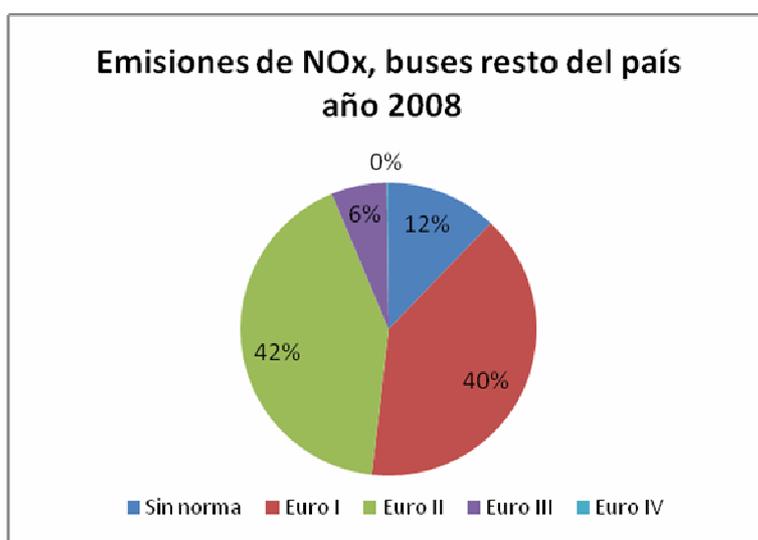


Figura 7.10. Distribución de emisiones de NOx para buses a nivel país (excluida RM).

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008) e información estadística del INE (parque automotriz año 2005 y 2008).

Para estimar el potencial de reducción de emisiones, se ha considerado la homologación del parque a norma Euro III, esto se ha realizado utilizando factores de emisión para transporte público según norma, lo que se muestra en la Tabla 7.16, a continuación.

Tabla 7.16. Factores de emisión buses de transporte público

Velocidad	20 [km/hr]
Factor de emisión	NOx [gr/km]
Sin norma	18,86 ⁽¹⁾
Euro I	13,60 ⁽²⁾
Euro II	9,43 ⁽³⁾
Euro III	6,60 ⁽⁴⁾
Euro IV	4,62 ⁽⁵⁾

(1), (2), (3), (4) Fuente: Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana 2005; (5): Declaración de Impacto Ambiental (DIA): "Terminal y depósito de minibuses Redbus urbano S.A."

En la Tabla 7.17, se muestra la reducción de emisiones de NO_x, de esta se ve que las emisiones se reducen tras este cambio tecnológico en un 41%.

Tabla 7.17. Reducción de emisiones de NO_x para buses de transporte público para el país (excluida RM).

Tecnología actual	Emisiones Actuales [ton/año]	Emisiones con Euro III [ton/año]	Reducción de emisiones
Total	11.826	6.992	41%
Sin norma	1.434	502	65%
Euro I	4.692	2.278	51%
Euro II	4.957	3.470	30%
Euro III	720	720	0%
Euro IV	22	22	0%

Fuente: Elaboración propia

7.2.5 Potencial de reducción de emisiones de vehículos livianos.

El nivel de emisión del parque automotriz depende directamente de las características de los vehículos en cuanto a norma de emisión. En la Tabla 7.18, se muestra el nivel de emisiones en gramos por kilómetro recorrido para vehículos livianos, según tipo de motor y norma de emisión que posee. Como se muestra en la tabla la disminución de emisiones, para vehículos a gasolina, es significativa hasta la adopción de la norma Euro V, ya que la norma Euro VI no presenta una disminución adicional de NO_x.

Tabla 7.18. Emisiones de NO_x según Norma de emisiones.

Tipo	Norma	NO _x [gr/km]
Gasolina 1,4-2,0l	Sin sello Verde	2,01
Gasolina 1,4-2,0l	PC Euro I-91/441/EEC	0,301
Gasolina 1,4-2,0l	PC Euro II-94/12/EC	0,174
Gasolina 1,4-2,0l	PC Euro III-98/69/EC	0,08
Gasolina 1,4-2,0l	PC Euro IV-98/69/EC stage 2005	0,063
Gasolina 1,4-2,0l	PC Euro V (post 2005)	0,047
Gasolina 1,4-2,0l	PC Euro VI	0,047

Fuente: DICTUC

7.2.5.1 Región Metropolitana

La distribución de emisiones para vehículos livianos a gasolina, según característica de norma para la región Metropolitana año 2008, se muestra en la Tabla 7.19. Esta distribución se ha estimado en base a emisiones año 2005 y en base a la emisión proveniente de los nuevos vehículos livianos ingresados a la región metropolitana, se ha considerado que todos estos vehículos a partir del 2005 cumplen la norma Euro III.

Tabla 7.19. Distribución de emisiones vehículos livianos a gasolina año 2008, RM.

Tecnología	2005 [ton/año]	2008 [ton/año]
Total	12.047	9.743
Sin norma	5.916	2.910
Euro I	5.945	5.945
Euro II	186	186
Euro III	-	702
Euro IV	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008) e información estadística del INE (parque automotriz año 2005 y 2008).

En la Figura 7.11 se tiene la distribución de emisiones de NOx para vehículos livianos a gasolina según tipo de norma de emisión, en ella se puede observar que el 30% de las emisiones proviene de vehículos que no cuentan con un convertidor catalítico.

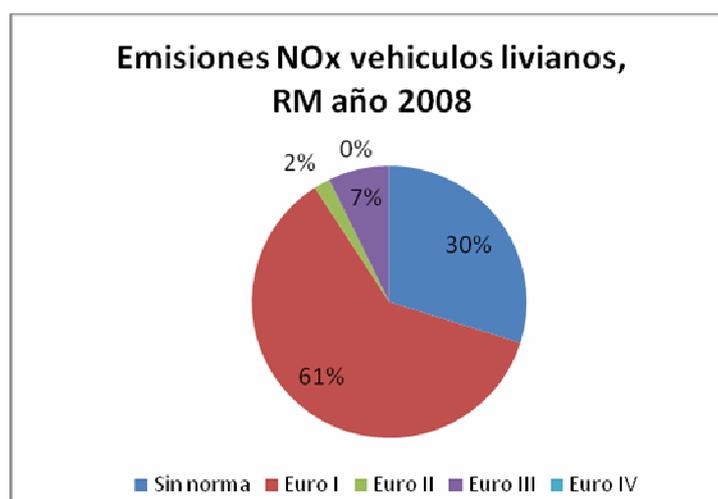


Figura 7.11. Distribución de emisiones de NOx, según norma para vehículos a gasolina.

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008) e información estadística del INE (parque automotriz año 2005 y 2008).

El potencial de reducción de emisiones se puede establecer considerando la reducción de estas tras un cambio tecnológico. Para ello se ha considerado la reducción de emisiones al pasar desde el estado actual de tecnología (sin convertidor, Euro I, Euro II y Euro III) a la norma de emisión Euro IV, con esto se ha estimado un potencial de reducción total del 80%. La información se detalla en la Tabla 7.20, donde se tiene emisiones actuales y emisiones tras el cambio tecnológico.

Tabla 7.20. Potencial de reducción de emisiones de NOx para vehículos livianos a gasolina

Tecnología	Emisiones Actuales [ton/año]	Emisiones con Euro IV [ton/año]	Reducción de emisiones
Total	9.743	1.956	80%
Sin norma	2.910	91	97%
Euro I	5.945	1.244	79%
Euro II	186	67	64%
Euro III	702	553	21%
Euro IV	-	-	0%

Fuente: Elaboración propia

7.2.5.2 Resto del país

En la Tabla 7.21, se muestra la estimación de emisiones para el año 2008 y la información del año 2005 utilizada para ello, como se observa en esta el total de emisiones ha aumentado en un 31%, debido a que el reemplazo de autos sin norma no ha compensado la entrada de autos con norma Euro I. En la Figura 7.12 se muestra la distribución de emisiones de NO_x para año 2008 según norma de emisión en ella se puede observar que en torno al 30% de las emisiones es proveniente de automóviles que no poseen convertidor catalítico.

Tabla 7.21. Emisiones NOx de vehículos livianos para el total del país (excluida RM).

Tecnología	2005 [ton/año]	2008 [ton/año]
Total	10.580	14.321
Sin norma (sin sello verde)	7.245	3.971
Euro I	3.329	10.343
Euro II	7	7
Euro III	-	-
Euro IV	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008) e información estadística del INE (parque automotriz año 2005 y 2008).

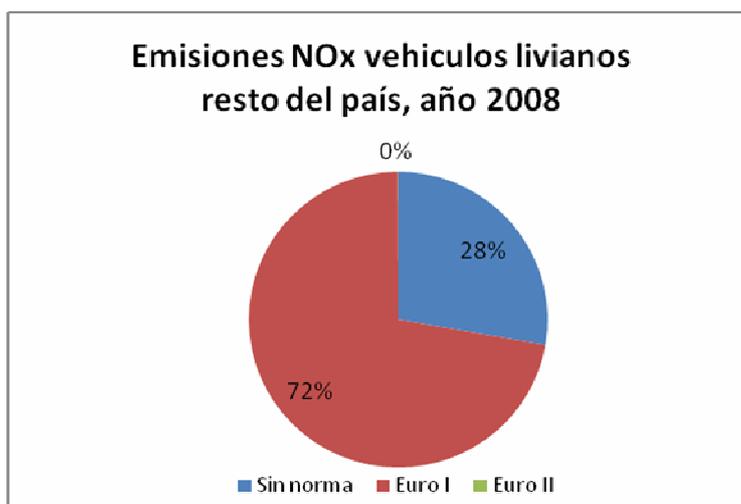


Figura 7.12. Emisiones de NOx en vehículos livianos para el total del país (excluida RM), año 2008

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008) e información estadística del INE (parque automotriz año 2005 y 2008).

El potencial de reducción de emisiones de NOx se ha estimado como las emisiones actuales menos las emisiones logradas si todos los vehículos cumplieran la norma de emisión Euro II. En la Tabla 7.22, se muestra el potencial de reducción de emisiones para NOx en vehículos livianos a gasolina, como se puede observar la reducción de emisiones alcanza el 56%.

Tabla 7.22. Potencial de reducción de emisiones de NOx para vehículos livianos a gasolina, resto del país.

Vehículos livianos	Emisiones Actuales [ton/año]	Emisiones con Euro II [ton/año]	Reducción de emisiones
Total	14.321	6.330	56%
Sin norma	3.971	344	91%
Euro I	10.343	5.979	42%
Euro II	7	7	0%

Fuente: Elaboración propia

7.3 Emisiones y potencial de reducción para Monóxido de Carbono (CO)

El Monóxido de Carbono (CO) es un gas venenoso, incoloro, inodoro y sin sabor. Se genera en la combustión incompleta del carbón, madera, aceite y otros combustibles derivados del petróleo (por ejemplo, gasolina, propano, etc.).

La principal fuente de Monóxido de Carbono (CO) son el transporte y los procesos industriales que utilizan diesel o combustibles fósiles. Al año 2005 el 29% de las emisiones de CO provenía de fuentes fijas y un 71% de fuentes móviles.

7.3.1 Fuentes móviles

Dentro de las fuentes móviles la principal fuente de emisión corresponde a los vehículos livianos, tal como se muestra en la Figura 7.13. El 95% de las emisiones de Monóxido de Carbono proviene de esta fuente.

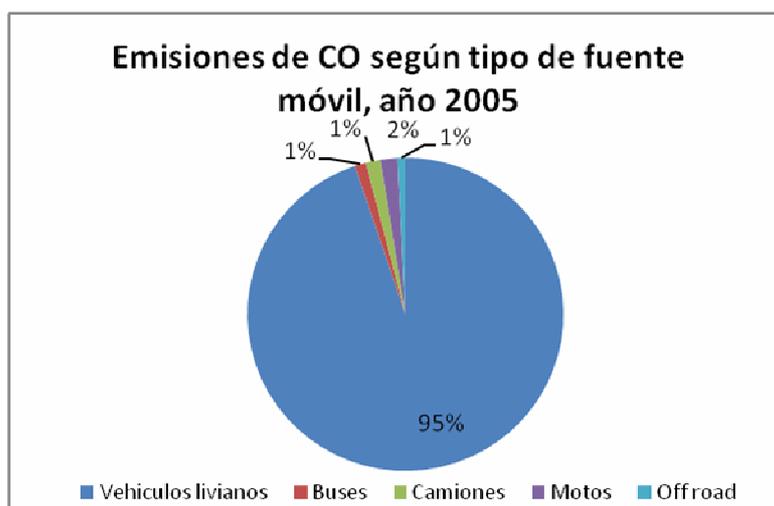


Figura 7.13: Distribución emisiones de CO según tipo de fuente móvil

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008).

7.3.2 Potencial de reducción de emisiones de vehículos livianos.

El nivel de emisión del parque automotriz depende directamente de las características de los vehículos en cuanto a norma de emisión. En la Tabla 7.23, se muestra el nivel de emisiones en gramos por kilómetro recorrido para vehículos livianos, según tipo de motor y norma de emisión que posee, como se puede observar la disminución de emisiones, para vehículos a gasolina, es significativa hasta la adopción de la norma Euro IV, ya que la norma Euro V y VI no presenta una disminución adicional de CO.

Tabla 7.23. Emisiones de CO según Norma de emisiones.

Norma	CO [gr/km]
Sin norma	5,55
Euro I	2,72
Euro II	2,20
Euro III	2,30
Euro IV	1,00
Euro V	1,00
Euro VI	1,00

Fuente: DICTUC

7.3.2.1 Región Metropolitana

La distribución de emisiones para vehículos livianos a gasolina, según característica de norma para la región Metropolitana año 2008, se muestra en la Tabla 7.24. Esta distribución se ha estimado en base a emisiones año 2005 y en base a la emisión proveniente de los nuevos vehículos livianos ingresados a la Región Metropolitana, se ha considerado que todos estos vehículos a partir del 2005 cumplen la norma Euro III.

Tabla 7.24: Distribución de emisiones de CO vehículos livianos a gasolina año 2008, RM.

Tecnología	2005 [ton/año]	2008 [ton/año]
Total	401.382	278.019
Sin norma	282.530	138.976
Euro I	118.852	118.852
Euro II	-	-
Euro III	-	20.190
Euro IV	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008) e información estadística del INE (parque automotriz año 2005 y 2008).

En la Figura 7.14, se tiene la distribución de emisiones de CO para vehículos livianos a gasolina según tipo de norma de emisión, en ella se puede observar que el 50% de las emisiones proviene de fuentes que no cumplen con la norma básica de emisiones (presencia de convertidor catalítico).

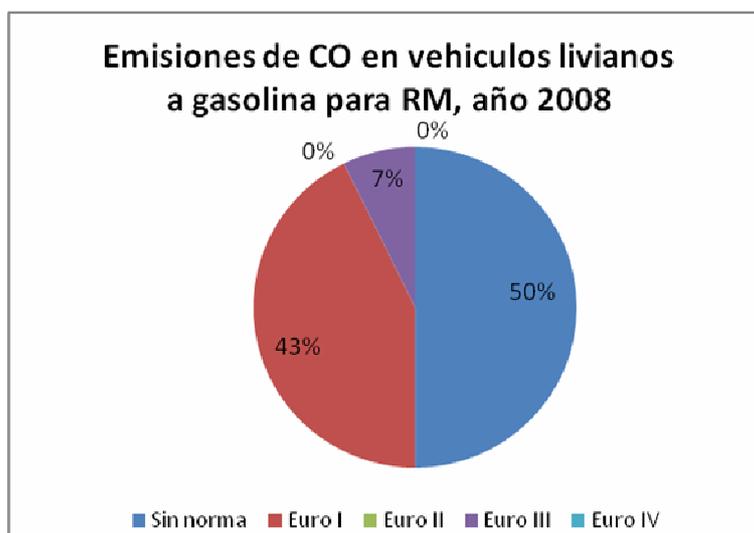


Figura 7.14: Distribución de emisiones según norma, vehículos a gasolina.

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008) e información estadística del INE (parque automotriz año 2005 y 2008).

El potencial de reducción de emisiones se puede establecer considerando la reducción de estas tras un cambio tecnológico. Para ello se ha considerado la reducción de emisiones al pasar desde el estado actual de tecnología (sin convertidor, Euro I, Euro II y Euro III) a la norma de emisión Euro IV, con esto se ha estimado un potencial de reducción total del 72%. La información se detalla en la Tabla 7.25 7.25, donde se tiene emisiones actuales y emisiones tras el cambio tecnológico.

Tabla 7.25. Potencial de reducción de emisiones de CO para vehículos livianos a gasolina

Tecnología	Emisiones Actuales [ton/año]	Emisiones con Euro IV [ton/año]	[%]
Total	278.019	77.533	72%
Sin norma	138.976	25.059	82%
Euro I	118.852	43.696	63%
Euro II	-	-	-
Euro III	20.190	8.778	57%

Fuente: Elaboración propia

7.3.2.2 Resto del país

En la siguiente tabla se muestra la estimación de emisiones para el año 2008 y la información del año 2005 utilizada para ello, como se observa en ésta, el total de emisiones ha aumentado en un 15%, debido a que el reemplazo de autos sin norma no ha compensado la entrada de autos con norma Euro I. En la Figura 7.15, se muestra la distribución de emisiones de CO para año 2008 según norma de emisión, en ella se puede observar que el 39% de las emisiones es proveniente de automóviles que no poseen convertidor catalítico.

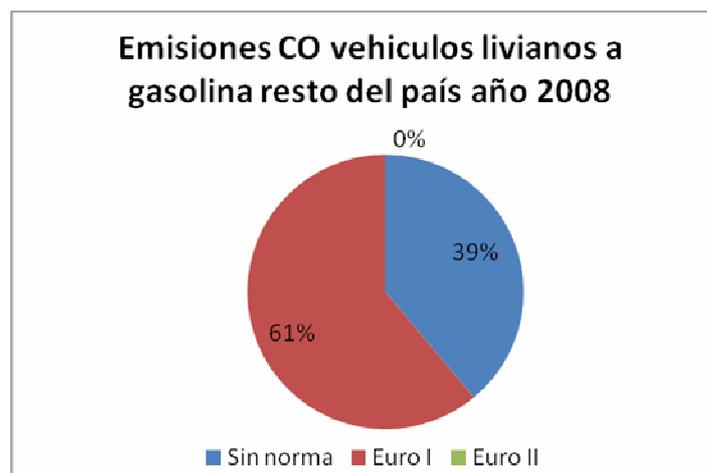


Figura 7.15: Emisiones de CO vehículos livianos para el total del país (excluida RM), 2008

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2005, SECTRA (2004, 2005 y 2006), CONAMA (2006), DICTUC (2008) e información estadística del INE (parque automotriz año 2005 y 2008).

El potencial de reducción de emisiones se ha estimado considerando un cambio tecnológico en el parque actual, para ello se ha considerado la homologación de la norma Euro II. En la Tabla 7.26, se muestran las emisiones actuales, emisiones con la nueva tecnología y la reducción porcentual de emisiones que alcanza a nivel global un 35%. Cabe destacar que a nivel nacional la normativa vigente para vehículos livianos data del año 2000 (D.S. 103 del 2000), con valores similares a Euro I. Eso sí el mercado de vehículos en Chile está fuertemente influenciado por los requerimientos para Santiago, que se espera que el año 2010, en el PPDA, entre en vigencia una norma equivalente a EURO IV para vehículos livianos.

Sin duda, la homologación a nivel país de la norma Euro III o IV, consistiría en una alternativa para reducir las emisiones de CO, dado que existe evidencia de problemas atmosféricos en ciudades del sur de Chile tales como Rancagua, Talca, entre otras.

Tabla 7.26. Potencial de reducción de emisiones de CO para vehículos livianos a gasolina a nivel país (excluida RM)

Tecnología	Emisiones Actuales [ton/año]	Emisiones con Euro II [ton/año]	[%]
Total	139.538	90.432	35%
Sin norma	54.424	21.590	60%
Euro I	85.111	68.840	19%
Euro II	3	3	0%

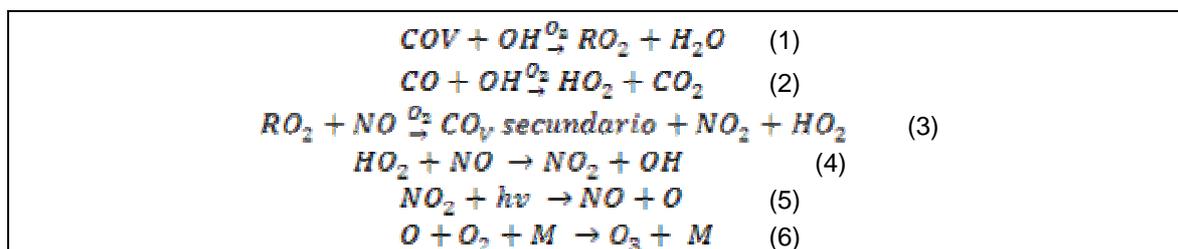
Fuente: Elaboración propia

7.4 Formación de Ozono (O₃)

El Ozono no se emite directamente, sino que se forma en la atmósfera producto de una serie de reacciones complejas entre Óxidos de Nitrógeno, Hidrocarburos, Monóxido de Carbono, mediados por la presencia de la luz solar. Estos precursores tienen orígenes antropogénicos y biogénicos. Las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles generalmente provienen de la quema de combustibles líquidos mediante fuentes móviles, así también de fuentes residenciales o comerciales de carácter no puntual, por emisiones evaporativas fugitivas. Los Óxidos de Nitrógeno fundamentalmente provienen de todo proceso de combustión, fruto de la reacción entre el oxígeno y el nitrógeno molecular a altas temperaturas. En lugares sin grandes actividades industriales estas emisiones de NO_x están dominadas por el sector de transporte. Sin ir más lejos, del inventario de emisiones de NO_x del DICTUC, para CONAMA (2005) se deduce que alrededor de 77% de las emisiones de NO_x para el Gran Santiago provienen de fuentes móviles, particularmente de buses y camiones. En cambio las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles están dominadas por fuentes residenciales, fundamentalmente emisiones de hidrocarburos livianos como propano y metano (48% emisiones). De hecho, un estudio de la Universidad de

California en Irvine atribuye a una importante cantidad de Ozono en Santiago, debido a las emisiones de combustibles gaseosos como estos.¹⁷⁶

Para poder regular la exposición al Ozono, es necesario considerar sus mecanismos de formación. La formación diurna del Ozono se debe a la transferencia de una molécula de O proveniente de la fotólisis de NO₂ (reacción 5) al oxígeno molecular (reacción 6). La formación de NO₂ se debe a la reacción entre NO y HO₂ (reacción 4). Este radical formado por la oxidación de COVs (reacción 3), CO (reacción 2) y metano con OH.



7.4.1 Titulación de Ozono

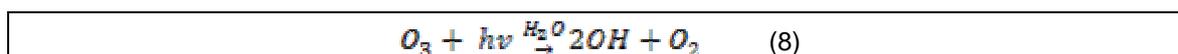
La reacción de destrucción de Ozono por emisiones de NO está siempre presente (reacción 7), pero domina en ausencia de luz solar, al no existir nuevas Fuentes de Ozono. Este fenómeno causa que en la noche cuando las emisiones son NO_x son muy concentradas, las ciudades se comportan como un sumidero neto de Ozono, llegando a valores observados nocturnos de casi cero. Este fenómeno también ocurre en las cercanías a megafuentes de NO_x, como termoeléctricas, carreteras, o calderas, en donde se presentan valores menores que el background de Ozono, debido a esta titulación.



7.4.2 Regímenes de formación de Ozono

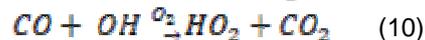
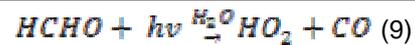
7.4.2.1 Fuentes de radicales

La formación de Ozono continúa mientras existan fuentes de radicales OH y HO₂. El OH se produce por la fotólisis del vapor de agua (reacción 8), mientras que el HO₂ se forma por la oxidación de los COVs por OH (reacción 1) y el CO (reacción 2).



¹⁷⁶ Chen, T., Simpson, I., Blake, D. (2001). Impact of the leakage of liquified petroleum gas in Santiago Air Quality. Geophysical Research Letters. 28(11)

La reacción genérica de COVs (reacción 1) se puede especificar a COVs en particular. Por ejemplo, el formaldehído, un COV presente ampliamente, forma HO₂ y CO. Este último también se puede oxidar formando otro radical, dando un neto de 2HO₂ por cada formaldehído. Entonces la formación de Ozono continuará en cuanto existan emisiones de COVs y CO, además de NOx.



7.4.2.2 Sumideros de radicales

La reacción de formación de Ozono está mediada por la velocidad de destrucción de radicales. Existen dos reacciones terminales principales. La primera es la destrucción autocatalítica del HO₂ para formar peróxido, H₂O₂, que puede removerse eficientemente por depositación húmeda. La segunda es la reacción entre el OH y el NO₂ para formar ácido nítrico (HNO₃) que también se elimina eficientemente por depositación húmeda.

En un régimen limitado por emisiones de NOx, la reacción terminal de ácido nítrico no es dominante, sino la destrucción de radicales de HO₂. La formación de Ozono está limitada por la reacción entre HO₂ y RO₂ con NO. Es decir, se forma más Ozono mientras más emisiones de NOx existan, dependiendo eso si de la relación NOx/COVs. De esta forma, si existen más emisiones de COVs, aumentará también la formación de Ozono.

Un régimen limitado por emisiones de COVs ocurre cuando el sumidero de radicales dominante es el ácido nítrico (por exceso de NO₂), y la formación de Ozono está limitada por la reacción de oxidación de CO y COVs por OH (los que generan HO₂). Caso interesante es que la formación de Ozono aumenta si es que disminuyen las emisiones de NOx en un régimen COV limitado. Normalmente grandes centros urbanos muestran características de COV limitados y localidades más remotas y rurales son NOx limitado. Es posible estimar el tipo de régimen de formación de Ozono basado en indicadores, que son razones entre algunas especies químicas. Por ejemplo, la relación de volumen O₃ y NO_y (como suma de todas especies de nitrógeno reactivo) tiende a ser baja en un régimen COV limitado (menos de 4), y alta (más de 11) para un régimen NOx limitado.

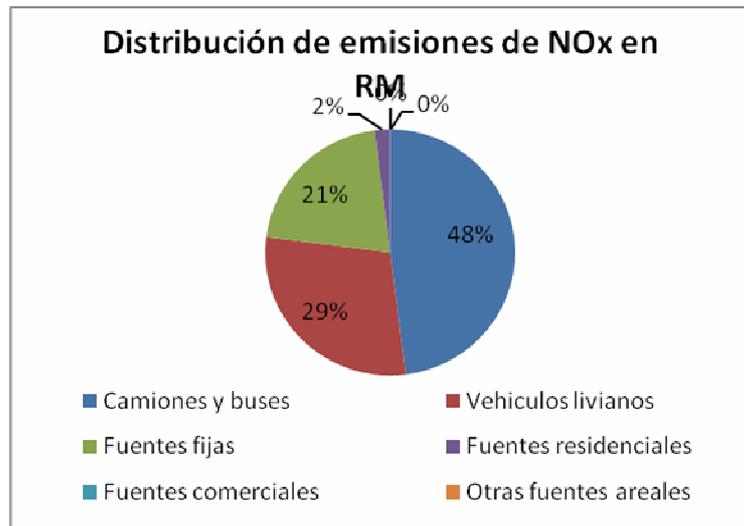


Figura 7.16. Contribución de emisiones por tipo de fuente para NOx en Región Metropolitana
Fuente: Inventario de emisiones de Gran Santiago (Dictuc, 2006)

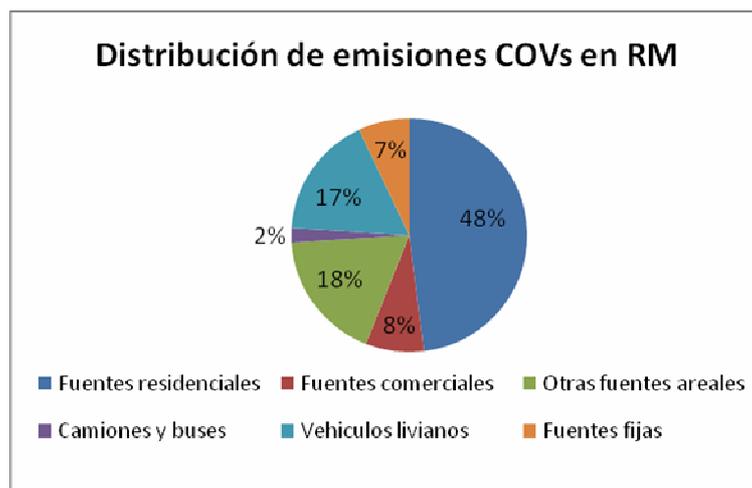


Figura 7.17: Contribución de emisiones por tipo de fuente para COVs en Región Metropolitana
Fuente: Inventario de emisiones de Gran Santiago (Dictuc, 2006)

7.4.3 Políticas de control de Ozono

El éxito de las estrategias de reducción de formación de Ozono depende de si la reducción de sus precursores es apropiada para el régimen de formación. Considerando la complejidad del tema, la EPA de Estados Unidos ha recolectado las medidas que han formado parte de los planes estatales para Ozono. Las Tabla 7.27 a Tabla 7.30, muestran algunas medidas aplicadas a los planes de descontaminación de Ozono. Se observa que además de las medidas que se

conocen tradicionalmente a las grandes fuentes de NOx (todo tipo de reducción catalítica, quemadores low NOx) existen una serie de medidas para disminuir las emisiones de COVs, particularmente de fuentes areales. Esto tiene que ver con reformulaciones de productos comerciales (pinturas, barnices), y operaciones comerciales de pequeña escala (talleres, lava secos, etc.). Adicionalmente a las medidas tradicionales de disminuir emisiones de fuentes móviles, se agregan reformulaciones de combustibles para disminuir emisiones, captura de vapores en bencineras, y algunas medias “blandas” como programas de trabajo remoto, viaje compartido, etc. También se agregan medidas de mayor complejidad, relacionadas con el desarrollo urbano, como crecimiento inteligente, planificación de ubicación de colegios, áreas y techos verdes, recubrimiento reflectante a techos y pavimentos.

Tabla 7.27. Principales medidas de control de Ozono para Estados Unidos, Óxidos de Nitrógeno.

Categoría fuentes	Medida, o tecnología de control	Reducción
Calderas	Control de NOx por SCR, SNCR, o Low Nox	
Cementeras	Existentes: Quemadores low NOx, SNCR Nuevas: SNCR, combustión en etapas, SCR	75% para nuevas
Vidrio, o fibra de vidrio	SCR o quema con oxígeno puro	75% SCR 85% oxígeno puro
Plantas de asfalto y refinerías de petróleo	Quemadores low NOx. Recirculación de gases de combustión	
Usinas y fundiciones	Quemadores low NOx, SNCR/SCR	
Caleras	Control de combustión	40% reducción
Motores estacionarios	Mezcla rica: NSCR	90% reducción
	Mezcla pobre: retrofit de baja emisión	83% reducción
Calefactores industriales	Quemadores Low NOx, SNCR, SCR, recirculación de gases de combustión	
Pulpas sulfatadas	SCR	
Quemas abiertas	Limitar quemas abiertas en barriles, terrenos, incineradores domésticos, incluyendo residuos de jardín, hojas.	

Fuente: EPA, Medidas aplicadas en planes de descontaminación.

Tabla 7.28. Control de fuentes móviles fuera de ruta

Categoría	Medida	Comentarios
Maquinaria de construcción	Recambio de equipamiento acelerado. Cambio de combustibles con aumento de valor cetano. Sistema SCR	Fondos concursables de \$5000 USD/ton NOx removida, con un tope de 13000USD.
Equipamiento agrícola	Igual a anterior	Igual a anterior
Locomotoras	Similar, pero adicionalmente control de emisiones en espera. Encendido y apagado automático.	-

Categoría	Medida	Comentarios
Puertos	Control de emisiones de botes remolcadores, y grúas portuarias. Incentivos para operación fuera de peak durante temporada de Ozono.	-
Aeropuerto	Electrificación de vehículos. Retrofit de vehículos. Reducir encendido en espera de aeronaves.	-

Fuente: EPA, Medidas aplicadas en planes de descontaminación.

Tabla 7.29 Control de emisiones de fuentes móviles

Categoría	Medida	Comentarios
Para vehículos pesados diesel	Recambio de vehículos antiguos. Cambio de cetanos. Tecnología de recirculación de gases de escape EGR.	Fondos concursables por \$5000 USD/ton, con tope de \$13.000
Encendido sin uso de fuentes vehículos de carga	Electrificación en paradas de camiones, e entrada de generadores eléctricos auxiliares.	Se pagan inversiones de 18 meses por ahorro en combustible.
Programas con empresas para trabajo remoto, o para vehículo compartido	Programa de la EPA llamado "Best Workplaces for Commuters" da premio a empleadores que entregan incentivos para disminuir emisiones de vehículos livianos. Medidas pueden ser subsidio al transporte público, ciclistas, policías de trabajo remoto, estacionamiento preferente para traslado compartido.	Se produce 15% de consumo menor en bencina, por tanto 15% reducción de emisiones.
Otros programas de incentivos a vías alternativas de transporte	Estacionamientos en metros. Vías exclusivas para vehículos compartidos.	-
Kit de mejora para vehículos pesados	Cambio de neumáticos, aerodinámica avanzada para el tráiler.	Pago de inversión en 18 meses por ahorro de combustible.
Vehículos livianos	Reemplazo de vehículos por Low Emission Vehicles, Tier 2, GLP, GNL, híbridos.	-
Revisión técnica restrictiva	Nuevas medidas incluyen sello de estanque de combustible	-
Cambio a velocidad máxima de circulación	Mejora rendimiento, disminuyendo emisiones	-
Cambios en combustibles	Cambios de formulación aumentando oxigenación por MTBE, o etanol, para disminuir emisiones de Monóxido de Carbono	-
Cambio de combustibles	Cambio de presión de vapor de ried (RVP) permite disminuir emisiones evaporativas areales	-
Motores de uno o dos tiempos	Programas de recambio de cortadoras de pasto.	-

Fuente: EPA, Medidas aplicadas en planes de descontaminación.

Tabla 7.30 Medidas de largo plazo y para efecto de isla calórica

Categoría	Medida	Comentarios
Crecimiento inteligente	Desarrollo denso y de uso mixto, combinado con facilidades para bicicletas y peatones. Diseño de calles que incentive caminar, ciclismo, y otras alternativas para el automóvil.	Disminuyen emisiones, mejora salud, disminuye obesidad, alta presión, y enfermedades cardiovasculares.
Localización de colegios	EPA recomienda que nuevos colegios se localicen cerca de donde viven los estudiantes, no en lugares suburbanos y remotos. La cercanía permite que los estudiantes anden en bicicleta, o caminen. Esto disminuye la probabilidad que manejen al colegio, o que los vayan a dejar	Mejora condición física de alumnos. Bajan las emisiones de vehículos en espera. Requiere menos estacionamientos, y disminuye tasa de accidentes de tránsito.
Paisajismo	El uso de paisajismo nativo disminuye consumo de agua, de jardinería, y de consumo de combustible en máquinas de cortar paso	Las emisiones se disminuyen de acuerdo al ahorro en combustible. Así también el ahorro en pesticidas y fertilizantes.
Áreas verdes	Plantaciones estratégicas alrededor de edificios y casas para disminuir temperatura de edificios, y consumo energético	También incentiva a tránsito peatonal
Techos verdes	Sistemas de techos con vegetación para techos nuevos y antiguos	Reduce carga de aguas lluvias, Disminución de contaminación por depositación seca. Da hábitat a especies de aves. Aísla al edificio, manteniéndolo templado (menor consumo). Temperatura exterior es menor, disminuyendo efecto isla calórica.
Techos reflectivos	Sistemas con alta reflexión y emisión, que reducen ganancia de calor y disminución de consumo energético.	Reduce energía eléctrica en 15%.
Pavimentos "cool"	Eligiendo materiales de pavimentación, especiales para superficies grandes, estacionamientos y aeropuertos.	Adicionalmente se disminuyen emisiones de COVs en el proceso de pavimentación mismo.

Fuente: EPA, Medidas aplicadas en planes de descontaminación.

7.4.3.1 Herramientas de modelación en apoyo de planes¹⁷⁷

La complejidad de las medidas de control requiere se demuestre que las medidas cumplirán la norma bajo un período predefinido. En este sentido la EPA define una

¹⁷⁷ EPA (2007) Guidance on the use of Models and Other Analyses for Demonstrating Attainment of Air Quality Goals for Ozone, PM2.5, and Regional Haze. Disponible en <http://www.epa.gov/scram001/guidance/guide/final-03-pm-rh-guidance.pdf>

“demostración de cumplimiento modelado”. Esta es una serie de análisis de emisiones que resultarán en concentraciones que cumplan la norma de calidad de aire. La demostración del cumplimiento se logra mostrando el estado actual (no regulado) de emisiones y sus concentraciones de Ozono asociadas, y el estado regulado futuro. Para aplicar un modelo en apoyo de planes de descontaminación la EPA recomienda:

1. Formular descripción conceptual del problema de calidad de aire causante de la saturación.
2. Desarrollar un protocolo de modelación y análisis.
3. Seleccionar un modelo apropiado para la aplicación.
4. Seleccionar los episodios meteorológicos a modelar. Para Ozono se recomienda modelar mínimo 15 días, aunque es preferible modelar una temporada completa. Para material particulado se recomienda la simulación de un año completo.
5. Seleccionar un dominio de modelación de resolución horizontal y vertical apropiada. Establecer forma en que se calcularán condiciones iniciales y de frontera.
6. Generar las entradas meteorológicas y de calidad de aire para el modelo.
7. Generar las emisiones para el modelo de calidad de aire.
8. Evaluar rendimiento del modelo, llevando a cabo pruebas de diagnóstico, si es necesario.
9. Llevar a cabo modelación de condiciones futuras (incluyendo medidas) y aplicar prueba de cumplimiento.

Dentro de los modelos aceptados y recomendados por EPA para aplicaciones regulatorias se consideran los siguientes modelos:

1. CAMx
2. CMAQ
3. UAM-V

La resolución aceptable para aplicaciones en planes ha sido de 4 a 108 km en forma horizontal. Se ha observado que las mayores resoluciones son mejores para simular efectos de procesos tales como la titulación. Sin embargo, un importante número de estudios concluyen que a 4 y 12 km de resolución el rendimiento de los modelos es similar. La EPA recomienda una resolución entre 12 y 36 km para simulaciones en Ozono y de 4 km si es posible. En términos de modelación vertical se deben elegir una cantidad de niveles que permita describir procesos físicos de la capa límite. Como mínimo se deben considerar 21 niveles verticales, con la mayoría de estos localizados dentro de la capa límite. La altura máxima simulada debe ser dentro de lo posible, hasta los 100 mb., es decir, cerca de los 15 km de altura. Para las emisiones los modelos deben considerar información compleja, que quizás escapa del alcance de inventarios de emisiones que tengan otras finalidades.

Los inventarios de emisiones tienen que constar como mínimo de cinco categorías: fuentes puntuales, fuentes areales, fuentes móviles en ruta, fuentes móviles fuera de ruta, y fuentes biogénicas. Adicionalmente, el inventario de emisiones debe contar con una especiación, específicamente de los compuestos orgánicos volátiles ya que estos tienen una variabilidad importante en su composición y reactividad para formar Ozono.

Se recomienda incorporar especiación completa específicamente a fuentes grandes de COVs. Para las emisiones biogénicas se consideran emisiones de CO, NOx, y COVs.

7.5 Resumen capítulo

7.5.1 Dióxido de Azufre (SO₂)

Como se ha mostrado en este capítulo, en los últimos años ha ocurrido una importante reducción de las emisiones de Dióxido de Azufre proveniente de las fundiciones de cobre, esta reducción ha estado asociada a planes de descontaminación de las áreas circundantes a esta actividad industrial.

Fundiciones como Chuquicamata y Caletones han tenido una reducción de emisiones entorno al 50% en el periodo 2002-2008, otras como Ventanas y Paipote han tenido reducciones en torno al 30% en este mismo periodo. Esto debido al cambio tecnológico que han experimentado la fundiciones mediante la implementación de plantas de ácido sulfúrico y reemplazo de hornos reverberos por hornos de mejor tecnología (eléctricos y convertidores tenientes).

Si bien estas fundiciones han reducido sus emisiones en forma considerable existe un alto potencial de reducción de emisiones en el sector del 82%, estimado en base a un aumento de eficiencia de las fundiciones para el procesamiento del concentrado de cobre. Se ha considerado, en esta estimación, que cada fundición puede llegar al nivel de eficiencia de la fundición Chagres 10.69 [kg SO₂/ton cobre procesado], la más eficiente. Esta reducción de emisiones por parte de las fundiciones podría ser lograda tras una serie de mejoras tecnológicas tales como, incorporación de hornos flash (que permite mejorar la recuperación de SO₂), incorporación de captación de gases fugitivos y reemplazo de procesos batch por procesos continuos.

En el caso de las emisiones de SO₂ provenientes de las termoeléctricas, existe un importante potencial de reducción de emisiones asociado al uso de tecnologías de control de emisiones. El uso de desulfurizadores, tecnología no utilizada en el país actualmente, posee un gran potencial debido a la alta eficiencia en la remoción que posee. Se ha estimado en esta evaluación la reducción de emisiones tras el uso de desulfurización húmeda, semiseca y con agua de mar con lo que se ha obtenido una reducción de 98%, 94% y 90%, respectivamente.

7.5.2 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Dentro de las fuentes fijas, tiene una importante contribución el sector termoeléctrico. En este sector existe un importante potencial de reducción de emisiones asociado al uso de tecnologías de tipo primario (inhibición de la formación del contaminante, ejemplo quemadores de bajo NO_x) y de tipo secundario (remoción del contaminante ya generado, ejemplo sistemas de reducción catalítica selectiva).

En base al uso de quemadores de bajo NO_x y sistemas de reducción selectiva no catalítica (SNCR) para turbinas a vapor y al uso de Sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) para todas las tecnologías de generación, se ha estimado la reducción de emisiones asociada al uso de estas tecnologías, con lo que se ha obtenido una reducción de 35%, 37% y 95% con el uso de quemadores de bajo NO_x, SNCR y SCR, respectivamente.

Dentro de las fuentes móviles, que corresponden al 45% de las emisiones totales de NO_x a nivel país, un 50% corresponde a emisión proveniente de vehículos livianos y un 25% a buses.

En este capítulo se ha tratado en forma separada al parque automotriz asociado a la región Metropolitana del parque asociado al del resto del país, ya que se tiene diferencias tecnológicas considerables. En la región Metropolitana se tiene un avance importante respecto del resto del país en el transporte público, teniéndose la norma Euro III casi homologada (72% de los buses poseen estándar Transantiago). Pese a ello aún se tiene un importante potencial de reducción de emisiones asociado al uso extensivo de la norma de Euro IV, con lo que se tendría una reducción de emisiones en torno al 50%. En el resto del país, la norma que cumplen los buses de transporte público es la norma Euro II, principalmente, razón por la cual la homologación de la norma Euro III tiene asociado una alta reducción de emisiones (40%).

Para el caso de los vehículos livianos también se tiene una diferencia tecnológica entre la Región Metropolitana y el resto del país, debido a la entrada de vehículos Euro III a partir de 2005 para la región metropolitana. Se ha estimado en este caso la reducción de emisiones tras la utilización de la Norma Euro IV para todo el parque con lo que se ha obtenido una reducción del 80%. Para el resto del país se ha supuesto la homologación de la norma Euro II con lo que la reducción llega al 56%.

7.5.3 Monóxido de Carbono (CO)

Dado que las principales fuentes de Monóxido de Carbono son las móviles (71%) se ha realizado el análisis del parque automotriz considerando vehículos livianos ya que ellos son responsables del 95% de las emisiones de este contaminante.

Para ello se ha hecho un análisis en forma separada para Región Metropolitana y el resto del país.

Como se describió anteriormente en la Región Metropolitana el parque de vehículos livianos posee la norma de emisiones Euro III por lo que la reducción de emisiones se ha estimado con la homologación de la norma Euro IV, con lo que se tiene un 72%. Para el resto del país se ha considerado la homologación de la norma Euro II con lo que se tendría una reducción total del 35%.

7.5.4 Ozono (O₃)

Como se ha visto en este capítulo la formación de Ozono está dada por una serie de reacciones complejas entre Óxidos de Nitrógeno (NO_x), hidrocarburos, Monóxido de Carbono (CO), mediados por la presencia de la luz solar.

En lugares sin grandes actividades industriales las emisiones de NO_x están dominadas por el sector de transporte y las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) están dominadas por fuentes residenciales, fundamentalmente emisiones de hidrocarburos livianos como propano y metano (48% emisiones). Para poder regular la exposición al Ozono, es necesario considerar sus mecanismos de formación, lo que se muestra con detalle en este capítulo.

En un régimen limitado por emisiones de NO_x, la reacción terminal de ácido nítrico no es dominante, sino la destrucción de radicales de HO₂. La formación de Ozono está limitada por la reacción entre HO₂ y RO₂ con NO. Es decir, se forma más Ozono mientras más emisiones de NO_x existan. Así, si existen más emisiones de COVs, aumentará también la formación de Ozono.

Un régimen limitado por emisiones de COVs ocurre cuando el sumidero de radicales dominante es el ácido nítrico (por exceso de NO₂), y la formación de Ozono está limitada por la reacción de oxidación de CO y COVs por OH (los que generan HO₂). Caso interesante es que la formación de Ozono aumenta si es que disminuyen las emisiones de NO_x en un régimen COV limitado.

Normalmente grandes centros urbanos muestran características de COV limitados y localidades más remotas y rurales son NO_x limitado. Por lo tanto, el éxito de las estrategias de reducción de formación de Ozono depende de si, la reducción de sus precursores es apropiada para el régimen de formación. Es importante entonces, hacer seguimiento del impacto de nuevas fuentes de Óxidos de Nitrógeno en localidades semi rurales. Así además, es importante desarrollar planes que tengan por objeto cumplir normas de Ozono en conjunto con Material Particulado, para el caso de Santiago. En tal caso se recomienda hacer una revisión de métodos de reducción de precursores de Ozono como los COVs, específicamente enfocado a aquellos que por abundancia y/o por reactividad (propano, derivados de petróleo) den cuenta de la formación de Ozono.

8 BENEFICIOS EN SALUD ASOCIADOS A LA INCORPORACIÓN DE LAS NORMAS PROPUESTAS

8.1 Metodología de cálculo de beneficios en salud

Para lograr la estimación de los beneficios sociales que tendrían las Normas Primarias de Calidad del Aire propuestas se realizará un análisis de riesgo cuantitativo, que consiste en una modelación cuantitativa de la relación entre concentración de contaminantes en el medio ambiente, exposición de la población a estos contaminantes, efectos en salud y valoración económica de dichos efectos en salud, los cuales serían una medida de los beneficios/daños obtenidos por los cambios en las concentraciones de los contaminantes y bienestar social.

En este estudio se consideran los principales efectos en la salud de la población, ya sean estos agudos o crónicos.

Se realizarán estimaciones de riesgo para los contaminantes que se han propuesto cambios a la normativa (NO_2 , SO_2 y O_3) con la finalidad de determinar los potenciales beneficios sociales que significaría una reducción en sus concentraciones a los límites propuestos en este estudio.

Los métodos son idénticos que los usados en el capítulo 6, Establecimiento de los riesgos asociados a las actuales condiciones de calidad del aire. Con la excepción que en el modelo de riesgo, en vez de estimar el riesgo con respecto a una situación de concentración cero, se compara con una situación en que las concentraciones cumplen las normas propuestas en este estudio.

8.2 Escenarios de reducción de contaminantes asociados a la incorporación de normas propuestas

Para el cálculo de los beneficios en salud, se consideraron los siguientes límites¹⁷⁸ para los contaminantes SO_2 , NO_2 y O_3 . Un resumen de las normativas propuestas se muestra en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1. Resumen de normativas propuestas.

Contaminante	Período	Actual	Propuesta
SO_2	Diario	96 ppb [$250 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	7,5 ppb [$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$]
SO_2	1 hora	No hay	50 ppb [$133 \mu\text{g}/\text{m}^3$]
NO_2	Anual	53 ppb [$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	21 ppb [$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$].
NO_2	1 hora	213 ppb [$400 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	110 ppb [$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$]
O_3	8 horas	61 ppb [$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$]	50 ppb [$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$]

Fuente: elaboración propia

¹⁷⁸ Para los cálculos de beneficios en salud se consideraron las propuestas de normativa planteadas en el capítulo 9.

Como escenarios de reducción de la exposición se calculó para cada comuna el nivel de cumplimiento con la normativa propuesta para cada contaminante y para cada período. Para los períodos de 1 hora a 24 horas se consideró el percentil 99 de las observaciones.

En caso que la norma estuviera superada, se calculó qué porcentaje de las concentraciones debiera reducirse en forma consistente (o sea todos los días del año) de modo que la norma se pudiera cumplir. Dado que para el SO₂ y NO₂ existen dos períodos a evaluar, se seleccionó el porcentaje de reducción más alto.

De este modo para cada comuna y contaminante se calculó un porcentaje de reducción de contaminante según si la norma propuesta se encontraría excedida. Usando estos porcentajes, luego, se calcula la cantidad neta de reducción de contaminante (Δc_i) para los cálculos de riesgo. Los porcentajes de reducción calculados para cada estación y para cada contaminante se muestran en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2. Porcentaje de reducción de contaminantes necesario para cumplir normas propuestas por comuna.

Estación	O ₃	SO ₂	NO ₂
Cerrillos	19,7	79,5	0,0
La Florida	23,2	0,0	0,0
Independencia	14,1	8,4	0,0
Las Condes	33,4	0,0	26,8
Parque O'Higgins	22,2	7,1	0,0
Pudahuel	11,3	10,3	0,0
El Bosque	11,4	61,7	0,0
San Pedro	24,5	0,0	0,0
Cuerpo Bomberos	25,4	30,5	0,0
La Cruz	35,9	27,2	0,0
La Cruz	30,4	4,2	0,0
Rural 1	24,6	28,8	0,0
Antofagasta La Negra	0,0	95,2	0,0
Antofagasta Sur	0,0	99,0	0,0
Calama Aukahuasi	0,0	95,7	0,0
Catemu Santa Margarita	0,0	73,8	0,0
Coya Club	0,0	96,9	0,0
Coya Población	0,0	88,3	0,0

Fuente: Elaboración propia

8.3 Resultados: beneficios en salud asociados a la incorporación de normas propuestas

En esta sección se presentan los resultados de casos evitados producto de la reducción en concentraciones de contaminantes asociadas a la incorporación de

las normas propuestas. Los casos calculados para cada comuna separados por contaminante y efecto se muestran en la Tabla 8.3.

Se observa que la mayor cantidad de efectos se aprecian para O₃ en las comunas de Santiago. Esto se debe a la gran cantidad de población expuesta y a las altas concentraciones observadas.

Adicionalmente, se observan efectos por reducción en SO₂ en ciudades de la II y VI región impactadas por la industria de la minería. Se hace notar que estas comunas tendrían los nuevos estándares ampliamente excedidos por lo que se requeriría reducciones mayores en las emisiones para cumplir los estándares. Estas reducciones se verían asociadas a una disminución importante en la morbilidad de la población.

Por último, se observa que los estándares nuevos no requerirían mayores reducciones, por lo que los beneficios en salud de la implementación de estos sería menor. Se hace notar que el estándar propuesto es bajo una condición de red en que las concentraciones son observadas bajo el “peor escenario”, esto es, estaciones altamente impactadas por tráfico, situación que no es la que se observa en las estaciones en Chile.

Tabla 8.3. Casos evitables atribuibles a reducción en exposición a contaminantes asociados a implementación de normas propuestas.

Comuna	Población	O ₃ - Mortalidad Aguda	O ₃ - Admisiones de hospital por causas respiratorias	O ₃ - Visitas a sala de emergencia por motivos respiratorios	O ₃ - Ataques de asma	O ₃ - Días de actividad restringida	SO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma	NO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma
RM - Cerrillos	71476	1	20	142	1420	3472	38	0
RM - Cerro Navia	143918	1	23	161	1610	3878	10	0
RM - Conchalí	122447	0	0	0	0	0	0	0
RM - El Bosque	177712	1	30	211	2109	5120	59	0
RM - Estación Central	124259	2	44	304	3038	7523	5	0
RM - Huechuraba	82925	0	0	0	0	0	0	0
RM - Independencia	59078	0	0	0	0	0	0	0
RM - La Cisterna	79652	0	14	94	945	2289	27	0
RM - La Florida	390363	5	138	957	9553	24307	0	0
RM - La Granja	131727	2	47	323	3224	7816	0	0
RM - La Pintana	202981	1	35	241	2409	5835	68	0
RM - La Reina	99701	2	66	455	4517	11284	0	10
RM - Las Condes	278125	6	184	1270	12601	32118	0	27
RM - Lo Barnechea	94409	2	63	431	4277	10560	0	9
RM - Lo Espejo	108800	1	31	216	2161	5049	59	0
RM - Lo Prado	100617	1	16	112	1126	2788	7	0
RM - Macul	107890	1	38	265	2640	6560	0	0
RM - Maipú	663186	7	190	1318	13173	32605	357	0

Comuna	Población	O ₃ - Mortalidad Aguda	O ₃ - Admisiones de hospital por causas respiratorias	O ₃ - Visitas a sala de emergencia por motivos respiratorios	O ₃ - Ataques de asma	O ₃ - Días de actividad restringida	SO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma	NO ₂ - Visitas a Sala de Emergencia por Asma
RM - Ñuñoa	158667	2	56	389	3879	9483	6	0
RM - Pedro Aguirre Cerda	105910	1	37	259	2589	6150	4	0
RM - Peñalolén	240470	3	85	590	5885	14409	0	0
RM - Providencia	126793	2	45	311	3100	7835	5	0
RM - Pudahuel	239088	1	38	267	2675	6504	16	0
RM - Quilicura	244729	0	0	0	0	0	0	0
RM - Quinta Normal	97333	1	16	109	1089	2627	7	0
RM - Recoleta	138703	0	0	0	0	0	0	0
RM - Renca	135939	0	0	0	0	0	0	0
RM - San Joaquín	88620	1	31	217	2167	5280	3	0
RM - San Miguel	76535	1	27	187	1871	4594	3	0
RM - San Ramón	91540	1	16	108	1086	2620	31	0
RM - Santiago	184505	2	65	452	4511	11880	7	0
RM - Vitacura	82977	2	55	379	3759	9614	0	8
II - Antofagasta	296905	0	0	0	0	0	814	0
V - Catemu	12112	0	0	0	0	0	21	0
V - La Calera	49503	1	19	131	1305	0	8	0
V - La Cruz	12851	0	6	41	409	0	0	0
V - Quillota	75916	1	31	216	2155	0	12	0
VI - Machali	28628	0	0	0	0	0	46	0

Fuente: Elaboración propia

8.4 Resultados: Valorización económica y social de beneficios en salud asociados a la incorporación de normas propuestas

Los costos sociales y económicos se calcularon asignando un costo estimado para cada caso de cada uno de los efectos en salud observados, según se detalló en la sección anterior. La Tabla 8.4, muestra la valorización de los beneficios sociales y económicos asociados a la implementación de las normas propuestas considerando las mediciones para el año 2008 como base. Los mayores beneficios se observan para las reducciones asociadas a O₃, alcanzando casi los 500 millones de dólares en las comunas de las RM durante el año 2008 si se considera el escenario de valorización de EEUU. Los efectos en salud que más aportan a este monto total son los casos de mortalidad aguda y días de actividad restringida.

Para el caso del SO₂, pese a que hay grandes reducciones de morbilidad, los beneficios económicos y sociales de estas reducciones no son tan altos. Es posible que en otras regiones estas reducciones pudieran ser más altas. Además, es importante considerar que si los estudios presentados en este informe comienzan a ser utilizados por la comunidad internacional para hacer análisis de

riesgos cuantitativos, es posible que se estimen reducciones importantes en efectos en salud con alto costo social (por ejemplo, mortalidad), los cuales no son considerados en la actualidad para NO_x o SO₂ en organizaciones como la EPA. Sin embargo, indirectamente estos contaminantes pueden ser valorizados dado que ambos son precursores de la formación de material particulado PM2.5., obtenido como resultado los posibles beneficios económicos y sociales que se producirían si estos contaminantes precursores disminuyeran.

Tabla 8.4. Valoración de los beneficios sociales y económicos asociados a la implementación de las normas propuestas considerando las mediciones del año 2008 como base (en miles de USD).

Comuna	O ₃			SO ₂			NO ₂		
	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 1	Valor 2	Valor 3
RM – Cerrillos	6369	1971	1054	12	4	0	0	0	0
RM - Cerro Navia	7220	2234	1195	3	1	0	0	0	0
RM – Conchalí	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM - El Bosque	9460	2928	1566	19	6	0	0	0	0
RM - Estación Central	13638	4220	2257	1	0	0	0	0	0
RM – Huechuraba	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM – Independencia	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM - La Cisterna	4239	1312	702	8	3	0	0	0	0
RM - La Florida	42967	13296	7110	0	0	0	0	0	0
RM - La Granja	14452	4472	2392	0	0	0	0	0	0
RM - La Pintana	10804	3343	1788	22	7	0	0	0	0
RM - La Reina	20277	6275	3357	0	0	0	3	1	0
RM - Las Condes	56642	17527	9375	0	0	0	9	3	0
RM - Lo Barnechea	19185	5937	3176	0	0	0	3	1	0
RM - Lo Espejo	9667	2992	1601	19	6	0	0	0	0
RM - Lo Prado	5057	1565	837	2	1	0	0	0	0
RM – Macul	11856	3669	1962	0	0	0	0	0	0
RM – Maipú	59144	18302	9788	114	35	0	0	0	0
RM – Ñuñoa	17400	5384	2880	2	1	0	0	0	0
RM - Pedro Aguirre Cerda	11592	3587	1919	1	0	0	0	0	0
RM – Peñalolén	26400	8170	4370	0	0	0	0	0	0
RM – Providencia	13935	4312	2306	2	0	0	0	0	0
RM – Pudahuel	12002	3714	1986	5	2	0	0	0	0
RM – Quilicura	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM - Quinta Normal	4883	1511	808	2	1	0	0	0	0
RM – Recoleta	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM – Renca	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RM - San Joaquín	9716	3007	1608	1	0	0	0	0	0
RM - San Miguel	8395	2598	1390	1	0	0	0	0	0
RM - San Ramón	4871	1507	806	10	3	0	0	0	0
RM – Santiago	20337	6292	3364	2	1	0	0	0	0
RM – Vitacura	16903	5230	2798	0	0	0	3	1	0

Comuna	O ₃			SO ₂			NO ₂		
	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 1	Valor 2	Valor 3
II – Antofagasta	0	0	0	260	81	0	0	0	0
V – Catemu	0	0	0	7	2	0	0	0	0
V - La Calera	5466	1694	915	2	1	0	0	0	0
V - La Cruz	1715	532	287	0	0	0	0	0	0
V – Quillota	9027	2798	1510	4	1	0	0	0	0
Vi – Machali	0	0	0	15	5	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia

8.5 Resumen capítulo

Se realizó un análisis de riesgo cuantitativo para las condiciones actuales de exposición a NO₂, SO₂ y O₃ en comunas de la RM, II, V y VI regiones considerando escenarios de reducción de contaminación asociados a la implementación de los nuevos estándares propuestos.

Los mayores beneficios se encontraron por la potencial reducción a exposición a O₃ en las comunas de las RM. Esto se debe a la gran cantidad de población expuesta y a los niveles de O₃ observados en estas comunas.

También se encontraron beneficios asociados a reducir la morbilidad respiratoria en comunas altamente impactadas por SO₂, las cuales en general son comunas con un alto impacto de mineras. Cabe resaltar que en estas comunas los niveles encontrados superarían altamente los estándares propuestos por lo que se requerirían reducciones en las emisiones importantes.

Los beneficios asociados a las reducciones fueron valorizados económica y socialmente usando 3 escenarios. Los mayores beneficios están asociados a las reducciones en exposición a O₃ en las comunas de las RM dada la gran concentración de este contaminante, alta población expuesta y el alto impacto de los efectos en salud estimados, sobre todo el aumento en la mortalidad aguda.

9 PROPUESTA DE CAMBIO EN LA NORMATIVA

Considerando los antecedentes expuestos en los capítulos anteriores se ha establecido la siguiente propuesta de cambio a la normativa, las tablas que se presentan en las siguientes páginas (Tabla 9.1, Tabla 9.2 y Tabla 9.3), muestran las propuestas de cambio a la normativa vigente para SO₂, NO₂, O₃ y CO; y el motivo de la recomendación.

Tabla 9.1. Propuesta de cambio en la normativa

Contaminante	Métrica	Valor vigente en Chile (2009)	Propuesta	Fundamento
SO ₂	Anual	31 ppb [80 µg/m ³]	Mantener o modificar/eliminar en función de la incorporación de norma de corto plazo de 1 hora.	La norma actual protege a la población de los efectos de exposición de largo plazo, no sería necesaria si existiera una norma de corto plazo de 1 hora que cumpliría el objeto de disminuir exposición crónica también.
SO ₂	Diario	96 ppb [250 µg/m ³]	Considerar modificación al valor guía OMS del año 2005 7,5 ppb [20 µg/m ³].	Norma OMS toma en cuenta evidencia reciente de efectos de SO ₂ en mortalidad, basado en datos diarios en Hong Kong, muestra baja de 2% al 4% de mortalidad, presentados en Guía OMS de 2005. Un estándar de 7,5 ppb en 24 horas asegura una mayor protección a la salud humana, en especial a la población vulnerable, como menores de edad, asmáticos, tercera edad, alérgicos, entre otros. Sin embargo, la modificación propuesta por la OMS en el año 2005, podría ocasionar que en promedio se supere este nuevo estándar entre un 30% a 40% ¹⁷⁹ , para algunas de las estaciones de monitoreo ubicadas en las ciudades. Es así como en la RM, por ejemplo, se tendría que las estaciones de Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, Independencia, Parque O'higgins, y Pudahuel (en orden de concentraciones) superarían ese valor guía.
SO ₂	1 hora	No existe actualmente (2010)	Considerar modificación de norma en el rango sugerido por EPA 50 a 150 ppb [133 a 400 µg/m ³]	Norma de corto plazo en estudio por EPA busca proteger a asmáticos de exposiciones cortas de SO ₂ que generan morbilidad respiratoria. Norma de corto plazo de la OMS de 10 minutos se basa en estudios de asmáticos, y es difícil de regular por instrumentos normativos. Norma de 1 hora puede cumplir el mismo objetivo.

¹⁷⁹ Porcentaje obtenido a partir de valores históricos de estaciones de monitoreo. Datos disponibles en CD anexo.

Contaminante	Métrica	Valor vigente en Chile (2009)	Propuesta	Fundamento
NO ₂	Anual	53 ppb [100 µg/m ³]	Implementar norma de OMS: 21 ppb [40 µg/m ³].	<p>El estudio principal que documenta los efectos del NO₂ sobre los síntomas respiratorios de niños es el de meta-análisis de Hasselbald¹⁸⁰, éste muestra caída en función pulmonar en niños por exposición crónica. Otros estudios realizados por Gauderman¹⁸¹ importantes encontraron que la exposición crónica a NO₂ estaba asociada a caídas persistentes en el tiempo de función respiratoria.</p> <p>Si se aplicará el valor Guía e la OMS propuesto, en las estaciones de la Región de O'Higgins se estaría cumpliendo la norma en prácticamente en todas las estaciones evaluadas.</p>
NO ₂	1 hora	213 ppb [400 µg/m ³]	Implementar norma de OMS: 110 ppb [200 µg/m ³]	<p>El estudio clínico de meta-análisis de Folinsbee¹⁸², muestra efectos en la función respiratoria ante la exposición en cámaras en asmáticos. Los resultados del estudio muestran un aumento significativo en la resistencia aérea en alrededor del 70% de los sujetos asmáticos después de ser expuestos a concentraciones de 200 a 300 ppb [376 a 564 µg/m³] por media hora. Además, muestra el aumento en reacción alérgica por exposición a NO₂.</p> <p>En RM las estaciones sólo las Condes, Cerrillos y Pudahuel han medido NO₂ durante varios años. El año 2009, se ha empezado a reportar NO₂ en el resto de las estaciones, por lo que es difícil evaluar el cumplimiento las tendencias fuera de las estaciones mencionadas</p> <p>En a V Región, la norma de 1 hora actual prácticamente no es superada, pero implementar la norma OMS ocasionaría que estos valores se encontrasen en el límite, lo que eventualmente ocasionaría superación.</p>

¹⁸⁰ Hasselblad, V., Eddy, D.M., and Kotchmar, D.J. (1992). Synthesis of environmental evidence: nitrogen dioxide epidemiology studies. *J Air Waste Manage Assoc* 42, 662-671.

¹⁸¹ Gauderman, W.J., Avol, E., Lurmann, F., Kuenzli, N., Gilliland, F., Peters, J., and McConnell, R. (2005). Childhood asthma and exposure to traffic and nitrogen dioxide. *Epidemiology* 16, 737-743.

Gauderman, W.J., Gilliland, G.F., Vora, H., Avol, E., Stram, D., McConnell, R., Thomas, D., Lurmann, F., Margolis, H.G., Rappaport, E.B., *et al.* (2002). Association between air pollution and lung function growth in southern California children: results from a second cohort. *Am J Respir Crit Care Med* 166, 76-84.

Gauderman, W.J., McConnell, R., Gilliland, F., London, S., Thomas, D., Avol, E., Vora, H., Berhane, K., Rappaport, E.B., Lurmann, F., *et al.* (2000). Association between air pollution and lung function growth in southern California children. *Am J Respir Crit Care Med* 162, 1383-1390.

¹⁸² Folinsbee, L.J. (1992). Does nitrogen dioxide exposure increase airways responsiveness? *Toxicol Ind Health* 8, 273-283.

Contaminante	Métrica	Valor vigente en Chile (2009)	Propuesta	Fundamento
O ₃	8 horas	61 ppb [120 µg/m ³]	Implementar norma de OMS: 50 ppb [100 µg/m ³]	<p>Nuevos estudios (Bell, 2005¹⁸³; Gryparis, 2004¹⁸⁴; Ito, 2005¹⁸⁵; y Levy, 2005¹⁸⁶), muestran una asociación entre O₃ y aumento de mortalidad. Un estándar de esta naturaleza mantendría el exceso de muertes por debajo del 2% diario.</p> <p>El estudio de Horstman, (1990)¹⁸⁷, encontró indicaciones de obstrucción pulmonar e hiperreactividad de las vías aéreas en jóvenes adultos cuando fueron expuestos a concentraciones de O₃ entre 80 y 100 ppb [160 a 200 µg/m³] por 6 horas.</p> <p>Si se aplicara el valor guía del año 2005 de la OMS, todas las estaciones de monitoreo de la RM tendrían superación de norma durante el año, particularmente Las Condes, (137 superaciones), La Florida (67 superaciones), y Parque O'Higgins (51 superaciones). Similar situación ocurriría tanto en la Región de Valparaíso como en la Región de O'Higgins.</p>
CO	1 hora	26 ppm [28 µg/m ³]	Mantener	No existen nuevos antecedentes científicos, norma actual en el rango de la OMS.
CO	8 horas	9 ppm [10 µg/m ³]	Mantener	No existen nuevos antecedentes científicos, norma actual en el rango de la OMS.

¹⁸³ Bell, M.L., Dominici, F., and Samet, J.M. (2005). A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study. *Epidemiology* 16, 436-445.

¹⁸⁴ Gryparis, A., Forsberg, B., Katsouyanni, K., Analitis, A., Touloumi, G., Schwartz, J., Samoli, E., Medina, S., Anderson, H.R., Niciu, E.M., *et al.* (2004). Acute effects of ozone on mortality from the "air pollution and health: a European approach" project. *Am J Respir Crit Care Med* 170, 1080-1087

¹⁸⁵ Ito, K., De Leon, S.F., and Lippmann, M. (2005). Associations between ozone and daily mortality: analysis and meta-analysis. *Epidemiology* 16, 446-457

¹⁸⁶ Levy, J.I., Chemerynski, S.M., and Samat, J.A. (2005). Ozone exposure and mortality: an empiric bayes metaregression analysis. *Epidemiology* 16, 458-468

¹⁸⁷ Horstman, D.H., Folinsbee, L.J., Ives, P.J., Abdul-Salaam, S., and McDonnell, W.F. (1990). Ozone concentration and pulmonary response relationships for 6.6-hour exposures with five hours of moderate exercise to 0.08, 0.10, and 0.12 ppm. *The American review of respiratory disease* 142, 1158-1163

Tabla 9.2. Recomendación respecto de criterio de completitud de los datos, criterio de excedencia y monitoreo

Contaminante	Métrica	Compleitud	Criterio de Excedencia	Monitoreo
SO ₂	Anual	No se recomienda cambio, dado que el criterio de 75% de existencia de datos es ampliamente utilizado a nivel internacional.	Se recomienda considerar solamente el último año de mediciones, si es que no se deroga la norma	No se recomiendan cambios a nivel de tipo de estaciones de monitoreo, pero se recomienda cambios respecto del aumento de la cobertura de acuerdo a análisis realizado en sección 3.8.
SO ₂	Diario		Se recomienda declarar saturada aquellas zonas que no cumplan norma 1 año, y no esperar tres años de superación.	No se recomiendan cambios a nivel de tipo de estaciones de monitoreo, pero se recomienda cambios respecto del aumento de la cobertura de acuerdo a análisis realizado en sección 3.8.
SO ₂	1 hora		Además, se aconseja disminuir la excedencia permitida desde 4 días (percentil 99) a 1 día (percentil 99.75).	
NO ₂	Anual	No se recomienda cambio, dado que el criterio de 75% de existencia de datos es ampliamente utilizado a nivel internacional.	Se recomienda declarar saturado aquellas zonas que no cumplan norma 1 año, y no esperar tres años de superación.	Se recomienda establecer estaciones de monitoreo de máxima exposición (ejemplo: autopistas, rutas, etc.), de acuerdo a la propuesta de norma y efectos en salud.
NO ₂	1 hora		Se recomienda declarar saturada aquellas zonas que no cumplan norma 1 año, y no esperar tres años de superación. Además, se aconseja disminuir la excedencia permitida desde 4 días (percentil 99) a 1 día (percentil 99.75).	
O ₃	8 horas	No se recomienda cambio, dado que el criterio de 75% de existencia de datos es ampliamente utilizado a nivel internacional.	Se recomienda mantener criterio de media trianual de percentil 99 de los máximos diarios de la media de 8 horas, debido a que políticas de control de emisiones de precursores que podrían tener efectos no lineales, además de que obedecen a políticas de largo plazo.	Se recomienda agregar el compuesto NO _x a la red de monitoreo de calidad de aire para localidades saturadas en Ozono.
CO	1 hora	No se recomienda cambio, dado que el criterio de 75% de existencia de datos es ampliamente utilizado a nivel internacional	Se recomienda declarar saturada aquellas zonas que no cumplan norma 1 año, y no esperar tres años de superación.	Se recomienda establecer estaciones de monitoreo de máxima exposición, de acuerdo a efectos en salud.
CO	8 horas		Además, se aconseja disminuir la excedencia permitida desde 4 días (percentil 99) a 1 día (percentil 99.75).	No se recomiendan cambios a nivel de tipo de estaciones de monitoreo, pero se recomienda cambios respecto del aumento de la cobertura.

Tabla 9.3. Recomendación respecto de principio de monitoreo

Contaminante	Método actual	Propuesta de cambio
SO ₂	Fluorescencia ultravioleta Espectrometría de absorción diferencial con calibración in-situ o Método equivalente propuesto por EPA o CE.	El principio más utilizado en las estaciones de monitoreo chilenas es la fluorescencia ultravioleta, no se recomienda cambio en el método de medición ya que este presenta el estado del arte actual
NO ₂	Quimioluminiscencia Métodos basados en método modificado de Griess-Saltzman Espectrometría de absorción óptica diferencial, con calibración in-situ Método equivalente propuesto por EPA o CE.	El principio más utilizado en las estaciones de monitoreo chilenas es la quimioluminiscencia, este método es ampliamente utilizado por la mayoría de los países incluido Estados Unidos y recomendado por la comunidad Europea. No se recomienda el método de Griess-Saltzman modificado ya que tiene menos sensibilidad, y presenta posibles interferencias por cloruro de sodio.
CO	Fluorescencia ultravioleta Espectrometría de absorción diferencial con calibración in-situ o Método equivalente propuesto por EPA o Comunidad Europea.	El principio más utilizado a nivel internacional y a nivel nacional es la espectrometría de absorción diferencial. Por esto y el hecho de que es el método de recomendado por la EPA, no se recomienda cambios en la metodología
O ₃	Quimioluminiscencia con etileno Fotometría de absorción ultravioleta Cromatografía líquida gas/ sólido Espectrometría de absorción óptica diferencial Método equivalente propuesto por EPA o CE.	El principio más utilizado por estaciones de monitoreo es fotometría de absorción ultravioleta, no se recomienda cambio de método ya que este también es el de referencia para Comunidad Europea y EPA. Se recomienda retirar como método aceptado la quimioluminiscencia de etileno, ya que este método puede tener interferencias en lugares con muchos hidrocarburos, como es el caso de áreas urbanas.

10 CONSULTORA Y PERSONAS QUE HAN PARTICIPADO EN LA ELABORACIÓN DE ESTE ESTUDIO

Elaboración estudio: KAS Ambiental S.A.

- Marcela Jerardino Etcheverry, Doctora en Ciencias Biológicas.
- Marcelo Mena Carrasco, Ingeniero Civil Bioquímico, PhD Civil and Environmental Engineering.
- Pablo Ruiz Rudolph, Bioquímico, Doctor en salud ambiental Universidad de Harvard.
- Loreto Stambuk Buc, Socióloga, Master of Science, Urban and Regional Planning María Teresa Palma González, Ingeniero Civil Industrial Químico.
- Rodrigo Mondaca Villarroel, Geógrafo.
- Rodolfo Granifo Vásquez, Ingeniero Ambiental.
- Andrés Stambuk Buc, Ingeniero Civil, Master of Science, Civil and Environmental Engineering.
- Paulina Pino, Cirujano dentista, Doctor en Epidemiología.
- Soledad Burgos, Médico Veterinario, Doctorando en Salud Pública.
- Álvaro Lefio, Médico Cirujano.

Colaboradores

- Stephanie Mesias, Ingeniero Ambiental.
- Cynthia Córdova, Ingeniero Ambiental.
- Cecilia Orellana, Médico Veterinario, Master en Salud Pública.

Se agradece la colaboración del Dr. Neal Fann de la Neal Fann Office of Air Quality Planning & Standards de la USEPA por su ayuda con los riesgos asociados a NO₂ y SO₂.

Contraparte técnica

- Cristián Ibarra, CONAMA D.E.
- Walter Folch, MINISTERIO DE SALUD.
- Maritza Jadrijevic, CONAMA D.E.
- Priscila Ulloa, CONAMA D.E.
- Carmen Gloria Contreras, CONAMA D.E.

11 REFERENCIAS

- Adams, W.C. (2002). Comparison of chamber and face-mask 6.6-hour exposures to ozone on pulmonary function and symptoms responses. *Inhal Toxicol* 14, 745-764.
- Adams, W.C. (2006). Comparison of chamber 6.6-h exposures to 0.04-0.08 PPM ozone via square-wave and triangular profiles on pulmonary responses. *Inhal Toxicol* 18, 127-136.
- Anderson, H.R., Ponce de Leon, A., Bland, J.M., Bower, J.S., Emberlin, J., and Strachan, D.P. (1998). Air pollution, pollens, and daily admissions for asthma in London 1987-92. *Thorax* 53, 842-848.
- Anderson, H.R., Ponce de Leon, A., Bland, J.M., Bower, J.S., and Strachan, D.P. (1996). Air pollution and daily mortality in London: 1987-92. *BMJ* 312, 665-669.
- Avol, E.L., Linn, W.S., Peng, R.C., Whynot, J.D., Shamoo, D.A., Little, D.E., Smith, M.N., and Hackney, J.D. (1989). Experimental exposures of young asthmatic volunteers to 0.3 ppm nitrogen dioxide and to ambient air pollution. *Toxicol Ind Health* 5, 1025-1034.
- Barck, C., Lundahl, J., Hallden, G., and Bylin, G. (2005). Brief exposures to NO₂ augment the allergic inflammation in asthmatics. *Environ Res* 97, 58-66.
- Barck, C., Sandstrom, T., Lundahl, J., Hallden, G., Svartengren, M., Strand, V., Rak, S., and Bylin, G. (2002). Ambient level of NO₂ augments the inflammatory response to inhaled allergen in asthmatics. *Respir Med* 96, 907-917.
- Bauer, M.A., Utell, M.J., Morrow, P.E., Speers, D.M., and Gibb, F.R. (1986). Inhalation of 0.30 Ppm Nitrogen-Dioxide Potentiates Exercise-Induced Bronchospasm in Asthmatics. *American Review of Respiratory Disease* 134, 1203-1208.
- Belmar, R. (1989). Estudio epidemiológico sobre efectos de la contaminación atmosférica. Estudio de morbilidad. Contaminación Atmosférica de Santiago, estado y soluciones in Informe final SGA/Resolución 1215.
- Bell, M.L., Dominici, F., and Samet, J.M. (2005). A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study. *Epidemiology* 16, 436-445.
- Brauer, M., Hoek, G., Smit, H.A., de Jongste, J.C., Gerritsen, J., Postma, D.S., Kerkhof, M., and Brunekreef, B. (2007). Air pollution and development of asthma, allergy and infections in a birth cohort. *Eur Respir J* 29, 879-888.
- Cakmak, S., Dales, R.E., and Vida, C.B. (2009). Components of particulate air pollution and mortality in Chile. *Int J Occup Environ Health* 15, 152-158.
- Cakmak, S., Dales, R.E., and Vidal, C.B. (2007). Air pollution and mortality in Chile: Susceptibility among the elderly. *Environmental Health Perspectives* 115, 524-527.
- Cifuentes, L.A., Vega, J., Kopfer, K., and Lava, L.B. (2000a). Effect of the fine fraction of particulate matter versus the coarse mass and other pollutants on

- daily mortality in Santiago, Chile. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50, 1287-1298.
- Cifuentes, L.A., Vega, J., Kopfer, K., and Lave, L.B. (2000b). Effect of the fine fraction of particulate matter versus the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile. *J Air Waste Manag Assoc* 50, 1287-1298.
 - Cifuentes, L.A., Borja-Aburto, Victor H., Gouveia, N., Thurston, G., Lee Davis, D. (2001). Assessing the health Benefits of Urban Air Pollution Reductions Associated with Climate Change Mitigation (2000-2020). Santiago, Sao Paulo, México City, and New York City. *Environmental Health Perspectives*, Vol 109, Supplement 3 (Jun., 2001), pp 419-425. Published by: Brogan & Partners.
 - Cifuentes, L.A., Krupnick, J., O’Ryan R., Toman, M., *Urban Air Quality and Human Health in Latin America and Caribbean*, October, 2005. Washington, D.C.
 - Dab, W., Medina, S., Quenel, P., Le Moullec, Y., Le Tertre, A., Thelot, B., Monteil, C., Lameloise, P., Pirard, P., Momas, I., *et al.* (1996). Short term respiratory health effects of ambient air pollution: results of the APHEA project in Paris. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl 1*, s42-46.
 - Dales, R.E., Cakmak, S., and Vidal, C.B. (2009). Air pollution and hospitalization for headache in Chile. *Am J Epidemiol* 170, 1057-1066.
 - DEIS (2009). <http://deis.minsal.cl/index.asp>.
 - Devlin, R.B., Horstman, D.P., Gerrity, T.R., Becker, S., Madden, M.C., Biscardi, F., Hatch, G.E., and Koren, H.S. (1999). Inflammatory response in humans exposed to 2.0 ppm nitrogen dioxide. *Inhal Toxicol* 11, 89-109.
 - EPA (1999). The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010. November 1999.
 - EPA (2009a). Risk and Exposure Assessment for the NO₂ NAAQS.
 - EPA (2009b). Risk and Exposure Assessment for the SO₂ NAAQS.
 - Folinsbee, L.J. (1992). Does nitrogen dioxide exposure increase airways responsiveness? *Toxicol Ind Health* 8, 273-283.
 - Gauderman, W.J., Avol, E., Gilliland, F., Vora, H., Thomas, D., Berhane, K., McConnell, R., Kuenzli, N., Lurmann, F., Rappaport, E., *et al.* (2004). The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *N Engl J Med* 351, 1057-1067.
 - Gauderman, W.J., Avol, E., Lurmann, F., Kuenzli, N., Gilliland, F., Peters, J., and McConnell, R. (2005). Childhood asthma and exposure to traffic and nitrogen dioxide. *Epidemiology* 16, 737-743.
 - Gauderman, W.J., Gilliland, G.F., Vora, H., Avol, E., Stram, D., McConnell, R., Thomas, D., Lurmann, F., Margolis, H.G., Rappaport, E.B., *et al.* (2002). Association between air pollution and lung function growth in southern California children: results from a second cohort. *Am J Respir Crit Care Med* 166, 76-84.
 - Gauderman, W.J., McConnell, R., Gilliland, F., London, S., Thomas, D., Avol, E., Vora, H., Berhane, K., Rappaport, E.B., Lurmann, F., *et al.* (2000).

- Association between air pollution and lung function growth in southern California children. *Am J Respir Crit Care Med* 162, 1383-1390.
- Gryparis, A., Forsberg, B., Katsouyanni, K., Analitis, A., Touloumi, G., Schwartz, J., Samoli, E., Medina, S., Anderson, H.R., Niciu, E.M., *et al.* (2004). Acute effects of ozone on mortality from the "air pollution and health: a European approach" project. *Am J Respir Crit Care Med* 170, 1080-1087.
 - Hajat, S., Haines, A., Goubet, S.A., Atkinson, R.W., and Anderson, H.R. (1999). Association of air pollution with daily GP consultations for asthma and other lower respiratory conditions in London. *Thorax* 54, 597-605.
 - Hasselblad, V., Eddy, D.M., and Kotchmar, D.J. (1992). Synthesis of environmental evidence: nitrogen dioxide epidemiology studies. *J Air Waste Manage Assoc* 42, 662-671.
 - Hedley, A.J., Wong, C.M., Thach, T.Q., Ma, S., Lam, T.H., and Anderson, H.R. (2002). Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet* 360, 1646-1652.
 - Holz, J.C. (2000). Estimación de costos unitarios en morbilidad y mortalidad y su aplicación para calcular los beneficios del plan de prevención y descontaminación atmosférica de la región metropolitana.
 - Horstman, D.H., Folinsbee, L.J., Ives, P.J., Abdul-Salaam, S., and McDonnell, W.F. (1990). Ozone concentration and pulmonary response relationships for 6.6-hour exposures with five hours of moderate exercise to 0.08, 0.10, and 0.12 ppm. *The American review of respiratory disease* 142, 1158-1163.
 - Ilabaca, M., Olaeta, I., Campos, E., Villaire, J., Tellez-Rojo, M.M., and Romieu, I. (1999). Association between levels of fine particulate and emergency visits for pneumonia and other respiratory illnesses among children in Santiago, Chile. *J Air Waste Manag Assoc* 49, 154-163.
 - Ito, K., De Leon, S.F., and Lippmann, M. (2005). Associations between ozone and daily mortality: analysis and meta-analysis. *Epidemiology* 16, 446-457.
 - Katsouyanni, K., Zmirou, D., Spix, C., Sunyer, J., Schouten, J.P., Ponka, A., Anderson, H.R., Le Moullec, Y., Wojtyniak, B., Vigotti, M.A., *et al.* (1995). Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. The APHEA project: background, objectives, design. *Eur Respir J* 8, 1030-1038.
 - Levy, J.I., Chemerynski, S.M., and Sarnat, J.A. (2005). Ozone exposure and mortality: an empiric bayes metaregression analysis. *Epidemiology* 16, 458-468.
 - Lin, M., Chen, Y., Villeneuve, P.J., Burnett, R.T., Lemyre, L., Hertzman, C., McGrail, K.M., and Krewski, D. (2004). Gaseous air pollutants and asthma hospitalization of children with low household income in Vancouver, British Columbia, Canada. *Am J Epidemiol* 159, 294-303.
 - Linn, W.S., Venet, T.G., Shamoo, D.A., Valencia, L.M., Anzar, U.T., Spier, C.E., and Hackney, J.D. (1983). Respiratory effects of sulfur dioxide in heavily exercising asthmatics. A dose-response study. *The American review of respiratory disease* 127, 278-283.

- Ito, K. (2007). Association between doarse particles and asthma emergency department (ED) visits in New York City. Presented at: American Thoracic Society international conference; San Francisco, CA.
- McDonnell, W.F., Stewart, P.W., Andreoni, S., Seal, E., Jr., Kehrl, H.R., Horstman, D.H., Folinsbee, L.J., and Smith, M.V. (1997). Prediction of ozone-induced FEV1 changes. Effects of concentration, duration, and ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 156, 715-722.
- NYSDH (2006). A study of ambient air contaminants and asthma in New York City. Final Report, Part B: Air contaminants and emergency department visits for asthma inthe Bronx and Manhattan. . In Prepared for The US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substance and Disease Registry Available: www.atdr.cdc.gov/document/ASTHMA_BRONX_FINAL_REPORT.pdf
- Ortuzar, J., Cifuentes, L.A., Williams, H., 2000, Application of willingness-to-pay methods to value transport externalities in less developed countries. *Environmental and Planning A* 2000, volume 32, pages 2007-2018.
- Ostro, B., Sanchez, J.M., Aranda, C., and Eskeland, G.S. (1996). Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 6, 97-114.
- Ostro, B., Eskeland, G., Sanchez, J., Feyzioglu T. Air Pollution and Health Effects: A Study of Medical Visits among Children in Santiago, Chile. *Environmental Health Perspectives*, Vol 107, N° 1 (J an., 1999), pp. 69-73.
- Ostro, B.D., and Rothschild, S. (1989). Air pollution and acute respiratory morbidity: an observational study of multiple pollutants. *Environ Res* 50, 238-247.
- Peel, J.L., Tolbert, P.E., Klein, M., Metzger, K.B., Flanders, W.D., Todd, K., Mulholland, J.A., Ryan, P.B., and Frumkin, H. (2005). Ambient air pollution and respiratory emergency department visits. *Epidemiology* 16, 164-174.
- Pino, P., Oyarzun, M., Walter, T., von Baer, D., and Romieu, I. (1998). [Indoor air pollution in southeast Santiago, Chile]. *Rev Med Chil* 126, 367-374.
- Pino, P., Walter, T., Oyarzun, M., Villegas, R., and Romieu, I. (2004). Fine particulate matter and wheezing illnesses in the first year of life. *Epidemiology* 15, 702-708.
- Ponce de Leon, A., Anderson, H.R., Bland, J.M., Strachan, D.P., and Bower, J. (1996). Effects of air pollution on daily hospital admissions for respiratory disease in London between 1987-88 and 1991-92. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl* 1, s63-70.
- Pope, C.A., 3rd, Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., and Thurston, G.D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 287, 1132-1141.
- Roger, L.J., Horstman, D.H., McDonnell, W., Kehrl, H., Ives, P.J., Seal, E., Chapman, R., and Massaro, E. (1990). Pulmonary function, airway responsiveness, and respiratory symptoms in asthmatics following exercise in NO₂. *Toxicol Ind Health* 6, 155-171.

- Salinas, M., and Vega, J. (1995). The effect of outdoor air pollution on mortality risk: an ecological study from Santiago, Chile. *World Health Stat Q* 48, 118-125.
- Sanhueza, P., Pizarro, J., Vargas, C., Torreblanca, M., and Passalacqua, M. (2009). Health risk estimation due to carbon monoxide pollution at different spatial levels in Santiago, Chile. *Environ Monit Assess*.
- Schouten, J.P., Vonk, J.M., and de Graaf, A. (1996). Short term effects of air pollution on emergency hospital admissions for respiratory disease: results of the APHEA project in two major cities in The Netherlands, 1977-89. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl 1*, s22-29.
- Schwartz, J., and Dockery, D.W. (1992). Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *The American review of respiratory disease* 145, 600-604.
- Schwartz, J., and Morris, R. (1995). Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Detroit, Michigan. *Am J Epidemiol* 142, 23-35.
- SGA (1999). Estudio Normas.
- Spix, C., Heinrich, J., Dockery, D., Schwartz, J., Volksch, G., Schwinkowski, K., Collen, C., and Wichmann, H.E. (1993). Air pollution and daily mortality in Erfurt, east Germany, 1980-1989. *Environ Health Perspect* 101, 518-526.
- Strand, V., Rak, S., Svartengren, M., and Bylin, G. (1997). Nitrogen dioxide exposure enhances asthmatic reaction to inhaled allergen in subjects with asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 155, 881-887.
- Strand, V., Svartengren, M., Rak, S., Barck, C., and Bylin, G. (1998). Repeated exposure to an ambient level of NO₂ enhances asthmatic response to a nonsymptomatic allergen dose. *Eur Respir J* 12, 6-12.
- Sunyer, J., Anto, J.M., Murillo, C., and Saez, M. (1991). Effects of urban air pollution on emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Epidemiol* 134, 277-286; discussion 287-279.
- Sunyer, J., Castellsague, J., Saez, M., Tobias, A., and Anto, J.M. (1996). Air pollution and mortality in Barcelona. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl 1*, s76-80.
- Sunyer, J., Spix, C., Quenel, P., Ponce-de-Leon, A., Ponka, A., Barumandzadeh, T., Touloumi, G., Bacharova, L., Wojtyniak, B., Vonk, J., *et al.* (1997). Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA Project. *Thorax* 52, 760-765.
- Tellez-Rojo, M., Romieu I., Polo-Peña, M., Ruiz-Velazco, S., Meneses-González, F., Hernández-Avila M. Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de a Ciudad de México. *Salud Pública México*, vol.39 n.6 Cuernavaca Nov./Dec. 1997.
- Thurston, G.D., Ito, K., Hayes, C.G., Bates, D.V., and Lippmann, M. (1994). Respiratory hospital admissions and summertime haze air pollution in Toronto, Ontario: consideration of the role of acid aerosols. *Environ Res* 65, 271-290.
- Thurston, G.D., Ito, K., Kinney, P.L., and Lippmann, M. (1992). A multi-year study of air pollution and respiratory hospital admissions in three New York

- State metropolitan areas: results for 1988 and 1989 summers. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2, 429-450.
- Tolbert, P.E., Klein, M., Peel, J.L., Sarnat, S.E., and Sarnat, J.A. (2007). Multipollutant modeling issues in a study of ambient air quality and emergency department visits in Atlanta. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 17 *Suppl* 2, S29-35.
 - Touloumi, G., Samoli, E., and Katsouyanni, K. (1996). Daily mortality and "winter type" air pollution in Athens, Greece--a time series analysis within the APHEA project. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl* 1, s47-51.
 - Tsai, S.S., Cheng, M.H., Chiu, H.F., Wu, T.N., and Yang, C.Y. (2006). Air pollution and hospital admissions for asthma in a tropical city: Kaohsiung, Taiwan. *Inhal Toxicol* 18, 549-554.
 - Tunnicliffe, W.S., Burge, P.S., and Ayres, J.G. (1994). Effect of domestic concentrations of nitrogen dioxide on airway responses to inhaled allergen in asthmatic patients. *Lancet* 344, 1733-1736.
 - Tunnicliffe, W.S., Hilton, M.F., Harrison, R.M., and Ayres, J.G. (2001). The effect of sulphur dioxide exposure on indices of heart rate variability in normal and asthmatic adults. *Eur Respir J* 17, 604-608.
 - U.S.D.L.B.L.S. (2009). US Inflation Calculator. Consumer Price Index Data from 1913 to 2009. <http://www.usinflationcalculator.com/inflation/consumer-price-index-and-annual-percent-changes-from-1913-to-2008/>. Department of Labor Bureau of Labor Statistics.
 - Whittemore, A., Edward, K., Asthma and air Pollution in the Los Angeles Area. July 1980, Vol. 70, N°7.
 - WHO (1987). Air Quality Guidelines for Europe.
 - WHO (2000a). Air Quality Guidelines.
 - WHO (2000b). Air Quality Guidelines for Europe - Second Edition.
 - WHO (2005). Air Quality Guidelines- Global Update (Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe).
 - Wietlisbach, V., Pope, C.A., 3rd, and Ackermann-Liebrich, U. (1996). Air pollution and daily mortality in three Swiss urban areas. *Soz Praventivmed* 41, 107-115.
 - Wong, C.M., Ma, S., Hedley, A.J., and Lam, T.H. (2001). Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong. *Environ Health Perspect* 109, 335-340.
 - Yang, Q., Chen, Y., Krewski, D., Burnett, R.T., Shi, Y., and McGrail, K.M. (2005). Effect of short-term exposure to low levels of gaseous pollutants on chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations. *Environ Res* 99, 99-105.
 - Yang, Q., Chen, Y., Shi, Y., Burnett, R.T., McGrail, K.M., and Krewski, D. (2003). Association between ozone and respiratory admissions among children and the elderly in Vancouver, Canada. *Inhal Toxicol* 15, 1297-1308.
 - Zmirou, D., Barumandzadeh, T., Balducci, F., Ritter, P., Laham, G., and Ghilardi, J.P. (1996). Short term effects of air pollution on mortality in the city of Lyon, France, 1985-90. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl* 1, S30-35.

12 ANEXOS

Anexo 1. Comparación entre redes privadas y públicas de monitoreo de gases con respecto a número recomendado por Comunidad Europea.

Comuna	Población	Región	Red Privada	Red Pública	Recomendadas ¹⁸⁸	Requeridas
Arica	185,268	15	0	0	1	1
Iquique	216,419	1	4	0	1	1
Antofagasta	296,905	2	4	0	2	2
Calama	138,402	2	6	0	1	1
Copiapó	129,091	3	2	0	1	1
Vallenar	48,04	3	0	0	1	1
Coquimbo	163,036	4	0	0	1	1
La Serena	160,148	4	0	0	1	1
Ovalle	98,089	4	0	0	1	1
Illapel	30,355	4	0	0	1	1
Monte patria	30,276	4	0	0	1	1
Viña del mar	286,931	5	0	1	2	1
Valparaíso	275,982	5	0	0	2	2
Quilpué	128,578	5	0	0	1	1
Villa alemana	95,623	5	0	0	1	1
San antonio	87,205	5	0	0	1	1
Quillota	75,916	5	3	0	1	1
San felipe	64,126	5	0	0	1	1
Los andes	60,198	5	0	0	1	1
Calera	49,503	5	0	0	1	1
Limache	39,219	5	0	0	1	1
Concón	32,273	5	5	0	1	1
La ligua	31,987	5	0	0	1	1
Rancagua	214,344	6	0	1	1	0
San fernando	63,732	6	0	1	1	0
Rengo	50,83	6	1	0	1	1
Santa cruz	32,387	6	0	0	1	1
Chimbarongo	32,316	6	0	0	1	1
Talca	201,797	7	2	0	1	1
Curicó	119,585	7	2	0	1	1
Linares	83,249	7	0	0	1	1
Constitución	46,081	7	0	0	1	1
Cauquenes	41,217	7	0	0	1	1
Molina	38,521	7	0	0	1	1

¹⁸⁸ Se recomienda 1 estación de monitoreo de gases cada 250.000 personas.

Comuna	Población	Región	Red Privada	Red Pública	Recomendadas ¹⁸⁸	Requeridas
Parral	37,822	7	0	0	1	1
San javier	37,793	7	0	0	1	1
San clemente	37,261	7	0	0	1	1
Talcahuano	250,348	8	1	0	1	1
Concepción	216,061	8	1	0	1	1
Los angeles	166,556	8	1	0	1	1
Chillán	161,953	8	0	1	1	0
Coronel	95,528	8	4	0	1	1
Chiguayante	81,302	8	0	0	1	1
San pedro de la paz	80,447	8	1	0	1	1
Tomé	52,44	8	0	0	1	1
San carlos	50,088	8	0	0	1	1
Lota	49,089	8	0	0	1	1
Penco	46,016	8	0	0	1	1
San vicente	40,253	8	0	0	1	1
Arauco	34,873	8	0	0	1	1
Curanilahue	31,943	8	0	0	1	1
Cañete	31,27	8	0	0	1	1
Temuco	245,347	9	0	1	1	0
Padre las casas	58,795	9	0	0	1	1
Angol	48,996	9	0	0	1	1
Villarrica	45,531	9	0	0	1	1
Nueva imperial	40,059	9	0	0	1	1
Victoria	33,501	9	0	0	1	1
Lautaro	32,218	9	0	0	1	1
Puerto montt	175,938	10	0	0	1	1
Osorno	145,475	10	0	0	1	1
Ancud	39,946	10	0	0	1	1
Castro	39,366	10	0	0	1	1
Puerto varas	32,912	10	0	0	1	1
Calbuco	31,07	10	0	0	1	1
Coihaique	50,041	11	0	0	1	1
Punta arenas	119,496	12	0	0	1	1
Puente alto	492,915	13	0	1	2	1
Maipú	468,39	13	0	1	1	0
La florida	365,674	13	0	1	2	
Las condes	249,893	13	0	1	1	0
San bernardo	246,762	13	0	0	1	1
Peñalolén	216,06	13	0	1	1	0
Santiago	200,792	13	0	1	1	0

Comuna	Población	Región	Red Privada	Red Pública	Recomendadas ¹⁸⁸	Requeridas
Pudahuel	195,653	13	0	1	1	0
La pintana	190,085	13	0	11	1	0
El bosque	175,594	13	0	1	1	0
Nuñoa	163,511	13	0	0	1	1
Cerro navia	148,312	13	0	1	1	0
Recoleta	148,22	13	0	1	1	0
Renca	133,518	13	0	1	1	0
Conchalí	133,256	13	0	0	1	1
La granja	132,52	13	0	0	1	1
Estación central	130,394	13	0	1	1	0
Quilicura	126,518	13	0	1	1	0
Providencia	120,874	13	0	1	1	0
Pedro aguirre cerda	114,56	13	0	1	1	0
Lo espejo	112,8	13	0	1	1	0
Macul	112,535	13	0	1	1	0
Lo prado	104,316	13	0	1	1	0
Quinta normal	104,012	13	0	1	1	0
San joaquín	97,625	13	0	0	1	1
La reina	96,762	13	0	0	1	1
San ramón	94,906	13	0	1	1	0
Melipilla	94,54	13	0	0	1	1
La cisterna	85,118	13	0	1	1	0
Vitacura	81,499	13	0	1	1	0
San miguel	78,872	13	0	1	1	0
Colina	77,815	13	0	0	1	1
Lo barnechea	74,749	13	0	1	1	0
Huechuraba	74,07	13	0	0	1	1
Cerrillos	71,906	13	0	1	1	0
Peñaflor	66,619	13	0	0	1	1
Independencia	65,479	13	0	1	1	0
Buin	63,419	13	0	0	1	1
Talagante	59,805	13	0	1	1	0
Paine	50,028	13	0	0	1	1
Lampa	40,228	13	0	0	1	1
Padre hurtado	38,768	13	0	0	1	1
Valdivia	140,559	14	0	1	1	0
La unión	39,447	14	0	0	1	1
Panguipulli	33,273	14	0	0	1	1
Río bueno	32,627	14	0	0	1	1

Anexo 2. Resumen de porcentajes (%) de días válidos para compuestos con Norma de Calidad Primaria de Aire, para estaciones de monitoreo, 2000 a 2008. Datos obtenidos de SINCA.

Estación	Región	Año	CO 8h	CO 1h	O3 8h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h
I Iquique Punta de Lobos	1	2002	-	-	-	82	-
I Iquique Punta de Lobos	1	2003	-	-	-	95	-
I Iquique Punta de Lobos	1	2004	-	-	-	89	-
I Iquique Punta de Lobos	1	2005	100	100	-	100	100
I Iquique Punta de Lobos	1	2006	100	100	-	95	100
I Iquique Punta de Lobos	1	2007	100	100	-	3	100
II Antofagasta Coviefi	2	2008	-	-	-	100	-
II Antofagasta Incesa	2	2008	-	-	-	76	-
II Antofagasta La Negra	2	2008	-	-	-	99	-
II Antofagasta Sur	2	2008	-	-	-	98	-
II Calama Aukahuasi	2	2007	-	-	-	-	-
II Calama Aukahuasi	2	2008	-	-	-	98	-
II Calama Hospital del Cobre	2	2002	-	-	-	98	-
II Calama Hospital del Cobre	2	2003	-	-	-	17	-
II Calama Hospital del Cobre	2	2004	-	-	-	0	-
II Calama Hospital del Cobre	2	2005	-	-	-	0	-
II Calama Hospital del Cobre	2	2006	-	-	-	0	-
II Calama Hospital del Cobre	2	2007	-	-	-	0	-
II Calama Hospital del Cobre	2	2008	-	-	-	93	-
II Calama San José	2	2002	-	-	-	100	-
II Calama San José	2	2003	-	-	-	25	-
II Calama San José	2	2004	-	-	-	0	-
II Calama San José	2	2005	-	-	-	0	-
II Calama San José	2	2006	-	-	-	0	-
II Calama San José	2	2007	-	-	-	0	-
II Calama San José	2	2008	-	-	-	97	-
II Calama SML	2	2008	-	-	-	98	-
II Calama Villa Caspana	2	2008	-	-	-	87	-
II Chiu Chiu	2	2008	-	-	-	99	-
Sur	2	2000	-	-	-	65	-
Sur	2	2001	-	-	-	65	-
Sur	2	2002	-	-	-	65	-
Sur	2	2003	-	-	-	64	-
Sur	2	2004	-	-	-	64	-
Sur	2	2005	-	-	-	65	-
Sur	2	2006	-	-	-	59	-
Sur	2	2007	-	-	-	100	-
Sur	2	2008	-	-	-	100	-
III Copiapó CAP	3	2003	-	-	-	0	-
Catemu	5	2000	-	-	-	99	-
Catemu	5	2001	-	-	-	98	-

Estación	Región	Año	CO 8h	CO 1h	O3 8h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h
Catemu	5	2002	-	-	-	100	-
Catemu	5	2003	-	-	-	100	-
Catemu	5	2004	-	-	-	100	-
Catemu	5	2005	-	-	-	100	-
Catemu	5	2006	-	-	-	100	-
Catemu	5	2007	-	-	-	0	-
Catemu	5	2008	-	-	-	100	-
Colmo	5	2002	-	-	99	99	100
Colmo	5	2003	-	-	100	99	100
Colmo	5	2004	-	-	99	99	100
Colmo	5	2005	-	-	99	99	99
Colmo	5	2006	-	-	99	99	98
Con Con Junta de Vecinos	5	2006	-	-	-	99	-
Con Con Junta de Vecinos	5	2007	-	-	-	99	-
Con Con Junta de Vecinos	5	2008	-	-	-	100	-
Con Con Sur	5	2003	-	-	-	100	-
Con Con Sur	5	2004	-	-	-	0	-
Con Con Sur	5	2005	-	-	-	25	-
Con Con Sur	5	2006	-	-	-	102	-
Con Con Urbana	5	2000	-	-	-	98	-
Con Con Urbana	5	2001	-	-	-	100	-
Con Con Urbana	5	2002	-	-	-	89	99
Con Con Urbana	5	2003	100	100	-	100	98
Con Con Urbana	5	2004	100	100	-	99	97
Con Con Urbana	5	2005	98	98	-	100	100
Con Con Urbana	5	2006	100	100	-	99	99
Con Con Urbana	5	2007	100	100	-	99	99
Con Con Urbana	5	2008	100	100	-	99	100
Cuerpo Bomberos Quillota	5	2000	-	-	100	83	100
Cuerpo Bomberos Quillota	5	2001	-	-	99	0	99
Cuerpo Bomberos Quillota	5	2002	-	-	100	0	98
Cuerpo Bomberos Quillota	5	2003	100	100	100	0	100
Cuerpo Bomberos Quillota	5	2004	100	100	100	41	100
Cuerpo Bomberos Quillota	5	2005	-	-	99	99	99
Cuerpo Bomberos Quillota	5	2006	-	-	100	100	100
Cuerpo Bomberos Quillota	5	2007	-	-	98	100	100
Cuerpo Bomberos Quillota	5	2008	-	-	100	100	100
La Calera	5	2000	-	-	-	99	99
La Calera	5	2001	-	-	-	100	98
La Calera	5	2002	-	-	-	99	96
La Calera	5	2003	-	-	-	97	100
La Calera	5	2004	-	-	-	95	100
La Calera	5	2005	-	-	96	93	95
La Calera	5	2006	-	-	98	99	99

Estación	Región	Año	CO 8h	CO 1h	O3 8h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h
La Calera	5	2007	-	-	96	97	100
La Calera	5	2008	-	-	95	99	99
La Cruz	5	2008	-	-	98	99	100
La Cruz	5	2004	-	-	99	100	
La Cruz	5	2005	-	-	95	99	
La Cruz	5	2006	-	-	97	100	
La Cruz	5	2007	-	-	96	97	
La Cruz	5	2008	-	-	95	100	
La Palma	5	2003	100	100	100		100
La Palma	5	2004	100	100	100		100
Los Maitenes	5	2000	-	-		100	
Los Maitenes	5	2001	-	-		100	
Los Maitenes	5	2002	-	-		100	
Los Maitenes	5	2003	-	-		100	
Los Maitenes	5	2004	-	-		100	
Los Maitenes	5	2005	-	-		100	
Los Maitenes	5	2006	-	-		100	
Los Maitenes	5	2007	-	-		100	
Los Maitenes	5	2008	-	-		100	
Manzanar	5	2008	-	-	97	99	100
Puchuncaví	5	2000	-	-	-	100	-
Puchuncaví	5	2001	-	-	-	100	-
Puchuncaví	5	2002	-	-	-	100	-
Puchuncaví	5	2003	-	-	-	100	-
Puchuncaví	5	2004	-	-	-	100	-
Puchuncaví	5	2005	-	-	-	100	-
Puchuncaví	5	2006	-	-	-	100	-
Puchuncaví	5	2007	-	-	-	100	-
Puchuncaví	5	2008	-	-	-	108	-
Puchuncaví Campiche	5	2000	-	-	94	97	-
Puchuncaví Campiche	5	2001	-	-	96	98	-
Puchuncaví Campiche	5	2002	-	-	89	91	-
Puchuncaví Campiche	5	2003	-	-	100	100	-
Puchuncaví Campiche	5	2004	-	-	82	83	-
Puchuncaví Campiche	5	2005	-	-	-	74	-
Puchuncaví La Greda	5	2000	-	-	-	100	-
Puchuncaví La Greda	5	2001	-	-	-	100	-
Puchuncaví La Greda	5	2002	-	-	-	100	-
Puchuncaví La Greda	5	2003	-	-	-	100	-
Puchuncaví La Greda	5	2004	-	-	-	100	-
Puchuncaví La Greda	5	2005	-	-	-	100	-
Puchuncaví La Greda	5	2006	-	-	-	100	-
Puchuncaví La Greda	5	2007	-	-	-	100	-
Puchuncaví La Greda	5	2008	-	-	-	100	-
Puchuncaví Las Gaviotas	5	2002	-	-	-	100	-

Estación	Región	Año	CO 8h	CO 1h	O3 8h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h
Puchuncaví Las Gaviotas	5	2003	-	-	-	100	-
Puchuncaví Las Gaviotas	5	2004	-	-	-	99	-
Puchuncaví Las Gaviotas	5	2005	-	-	-	34	-
Puchuncaví Las Gaviotas	5	2006	-	-	-	92	-
Puchuncaví Las Gaviotas	5	2007	-	-	-	17	-
Puchuncaví Las Gaviotas	5	2008	-	-	-	100	-
Puchuncaví Los Maitenes	5	2000	-	-	-	100	-
Puchuncaví Los Maitenes	5	2001	-	-	-	100	-
Puchuncaví Los Maitenes	5	2002	-	-	-	100	-
Puchuncaví Los Maitenes	5	2003	-	-	-	100	-
Puchuncaví Los Maitenes	5	2004	-	-	-	100	-
Puchuncaví Los Maitenes	5	2005	-	-	-	100	-
Puchuncaví Los Maitenes	5	2006	-	-	-	100	-
Puchuncaví Los Maitenes	5	2007	-	-	-	100	-
Puchuncaví Los Maitenes	5	2008	-	-	-	100	-
Quintero Sur	5	2000	-	-	-	65	-
Quintero Sur	5	2001	-	-	-	65	-
Quintero Sur	5	2002	-	-	-	65	-
Quintero Sur	5	2003	-	-	-	64	-
Quintero Sur	5	2004	-	-	-	64	-
Quintero Sur	5	2005	-	-	-	65	-
Quintero Sur	5	2006	-	-	-	59	-
Quintero Sur	5	2007	-	-	-	100	-
Quintero Sur	5	2008	-	-	-	100	-
Quintero Valle Alegre	5	2000	-	-	-	100	-
Quintero Valle Alegre	5	2001	-	-	-	100	-
Quintero Valle Alegre	5	2002	-	-	-	100	-
Quintero Valle Alegre	5	2003	-	-	-	100	-
Quintero Valle Alegre	5	2004	-	-	-	100	-
Quintero Valle Alegre	5	2005	-	-	-	100	-
Quintero Valle Alegre	5	2006	-	-	-	100	-
Quintero Valle Alegre	5	2007	-	-	-	100	-
Quintero Valle Alegre	5	2008	-	-	-	100	-
Rural 1	5	2000	-	-	99	97	8
Rural 1	5	2001	-	-	98	98	96
Rural 1	5	2002	-	-	98	97	98
Rural 1	5	2003	-	-	100	92	100
Rural 1	5	2004	-	-	100	100	100
Rural 1	5	2005	-	-	95	100	96
Rural 1	5	2006	-	-	100	100	99
Rural 1	5	2007	-	-	100	100	97
Rural 1	5	2008	-	-	100	100	95
Santa Margarita	5	2000	-	-	-	100	-
Santa Margarita	5	2001	-	-	-	99	-
Santa Margarita	5	2002	-	-	-	100	-

Estación	Región	Año	CO 8h	CO 1h	O3 8h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h
Santa Margarita	5	2003	-	-	-	99	-
Santa Margarita	5	2004	-	-	-	100	-
Santa Margarita	5	2005	-	-	-	100	-
Santa Margarita	5	2006	-	-	-	100	-
Santa Margarita	5	2007	-	-	-	100	-
Santa Margarita	5	2008	-	-	-	100	-
Terminal Concentrados	5	2002	-	-	87	-	90
Terminal de Combustibles Campiche	5	2002	-	-	93	-	95
Terminal de Combustibles Campiche	5	2003	-	-	99	-	100
V Catemu	5	2000	-	-	-	99	-
V Catemu	5	2001	-	-	-	98	-
V Catemu	5	2002	-	-	-	100	-
V Catemu	5	2003	-	-	-	100	-
V Catemu	5	2004	-	-	-	100	-
V Catemu	5	2005	-	-	-	100	-
V Catemu	5	2006	-	-	-	100	-
V Catemu	5	2007	-	-	-	0	-
V Catemu	5	2008	-	-	-	100	-
V Catemu Lo Campo	5	2000	-	-	-	42	-
V Catemu Lo Campo	5	2001	-	-	-	99	-
V Catemu Lo Campo	5	2002	-	-	-	100	-
V Catemu Lo Campo	5	2003	-	-	-	99	-
V Catemu Lo Campo	5	2004	-	-	-	99	-
V Catemu Lo Campo	5	2005	-	-	-	100	-
V Catemu Lo Campo	5	2006	-	-	-	100	-
V Catemu Lo Campo	5	2007	-	-	-	100	-
V Catemu Lo Campo	5	2008	-	-	-	100	-
V Catemu Romeral	5	2000	-	-	-	99	-
V Catemu Romeral	5	2001	-	-	-	99	-
V Catemu Romeral	5	2002	-	-	-	100	-
V Catemu Romeral	5	2003	-	-	-	100	-
V Catemu Romeral	5	2004	-	-	-	100	-
V Catemu Romeral	5	2005	-	-	-	100	-
V Catemu Romeral	5	2006	-	-	-	100	-
V Catemu Romeral	5	2007	-	-	-	100	-
V Catemu Romeral	5	2008	-	-	-	100	-
V Catemu Santa Margarita	5	2000	-	-	-	100	-
V Catemu Santa Margarita	5	2001	-	-	-	99	-
V Catemu Santa Margarita	5	2002	-	-	-	100	-
V Catemu Santa Margarita	5	2003	-	-	-	99	-
V Catemu Santa Margarita	5	2004	-	-	-	100	-
V Catemu Santa Margarita	5	2005	-	-	-	100	-
V Catemu Santa Margarita	5	2006	-	-	-	100	-

Estación	Región	Año	CO 8h	CO 1h	O3 8h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h
V Catemu Santa Margarita	5	2007	-	-	-	100	-
V Catemu Santa Margarita	5	2008	-	-	-	100	-
V San Pedro	5	2000		99	99	-	-
V San Pedro	5	2001	99	99	99	-	-
V San Pedro	5	2002	98	99	99	-	-
V San Pedro	5	2003	98	100	100	-	-
V San Pedro	5	2004	99	100	100	-	-
V San Pedro	5	2005	134	100	99	-	-
V San Pedro	5	2006	-	-	100	-	-
V San Pedro	5	2007	-	-	100	-	-
V San Pedro	5	2008	-	-	100	-	-
V Viña	5	2004	98	98	76	94	97
V Viña	5	2005	97	98	82	76	84
V Viña	5	2006	92	93	90	87	35
V Viña	5	2007	100	100	100	98	93
V Viña	5	2008	77	78	79	86	84
V Viña	5	2009	83	82	92	89	-
Viña del Mar	5	2004	98	98	76	94	97
Viña del Mar	5	2005	97	98	83	76	84
Viña del Mar	5	2006	92	93	90	87	35
Viña del Mar	5	2007	100	100	100	98	93
Viña del Mar	5	2008	77	78	79	86	56
Viña del Mar	5	2009	92	92	91	89	-
Casas de Peuco	6	2004	100	100	100		100
Casas de Peuco	6	2005	100	100	100	18	100
Casas de Peuco	6	2006	67	67	68	76	68
Casas de Peuco	6	2007	33	33	39	39	39
Cauquenes	6	2000	-	-	-	96	-
Cauquenes	6	2001	-	-	-	98	-
Cauquenes	6	2002	-	-	-	100	-
Cauquenes	6	2003	-	-	-	100	-
Cauquenes	6	2004	-	-	-	98	-
Cauquenes	6	2005	-	-	-	100	-
Cauquenes	6	2006	-	-	-	100	-
Cauquenes	6	2007	-	-	-	97	-
Cauquenes	6	2008	-	-	-	99	-
Cipreses	6	2000	-	-	-	88	-
Cipreses	6	2001	-	-	-	100	-
Cipreses	6	2002	-	-	-	100	-
Cipreses	6	2003	-	-	-	91	-
Cipreses	6	2004	-	-	-	99	-
Cipreses	6	2005	-	-	-	100	-
Cipreses	6	2006	-	-	-	99	-
Cipreses	6	2007	-	-	-	96	-
Cipreses	6	2008	-	-	-	98	-

Estación	Región	Año	CO 8h	CO 1h	O3 8h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h
Codegua	6	2004	100	100	100	100	100
Codegua	6	2005	100	100	100	100	100
Codegua	6	2006	75	75	67	67	75
Codegua	6	2007	40	40	40	40	40
Coya Club	6	2003	-	-	-	100	-
Coya Club	6	2004	-	-	-	99	-
Coya Club	6	2005	-	-	-	100	-
Coya Club	6	2006	-	-	-	100	-
Coya Club	6	2007	-	-	-	100	-
Coya Club	6	2008	-	-	-	99	-
Coya Población	6	2003	-	-	-	100	-
Coya Población	6	2004	-	-	-	99	-
Coya Población	6	2005	-	-	-	100	-
Coya Población	6	2006	-	-	-	99	-
Coya Población	6	2007	-	-	-	98	-
Coya Población	6	2008	-	-	-	99	-
Rancagua	6	2004	96	97	94	78	96
Rancagua	6	2005	87	89	87	91	76
Rancagua	6	2006	92	92	95	60	22
Rancagua	6	2007	81	81	98	87	99
Rancagua	6	2008	84	85	86	42	69
Rancagua	6	2009	93	93	94	45	95
Rengo	6	2007	-	-	89	-	-
Rengo	6	2008	-	-	90	-	-
Rengo	6	2009	-	-	35	-	-
San Fco Mostazal	6	2004	100	100	100	100	91
San Fco Mostazal	6	2005	100	100	100	100	100
San Fco Mostazal	6	2006	67	67	59	59	67
San Fco Mostazal	6	2007	24	24	33	33	24
San Fernando	6	2007	-	-	90	-	-
San Fernando	6	2008	95	98	91	-	93
San Fernando	6	2009			36	-	-
Chillán	8	2009	99	99	-	-	-
Confluencia Portezuelo	8	2009	-	-	-	91	-
Coronel Norte	8	2005	97	98	97	97	98
Coronel Norte	8	2006	99	100	98	99	100
Coronel Norte	8	2007	99	99	98	25	100
Coronel Sur	8	2006	98	100	100	100	100
Coronel Sur	8	2007	94	94	100	25	100
Curanilahue	8	2009	-	-	-	96	-
Escuadrón PSEG	8	2005	98	98	98	-	98
Escuadrón PSEG	8	2006	98	99	98	-	99
Lo Rojas	8	2009	-	-	-	98	-
Masisa	8	2005	-	-	-	102	-
Masisa	8	2006	-	-	-	100	-

Estación	Región	Año	CO 8h	CO 1h	O3 8h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h
Masisa	8	2007	-	-	-	100	-
Masisa	8	2008	-	-	-	99	-
Masisa	8	2009	-	-	-	100	-
Polivalente	8	2009	-	-	100	-	10
San Vicente Bomberos	8	2009	-	-	-	100	-
Temuco	9	2004	94	95	-	-	88
Temuco	9	2005	99	99	-	-	96
Temuco	9	2006	93	93	-	-	97
Temuco	9	2007	90	91	-	-	99
Cerrillos	13	2000	100	100	100	99	81
Cerrillos	13	2001	99	100	100	97	95
Cerrillos	13	2002	98	97	96	97	64
Cerrillos	13	2003	96	96	98	98	84
Cerrillos	13	2004	67	74	78	100	90
Cerrillos	13	2005	100	100	100	100	100
Cerrillos	13	2006	99	99	99	96	97
Cerrillos	13	2007	83	88	99	92	70
Cerrillos	13	2008	76	88	77	91	100
Cerrillos	13	2009	96	97	99	94	99
Cerro Navia	13	2001	88	88	76	83	-
Cerro Navia	13	2002	85	85	90	96	-
Cerro Navia	13	2003	98	98	97	27	-
Cerro Navia	13	2004	99	99	100	100	-
Cerro Navia	13	2005	100	100	100	100	-
Cerro Navia	13	2006	97	98	100	100	-
Cerro Navia	13	2007	90	95	96	92	-
Cerro Navia	13	2008	80	88	99	90	-
Cerro Navia	13	2009	62	68	68	15	98
El Bosque	13	2000	97	97	100	99	-
El Bosque	13	2001	100	100	98	100	-
El Bosque	13	2002	95	95	99	96	-
El Bosque	13	2003	98	98	100	99	-
El Bosque	13	2004	85	92	99	84	-
El Bosque	13	2005	99	99	99	99	-
El Bosque	13	2006	100	100	98	100	-
El Bosque	13	2007	97	99	88	98	-
El Bosque	13	2008	89	92	55	97	-
El Bosque	13	2009	96	98	98	94	98
Florida	13	2000	100	100	98	100	-
Florida	13	2001	100	100	100	99	-
Florida	13	2002	98	99	97	93	-
Florida	13	2003	100	100	100	99	-
Florida	13	2004	93	95	98	100	-
Florida	13	2005	100	100	100	40	-
Florida	13	2006	100	100	98	68	-

Estación	Región	Año	CO 8h	CO 1h	O3 8h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h
Florida	13	2007	70	83	99	89	-
Florida	13	2008	68	79	77	94	-
Florida	13	2009	97	98	100	96	97
Independencia	13	2002	100	100	98	88	-
Independencia	13	2003	94	94	100	100	-
Independencia	13	2004	94	96	100	100	-
Independencia	13	2005	94	94	98	100	-
Independencia	13	2006	99	99	92	99	-
Independencia	13	2007	89	94	96	94	-
Independencia	13	2008	64	72	94	97	-
Independencia	13	2009	66	69	74	88	86
Las Condes	13	2000	100	100	100	100	97
Las Condes	13	2001	98	98	99	99	98
Las Condes	13	2002	100	100	99	97	90
Las Condes	13	2003	94	94	99	82	94
Las Condes	13	2004	81	84	100	97	96
Las Condes	13	2005	100	100	100	100	100
Las Condes	13	2006	100	100	96	77	100
Las Condes	13	2007	87	93	99	94	100
Las Condes	13	2008	93	96	88	91	93
Las Condes	13	2009	93	96	98	92	99
Parque O'Higgins	13	2000	99	99	99	100	-
Parque O'Higgins	13	2001	98	98	98	98	-
Parque O'Higgins	13	2002	97	91	97	98	-
Parque O'Higgins	13	2003	98	99	98	91	-
Parque O'Higgins	13	2004	78	85	97	96	-
Parque O'Higgins	13	2005	98	98	92	98	-
Parque O'Higgins	13	2006	83	83	99	95	-
Parque O'Higgins	13	2007	65	74	99	94	-
Parque O'Higgins	13	2008	68	79	80	95	-
Parque O'Higgins	13	2009	96	99	99	94	90
Pudahuel	13	2000	98	98	99	100	99
Pudahuel	13	2001	100	100	100	99	73
Pudahuel	13	2002	98	98	94	93	87
Pudahuel	13	2003	95	96	98	96	59
Pudahuel	13	2004	93	96	99	99	86
Pudahuel	13	2005	100	100	100	100	100
Pudahuel	13	2006	96	97	99	99	98
Pudahuel	13	2007	81	87	90	94	99
Pudahuel	13	2008	87	94	91	93	64
Pudahuel	13	2009	98	99	100	97	96
Puente Alto	13	2009	96	98	96	76	95
Quilicura	13	2009	81	87	92	59	98
Talagante	13	2009	60	66	78	54	76

Anexo 3.1. Niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008, Región Metropolitana

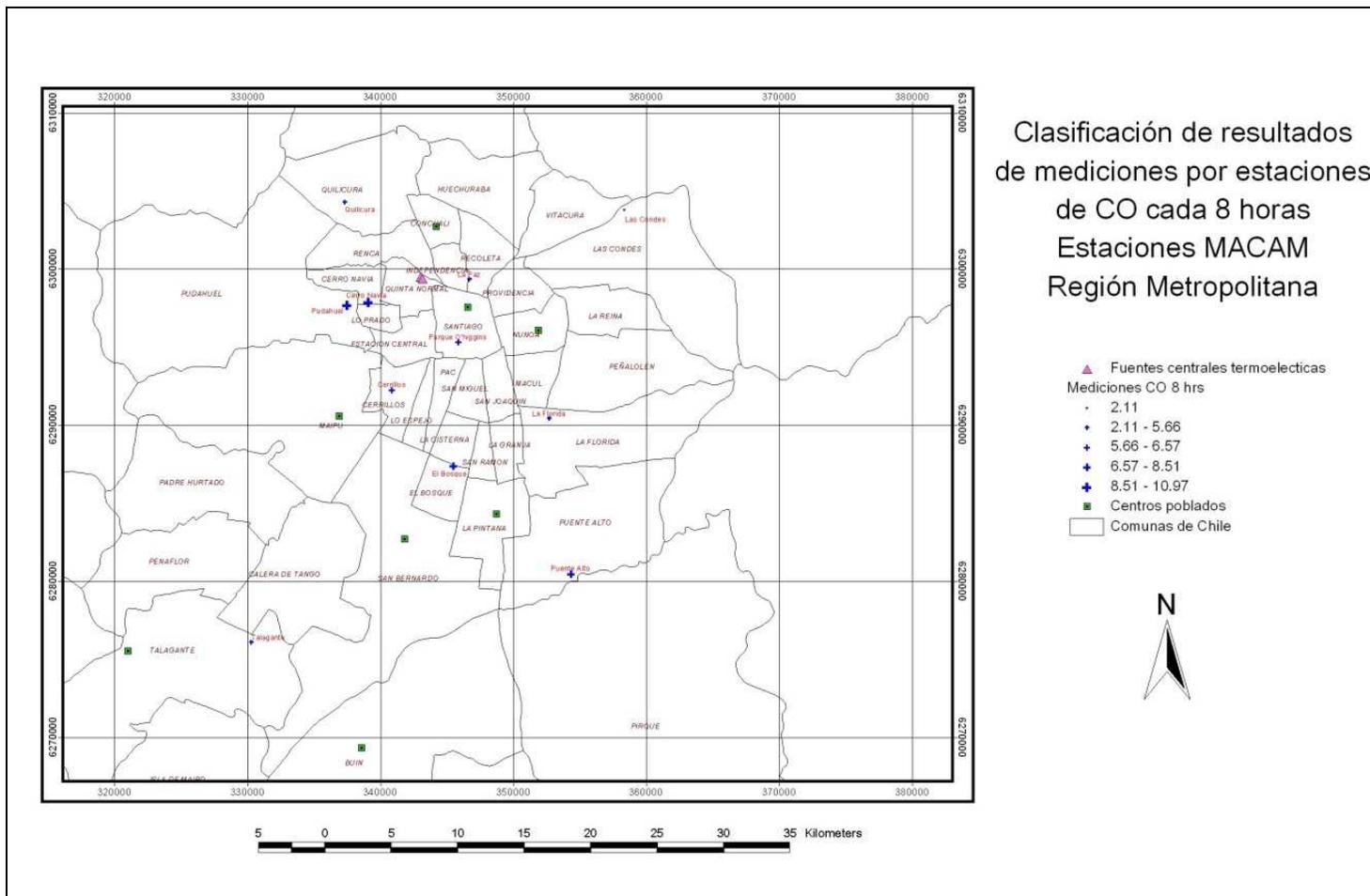


Figura 3.1-A. Concentraciones de CO 8 horas (ppmv), período 2007 – 2008, Región Metropolitana

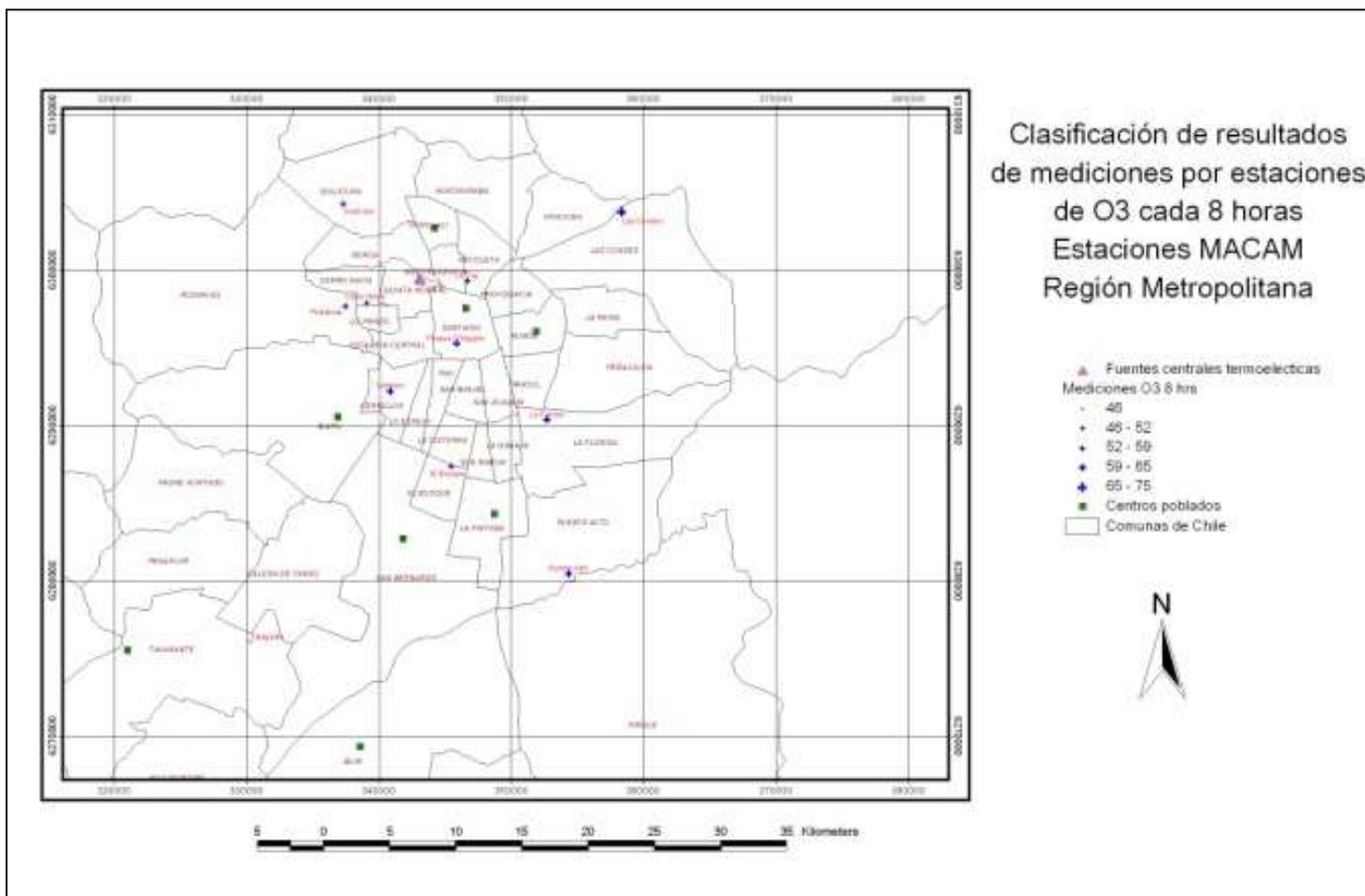


Figura 3.1-B. Concentraciones de O₃ 8 horas (ppb), período 2007 – 2008, Región Metropolitana

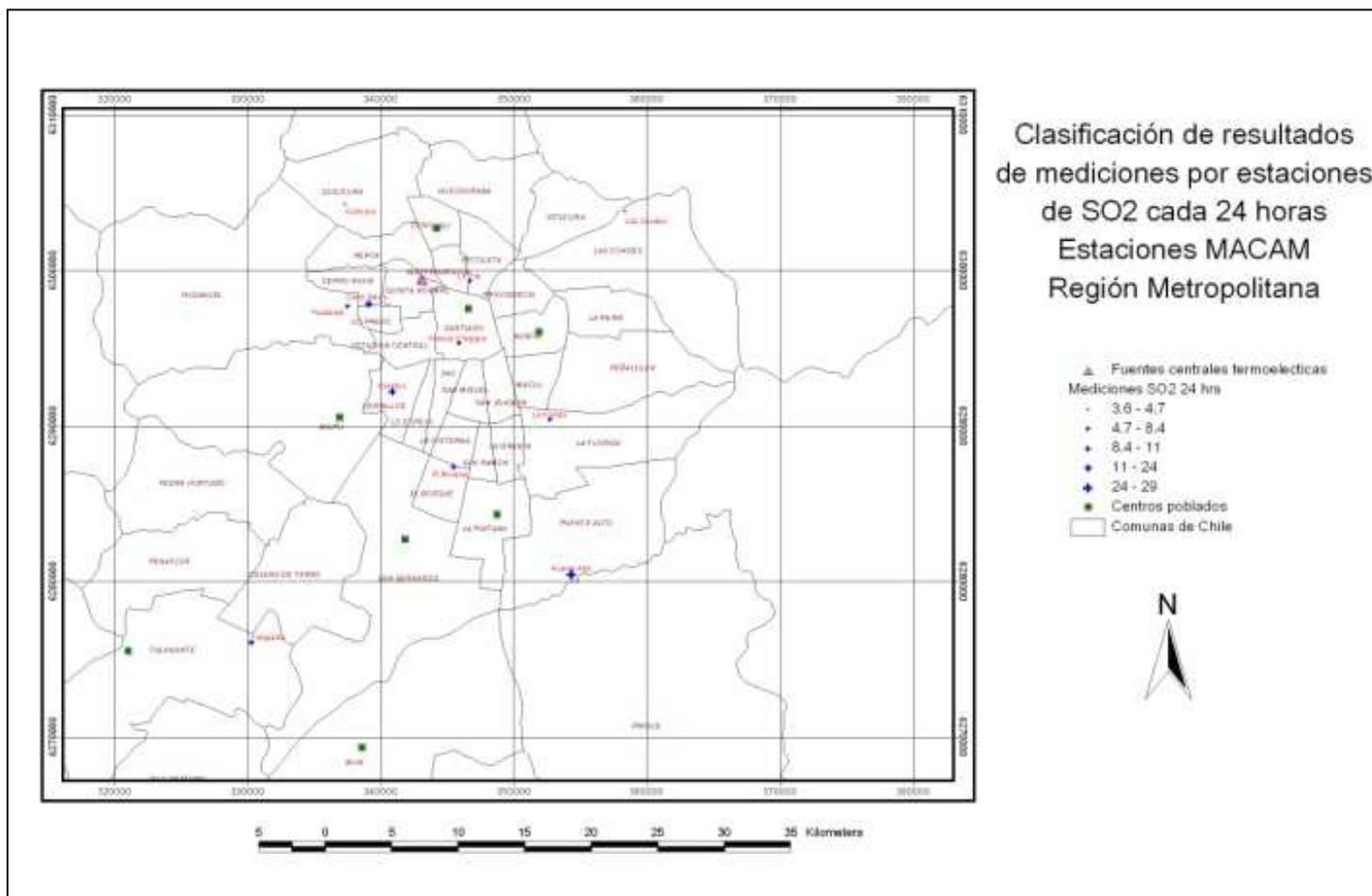


Figura 3.1-C. Concentraciones de SO₂ 24 horas (ppb), período 2007 – 2008, Región Metropolitana

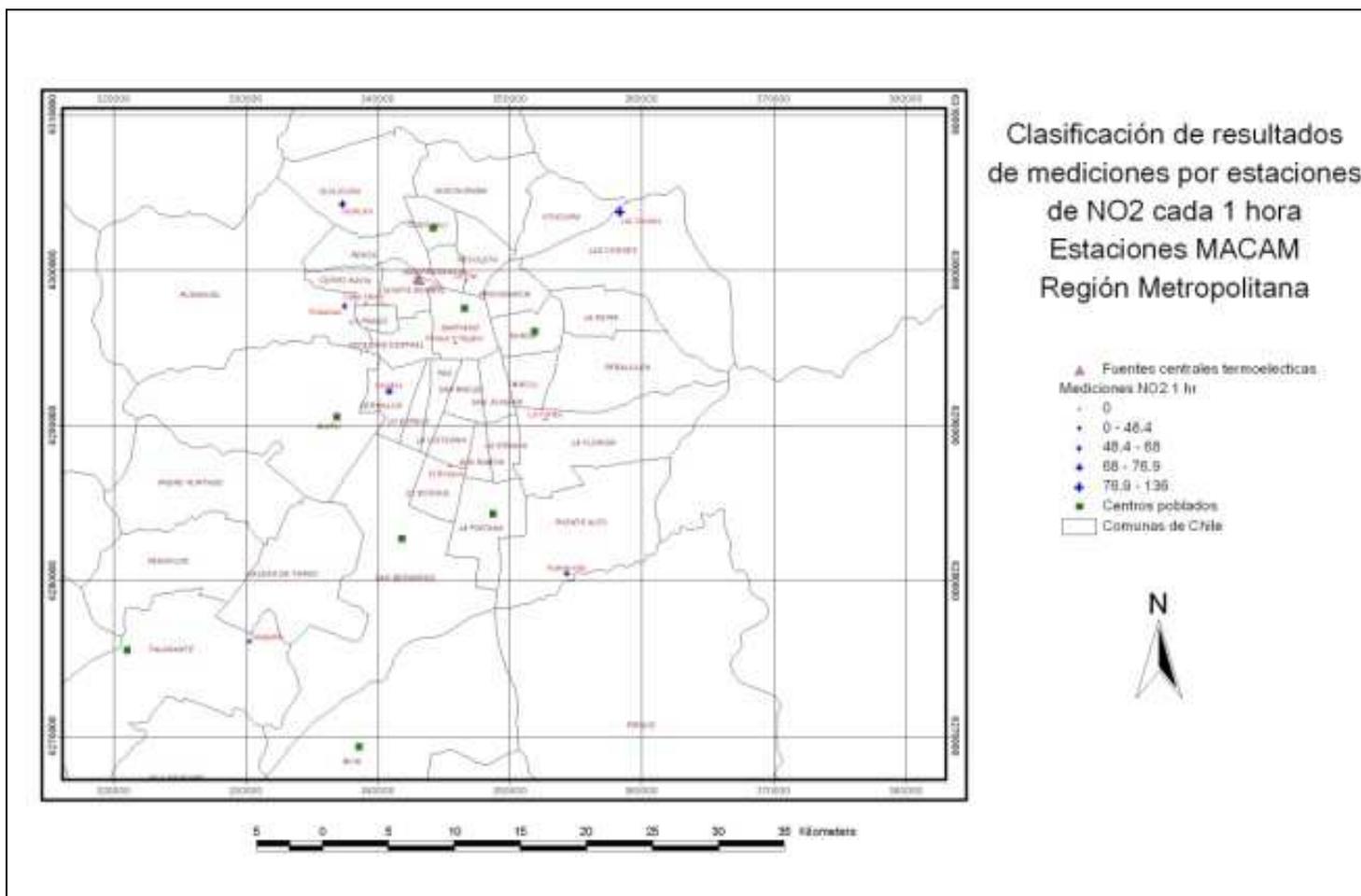


Figura 3.1-D. Concentraciones de NO₂ 1 hora (ppb), período 2007 – 2008, Región Metropolitana

Anexo 3.2. Niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008, Región de Valparaíso

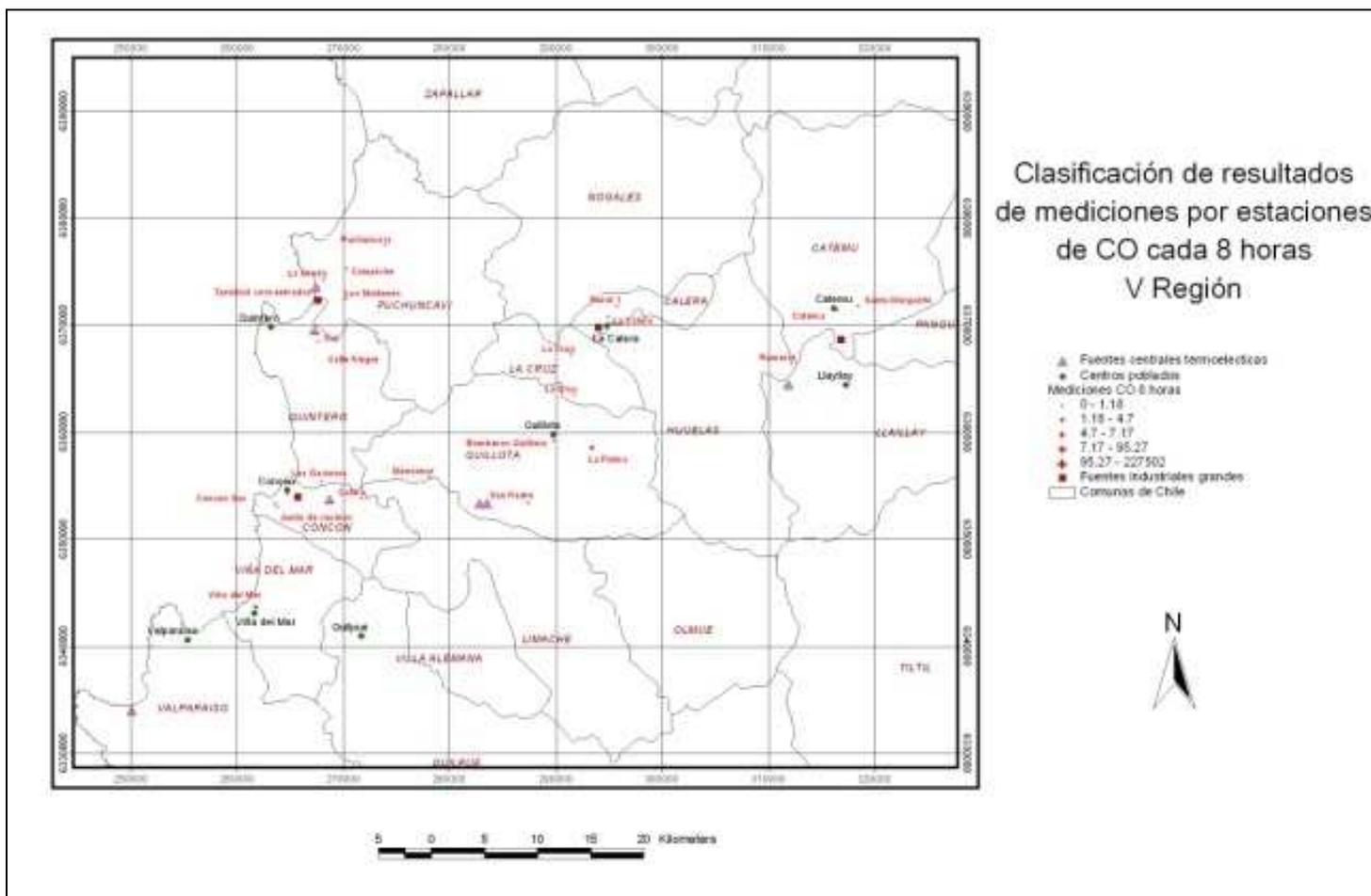


Figura 3.2-A. Concentraciones de CO 8 horas (ppmv), período 2007 – 2008, Región de Valparaíso

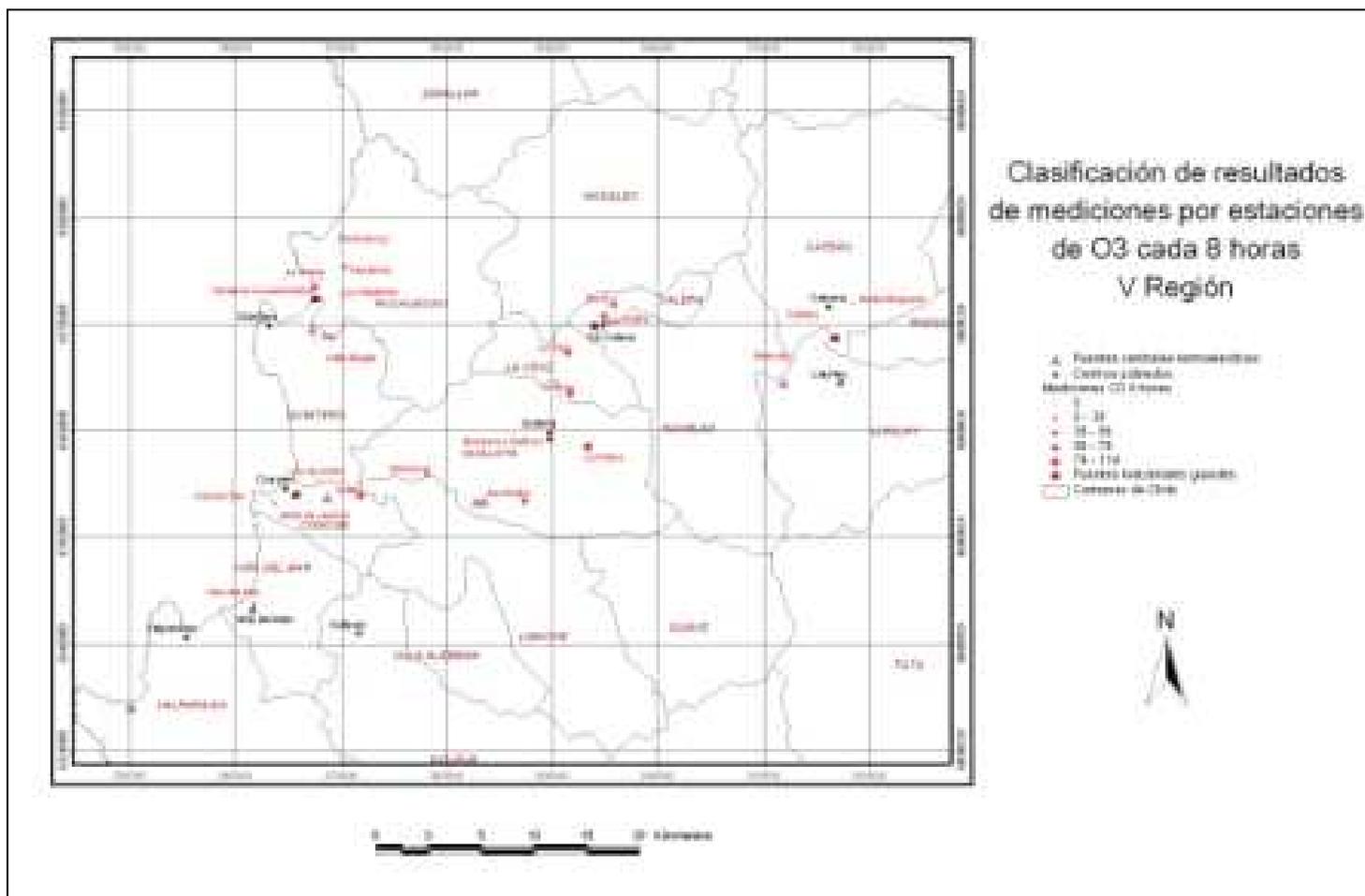


Figura 3.2-B. Concentraciones de O₃ 8 horas (ppb), período 2007 – 2008, Región de Valparaíso

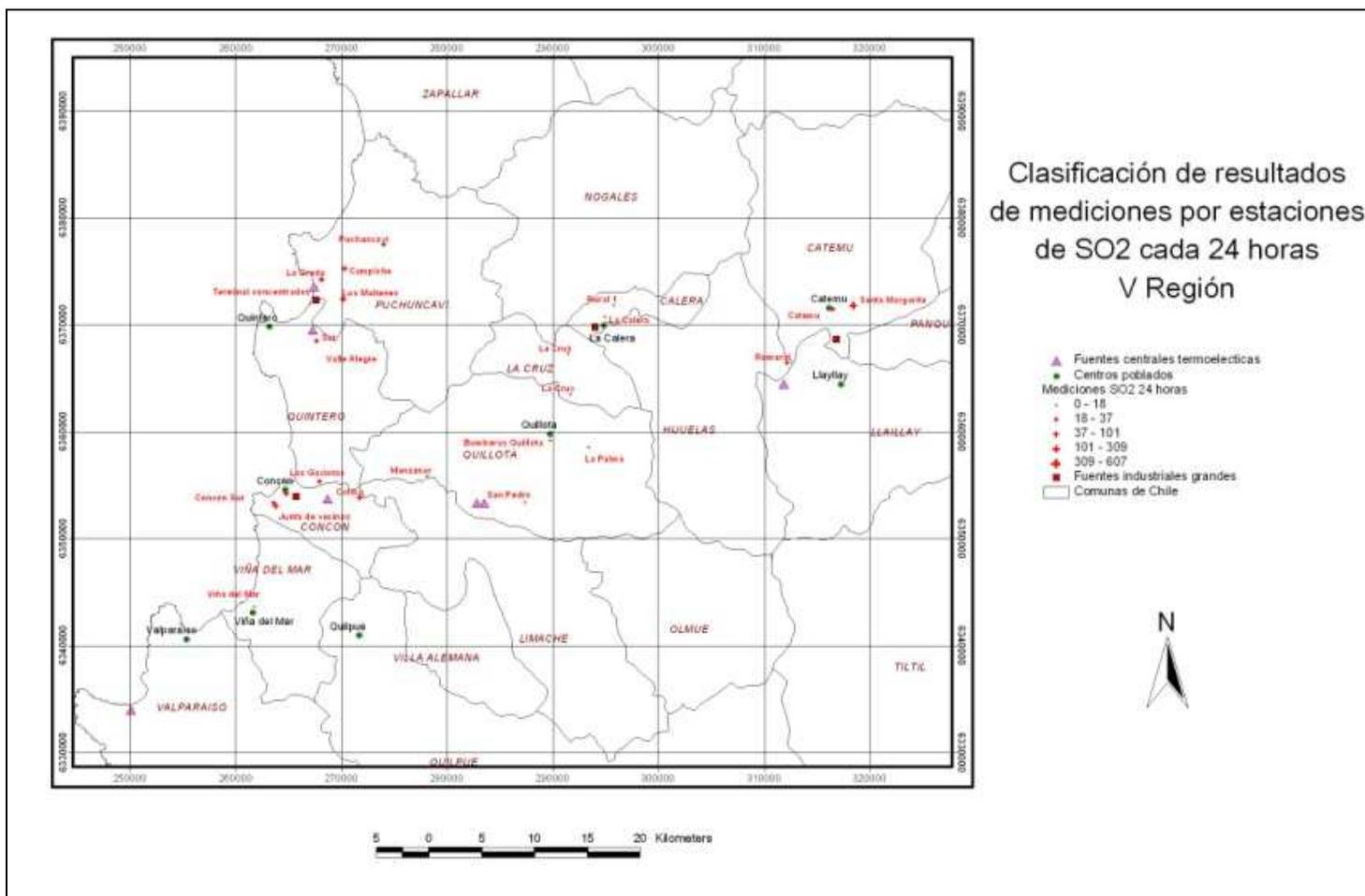


Figura 3.2-C. Concentraciones de SO₂ 24 horas (ppb), período 2007 – 2008, Región de Valparaíso.

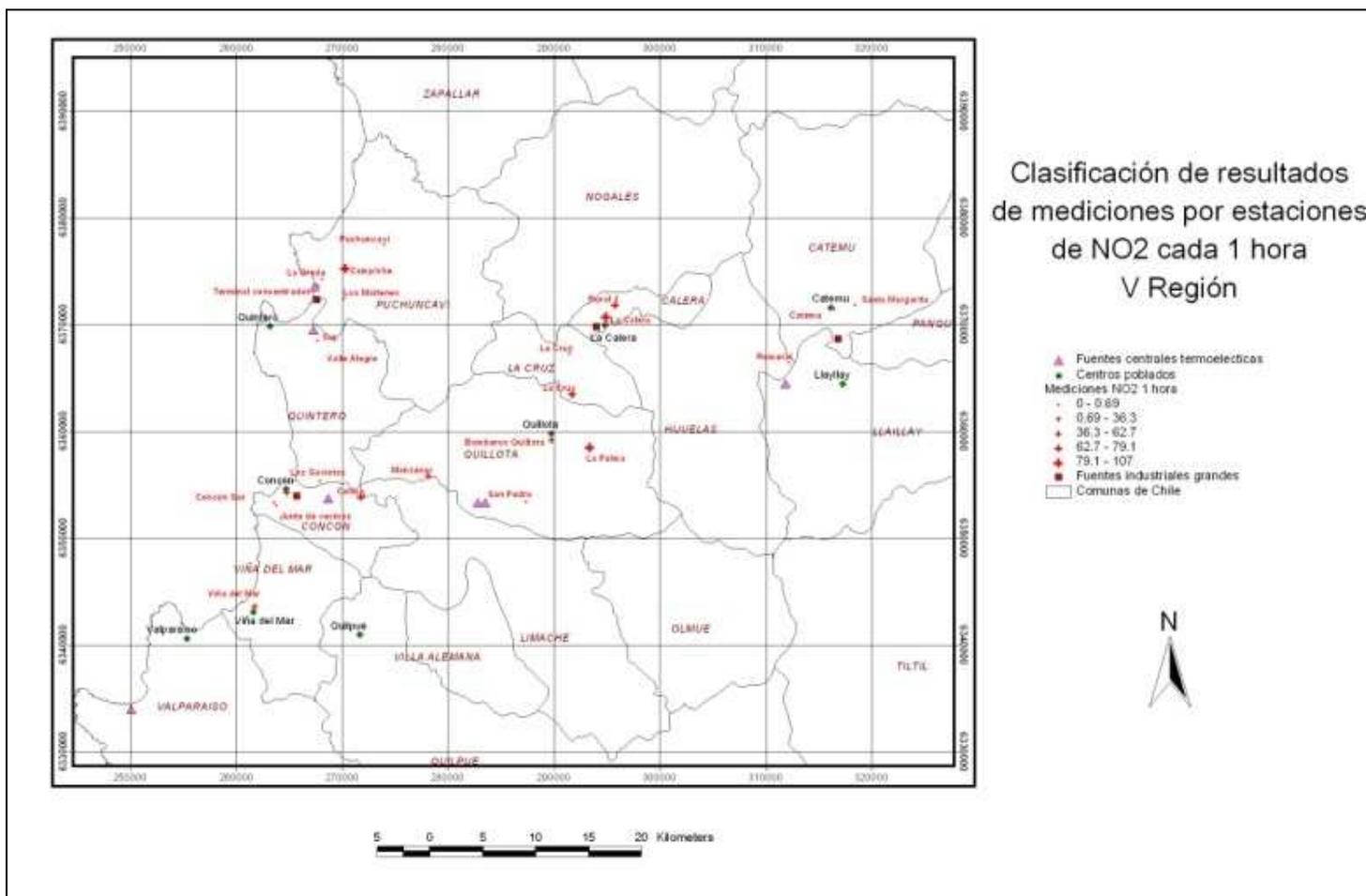


Figura 3.2-D. Concentraciones de NO₂ 1 hora (ppb), período 2007 – 2008, Región de Valparaíso

Anexo 3.3. Niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

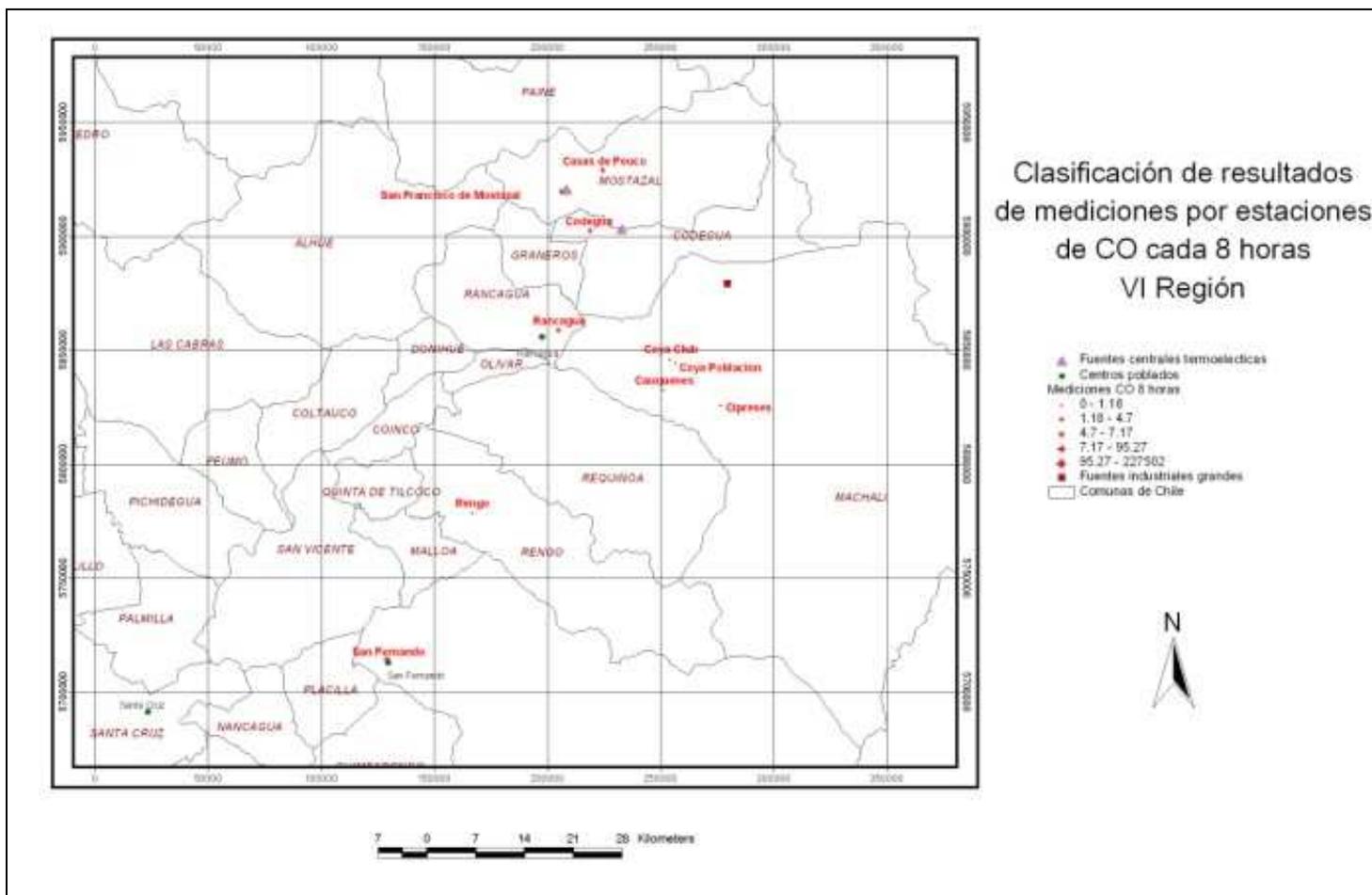


Figura 3.3-A. Concentraciones de CO 8 horas (ppmv), período 2007 – 2008, Región de Libertador General Bernardo O'Higgins

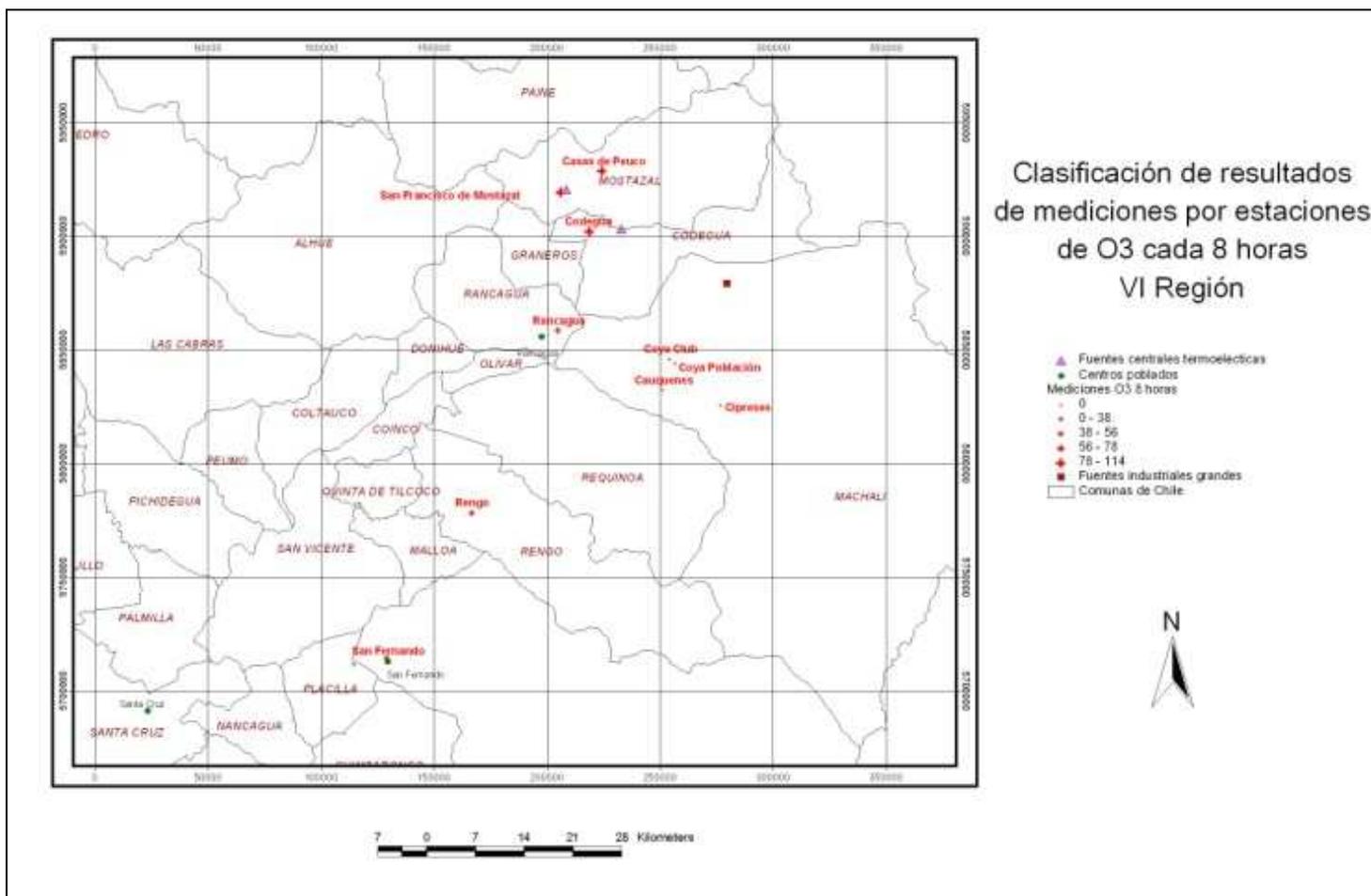


Figura 3.3-B. Concentraciones de O₃ 8 horas (ppb), período 2007 – 2008, Región de Libertador General Bernardo O'Higgins

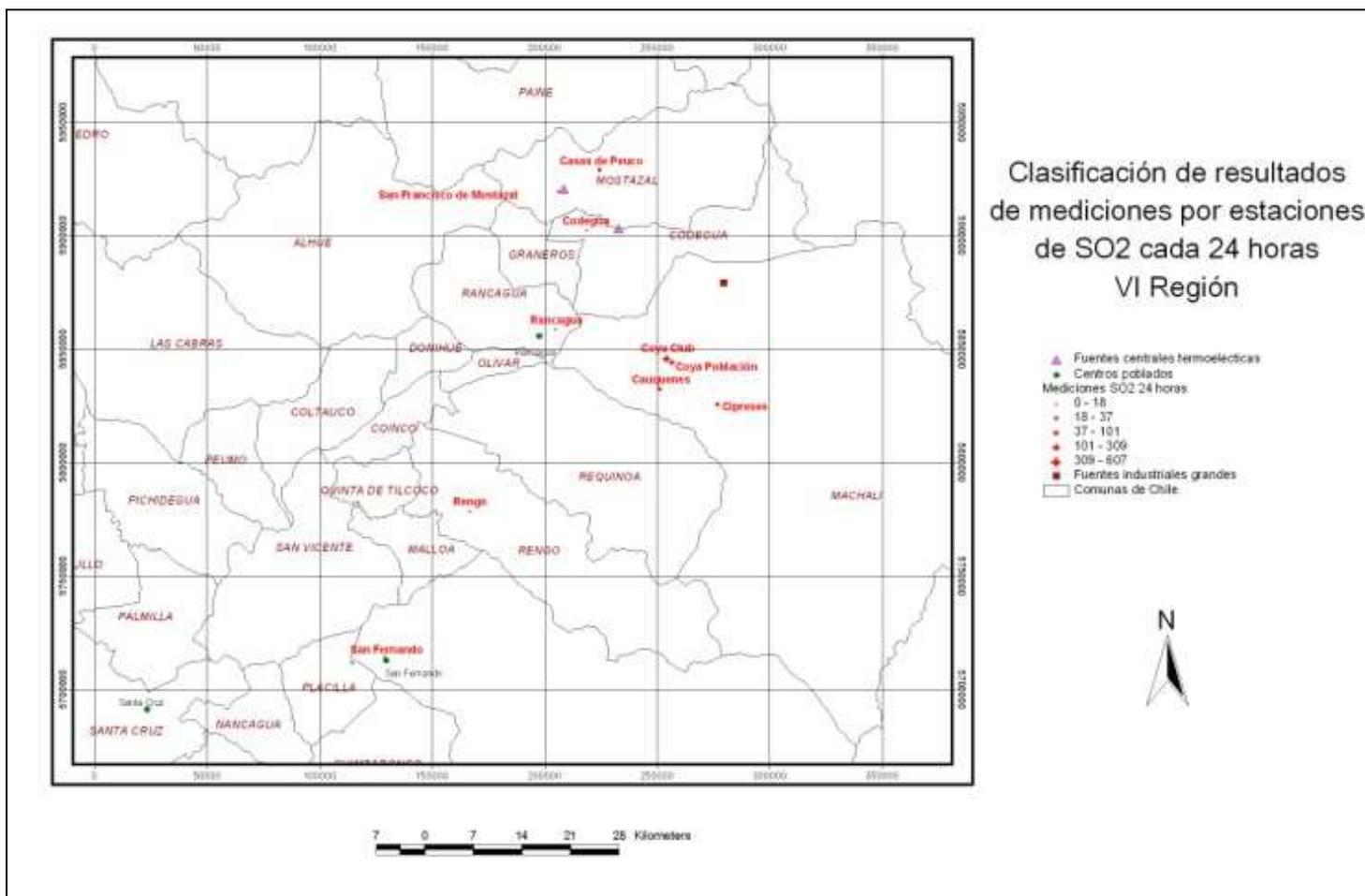


Figura 3.3-C. Concentraciones de SO₂ 24 horas (ppb), período 2007 – 2008, Región de Libertador General Bernardo O'Higgins

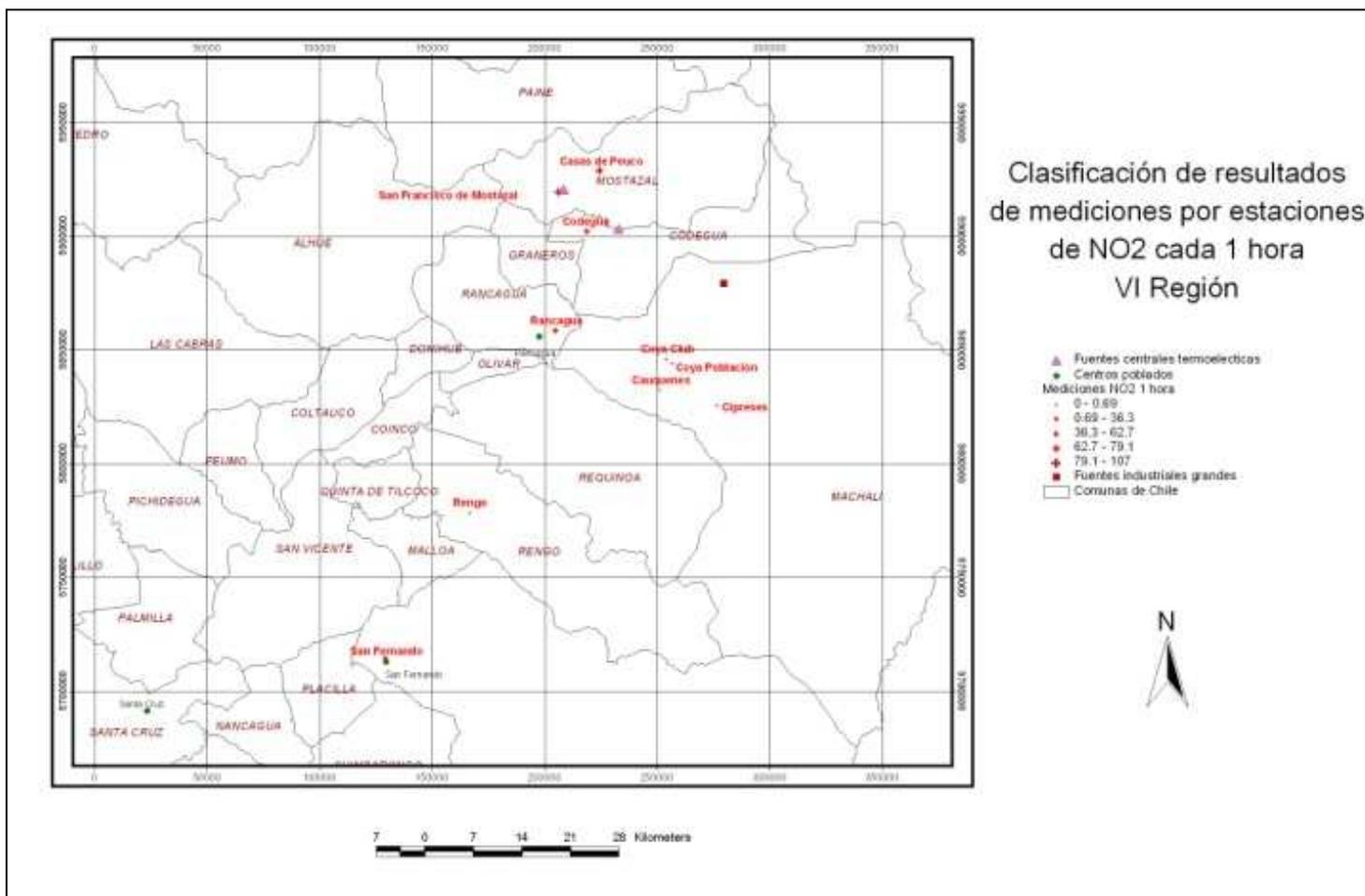


Figura 3.3-D. Concentraciones de NO₂ 1 hora (ppb), período 2007 – 2008, Región de Libertador General Bernardo O'Higgins

Anexo 3.4. Niveles de calidad de aire para los distintos contaminantes estudiados en el período 2007 – 2008, Región de Antofagasta

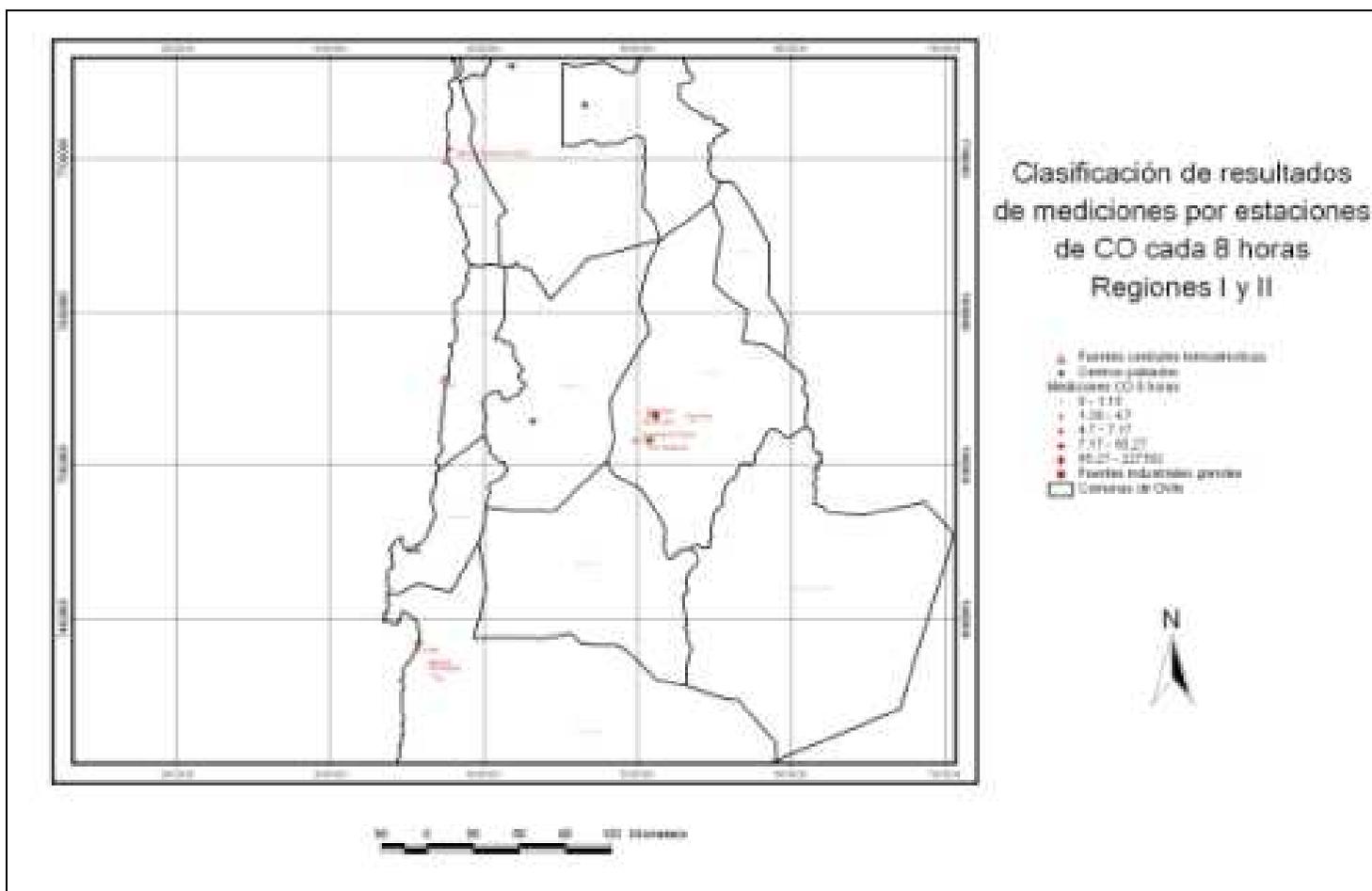


Figura 3.4-A. Concentraciones de CO 8 horas (ppmv), período 2007 – 2008, Región de Tarapacá y Antofagasta

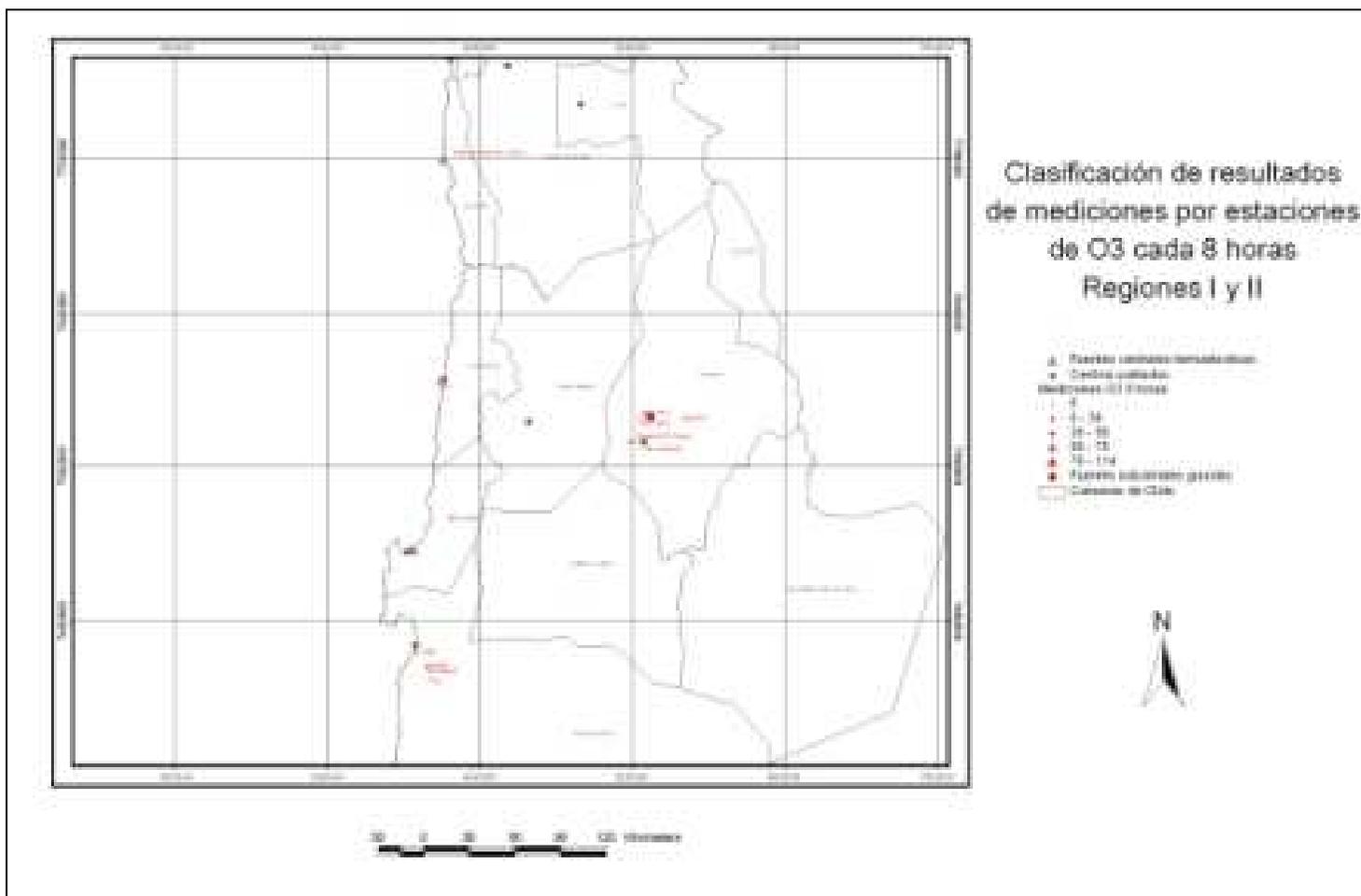
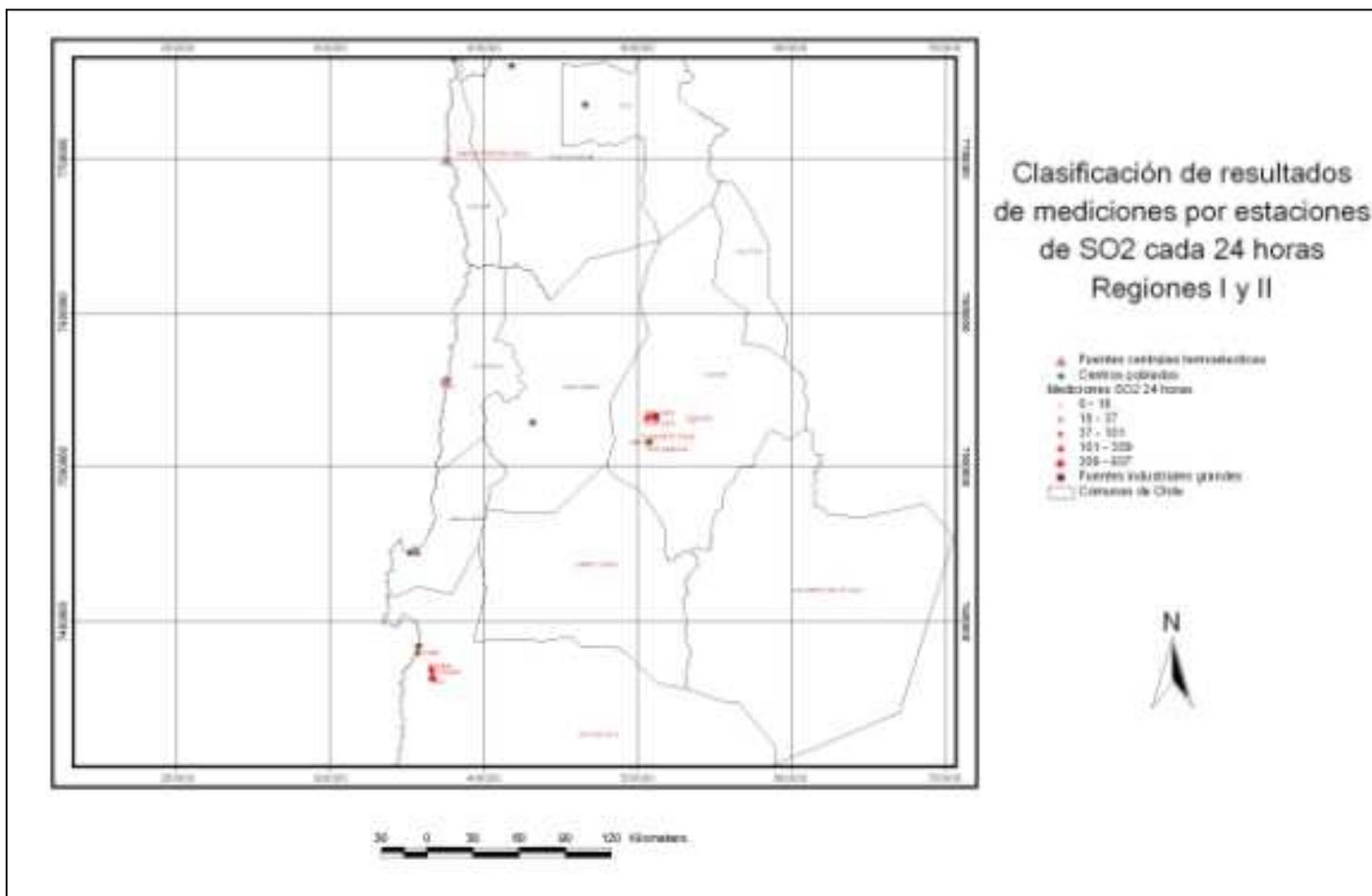


Figura 3.4-B. Concentraciones de O₃ 8 horas (ppb), período 2007 – 2008, Región de Tarapacá y Antofagasta



3.4-C. Concentraciones de SO₂ 24 horas (ppb), período 2007 – 2008, Región de Tarapacá y Antofagasta

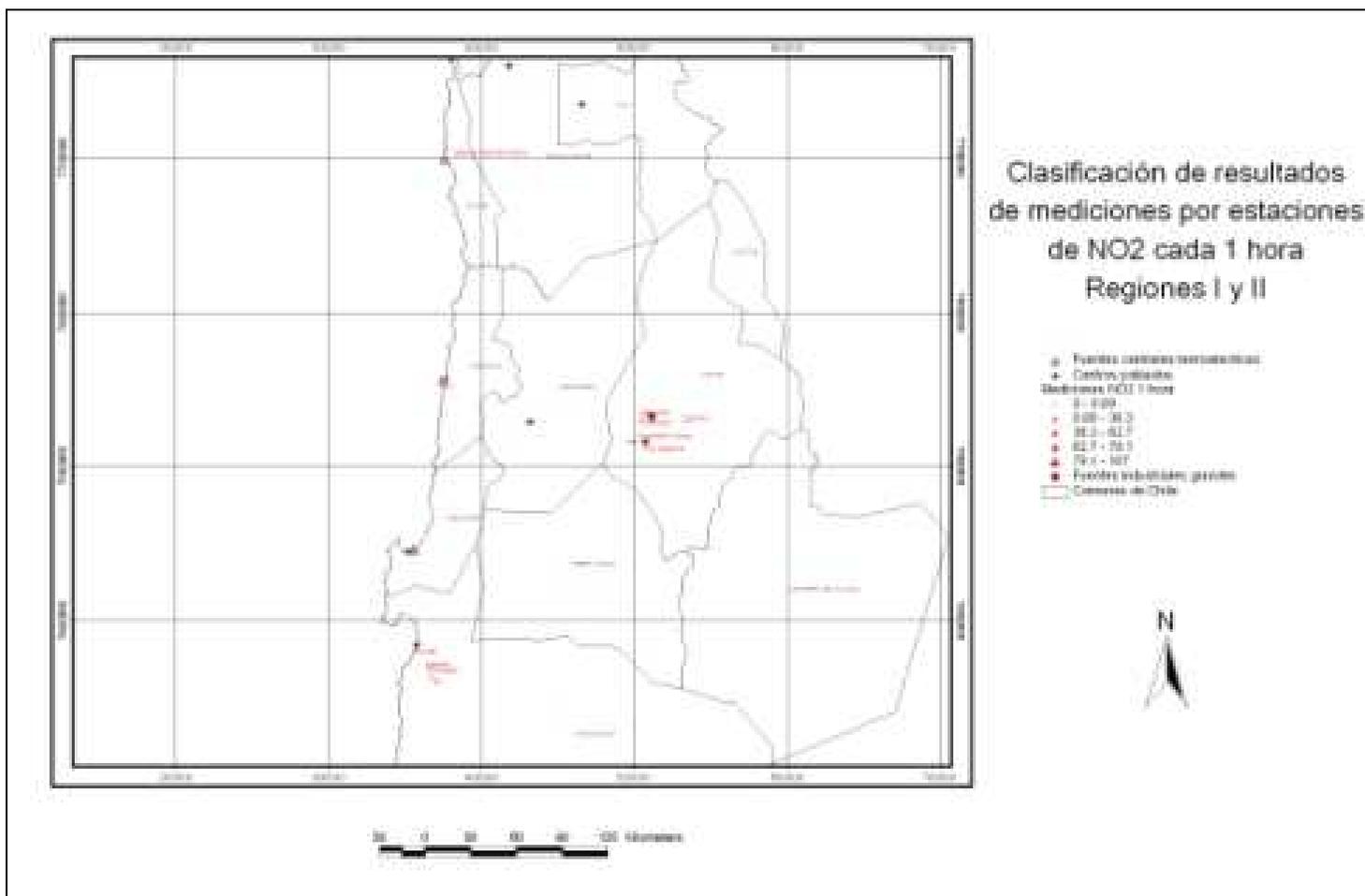


Figura 3.4-D. Concentraciones de NO₂ 1 hora (ppb), período 2007 – 2008, Región de Tarapacá y Antofagasta