



## Informe Final

---

# Estudio “Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana”

Departamento de Física  
Universidad de Santiago de Chile

**Junio 2014**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de Contenidos.....	1
Índice de Tablas.....	3
Índice de Figuras .....	7
Equipo de trabajo.....	10
1. Resumen ejecutivo .....	11
Conclusiones y recomendaciones .....	14
2. Introducción .....	15
2.1. Objetivos generales.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
2.3. Organización del informe .....	16
3. Modelo de dispersión para validación del inventario.....	17
3.1. Introducción .....	17
3.2. Descripción del modelo.....	17
3.2.1. Modelo OSPM .....	17
3.2.2. Modelo Gauss.....	18
3.2.3. Modelo MATCH .....	18
3.3. Resultados .....	19
3.3.1 Nivel de calle .....	19
3.3.2 Escala Comunal.....	23
3.3.3 Escala Regional (MZC) .....	26
4. Inventario 2012 .....	34
4.1. Resultados del Inventario.....	34
4.1.1. Emisiones industriales.....	34
4.1.2. Emisiones residenciales.....	35
4.1.3. Emisiones evaporativas.....	36
4.1.4. Emisiones agrícolas .....	36
4.1.5. Emisiones del transporte.....	37
4.2. Descripción gráfica, resultados más importantes y evaluación crítica .....	41
4.2.1 Emisiones Industriales Puntuales.....	41
4.2.1. Emisiones industriales grupales .....	46
4.2.4. Emisiones residenciales.....	47
4.2.5. Emisiones evaporativas comerciales.....	49
4.2.6. Emisiones agrícolas .....	51
4.2.7. Emisiones del transporte.....	61
4.3. Comparación con el inventario anterior de la RM. ....	65
4.4.1. Emisiones industriales.....	65
4.4.2. Emisiones residenciales.....	65
4.4.3. Emisiones evaporativas.....	66
4.4.4. Emisiones agrícolas .....	67
4.4.5. Emisiones del Transporte .....	68
5. Sistema I-Airviro cargado con información de los inventarios .....	71
5.1. Introducción .....	71
5.2. Estructura de la base de datos .....	71
5.3. Información empleada para estimar emisiones.....	76
Bibliografía .....	78

6.	Anexo 1. Metodología utilizada, factores de emisión y niveles de actividad .....	82
6.1.	Metodología de cálculos en fuentes Industriales .....	82
6.1.1	Fuentes Industriales Puntuales .....	82
6.2.	Fuentes Residenciales .....	94
6.2.1	Metodología de cálculo en las emisiones de Leña.....	94
6.2.2	Metodología de cálculo en las emisiones de otros combustibles residenciales.....	99
6.2.3	Consumo de leña en la Región Metropolitana.....	99
6.2.4	Número de equipos de leña en la Región Metropolitana.....	101
6.2.5	Emisiones de MP por comuna y tipo de estufa.....	103
6.2.6	Emisiones de CO por comuna y tipo de estufa. ....	104
6.2.7	Emisiones evaporativas de solventes y pinturas residenciales.....	106
6.2.8	Fugas residenciales de GLP .....	107
6.2.9	Fugas residenciales de GLP .....	107
6.3.	Fuentes Evaporativas .....	108
6.3.1	Distribución de combustible .....	108
6.3.2	Lavasecos.....	112
6.3.3	Pintado de vehículos .....	112
6.3.4	Artes gráficas.....	113
6.3.5	Fugas comerciales de GLP .....	116
6.3.6	Aplicación de asfalto .....	116
6.4.	Fuentes agrícolas.....	117
6.4.1.	Quemas agrícolas .....	117
6.4.2.	Incendios Forestales.....	120
6.4.3.	Emisiones biogénicas .....	124
6.4.4.	Fertilizantes y plaguicidas .....	131
6.4.5.	Crianza de animales.....	132
6.4.6.	Rellenos sanitarios .....	135
6.4.7.	Plantas de tratamiento de aguas servidas .....	136
6.5.	Fuentes móviles.....	137
6.5.1.	En ruta .....	137
6.5.2.	Fuera de ruta .....	150

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los resultados de las emisiones, clasificadas por sector.....	13
Tabla 2 Especificaciones de las cuatro corridas de OSPM .....	21
Tabla 3. Niveles promedio de MP <sub>2,5</sub> en el monitoreo y como resultado de la modelación de la contribución local en Alameda.....	22
Tabla 4. Contribución a los niveles de MP <sub>2,5</sub> de las diferentes fuentes de emisión directa. Unidad: µg/m <sup>3</sup> .....	25
Tabla 5. Resumen de las emisiones totales en la región metropolitana, clasificadas por sector. ....	34
Tabla 6. Emisiones detalladas de las fuentes industriales. ....	35
Tabla 7: Emisiones detalladas de las fuentes residenciales. ....	35
Tabla 8: Emisiones detalladas de las fuentes evaporativas comerciales. ....	36
Tabla 9.- Emisiones detalladas de las fuentes agrícolas.....	36
Tabla 10.- Emisiones detalladas de los vehículos “en ruta”.....	37
Tabla 11. Emisiones de MP <sub>10</sub> y MP <sub>2,5</sub> proveniente de la resuspensión de polvo por movimiento de vehículos.....	38
Tabla 12: Estadísticas y resultados de emisiones, consumo y ventas de combustible diésel. (Geasur, 2013).....	40
Tabla 13: Emisiones asociadas a la operación del Aeropuerto Arturo Merino Benítez, 2010. (Algoritmos, 2011).....	40
Tabla 14. Combustibles asociados a las emisiones provenientes de la combustión residencial	47
Tabla 15. Factores de emisión por estufas residenciales que utilizan otros tipos de combustibles. ....	48
Tabla 16: Emisiones de NH <sub>3</sub> Fertilizantes .....	55
Tabla 17. Resultado de la estimación de emisiones de NH <sub>3</sub> para la RM debido a Crianza de animales. ....	56
Tabla 18: Emisiones de NH <sub>3</sub> Crianza de Animales .....	57
Tabla 19. Emisiones provenientes de los 3 rellenos sanitarios de la RM al año 2012. ....	58
Tabla 20. Emisiones de las plantas de tratamiento de aguas servidas. ....	59
Tabla 21 Comparación Inventarios Sector Industrial Dictuc 2005 versus USACH 2013.....	65
Tabla 22. Comparación de las emisiones residenciales, inventarios DICTUC 2005 versus USACH 2013.....	66
Tabla 23. Comparación de las emisiones evaporativas entre los inventarios DICTUC 2005 y USACH 2013. ....	67
Tabla 24. Comparación del orden de magnitud de emisiones de NH <sub>3</sub> en (kg/año) con inventarios anteriores de la RM. ....	67
Tabla 25. Comparación de las emisiones provenientes de los rellenos sanitarios en Ton/año .68	
Tabla 26. Comparación de las emisiones provenientes del tratamiento de aguas servidas en Ton/año.....	68
Tabla 27: Comparación inventarios sector Transporte en Ruta (t/año) .....	69
Tabla 28: Comparación inventarios sector Transporte en Ruta (t/año) .....	69
Tabla 29. Ejemplificación de la estructuración de las fuentes asociadas a sectores con actividad económica. ....	72
Tabla 30. Número de grupos y glosas sub-agrupados en cada sector de fuentes.....	72

Tabla 31. Sustancias y grupo de sustancia relacionados a cada fuente en el EDB. ....	76
Tabla 32. Resumen del número de archivos de datos creados para cada sector, e integrados en el EDB preliminar.....	76
Tabla 33. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, en unidades de [kg/kg de GN consumido]. La última columna muestra el combustible total consumido anualmente por las calderas industriales .....	83
Tabla 34. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, en unidad de [kg/kg de Pet6]; La última columna muestra el combustible consumido anualmente por las calderas industriales.....	83
Tabla 35. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, en unidades de [kg/kg de Petróleo 2].....	83
Tabla 36. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, todos en unidad de [kg/kg de carbón consumido]. ....	84
Tabla 37. Total de emisiones correspondientes a las fuentes fijas correspondientes a Calderas Industriales con distintos combustibles de consumo en la Región Metropolitana. ....	84
Tabla 38. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, en unidades de [kg/Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondiente a la industria del Cemento.....	85
Tabla 39. Factores de emisión correspondientes a distintos contaminantes, en unidades de [kg/Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondiente a la industria de ladrillos.....	85
Tabla 40. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, todos en unidad de [kg/Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondientes a la industria del Vidrio. ....	86
Tabla 41. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, todos en unidad de [kg/Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondientes a la industria de la Cal. ....	86
Tabla 42. Factores de emisión de MP de algunos procesos de grano. ....	86
Tabla 43. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, todos en unidad de [kg/kg de Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondientes a la Industria Siderúrgica.....	87
Tabla 44. Total de emisiones correspondientes a las fuentes fijas correspondientes distintos Sectores Industriales en la Región Metropolitana. ....	87
Tabla 45. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad total en la R.M para la categoría calderas de calefacción subcategoría combustible diésel. ....	89
Tabla 46. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas de calefacción subcategoría combustible Gas Natural .....	90
Tabla 47. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas de calefacción subcategoría combustible Gas Licuado del Petróleo. ....	90
Tabla 48. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas industriales subcategoría combustible Diésel.....	91
Tabla 49. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas de calefacción subcategoría combustible Gas Natural .....	91

Tabla 50. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas industriales subcategoría combustible Gas Licuado del Petróleo. ....	92
Tabla 51. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría Grupos electrógenos subcategoría combustible Diésel. ....	93
Tabla 52. Emisiones PM10 estimadas por la SEREMI de Salud. ....	93
Tabla 53. Combustibles asociados a las emisiones provenientes de la combustión residencial	94
Tabla 54. Consumo promedio anual de leña por artefacto en la Región Metropolitana .....	95
Tabla 55. Factor multiplicativo H, para las emisiones de acuerdo a la humedad de la leña .....	95
Tabla 56. Modificador relacionado con la operación de la estufa. ....	96
Tabla 57. Factor de multiplicativo $M_i$ , para las emisiones de acuerdo al tipo de leña utilizada.	96
Tabla 58. Factores de emisión de $MP_{10}$ para artefactos a leña utilizados en este inventario ....	98
Tabla 59. Factores de emisión provenientes de la quema de leña para otros contaminantes ..	98
Tabla 60. Factores de emisión por estufas residenciales que utilizan otros tipos de combustibles. ....	99
Tabla 61. Consumo total de leña (kg/año) en todos los equipos (fuente: Estudio CDT 2012) ...	99
Tabla 62. Cantidad de equipos que usan leña, por comuna y por tipo. ....	101
Tabla 63. Emisiones de MP (ton/año) por comuna y por tipo de estufa .....	103
Tabla 64. Emisiones de CO provenientes de las estufas a leña (ton/año) .....	104
Tabla 65. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría solventes de uso domestico .....	106
Tabla 66. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría pintado arquitectónico .....	106
Tabla 67. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría fugas residenciales de GLP.....	107
Tabla 68. Consideraciones utilizadas para el cálculo de emisiones desde estanques de almacenamiento. ....	108
Tabla 69. Variables utilizadas para el cálculo de emisiones división transporte. ....	111
Tabla 70. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría distribución de combustible, división expendio final.....	111
Tabla 71. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría lavaseco .....	112
Tabla 72. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría pintado de vehículos.....	112
Tabla 73. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría artes gráficas para emisiones de pequeñas operaciones.....	113
Tabla 74. Factor de emisión, nivel de actividad y emisión reportados por el estudio "Diagnostico del sector Imprentas como base para proponer un Acuerdo de Producción Limpia" .....	113
Tabla 75. Consumo y emisiones de empresas Jordan S.A.....	114
Tabla 76. Emisiones totales de Empresa ALUSA Ltda. ....	115
Tabla 77. Emisiones de empresa EDELPA S.A.....	115
Tabla 78. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría fugas comerciales de GLP. ....	116
Tabla 79. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría aplicación de asfalto.....	116

Tabla 80. Valores de parámetros $s$ y $C_f$ por tipo de cultivo. ....	117
Tabla 81. Factores de emisión por defecto para quemas agrícolas (Tier 1). Referidos a Tabla 3-1 del Cap. 3F. EMEP/EAA Emission Inventory Guidebook 2013. ....	120
Tabla 82. Asociación de categoría CONAF a categoría PFT utilizado por factores de emisión Tier 2.....	120
Tabla 83. Factores de emisión Tier 2 para incendios forestales según el tipo de bosque. FE expresados en kg/ha quemada. Para MP10 y MP2.5 la unidad corresponde a g/kg de material quemado. ....	121
Tabla 84. Nivel de Actividad correspondiente al área afectada a nivel de comunal. En color gris se destacan comunas sin registro de incendios forestales. ....	122
Tabla 85. 20 variables utilizados en el output de MEGAN. ....	124
Tabla 86. Grupos Funcionales de Plantas (PFT) considerados en el modelo MEGAN2.1 (Guenther et al, 2012).....	126
Tabla 87. Factores de Emisión ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) de distintos COVs para emisiones biogénicas vegetales. Se indica el FE asociado a cada grupo de PFT (Guenther et al, 2012). ....	130
Tabla 88: Tasa de aplicación de nutrientes por unidad de superficie.....	132
Tabla 89: Ecuaciones para determinar el factor de emisión <b>FENH3 – N</b> . ....	133
Tabla 90: Factores para diferentes tipos de animales. ....	134
Tabla 91: Factores de emisión según actividad y contaminante para los rellenos sanitarios. .	135
Tabla 92: Parámetros de entrada en el modelo Landgem.....	135
Tabla 93: Factores de emisión y nivel de actividad de las emisiones de las plantas de tratamiento de aguas servidas utilizados en este inventario. ....	136
Tabla 94: Detalle de cantidad de tramos, pódicos y peajes para cada autopista con su respectivo sentido.....	144
Tabla 95: Categorías de tecnología para clasificación vehículos livianos. ....	144
Tabla 96: Categorías de tecnología para clasificación de camiones.....	145
Tabla 97. EDB Adicional.....	146
Tabla 98: Distribución típica de vehículos en calles.....	147
Tabla 99: kilometrajes anuales por tipo de vehículos.....	147
Tabla 100: Factores de emisión para vías.....	147
Tabla 101: temperatura para estimación de emisiones evaporativas.....	149
Tabla 102: Factor de emisión de partículas por calle (e). ....	150

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contribuciones $MP_{2,5}$ promedio anual 2012 por diferentes sectores en el inventario. Rango de concentraciones $0.5-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	14
Figura 2. Principios necesarios para una evaluación integral donde se utilizan modelos de dispersión para verificar que las emisiones son consistentes con el impacto registrado por un monitoreo. Esta verificación se puede hacer para las emisiones globales de una ciudad, pero es también posible buscar áreas parciales donde domina el impacto un tipo de fuente particular y específicamente verificar las emisiones de este tipo de fuente.....	17
Figura 3. Principios del modelo OSPM. ....	18
Figura 4. Calle Alameda en Santiago con la estación de monitoreo SDT (anillo rojo). ....	19
Figura 5. Emisión estimada de $MP_{2,5}$ proveniente de los tubos de escape en Alameda el 10 de Julio de 2013. La línea gris muestra el número de vehículos por hora, la roja muestra el $MP_{2,5}$ calculado. ....	20
Figura 6. Factores de emisión calculados para emisiones vehiculares debido a distintas condiciones de tráfico en el día. Los valores máximos corresponden a la condición parar y seguir durante la mañana. ....	20
Figura 7. Los niveles simulados para los casos mostrados como variación diurna:.....	21
Figura 8 Comparación entre $MP_{2,5}$ monitoreado en SDT (línea negra), simulación 2a (rojo) y 2b (azul no continua) sumando un fondo urbano construido como el valor mínimo de Parque O'Higgins y La Paz.....	22
Figura 9. Comparación entre la contribución local monitoreada = SDT – min (POH, La Paz) (línea negra) y las simulaciones 2a (rojo) y 2b (azul no continua). ....	22
Figura 10. Niveles promedio de $MP_{2,5}$ en el monitoreo y como resultado de la modelación de la contribución local en Alameda.....	23
Figura 11. Contribuciones $MP_{2,5}$ promedio anual 2012 por diferentes sectores en el inventario. Rango de concentraciones $0.5-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	24
Figura 12. Impacto en el $MP_{2,5}$ de las emisiones directas. Rango de concentraciones $0.5-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	25
Figura 13. Contribución estimada de emisiones primarias de diferentes sectores a la concentración promedio anual de $PM_{2.5}$ en las estaciones Parque O'Higgins y La Paz. ....	26
Figura 14. Área de modelación con MATCH. Resolución espacial $2 \times 2 \text{ km}^2$ .....	27
Figura 15.- $NO_2$ promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	28
Figura 16.- $O_3$ promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	28
Figura 17. $SO_2$ promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	29
Figura 18. $CO$ promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	29
Figura 19. $NH_3$ promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	30
Figura 20. $MP_{2,5}$ primario promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	30



Figura 21. Aerosol inorgánico secundario (SIA) promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	31
Figura 22: Comparación entre el monitoreo de $\text{MP}_{2,5}$ y las simulaciones del $\text{MP}_{2,5}$ primario (a) y $\text{MP}_{2,5}$ primario más el aerosol inorgánico secundario SIA (b).....	32
Figura 23.- Comparación entre el monitoreo de $\text{MP}_{2,5}$ y las simulaciones del $\text{MP}_{2,5}$ primario (a) y $\text{MP}_{2,5}$ primario más el aerosol inorgánico secundario SIA (b). ....	33
Figura 24. Composición química del material particulado fino en una estación de fondo de Santiago (Usach). Datos tomados del estudio realizado por el Centro Mario Molina para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2011. ....	39
Figura 25. Mapa de la Región Metropolitana en plataforma Airviro dando muestra de 131 fuentes puntuales correspondientes a calderas y procesos industriales dentro de la región Metropolitana, además de Centrales Termoeléctricas pertenecientes a Valparaíso.....	41
Figura 26. Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 2029, Caldera Industrial con mayor emisión de sin sistema de control de MP correspondiente a Papeles Cordillera S.A.....	41
Figura 27. Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 2029, Caldera Industrial con mayor emisión de $\text{NO}_x$ correspondiente a Papeles Cordillera S.A.....	42
Figura 28. Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 1460, Caldera Industrial con mayor emisión de $\text{SO}_x$ correspondiente a SCA CHILE S.A. ....	42
Figura 29. Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 3023; Proceso de Horno de Arco Eléctrico a Gas Natural con abatimiento de Filtro Mangas con mayor emisión de $\text{MP}_{2,5}$ correspondiente a GERDAU AZA S.A.....	43
Figura 30 Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 3023; Proceso de Horno de Arco Eléctrico a Gas Natural con abatimiento de Filtro Mangas con mayor emisión de $\text{MP}_{10}$ correspondiente a GERDAU AZA S.A. ....	43
Figura 31 Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 2263; Proceso de Horno de Fundición a Petróleo 6 con abatimiento de Precipitador electrostático con mayor emisión de $\text{NO}_x$ correspondiente a CRISTALERIAS CHILE S.A.....	44
Figura 32 Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 766; Proceso de Horno Rotatorio en base a combustible no definido con abatimiento de Precipitador electrostático con mayor emisión de $\text{SO}_x$ correspondiente a SOPROCAL CALERIAS E INDS. S.A. ....	44
Figura 33. Emisiones de $\text{NO}_x$ Generación Eléctrica Central Nueva Renca a Gas Natural .....	45
Figura 34. Emisiones de $\text{NO}_x$ Generación Eléctrica Central Nueva Renca a Diésel .....	45
Figura 35. Distribución de emisiones de MP de Calderas de Calefacción en la RM .....	46
Figura 36. Distribución de emisiones de MP de las Calderas Industriales en la RM.....	46
Figura 37. Distribución de emisiones de MP de los Grupos Electrógenos en la RM.....	47
Figura 38. Emisiones de $\text{MP}_{2,5}$ provenientes de la combustión de leña en estufas residenciales. ....	48

Figura 39. Emisiones evaporativas de COV provenientes de residencias.....	49
Figura 40. Distribución espacial de las emisiones totales de MP <sub>2,5</sub> y CO generadas por incendios forestales y quemas de desechos agrícolas. ....	51
Figura 41. Emisión y distribución regional de COVs biogénicos generados durante el año 2012. ....	52
Figura 42. Concentración de emisiones estacionales de Isopreno y Monoterpenos biogénicos. ....	53
Figura 43.- Variación diurna durante marzo/verano (izquierda) y durante julio/invierno (derecha). Unidad: g/km <sup>2</sup> ,hora .....	53
Figura 44. Variación mensual de las emisiones biogénicas con los resultados del MEGAN2.1. Se ha utilizado información de un estudio de modelación de Europa donde emisiones biogénicas de 4 modelos fueron comparadas. Las emisiones de isopreno mostraron la misma variación pero con niveles diferentes.....	54
Figura 45. Distribución geográfica de las emisiones de Fertilizantes. ....	55
Figura 46. Distribución de las emisiones provenientes de la crianza de animales. ....	56
Figura 47. Emisiones de NH <sub>3</sub> provenientes de la crianza de animales.....	57
Figura 48. Relación entre el biogás generado en cada relleno sanitario y el biogás quemado en antorcha. ....	58
Figura 49. Emisiones de CO provenientes de la quema de biogás en antorcha en los rellenos sanitarios.....	59
Figura 50. Emisiones de NH <sub>3</sub> provenientes de las plantas de aguas servidas ingresadas como fuentes puntuales en el sistema Airviro.....	60
Figura 51. Distribución de las emisiones de MP <sub>2,5</sub> y NO <sub>x</sub> para transporte en ruta .....	61
Figura 52: Emisiones MP <sub>2,5</sub> Transporte de carga y buses, en carretera y otras vías. ....	62
Figura 53: Emisiones de NO <sub>x</sub> año 2012 transporte en ruta: a) carreteras; b) Otras vías; c) Transantiago.....	63
Figura 54: Emisiones 2012 MP <sub>2,5</sub> maquinaria de la construcción .....	64
Figura 55: Emisiones 2012 NO <sub>x</sub> maquinaria de la construcción. ....	64
Figura 56: Modelación Gaussiana CO Autopistas .....	70
Figura 57: Modelación Gaussiana CO Vías. ....	70
Figura 58. Representación de emisiones asociadas a fuentes agrupadas en tipo grilla. ....	72
Figura 59 Representación del mapa de la Macro zona Chile en la plataforma Airviro, la cual incluye las 123 fuentes puntuales clasificadas como “grandes emisoras” dentro de la Región Metropolitana más una termoeléctrica correspondiente a Gener. También se adhieren 4 termoeléctricas, 2 fundiciones pertenecientes a la región de Valparaíso y una fundición de la sexta región. ....	73
Figura 60. Ejemplo de distribución de fuentes fijas mediante uso de grillas. Se presenta la distribución de las fuentes clasificadas en el grupo “calderas industriales”. ....	74
Figura 61. Representación de fuentes móviles (arco vial). Arriba: sub-sector de transporte privado en autopistas. Abajo: sub-sector de transporte público (Transantiago). ....	75
Figura 62. Ventana de programa TANKS en la cual se agregan las características físicas de los estanques. ....	110

Figura 63. Imagen satelital LANDSAT 7 (Arr.Izq). Clasificación de LU/LC (Arr.Der). Información geográfica de cultivos agrícolas (Ab. Izq). Representación de emisiones de CO proveniente de quemas agrícolas en Airviro (Ab.Der). .....	119
Figura 64. Distribución de áreas forestales ingresadas a Airviro, asociada a las emisiones provenientes de incendios forestales. ....	123
Figura 65. Área y grilla del modelo WRF con su resolución original (60x60 celdas). Posteriormente se convirtió la grilla a 360+360 celdas para ser ingresadas a MEGAN.....	125
Figura 66. Izq. Variación anual (46 períodos de 8 días) de LAI como promedio (tomado del año 2003, base de datos de MEGAN). Sin unidad. Der. Distribución de LAI sobre la RM. Imagen satelital junio 2012. ....	128
Figura 67: Actividades asociadas a la generación de emisiones de crianza de animales. Imagen adaptada de EMEP/EEA 2013 Inventory guidebook section 3.B Manure management página 4. ....	133
Figura 68: Diagrama de Metodología Transporte Público .....	137
Figura 69: Arcos de servicio 401 Ida.....	138
Figura 70: Cálculo de velocidades promedio por arco.....	139
Figura 71: Diagrama de Metodología Transporte Privado en Carretera .....	142
Figura 72: ventana de Airviro donde se dibujan los Tramos a analizar .....	143
Figura 73: Ventana de Airviro donde se agrega información correspondiente al tramo. ....	143
Figura 74: Diagrama de la metodología para la estimación de emisiones de maquinaria de construcción.....	151

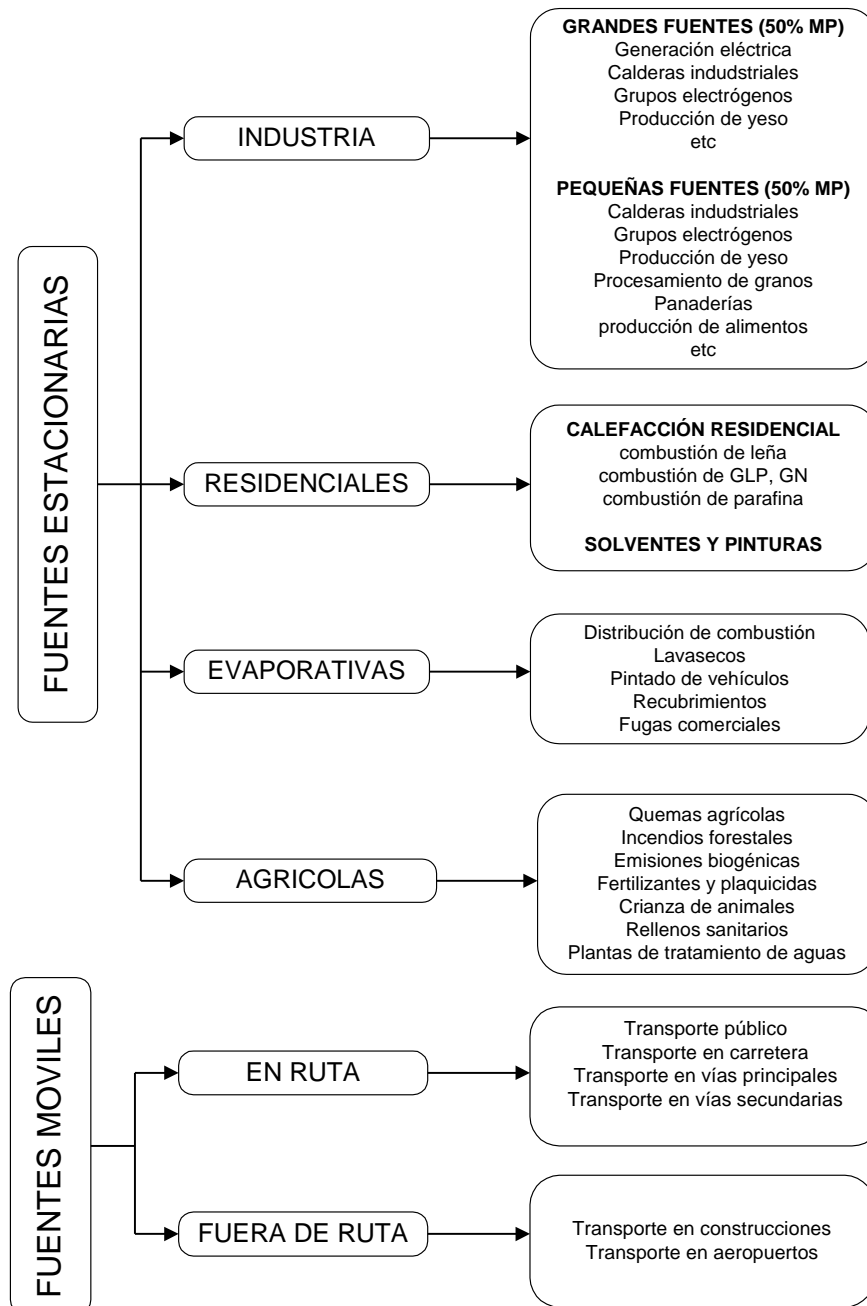
## EQUIPO DE TRABAJO

- Jefe de Proyecto: Ernesto Gramsch L.
- Gianni López (Inventarios, emisiones vehiculares)
- Lars Gidhagen (Modelación)
- David Segersson (Airviro)
- Marcela Castillo (Emisiones vehiculares)
- Yeanice Vásquez (Compuestos orgánicos volátiles)
- Cristina Valverde (Emisiones industriales)
- Ximena Díaz (Emisiones industriales)
- Ernesto Gramsch (Emisiones residenciales)
- Matías Tagle (Emisiones biogénicas)
- Rodrigo Donoso (Emisiones agrícolas)

# 1. RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo, se realizó una actualización del Inventario de Emisiones Contaminantes en la Región Metropolitana con tres innovaciones principales. 1.- Ingreso de la información al sistema computacional Airviro. 2.- Aplicación de metodología descendente (top down) para simplificar el cálculo de algunas fuentes areales. 3. Verificación y validación de las emisiones por medio de un modelo de dispersión.

La estructura utilizada para agrupar las fuentes es similar a la utilizada en los inventarios anteriores, es decir: **fuentes estacionarias y fuentes móviles**, y se muestra a continuación:



El informe final del estudio presenta la estimación de emisiones del inventario 2012, los resultados de la modelación de calidad del aire y su comparación con información de calidad del aire.

El resultado principal de este estudio es la implementación de un sistema Web para visualizar, procesar, actualizar y verificar los inventarios de emisiones. Se ha implementado un sistema dinámico para las bases de datos de emisiones, no un sistema estático como existía hasta ahora (informe en papel). Esta metodología va a permitir (por ejemplo) que personal autorizado pueda ingresar al sistema y visualizar las emisiones de la fuente que desee en un mapa de la Región Metropolitana. Puede comparar fuentes y determinar cuál es más importante en un determinado sector. Puede calcular las concentraciones para un día determinado, comparar con los datos medidos y determinar qué fuentes fueron las que más contribuyeron ese día en particular. Las actualizaciones van a ser mucho más fáciles de realizar, ya que todas las emisiones están disponibles en un sistema Web, se puede seleccionar la fuente que tenga deficiencias y corregirla. La visualización gráfica de los resultados va a ser una herramienta muy poderosa para las necesidades de toma de decisiones. Un diagrama que ejemplifica esta idea se muestra en la Figura 2, es decir el nuevo esquema permite una interacción fluida entre las bases de datos de emisiones, la modelación y las mediciones de calidad del aire.

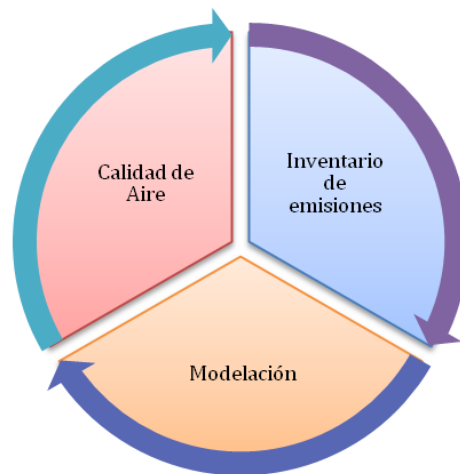


Figure 1.- Resultados de este proyecto.

Debemos hacer notar que para poder implementar la modelación se hizo necesario construir campos de viento, ingresar la información meteorológica, implementar los modelos para que puedan utilizar las bases de datos de emisiones, generar las grillas con información geográfica, georreferenciar todas las fuentes, etc.

Es también importante destacar que el inventario ha sido hecho con la información pública disponible, proveniente de inventarios previos, estudios encargados por el Ministerio del Medio Ambiente, de la Seremi de Salud, etc. Al provenir la información de muchas fuentes diferentes, no necesariamente toda ella, se ajusta a la realidad. Por lo tanto, es necesario que se realicen actualizaciones y nuevas mediciones para mejorar la base de datos de emisiones

en forma continua. Esta nueva plataforma permite que las actualizaciones se realicen en forma parcelada, por fuentes, o por contaminante, y por espacios de tiempo variables, sin que sea necesario realizar un nuevo inventario cada vez.

Los resultados del presente inventario están disponibles en la plataforma Web Airviro, por lo cual es posible consultar por cualquier contaminante, fuente, o modelación. Las claves de acceso están disponibles para el mandante y su acceso puede ser realizado desde cualquier computador.

Los resultados que se muestran en la plataforma Web, están también resumidos en la tabla Tabla 1.

**Tabla 1. Resumen de los resultados de las emisiones, clasificadas por sector.**

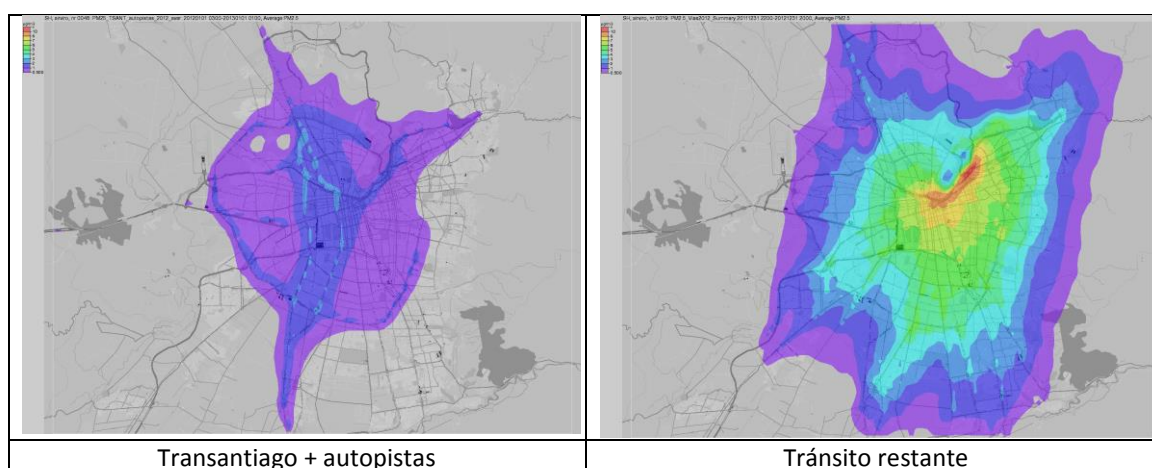
Sector	Emisiones de Contaminantes [ton/año]									
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Hct	COV	CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>Industria</b>	742	662	4.921	1.990		23	1.139			1.519.714
<b>Residenciales</b>	2.186	2.077	1.785	294	-	53.550	20.292	1.626	193	281.988
<b>Evaporativas</b>						28.424				
<b>Agrícolas</b>	205	183	80	15	0	15.031	2.214	88.071	33.395	242.571
<b>Transporte<sup>*,&amp;</sup></b>	2.877	2.398	39.356	239	14.146		125.727	0	2.114	10.401.297
<b>Construcción<sup>§</sup></b>	568	534	5.244	6	1.002		5.423			681.638
<b>Total</b>	<b>6.578</b>	<b>5.854</b>	<b>51.386</b>	<b>2.544</b>	<b>15.148</b>	<b>97.028</b>	<b>154.795</b>	<b>89.697</b>	<b>35.702</b>	<b>13.127.208</b>

\*: No se incluyó la resuspensión de polvo en el MP<sub>10</sub> o MP<sub>2,5</sub> debido a inconsistencias en la información (ver sección 4.1.5)

&: El MP<sub>10</sub> se calculó suponiendo que es 20% más alto que MP<sub>2,5</sub>, ver sección 4.1.5.

§: Corresponde a vehículos fuera de ruta utilizados en el sector construcción. Ver sección 4.1.5.

Sin embargo, los verdaderos beneficios de este nuevo sistema se pueden ver en los resultados de las modelaciones. La Figura 1 Muestra el impacto generado por los cuatro sectores más importantes en la concentración de MP<sub>2,5</sub>.



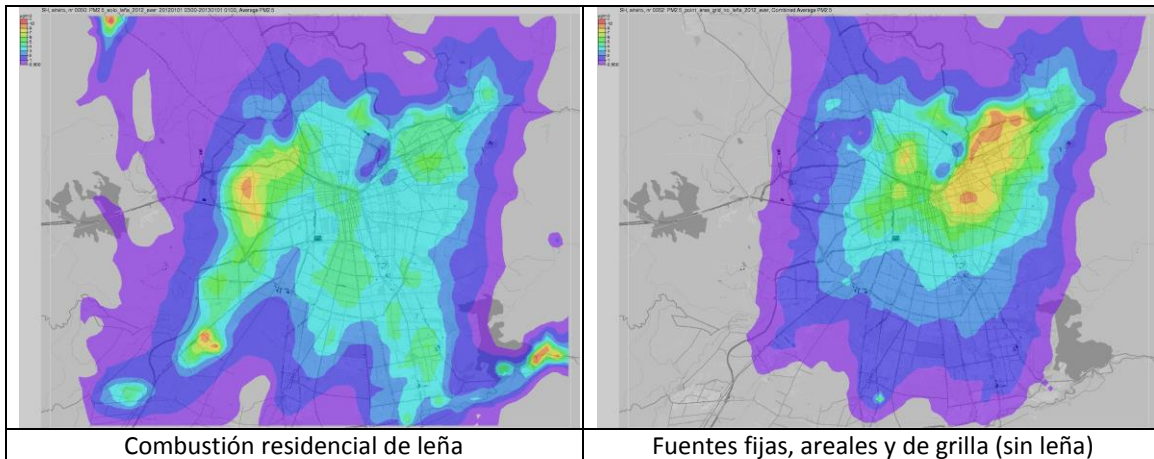


Figura 1. Contribuciones  $MP_{2,5}$  promedio anual 2012 por diferentes sectores en el inventario. Rango de concentraciones  $0.5-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## Conclusiones y recomendaciones

- Esta nueva plataforma hace posible la actualización continua de los inventarios por sector o por tipo de contaminante sin restricción en el período de tiempo. Luego, una actualización de muchas de las emisiones es necesaria en el corto plazo.
- Muchas de las fuentes no muestran emisiones de  $\text{CO}_2$  y otras tienen emisiones que no son reales, luego es necesario mejorar el inventario de  $\text{CO}_2$ .
- Las emisiones de  $\text{SO}_2$  están dominadas por las megafuentes industriales, en particular Caletones, sin embargo esto se debe revisar, ya que pueden haber otras fuentes importantes.
- Las emisiones de  $\text{NO}_2$  están dominadas por las emisiones del tránsito, por lo tanto se puede esperar que la importancia de este contaminante aumente en el futuro cercano.
- Las emisiones de leña son muy altas pero al estar distribuidas homogéneamente en toda la Región Metropolitana, tienen un impacto alto principalmente en el sector poniente.

## 2. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al informe final del contrato “Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana”, suscrito entre el Ministerio de Medio Ambiente, mandante y la Universidad de Santiago de Chile, ejecutor.

### 2.1. Objetivos generales

Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región metropolitana utilizando una metodología que permita mantener un registro actualizado de las emisiones de fuentes, con énfasis en el aseguramiento y control de calidad de la información. Actualización de las emisiones atmosféricas de  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $COV$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$  equivalente y carbono negro, para una base temporal correspondiente al año 2012.

### 2.2. Objetivos específicos

- a) Revisión de metodologías para la generación del inventario de emisiones. Este objetivo fue presentado en el Primer Informe de avance.
- b) Recopilación de información para :
  - Fuentes estacionarias puntuales
  - Fuentes estacionarias de área
  - Fuentes móviles en ruta
  - Fuentes móviles fuera de ruta

Este objetivo fue presentado en parte en el Primer Informe de avance y se desarrolla en el presente informe.
- c) Procedimiento para la sistematización de la información. Este objetivo se desarrolla en el presente informe mediante el sistema Airviro.
- d) Procesamiento de datos mediante Airviro. Este objetivo se desarrolla en el presente informe.
- e) Capacitación de profesionales. Se hará una vez que el ingreso de información esté realizado.
- f) Validación de Inventario. Se hará una vez termine el ingreso de información, los resultados de la validación se presentarán en el informe final.



## 2.3. Organización del informe

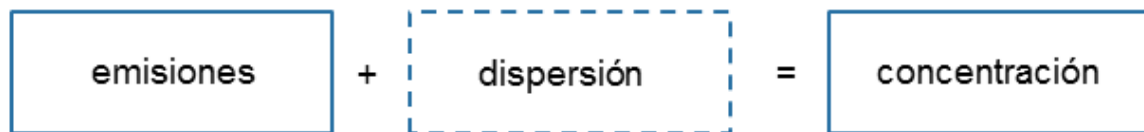
De acuerdo a estos contenidos, el informe se dividirá como sigue:

- **Primer capítulo.** Resumen Ejecutivo
- **Segundo capítulo.** Introducción
- **Tercer capítulo.** Modelo de dispersión para validación del inventario
- **Cuarto capítulo.** Inventario 2012
  - Resultados del inventario.
  - Descripción gráfica, resultados más importantes y evaluación crítica.
  - Comparación con la modelación
  - Comparación con inventario anterior (2005)
- **Quinto capítulo.** Sistema I-Airviro cargado con información de los inventarios.
- **Anexos**
  - Metodologías
  - Nivel de actividad
  - Factores de emisión

## 3. MODELO DE DISPERSIÓN PARA VALIDACIÓN DEL INVENTARIO

### 3.1. Introducción

Crear inventarios de emisiones a la atmósfera de zonas urbanas siempre lleva consigo una incertidumbre bastante elevada y difícil de cuantificar, esto ya que la información de entrada - actividades, factores de emisión, estimaciones de ventas o consumo etc. - vienen de fuentes muy distintas. La mejor forma de asegurar la calidad de un inventario es por el esquema dibujado en la Figura 2.



**Figura 2.** Principios necesarios para una evaluación integral donde se utilizan modelos de dispersión para verificar que las emisiones son consistentes con el impacto registrado por un monitoreo. Esta verificación se puede hacer para las emisiones globales de una ciudad, pero es también posible buscar áreas parciales donde domina el impacto un tipo de fuente particular y específicamente verificar las emisiones de este tipo de fuente.

Para el desarrollo del inventario de la RM proponemos el uso de esta metodología en tres escalas y con tres tipos de modelos. En este primer inventario ejemplificamos el procedimiento con el uso de modelos de Airviro, todos corriendo con emisiones en formato Airviro EDB:

- Nivel de calle y emisiones de fuentes móviles: Uso de un modelo tipo “Cañón de calle” (OSPM en Airviro).
- Nivel comunal y emisiones de fuentes móviles, residenciales y de energía: Uso del modelo Gaussiano de Airviro
- Nivel macrozona central (MZC) para todas las fuentes, incluyendo la formación secundaria de MP: Uso del modelo fotoquímico MATCH.

### 3.2. Descripción del modelo

#### 3.2.1. Modelo OSPM

El modelo danés OSPM (Berkowicz, 2000) calcula las concentraciones creadas de las emisiones vehiculares locales en una calle rodeada por edificios de diferentes alturas. Para poder hacer una buena comparación entre el modelo y el impacto local, es recomendable medir 3-4 m arriba de la vereda – por ejemplo en una terraza – y además al nivel del techo. La diferencia entre estos dos registros constituye lo que nombramos la contribución local creada por el

tráfico en la misma calle. El modelo da como salida dos series de concentraciones horarias, una para cada lado de la calle, en la mitad de la cuadra.

El modelo OSPM se puede utilizar para simular  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$  y  $NO_2/NO_x$ .

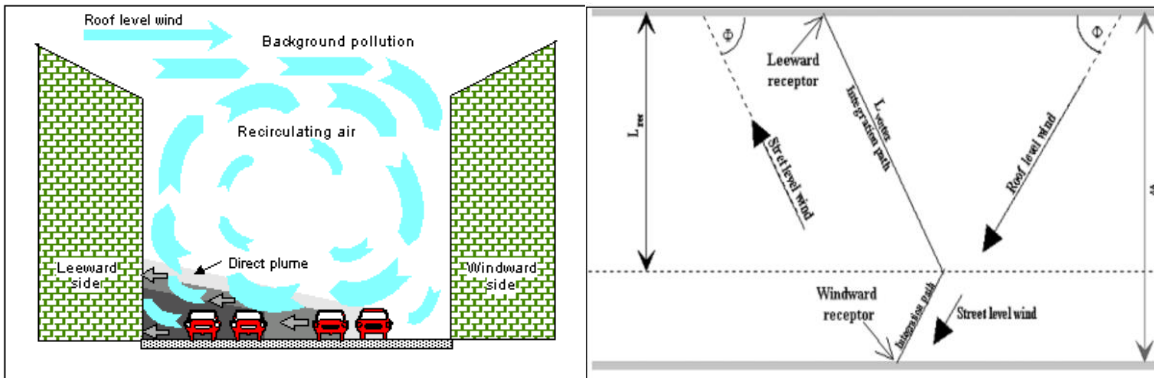


Figura 3. Principios del modelo OSPM.

### 3.2.2. Modelo Gauss

El modelo Gauss implementado en el Airviro (ver Appendix 2C en el Airviro User's Reference, [http://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.12792!Volume2\\_Dispersion\\_3.20.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.12792!Volume2_Dispersion_3.20.pdf)) calcula las concentraciones creadas de fuentes lineales (móviles), puntuales (fijas), areales y de grilla. El modelo tiene un modelo diagnóstico de viento incorporado. La información requerida de entrada de meteorología es datos horarios del viento (velocidad y dirección) a 10 m de altura, la temperatura ambiental y la gradiente vertical de la temperatura cerca al suelo (para estimar la estabilidad de la atmósfera). En caso de que no sea posible conseguir la información de la gradiente vertical de la temperatura, se puede trabajar con información de radiación global y nubosidad.

El modelo se aplica con una resolución espacial de 10 m hasta 1 kilómetro, dependiendo del tamaño del área de interés. La información de salida son campos horarios de concentración al nivel de suelo o a nivel de techo en zonas densamente edificadas.

El modelo Gauss se puede utilizar para cualquier contaminante inerte para el cual está ingresado emisiones en la base de datos de emisiones (EDB) del sistema Airviro.

### 3.2.3. Modelo MATCH

Para modelar la calidad del aire en la Macrozona Central (Región Metropolitana, de Valparaíso y de O'Higgins), se utiliza un modelo regional y fotoquímico MATCH (Robertson et al., 1999; Andersson et al., 2007). El modelo requiere como datos de entrada los campos meteorológicos, en el caso de MZC provistos por DMC y su modelo WRF. Para información de los bordes, se ha utilizado el modelo global del ECMWF.

La versión MATCH utilizada para este primer análisis de las emisiones de la RM incluye la simulación fotoquímica, la formación secundaria de aerosoles inorgánicos y la dispersión del material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) primario, pero no la formación secundaria de aerosoles

orgánicos (el último proceso incluido en una nueva versión de MATCH que se encuentra bajo verificación).

Emisiones requeridas:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{COV}$ , Isopreno y  $\text{MP}_{2.5}$ . A partir del modelo, se obtienen como resultados, las concentraciones de los siguientes compuestos:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{MP}_{2.5}$  primario, aerosoles secundarios inorgánicos (SIA).

Hay que notar que la información del Modelo WRF que tiene la Dirección meteorológica de Chile (DMC) falta la nubosidad. Pero, en este caso el modelo MATCH utiliza, en lugar de nubosidad, el monto de agua en las nubes (información existente). Sin embargo, encontramos niveles cero de agua en las nubes, lo MATCH interpreta como cielo despejado. La Dirección Meteorológica de Chile (DMC) está revisando este problema que se detectó en marzo 2014.

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1 Nivel de calle

Se ha corrido el modelo OSPM para el período Agosto 15 a Septiembre 27 de 2012, utilizando información meteorológica de la estación MACAM La Paz/Independencia. Se simula las concentraciones  $\text{MP}_{2.5}$  en la estación SDT (ver Figura 3), donde hay un monitoreo de  $\text{MP}_{2.5}$  por el instrumento Dusttrack. Para estimar el fondo (todo el  $\text{PM}_{2.5}$  no creado por las emisiones primarias de Alameda) se ha utilizado la información de  $\text{MP}_{2.5}$  de dos estaciones de la red MACAM: Parque O'Higgins y La Paz.

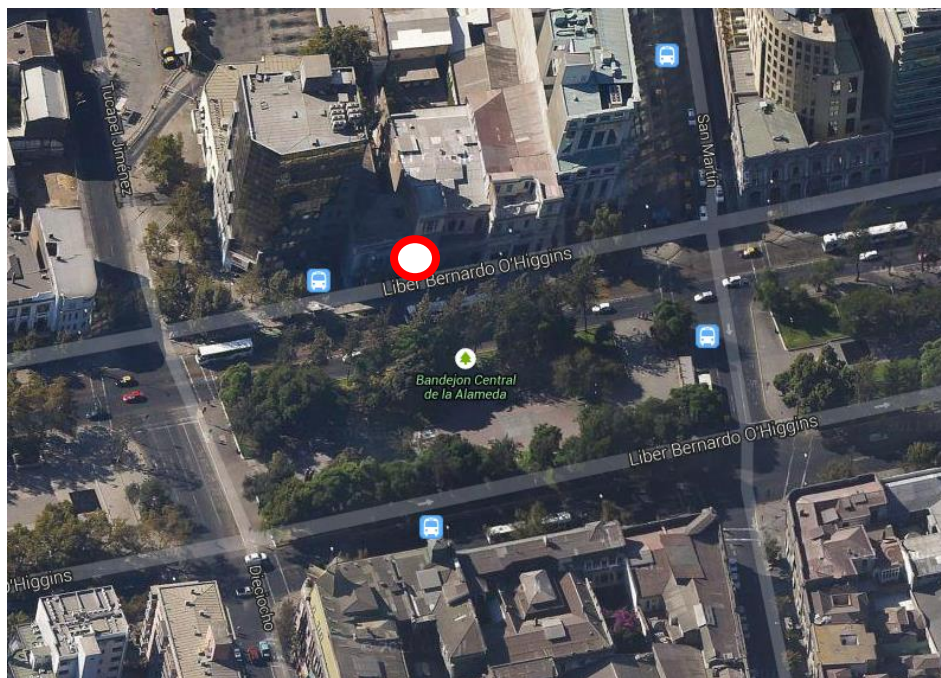
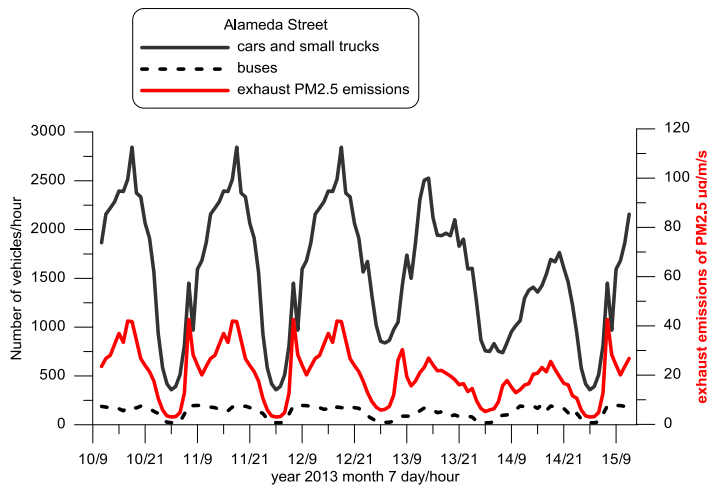


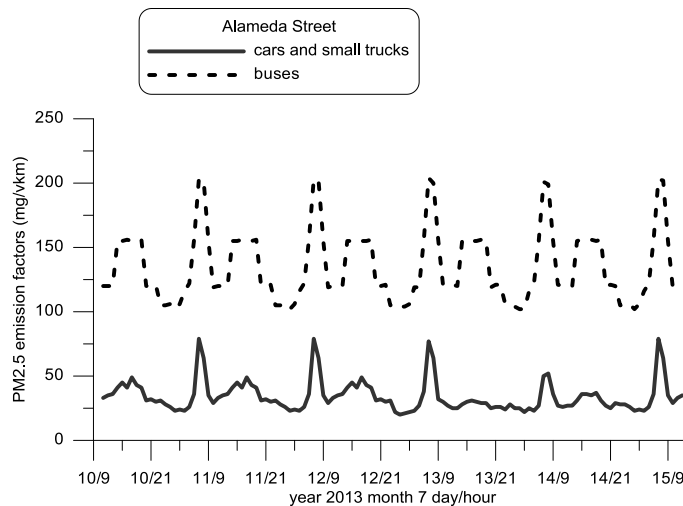
Figura 4. Calle Alameda en Santiago con la estación de monitoreo SDT (anillo rojo).

Información del tránsito existe solamente de la parte de Alameda dirección occidental. La variación del volumen del tránsito, separada en transporte público (buses) y privado, está

ilustrada en la Figura 4. También se presentan las emisiones correspondientes. La Figura 5 muestra como las emisiones cambian dependiendo del grado de congestión.



**Figura 5. Emisión estimada de  $MP_{2,5}$  proveniente de los tubos de escape en Alameda el 10 de Julio de 2013. La línea gris muestra el número de vehículos por hora, la roja muestra el  $MP_{2,5}$  calculado.**



**Figura 6. Factores de emisión calculados para emisiones vehiculares debido a distintas condiciones de tráfico en el día. Los valores máximos corresponden a la condición parar y seguir durante la mañana.**

Se han realizado cuatro simulaciones para estudiar cómo se compara el impacto simulado de las emisiones en Alameda con lo monitoreado en la estación SDT, ver Tabla 2. Con ambas direcciones se ha doblado el tránsito con dirección occidental. La inclusión de polvo de calle se ha hecho – a modo de ejemplo – con una referencia de España [Amato et al., 2013], sin conocer los detalles locales en Santiago y en Alameda. La referencia indica que las emisiones de polvo de calle contribuyen a la concentración local de  $MP_{2,5}$  en un sitio dominado por tránsito son alrededor de 1,5 veces la contribución que sale por el tubo de escape. Este

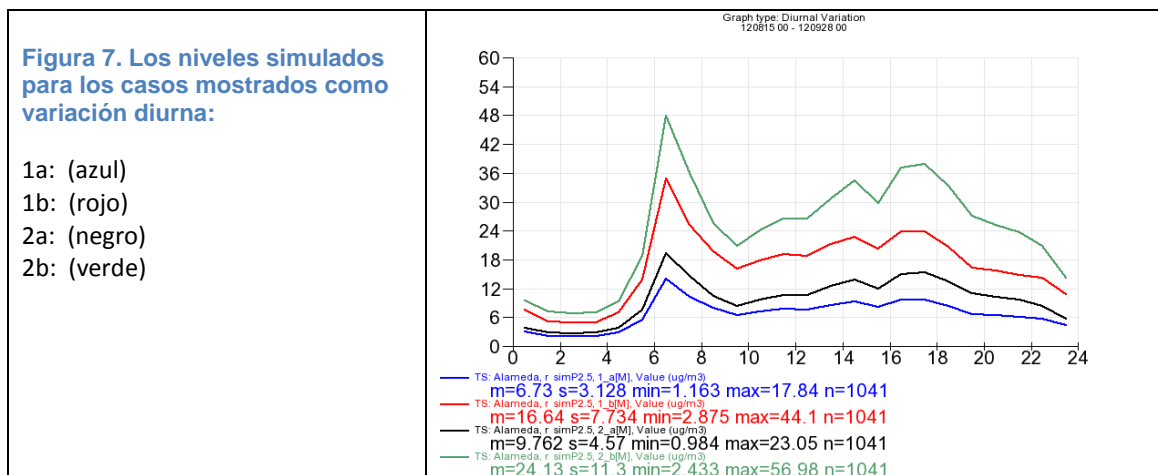
número debe ser revisado en futuras modelaciones ya que puede no ser adecuado para las condiciones de Santiago.

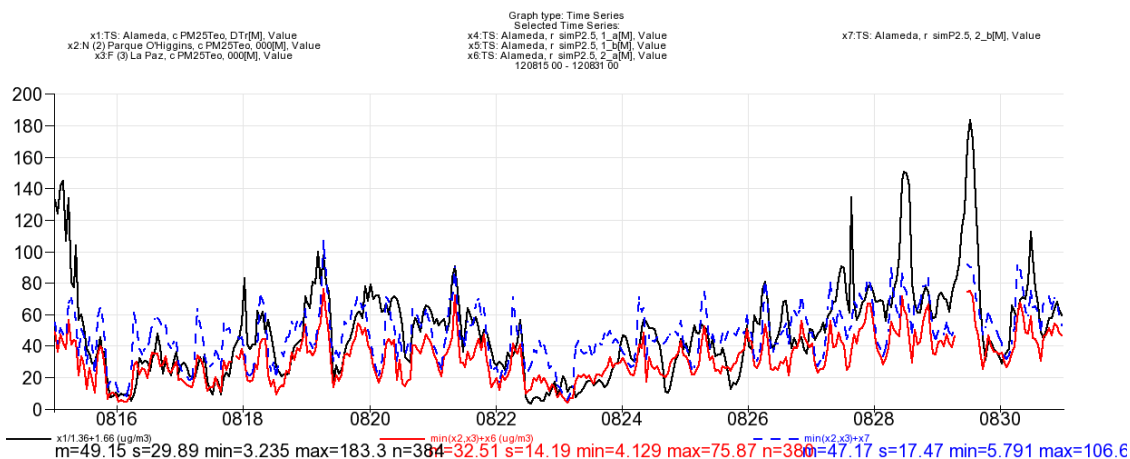
**Tabla 2 Especificaciones de las cuatro corridas de OSPM**

	tránsito	ancho calle	altura edificio lado norte	altura edificio lado sur	Polvo de calle
1a	solo hacia occidente	14	12 / 28	2	no
1b	solo hacia occidente	14	12 / 28	2	sí
2a	ambas direcciones	75	12 / 28	15	no
2b	ambas direcciones	75	12 / 28	15	sí

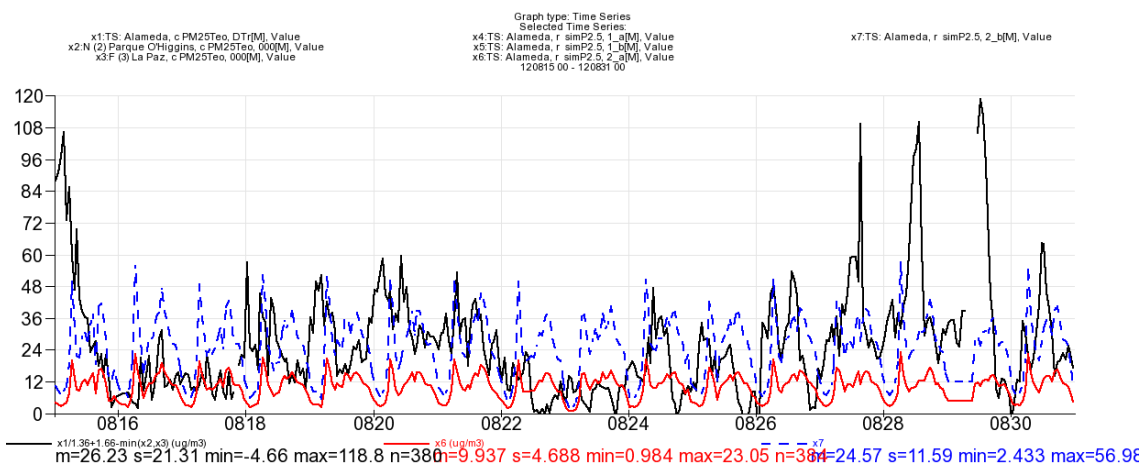
El resultado promedio de las concentraciones simuladas se muestran en la Figura 7. Se puede notar:

- Los niveles de  $MP_{2,5}$  son mayores en el caso de simular ambas direcciones, con aproximadamente  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio comparado con  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el caso de incluir solamente el tránsito hacia el occidente.
- Los niveles totales después de incluir el polvo de calle suben 1,5 veces.





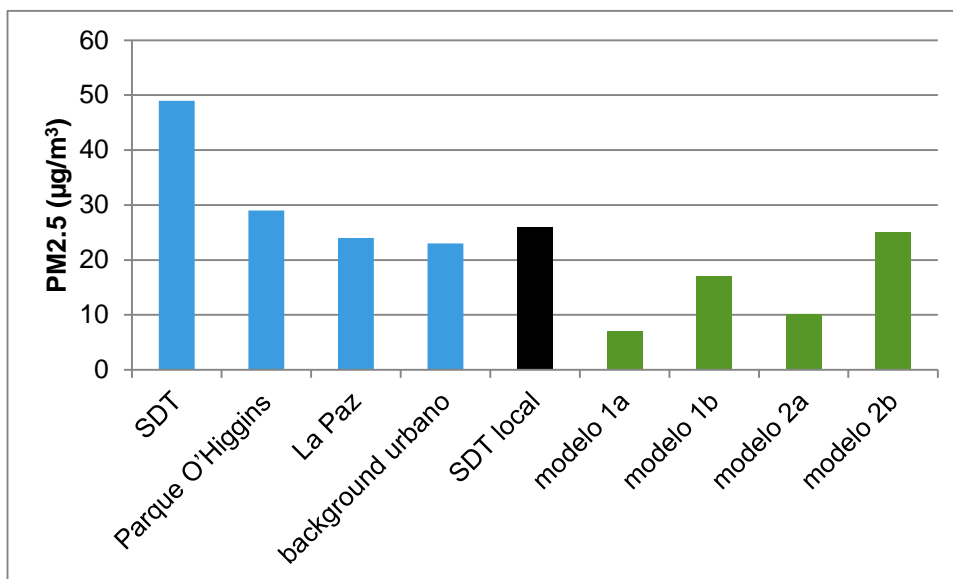
**Figura 8 Comparación entre MP<sub>2,5</sub> monitoreado en SDT (línea negra), simulación 2a (rojo) y 2b (azul no continua) sumando un fondo urbano construido como el valor mínimo de Parque O'Higgins y La Paz.**



**Figura 9. Comparación entre la contribución local monitoreada = SDT – min (POH, La Paz) (línea negra) y las simulaciones 2a (rojo) y 2b (azul no continua).**

**Tabla 3. Niveles promedio de MP<sub>2,5</sub> en el monitoreo y como resultado de la modelación de la contribución local en Alameda**

Estación	Nivel promedio (µg/m <sup>3</sup> )	Comentario
SDT	49	Dusttrack corregido contra Impactador de Harvard ( = x/1.36+1.66)
Parque O'Higgins	29	
La Paz	24	
fondo urbano	23	Estimado como mínimo de P.O'H. y La Paz
SDT local	26	SDT substrayendo el fondo urbano
modelo 1a	7	solamente tráfico hacia occidente
modelo 1b	17	solamente tráfico hacia occidente, con polvo de calle
modelo 2a	10	ambas direcciones
modelo 2b	25	ambas direcciones, con polvo de calle



**Figura 10. Niveles promedio de MP<sub>2,5</sub> en el monitoreo y como resultado de la modelación de la contribución local en Alameda**

Las comparaciones con el monitoreo en SDT en la Figura 7, Figura 8 y Figura 9 (series temporales) y Tabla 3 y Figura 10 (niveles promedio) muestran que con el caso 2b (ambas direcciones y sumando polvo de calle 1,5 veces lo que sale por tubo de escape) se llega a niveles parecidos a lo monitoreado en la estación SDT. Sin embargo, la correlación entre lo simulado y monitoreado del impacto local (Figura 9) es baja y queda claro que el uso de la información de Parque O'Higgins y La Paz no constituye una buena determinación del fondo urbano en la estación SDT.

Resumiendo este análisis a escala local se puede constatar que hay espacio para sumar al impacto por partículas MP<sub>2,5</sub> de combustión vehicular también una contribución de polvo de calle de tamaño 1-1,5 veces lo de combustión. Sin embargo, este análisis es más cualitativo que cuantitativo, esto por falta de información más precisa del fondo urbano cerca a la estación SDT. En todo caso los factores de emisión MP<sub>2,5</sub> utilizados para autos y buses en la Base de datos de Emisiones de Santiago parecen ser apropiados para representar las emisiones por tubo de escape (combustión).

### 3.3.2 Escala Comunal

Se ha corrido el modelo GAUSS del sistema Airviro para el año 2012, utilizando la información meteorológica de la estación MACAM La Paz/Independencia. Se presentan niveles promedio anuales para indicar el impacto de emisiones directas al MP<sub>2,5</sub>. El área cubierta es 49 x 39 km<sup>2</sup> y se ha utilizado una resolución de 500 x 500 m. Normalmente este tamaño es demasiado grande para este tipo de modelo, especialmente pensando en la complejidad de la meteorología de Santiago. Además utilizamos solamente una estación meteorológica (La Paz) como dato de entrada. Por esto, en las gráficas siguientes, los niveles simulados hacia el



centro del Santiago son más confiables que los de la periferia. El motivo para ampliar el área de simulación es porque se quiere comparar el impacto de diferentes fuentes importantes, tales como – la combustión residencial de leña – que se concentra más en la zona periférica.

La Figura 11 muestra el impacto generado por cuatro sectores y la Figura 12 muestra el resultado de las concentraciones de todas las fuentes que emiten  $MP_{2,5}$  en forma directa.

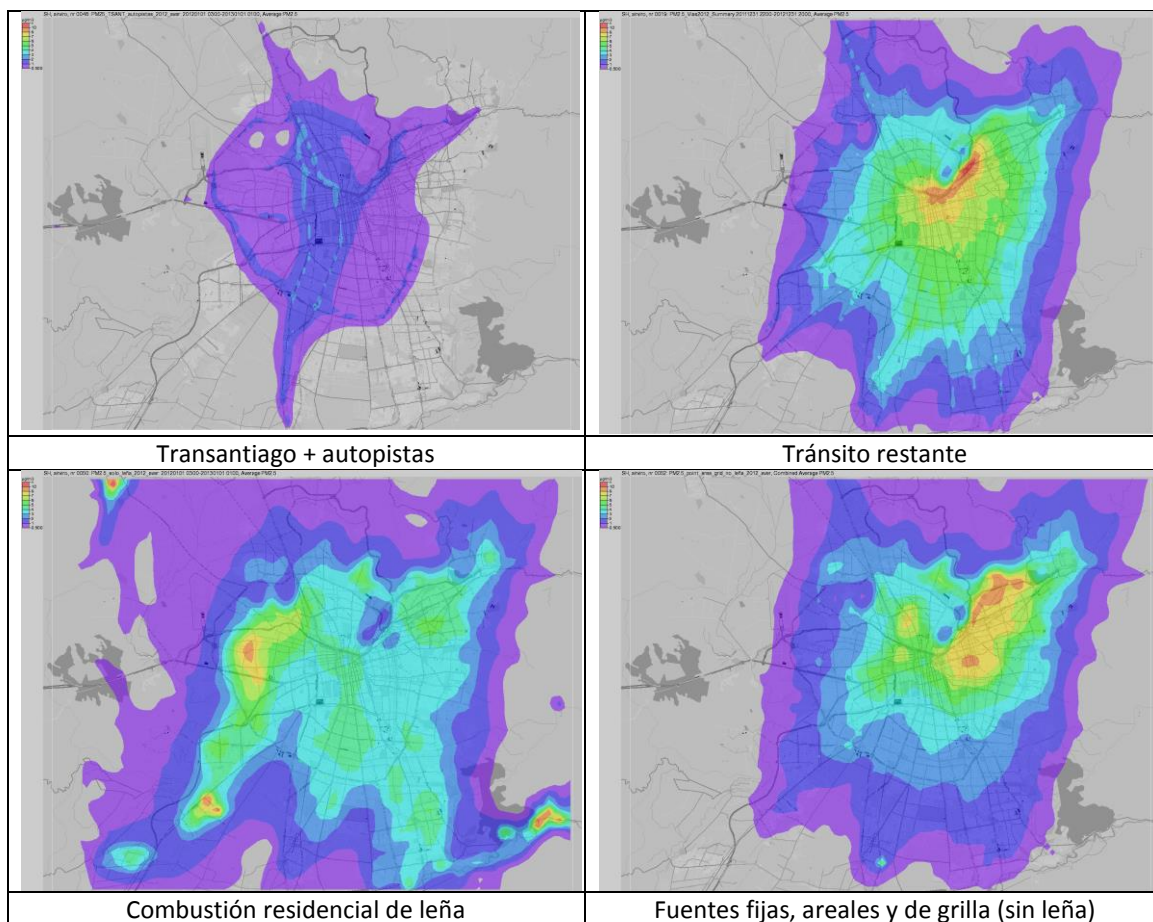


Figura 11. Contribuciones  $MP_{2,5}$  promedio anual 2012 por diferentes sectores en el inventario. Rango de concentraciones  $0.5-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

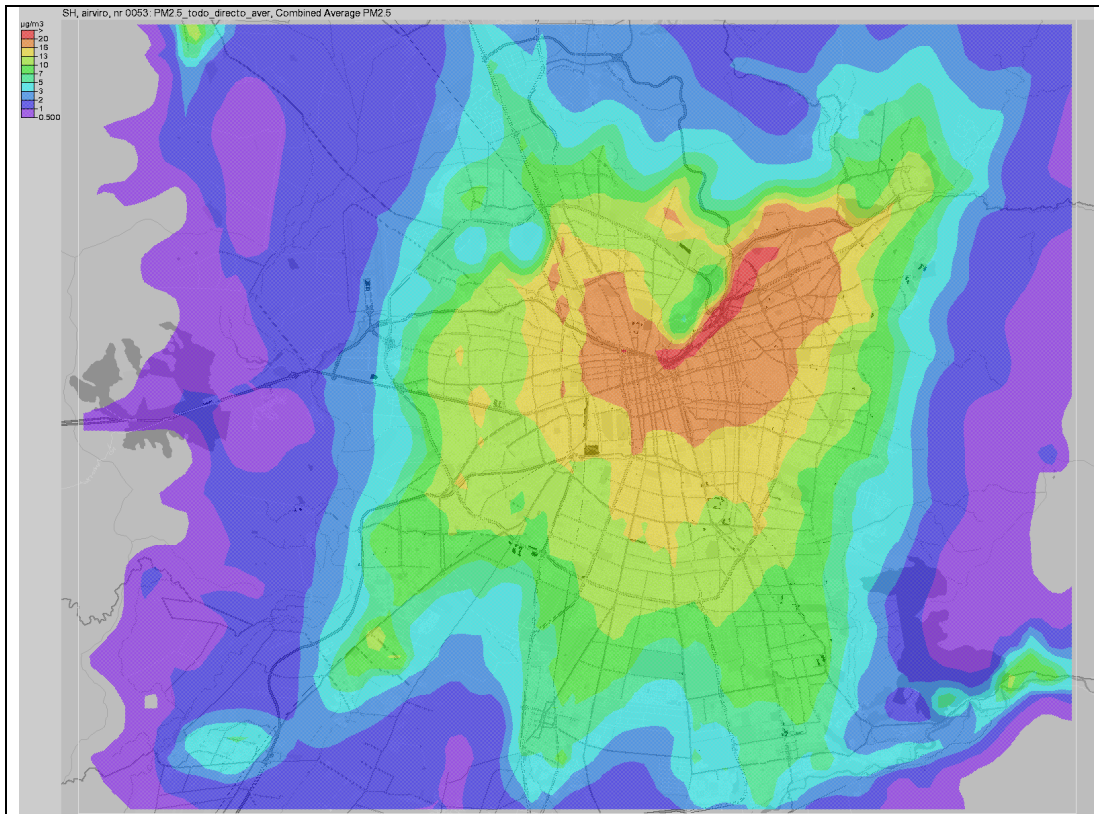


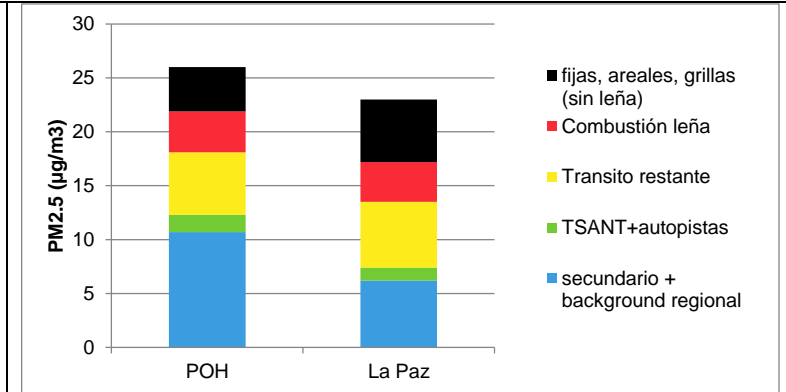
Figura 12. Impacto en el  $MP_{2,5}$  de las emisiones directas. Rango de concentraciones  $0.5-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Se ha evaluado los niveles en las localidades de tres estaciones de monitoreo, ver Tabla 4. Contribución a los niveles de  $MP_{2,5}$  de las diferentes fuentes de emisión directa. Unidad:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tabla 4. Contribución a los niveles de  $MP_{2,5}$  de las diferentes fuentes de emisión directa. Unidad:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Simulación	USACH	Parque O'Higgins	La Paz/Independencia
Todas las fuentes directas	15,4	15,3	16,8
Transantiago + autopistas	1,3	1,6	1,2
Tránsito restante	5,6	5,8	6,1
Combustión residencial de leña	3,4	3,8	3,7
Fuentes fijas, areales, grilla (sin leña)	5,1	4,1	5,8

**Figura 13. Contribución estimada de emisiones primarias de diferentes sectores a la concentración promedio anual de PM2.5 en las estaciones Parque O'Higgins y La Paz.**



Resumiendo las simulaciones a escala comunal, se puede constatar:

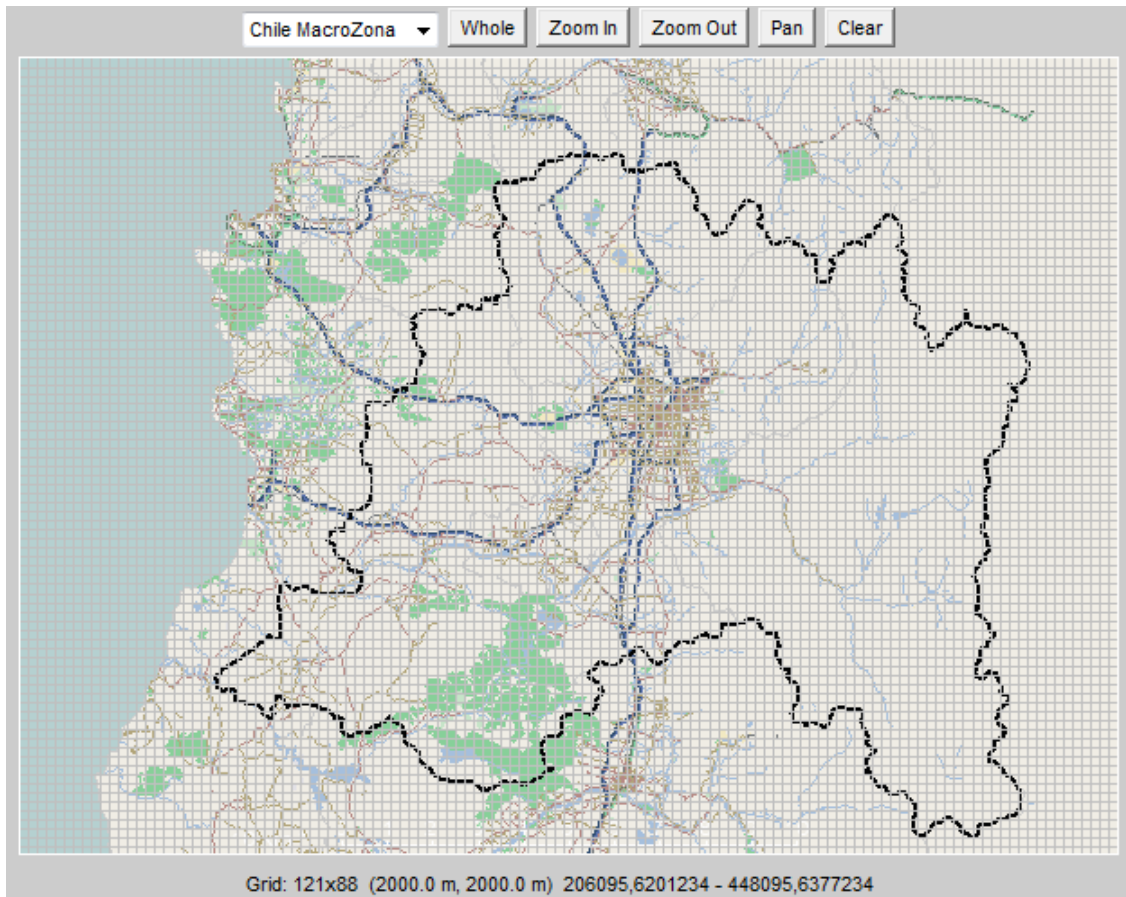
- El impacto sumado de todas las emisiones primarias de combustión dejan un espacio de 11 (POH) y 7 (La Paz)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para contribuciones de fuentes emisoras fuera de la ciudad (fondo rural o Macro Zona Central) y la formación de aerosoles secundarios por emisiones dentro de la ciudad.
- El impacto sumado no deja espacio para contribuciones de polvo de calle de igual tamaño que la contribución de combustión (comparar el análisis al nivel de calle).
- Dentro de las contribuciones locales de fuentes primarias en el centro de la ciudad se puede observar:
  - buses y autopistas contribuyen con un impacto aproximadamente 10% de todas las fuentes locales (razonable y sus emisiones conocidas en detalle)
  - la combustión de leña tiene una contribución importante, aunque las fuentes principales están fuera del centro (razonable considerando el nuevo conocimiento del impacto de combustión residencial en Europa y en el sur de Chile)
  - el impacto del tránsito privado (excluyendo autopistas) es alto y muy focalizado a la comuna de Providencia y el centro (se debe averiguar por qué y la racionalidad de esta concentración alta de emisiones).
  - las demás fuentes también tienen un efecto importante en algunas zonas de la ciudad, eventualmente causado por fuentes industriales (se debe averiguar cuáles fuentes y hacer probable que trata de información de emisión relevante).

### 3.3.3 Escala Regional (MZC)

Se ha corrido el modelo MATCH para el período Marzo 9 a Agosto 21 de 2012, utilizando la información meteorológica del modelo WRF operado por DMC y por un área que cubre la RM. Ver Figura 14. ). Como se ha mencionado anteriormente en la descripción del modelo, se ha detectado un problema con la información meteorológica, una falta de nubosidad. Esto puede llevar consigo efectos que producen diferencias entre el modelo y el valor monitoreado, por ejemplo:

- Oxidaciones demasiado rápidas de contaminantes primarios
- Mezcla sobreestimada durante el día y subestimada durante la noche.

Sin embargo, a pesar de que este problema produce ciertos sesgos, no cambia la distribución en general y el orden de magnitud de las concentraciones. Por lo tanto es posible interpretar los resultados promedio del período marzo-agosto 2012 obtenidos con el objetivo de juzgar la calidad de las emisiones.



**Figura 14. Área de modelación con MATCH. Resolución espacial 2x2 km<sup>2</sup>**

Se presentan en la Figura 15 a Figura 21 las distribuciones espaciales promedio para el período.

Figura 15.- NO<sub>2</sub> promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en 100 µg/m<sup>3</sup>)

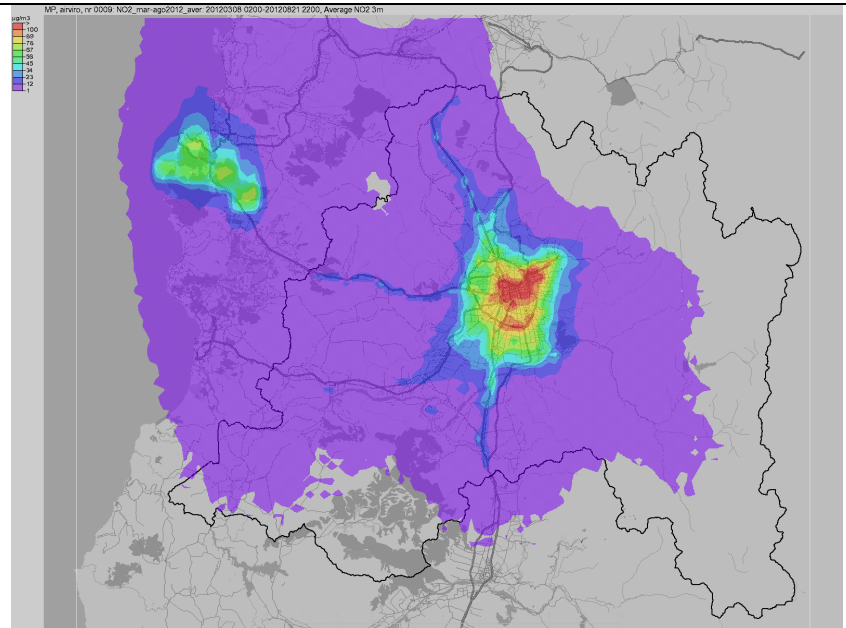


Figura 16.- O<sub>3</sub> promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en 90 µg/m<sup>3</sup>)

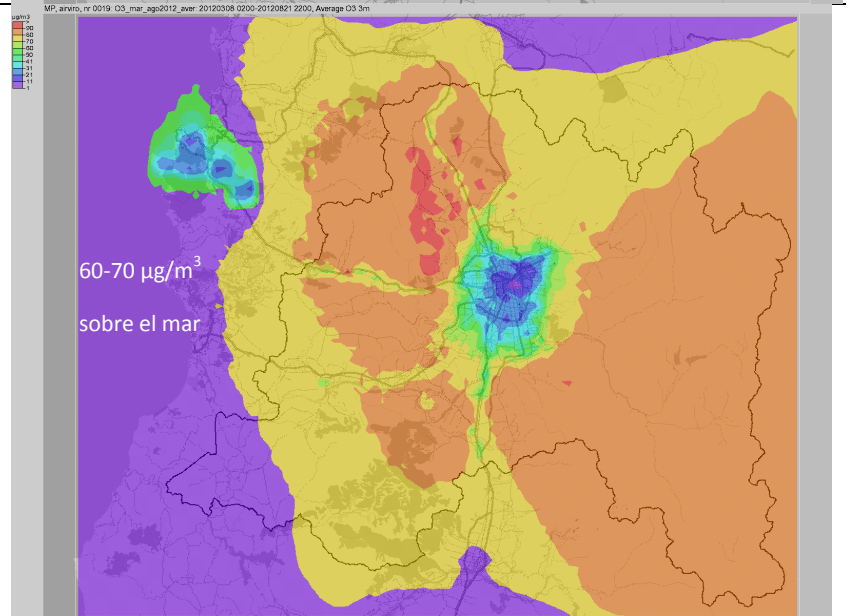


Figura 17. SO<sub>2</sub> promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en 10 µg/m<sup>3</sup>)

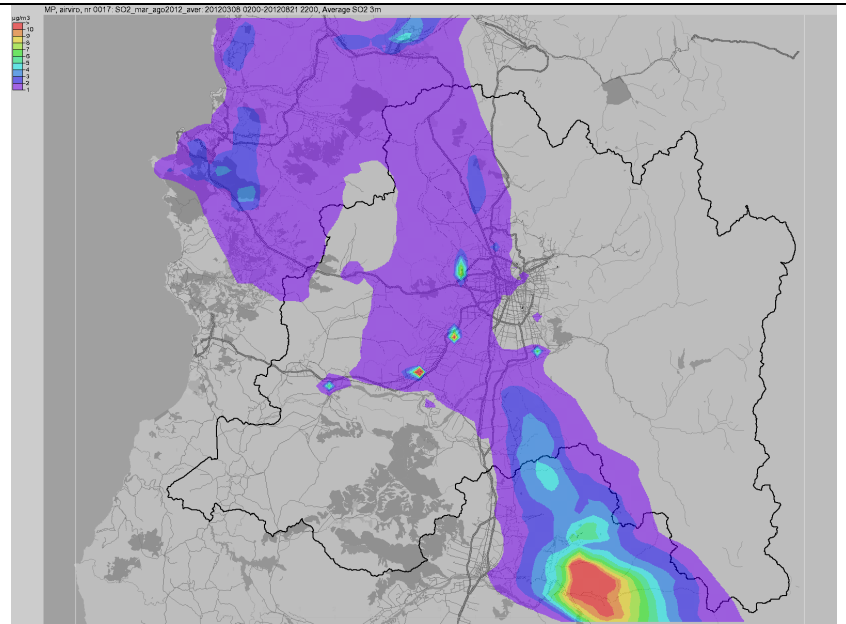


Figura 18. CO promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en 700 µg/m<sup>3</sup>)

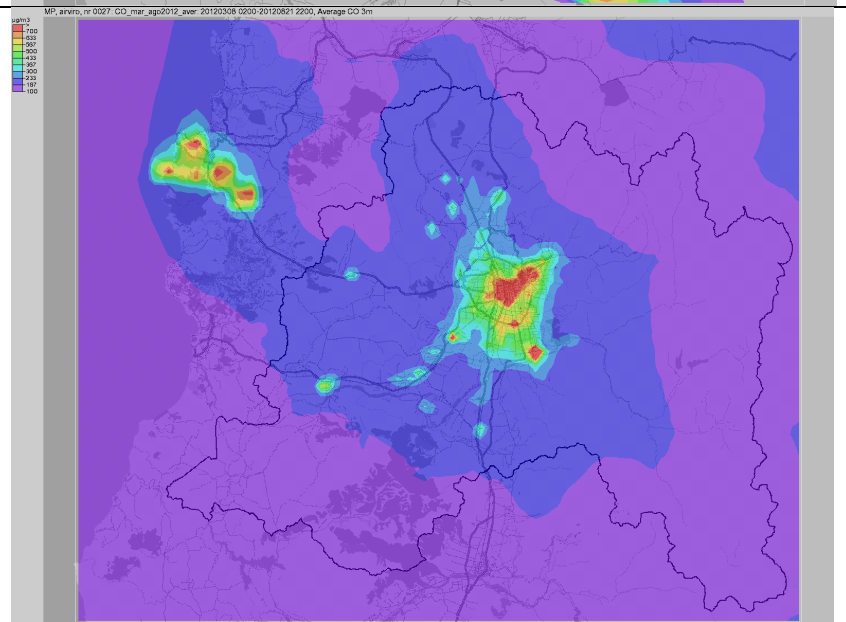


Figura 19.  $\text{NH}_3$  promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

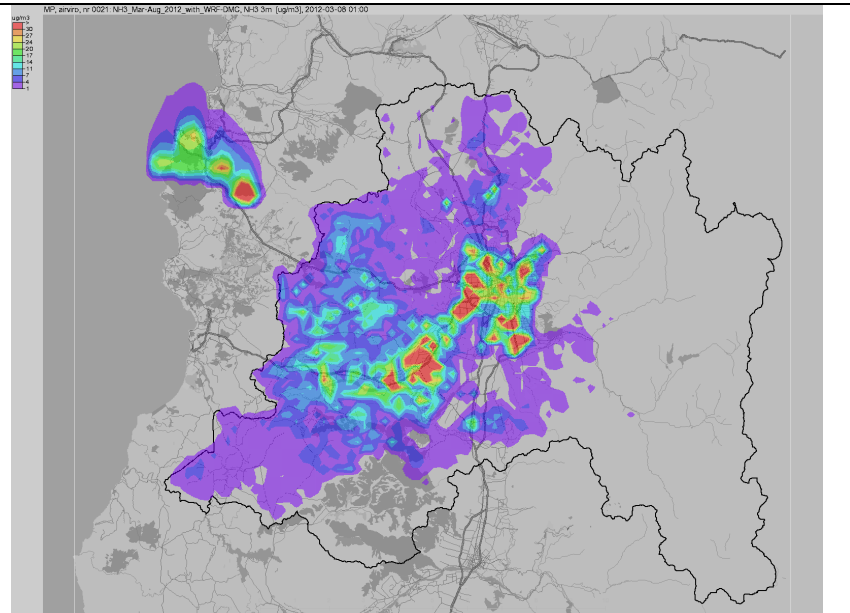


Figura 20.  $\text{MP}_{2.5}$  primario promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

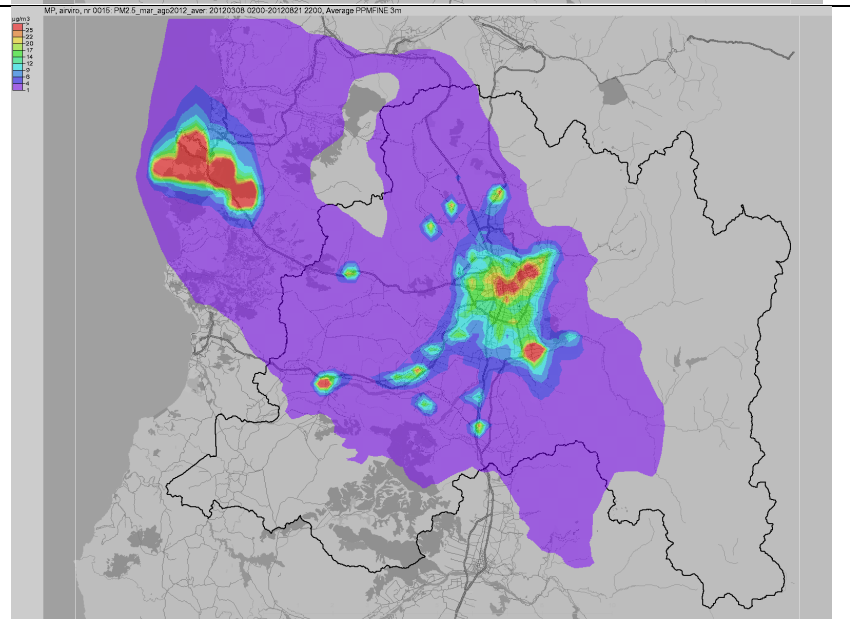
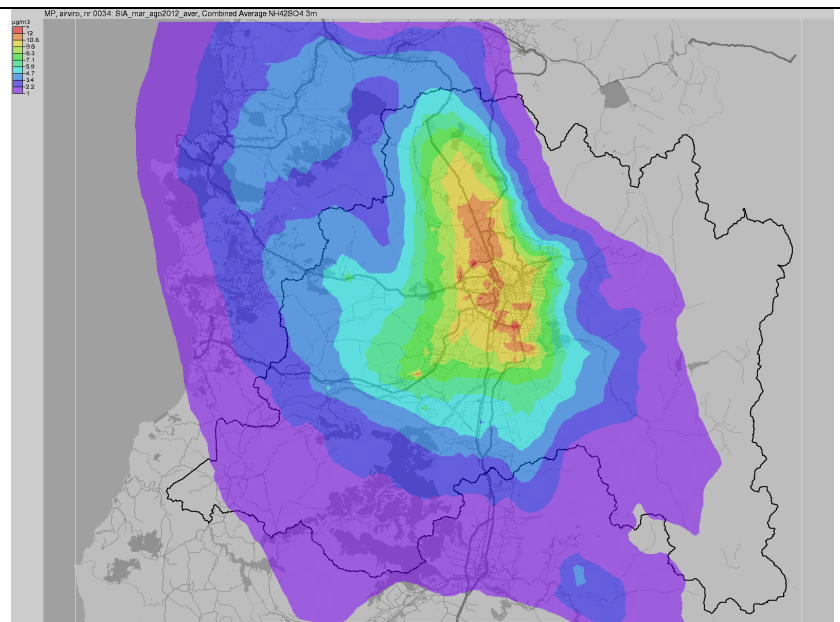


Figura 21. Aerosol inorgánico secundario (SIA) promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza en  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Los comentarios generales a las distribuciones son:

- $\text{NO}_2$ : Muy dominado por las emisiones del tránsito en Santiago y en Valparaíso/Viña.
- $\text{O}_3$ : Con un fondo de  $80\text{-}90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  se puede ver como el ozono baja sobre las ciudades, por las emisiones de  $\text{NO}$ , lo que genera una anti-correlación con  $\text{NO}_2/\text{NO}$ .
- $\text{SO}_2$ : Muy dominados por las megafuentes industriales, en particular Caletones.
- $\text{CO}$ : Dominado por el tránsito pero también fuentes industriales. Existen una fuente industrial muy grande en Santiago, dirección Sur-Sureste del centro (se debe estudiar si esto es real ya que también emite mucho  $\text{MP}_{2,5}$ )
- $\text{NH}_3$ : La distribución es diferente a las demás ya que las fuentes son distintas, alto impacto a lo largo de los ríos.
- $\text{MP}_{2,5}$  primario: Emisiones e impacto son muy altas en Valparaíso/Viña en comparación a Santiago. Existen una fuente industrial muy dominante al Sur-Sureste del centro de Santiago (se debe investigar).
- SIA: Su formación se extiende más hacia el norte de la ciudad.

Se han comparado las simulaciones de  $\text{MP}_{2,5}$  con el monitoreo (Figura 22). Se puede notar en b) niveles simulados bastante cerca a lo monitoreado, lo cual deja muy poco espacio para el aerosol orgánico secundario (SOA). Parece probable que el modelo MATCH entrega, igual como el modelo Gauss a escala comunal, una cierta sobreestimación del  $\text{MP}_{2,5}$  primario. La sobreestimación debe ser por sobreestimación de las emisiones. Sin embargo, para llegar a una conclusión más segura, se debe correr el modelo con SOA y hacer un análisis comparativo con la especiación hecha por ejemplo en USACH.



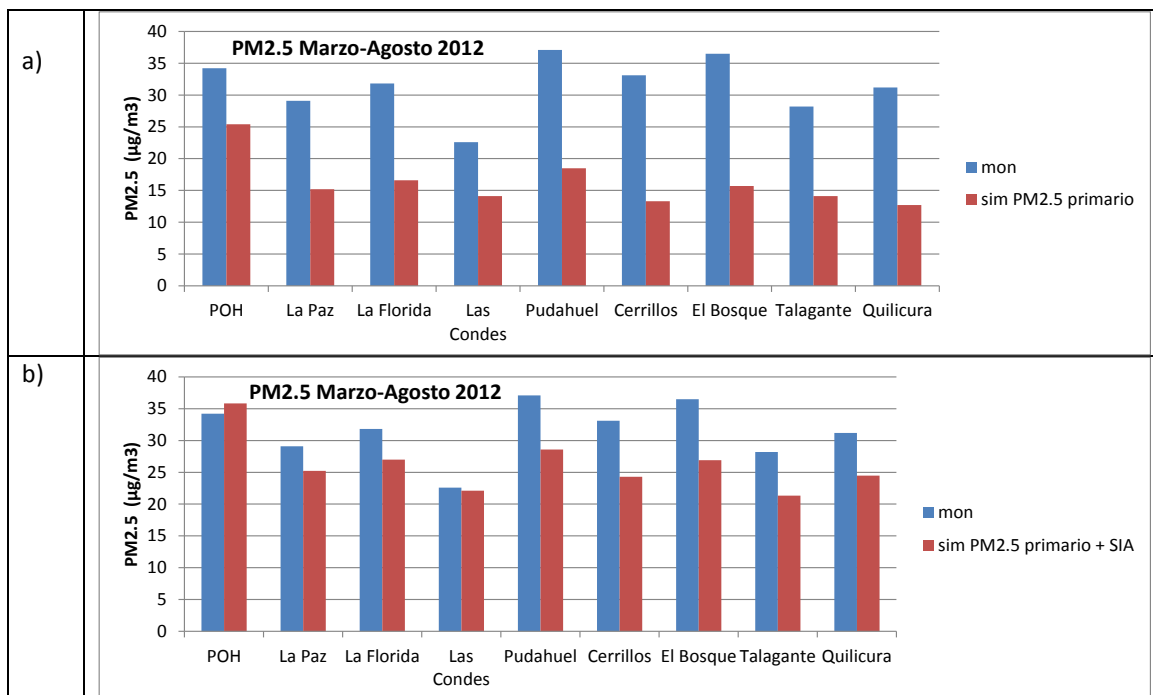


Figura 22: Comparación entre el monitoreo de  $MP_{2.5}$  y las simulaciones del  $MP_{2.5}$  primario (a) y  $MP_{2.5}$  primario más el aerosol inorgánico secundario SIA (b).

También se comparado los niveles simulados de  $NO_2$ ,  $O_3$  y  $SO_2$  con el monitoreo disponible (Figura 22). Se puede notar una cierta sobreestimación de  $NO_2$  en algunas estaciones, pero el orden de magnitud es similar. Es posible que la sobreestimación tenga que ver con las emisiones locales, pero el problema con la falta de nubes en la información meteorológica puede también hacer subir los niveles  $NO_2$ .

Los niveles de ozono son bien simulados dentro de la ciudad, pero sobreestimados en la zona rural. También puede ser un resultado del problema con la nubosidad en la información meteorológica.

Para  $SO_2$  el modelo está subestimando. Los niveles en general son muy bajos y constituyen un problema. Pero el problema de tener cielo despejado todo el período puede hacer la oxidación de  $SO_2$  a sulfato demasiado rápida, así contribuyendo de niveles bajos de  $SO_2$ .

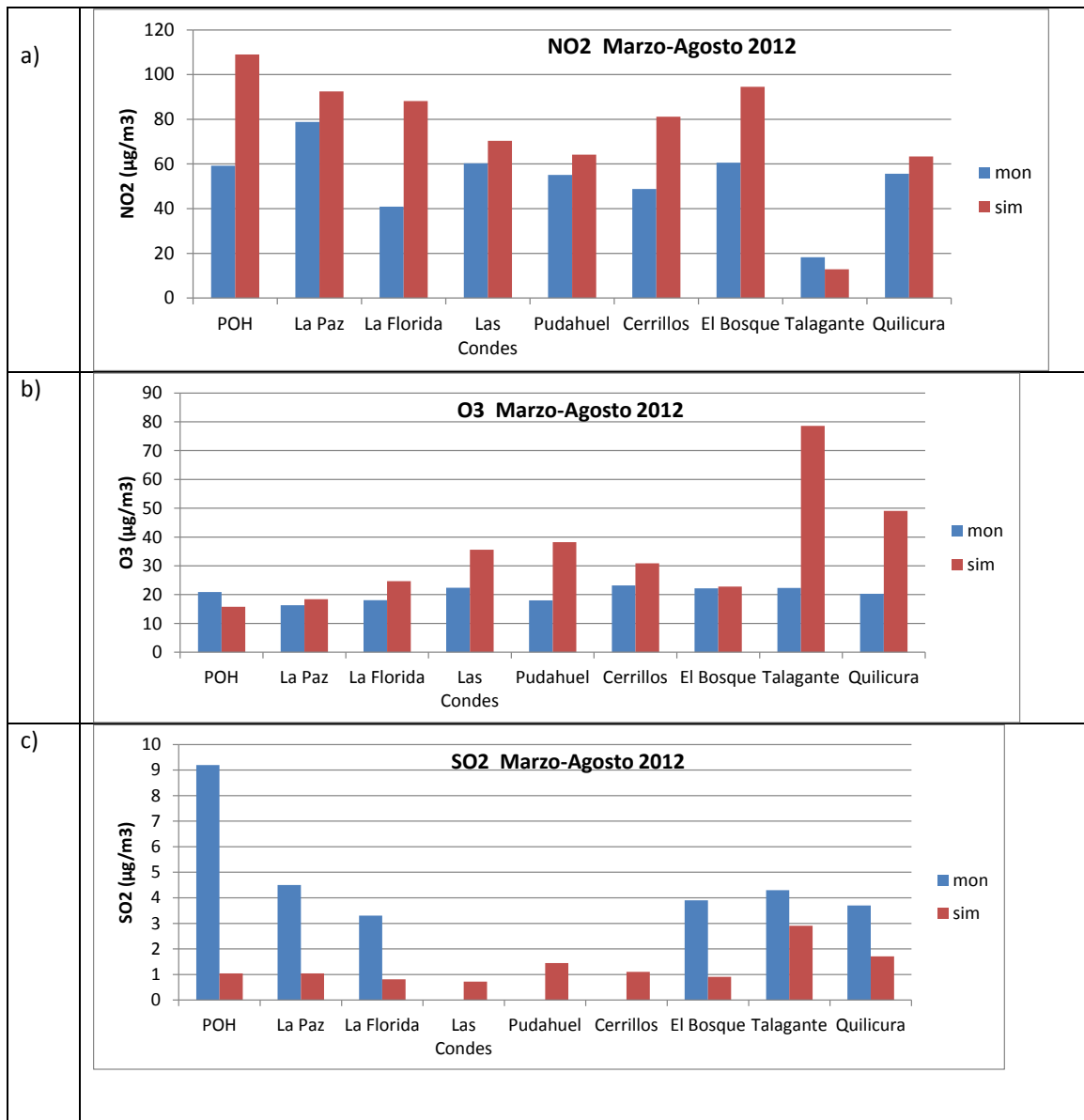


Figura 23.- Comparación entre el monitoreo de  $MP_{2.5}$  y las simulaciones del  $MP_{2.5}$  primario (a) y  $MP_{2.5}$  primario más el aerosol inorgánico secundario SIA (b).

## 4. INVENTARIO 2012

### 4.1. Resultados del Inventario

Un resumen de todas las emisiones considerado en este trabajo y clasificadas por sector económico se presenta a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5. Resumen de las emisiones totales en la región metropolitana, clasificadas por sector.

Sector	Emisiones de Contaminantes [ton/año]									
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Hct	COV	CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
Industria	742	662	4.921	1.990		23	1.139			1.519.714
Residenciales	2.186	2.077	1.785	294	-	53.550	20.292	1.626	193	281.988
Evaporativas						28.424				
Agrícolas	205	183	80	15	0	15.031	2.214	88.071	33.395	242.571
Transporte <sup>*,&amp;</sup>	2.877	2.398	39.356	239	14.146		125.727	0	2.114	10.401.297
Construcción <sup>§</sup>	568	534	5.244	6	1.002		5.423			681.638
<b>Total</b>	<b>6.578</b>	<b>5.854</b>	<b>51.386</b>	<b>2.544</b>	<b>15.148</b>	<b>97.028</b>	<b>154.795</b>	<b>89.697</b>	<b>35.702</b>	<b>13.127.208</b>

\*: No se incluyó la resuspensión de polvo en el MP<sub>10</sub> o MP<sub>2,5</sub> debido a inconsistencias en la información (ver sección 4.1.5)

&: El MP<sub>10</sub> se calculó suponiendo que es 20% más alto que MP<sub>2,5</sub>, ver sección 4.1.5.

§: Corresponde a vehículos fuera de ruta utilizados en el sector construcción. Ver sección 4.1.5.

Para cada sector, se presenta a continuación un desglose por rubro, actividad económica sector geográfico, etc.

#### 4.1.1. Emisiones industriales

El sector industrial se ha separado en fuentes grandes y pequeñas. En el sistema Airviro, las grandes fuentes se trabajan individualmente y se clasifican como fuentes puntuales, las fuentes pequeñas se trabajan en grupos y se clasifican como fuentes grupales. Las fuentes grandes corresponden a las industrias que sumadas contribuyen aproximadamente al 50% de las mayores emisiones industriales de MP en la Región Metropolitana. En la sección 6.1 se describen los resultados de la Tabla 6 para los procesos industriales, tanto puntuales como grupales.

El cálculo de las emisiones de MP de las fuentes grupales (fuentes pequeñas) se ha hecho usando dos criterios:

- Si se conoce el consumo, el criterio que se ha utilizado para estimarlas es que el 70% de combustible, las emisiones se calculan usando factores de emisión y consumo de combustible.

- Si no se conoce el consumo, se usa la emisión estimada proveniente de bases de datos de la Seremi de Salud. Esta base de datos entrega MP total.

Además, se sabe<sup>1</sup> que de las emisiones industriales totales de MP, entre el 50 y 90% corresponde a MP<sub>2,5</sub>, luego, se ha supuesto que aproximadamente el 70% de las emisiones provenientes de las bases de datos del Seremi de Salud son MP<sub>2,5</sub>. Esto se ha hecho ya que hay un gran grupo perteneciente a fuentes pequeñas que, debido a su variedad en procesos, ha sido imposible clasificarlos y asignarles un factor de emisión para el cálculo de sus emisiones. El resto del grupo (calderas de calefacción e industriales y grupos electrógenos) sí se han clasificado atendiendo a su proceso y se le ha dado un factor de emisión.

**Tabla 6. Emisiones detalladas de las fuentes industriales.**

Sector Industrial	Emisiones de Contaminantes [ton/año]						
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	COV	CO	CO <sub>2</sub>
<b>Grandes fuentes</b>	333	298	2.188	1.966	-	893	-
<b>Pequeñas fuentes</b>	409	319	1.584	24	13	246	829.261
<b>Generación Eléctrica</b>	-	45	1.149	-	10,3		690.453
<b>Total</b>	742	662	4.921	1.990	23	1.139	1.519.714

#### 4.1.2. Emisiones residenciales

**Tabla 7: Emisiones detalladas de las fuentes residenciales.**

Sector	Emisiones de Contaminantes [ton/año]										
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Hct	HCNM	COV	CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>Combustión leña</b>	2.086	1982	222	0			10.374	19.882	1.626	183	281.988
<b>Combustión GLP</b>	32	30	1.036	1				211		2	
<b>Combustión GN</b>	42	40	344	2				147		0	
<b>Gas de ciudad</b>	1	0,95	7	0				3		0	
<b>Combustión parafina</b>	25	24	176	291				49		8	
<b>Solventes</b>							21.976				
<b>Pinturas</b>							9.530				
<b>Fugas de GLP</b>							11.670				
<b>Total Residencial</b>	2.186	2077	1.785	294	0	0	53.550	20.292	1.626	193	281.988

<sup>1</sup> PM10, PM2.5 and PM1.0—Emissions from industrial plants—Results from measurement programmes in Germany, C. Ehrlich, G. Nolla, W.-D. Kalkoff, G. Baumbach, A. Dreiseidler, Atmospheric Environment 41 (2007) 6236–6254.

La metodología de cálculo, los factores de emisión, consumos de leña, resultados detallados por comuna, etc., se encuentran en el Anexo 1 de este informe.

#### 4.1.3. Emisiones evaporativas

Tabla 8: Emisiones detalladas de las fuentes evaporativas comerciales.

Sector	Emisiones de Contaminantes [ton/año]									
	MP	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Hct	HCNM	COV	CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
Distribución de combustible						7.250				
Lavasecos						444				
Pintado de vehículos						981				
Artes gráficas						17.582				
Fugas comerciales						86				
Aplicación de asfalto						2.081				

#### 4.1.4. Emisiones agrícolas

Tabla 9.- Emisiones detalladas de las fuentes agrícolas

Sector	Emisiones de Contaminantes [ton/año]										
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Hct	HCNM	COV	CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
Quemas agrícolas	31	26	10	2			2	299		11	
Incendios forestales	171	154	62	13			164	1.777		14	
Emisiones biogénicas							14.858				
Fertilizantes y plaguicidas										13864	
Crianza de animales										19497	
Rellenos sanitarios	3	3	7,5					137,64	88.071		242.571
Tratamientos de aguas							6,7			9,04	
<b>Total</b>	<b>205</b>	<b>183</b>	<b>80</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15.031</b>	<b>2.214</b>	<b>88.071</b>	<b>33.395</b>	<b>242.571</b>

Los cálculos de la Tabla 9 de emisiones de material particulado han sido calculados para MP<sub>2,5</sub> utilizando la metodología indicada en la sección 6.4. El cálculo para Para MP<sub>10</sub> fue realizado utilizando los factores de emisión de la EPA<sup>2</sup>. La relación MP<sub>10</sub>/MP<sub>2,5</sub> para incendios forestales es: 1,11 y la relación MP<sub>10</sub>/MP<sub>2,5</sub> para quemas agrícolas es: 1,18. Utilizando estos factores es posible obtener las emisiones de MP10 que se indican en la Tabla 9.

#### 4.1.5. Emisiones del transporte

##### *En ruta*

**Tabla 10.- Emisiones detalladas de los vehículos “en ruta”**

Sector	Emisiones de Contaminantes [ton/año]											
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Hct	HCNM	COV	CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CC
Transporte público	72	60	4.514	4	158			908			447.739	145.570
Trasporte en carretera	338	282	7.589	12	618			7.471		256	1.230.721	385.363 <sup>3</sup>
Transporte en vías principales y secundaria MODEM*	2.467	2.056	27.253	223	13.370			117.348		1.858	8.725.837	2.826.255
<b>Total</b>	<b>2.877</b>	<b>2.398</b>	<b>39.356</b>	<b>239</b>	<b>14.146</b>			<b>125.727</b>	<b>0</b>	<b>2.114</b>	<b>10.401.297</b>	<b>3.357.188</b>

\*: Datos entregados por la contraparte técnica provenientes de simulaciones MODEM 2010

El cálculo de MP<sub>10</sub> que se muestra en la Tabla 10 se realizó utilizando factores de emisión de estudios internacionales<sup>4,5</sup>, que indican que la relación entre el MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> es de ~ 1,2 para las emisiones en el tubo de escape.

Para el cálculo final de las emisiones de los vehículos “en ruta” se utilizó las emisiones dadas por la metodología MODEM tal como fue entregada por la contraparte técnica para uso en el estudio.

En la sección 6.5.1, perteneciente al Anexo 1, se detalla la metodología de un cálculo alternativo (EDB Adicional) con los resultados de las emisiones del Transporte “en ruta”. Esta EDB fue calculada de manera adicional por los profesionales encargados del proyecto, siendo una alternativa y comparación a los resultados que ofrece MODEM. En dicha sección está explicada de forma clara la metodología.

Se calculó las emisiones de polvo resuspendido (MP<sub>2,5</sub>) debido al Transporte en ruta utilizando el procedimiento indicado en el Anexo 1, sección 6.5.1 y los resultados se muestran en la Tabla 11.

<sup>2</sup> AP 42 Section 13.1 Wildfires and Prescribed Burning

<sup>3</sup> Suma de consumo de diésel y gasolina: 182.237 ton/año de diésel y 203.125 ton/año de gasolina

<sup>4</sup> Matthias Ketzela, Gunnar Omstedt, Christer Johansson, Ingo During, Mia Pohjola, Dietmar Oettl, Lars Gidhagen, Peter Wahlin, Achim Lohmeyer, Mervi Haakana, Ruwim Berkowicz, “Estimation and validation of PM2.5/PM10 exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modelling”, *Atm. Env.* 41 (2007) 9370–9385.

<sup>5</sup> [http://www.epa.gov/otaq/models/mobile6/mobil6.2\\_letter.pdf](http://www.epa.gov/otaq/models/mobile6/mobil6.2_letter.pdf)

**Tabla 11.** Emisiones de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> proveniente de la resuspensión de polvo por movimiento de vehículos.

Sector	Emisiones de Contaminantes [ton/año]	
	Polvo Resuspendido (MP <sub>2,5</sub> )	Polvo Resuspendido (MP <sub>10</sub> )
Transporte en ruta	9.927	19.954

Hay que hacer notar, que en el Inventario de emisiones del año 2005, el cálculo de las emisiones de provenientes de la resuspensión de polvo por vehículos dio como resultado 2073 ton/año de MP<sub>2,5</sub>. Este resultado no se incluyó en las tablas finales del inventario 2005 por considerarse que no era confiable, pero no se indicó un argumento más específico.

Al igual que en el Inventario de Emisiones 2005, el cálculo que se muestra en la Tabla 11 es también muy alto comparado con las demás fuentes de MP<sub>2,5</sub> en la Región Metropolitana. Pero, las mediciones de MP<sub>2,5</sub> hechas por la Conama<sup>6,7</sup> el año 2005 y el año 2008 y el Ministerio del Medio Ambiente<sup>8</sup> el año 2011 no muestran que exista material particulado resuspendido. El material resuspendido está formado principalmente por compuestos que provienen de la tierra, caracterizados por tener silicio, aluminio, hierro, calcio y otros similares. Estos compuestos no están presentes en las mediciones de MP<sub>2,5</sub> en la atmósfera.

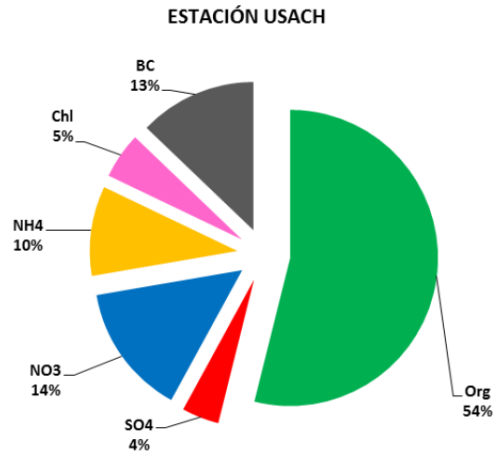
Esto último, se puede ver en la composición química del MP<sub>2,5</sub> que se muestra en la Figura 24. (Datos medidos en la estación Usach, considerada como estación representativa para Santiago).

---

<sup>6</sup> “Caracterización Físicoquímica, Monitoreo y Distribución del Material Particulado Fino y Grueso en la Región Metropolitana”, Estudio realizado por la USACH el año 2005 para la Conama RM.

<sup>7</sup> “Diagnóstico Caracterización Físicoquímica del Material Particulado MP10 y MP2,5 en la Región Metropolitana”. Estudio realizado por la USACH para la Conama RM el año 2008.

<sup>8</sup> “Diagnóstico Caracterización Físicoquímica del Material Particulado MP10 y MP2,5 en la Región Metropolitana”. Estudio realizado por el Centro Mario Molina para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2011.



**Figura 24.** Composición química del material particulado fino en una estación de fondo de Santiago (Usach). Datos tomados del estudio realizado por el Centro Mario Molina para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2011.

El Carbono orgánico (color verde en la Figura 24.) proviene de las emisiones vehiculares, quema de leña y se forma en la atmósfera. El carbono negro proviene de las emisiones de motores diésel y cuando es depositado en el suelo se adhiere fuertemente y es difícil que se resuspenda. El nitrato se forma en la atmósfera a partir de las emisiones vehiculares. El amonio se forma en la atmósfera a partir de desechos orgánicos. Luego la mayoría de los compuestos presentes en el  $MP_{2,5}$  no provienen de resuspensión vehicular, por ello no se van a incluir en el presente inventario. Se sugiere realizar un estudio más detallado para determinar con mayor precisión la influencia de la resuspensión de material particulado en la contaminación por  $MP_{2,5}$ .

#### *Fuera de ruta*

##### Emisiones de vehículos del Sector Construcción fuera de ruta

Para este tipo de fuentes se consideró la información entregada en el estudio “Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión”<sup>9</sup>, en el cual se realizó un inventario de emisiones para la maquinaria existente en el sector de la construcción en la Región Metropolitana.

La validación del inventario se realizó a través de las estadísticas de ventas de diesel en la Región Metropolitana. En la Tabla 12 se presentan los resultados de MODEM para la región en el año 2010, las ventas de diesel del año 2012 (sólo ventas minorista y transporte) y los resultados de consumo de combustible del inventario del sector de la construcción. Se puede apreciar que la suma del consumo de combustible estimado para el sector transporte y construcción es congruente con la venta de diésel en la región.



**Tabla 12: Estadísticas y resultados de emisiones, consumo y ventas de combustible diésel. (Geasur, 2013)**

Reporte	Ton/año							m3/año	Estadística SEC 2012
	NOx	HC	CO	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	FC	Ventas diesel RM (m3)
MODEM 2010, fuentes móviles diesel.	15.917	2.110	4.774	819	745			810.534	1.090.098
Emisiones y consumo mínimo, presente estudio	<b>5.244</b>	<b>1.002</b>	<b>5.423</b>	<b>568</b>	<b>534</b>	<b>681.638</b>	<b>6</b>	<b>252.564</b>	
Emisiones y consumo máximo, presente estudio	6.849	1.269	6.254	793	745	782.496	7	290.702	

El consultor recomienda utilizar las emisiones y consumo mínimo estimadas, el más optimista, debido a que según la información recabada se están importando tecnologías de control en el sector de la construcción.

También se calcularon las emisiones por comuna, estas se realizaron con la información de metros cuadrados de ed. Habitacional por comuna. De esta manera se distribuyeron las emisiones estimadas a nivel regional según el porcentaje de participación en la construcción.

#### *Aeropuerto*

Para las emisiones de la fuente “aeropuerto” se ha considerado la información del estudio “Actualización memoria de cálculo de emisiones Aeropuerto Arturo Merino Benítez, año 2010” (Algoritmos, 2011), donde se calcularon las emisiones de la operación del aeropuerto, flujo vehicular que accede al aeropuerto, y las emisiones de fuentes como quemas agrícolas y erosión eólica del sector suroeste del Aeropuerto.

**Tabla 13: Emisiones asociadas a la operación del Aeropuerto Arturo Merino Benítez, 2010. (Algoritmos, 2011)**

Actividad	NOx (Ton/Año)	SOx (Ton/Año)	MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)	CO (Ton/Año)
Aeronaves	272,989	18,902	2,208	2,08	101,293
Grupo de soporte terrestre	55,637	4,536	2,979	2,879	555,743
Unidades de energía Auxiliar	12,014	1,309	1,016	1,016	5,927

## 4.2. Descripción gráfica, resultados más importantes y evaluación crítica

### 4.2.1 Emisiones Industriales Puntuales

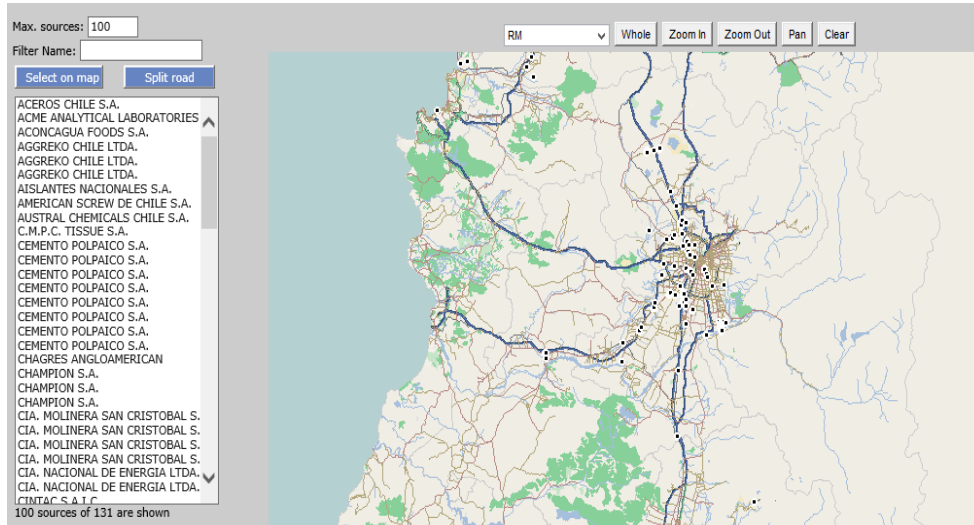


Figura 25. Mapa de la Región Metropolitana en plataforma Airviro dando muestra de 131 fuentes puntuales correspondientes a calderas y procesos industriales dentro de la región Metropolitana, además de Centrales Termoeléctricas pertenecientes a Valparaíso.

#### *Mayores emisores de calderas industriales.*

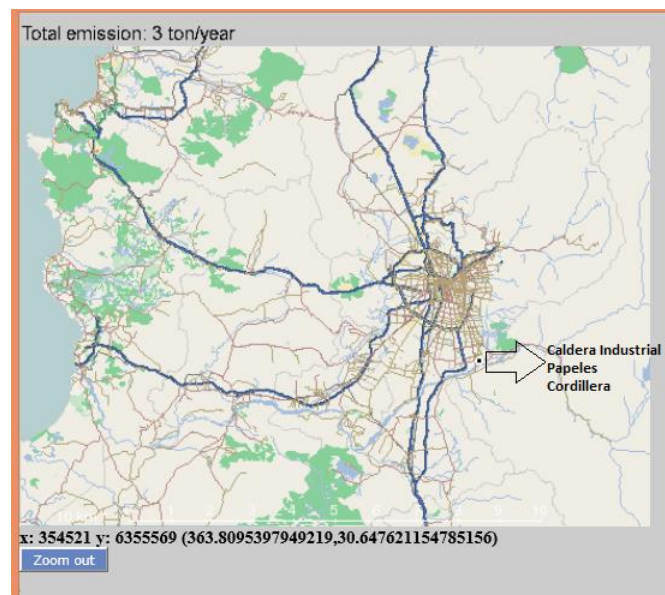


Figura 26. Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 2029, Caldera Industrial con mayor emisión de sin sistema de control de MP correspondiente a Papeles Cordillera S.A.

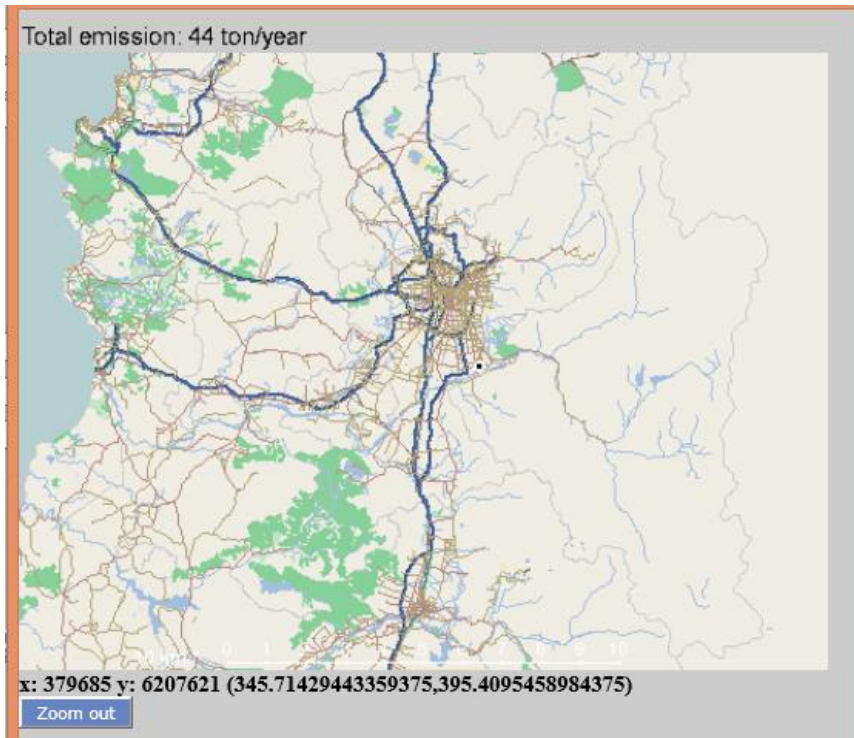


Figura 27. Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 2029, Caldera Industrial con mayor emisión de NO<sub>x</sub> correspondiente a Papeles Cordillera S.A.

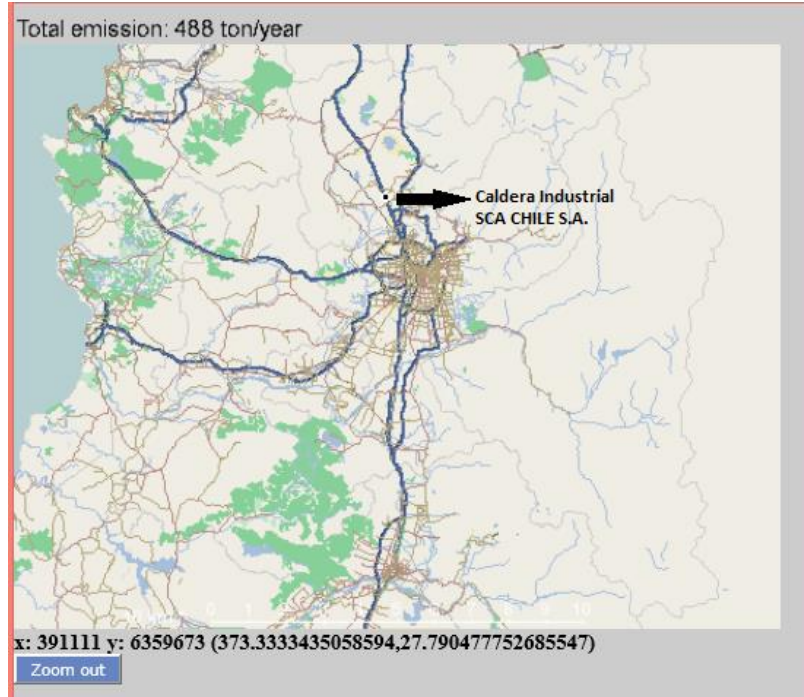
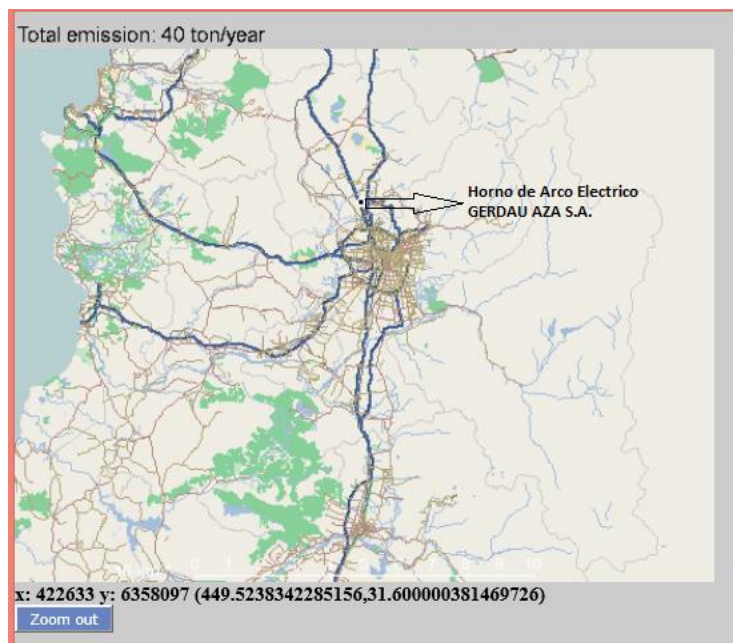
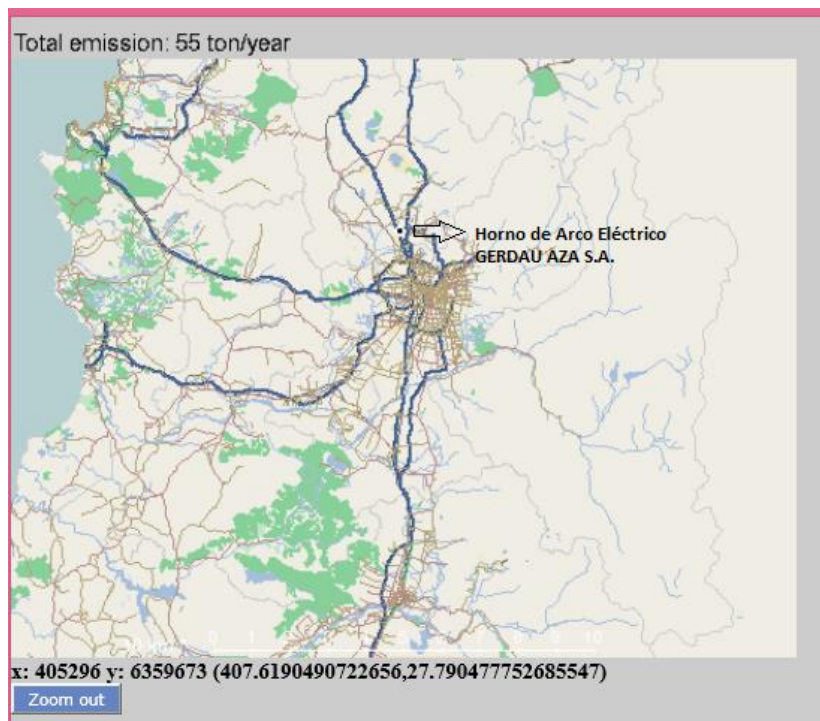


Figura 28. Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 1460, Caldera Industrial con mayor emisión de SO<sub>x</sub> correspondiente a SCA CHILE S.A.

*Mayores emisores en procesos industriales*



**Figura 29. Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 3023; Proceso de Horno de Arco Eléctrico a Gas Natural con abatimiento de Filtro Mangas con mayor emisión de  $MP_{2,5}$  correspondiente a GERDAU AZA S.A.**



**Figura 30 Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 3023; Proceso de Horno de Arco Eléctrico a Gas Natural con abatimiento de Filtro Mangas con mayor emisión de  $MP_{10}$  correspondiente a GERDAU AZA S.A.**

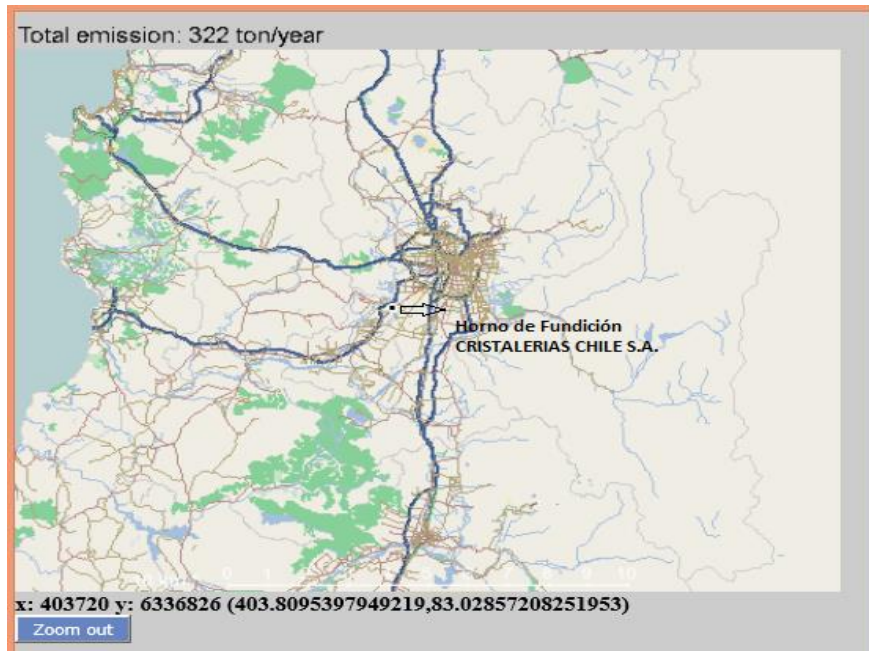


Figura 31 Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 2263; Proceso de Horno de Fundición a Petróleo 6 con abatimiento de Precipitador electrostático con mayor emisión de  $\text{NO}_x$  correspondiente a CRISTALERIAS CHILE S.A.

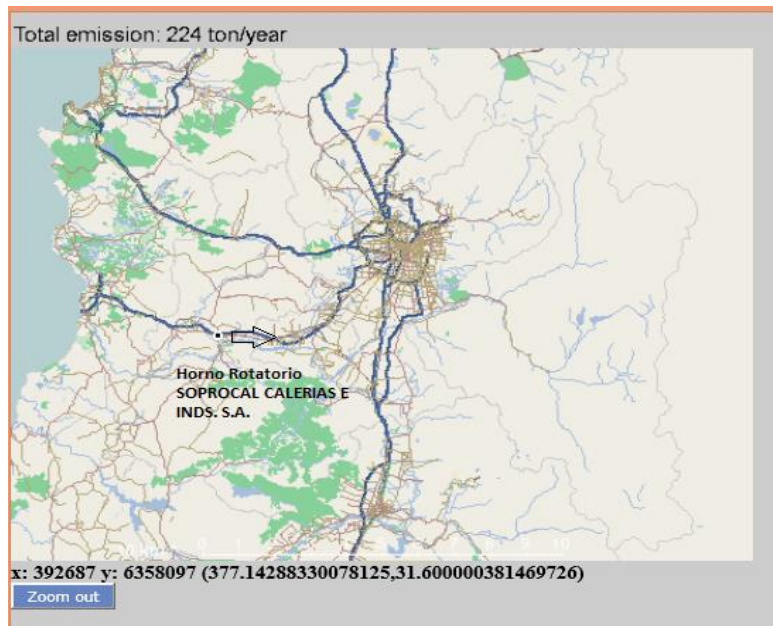
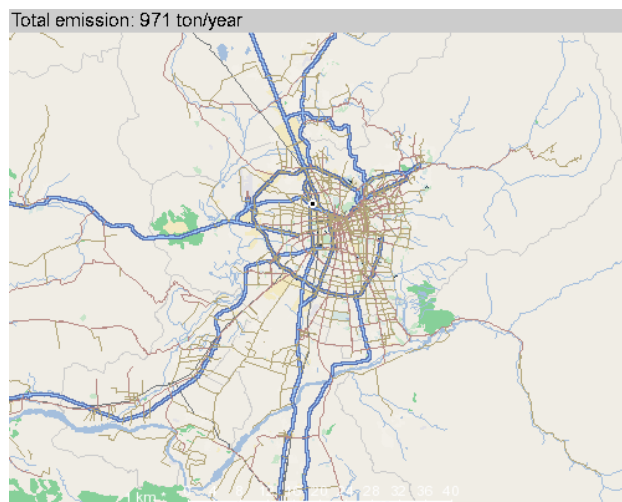


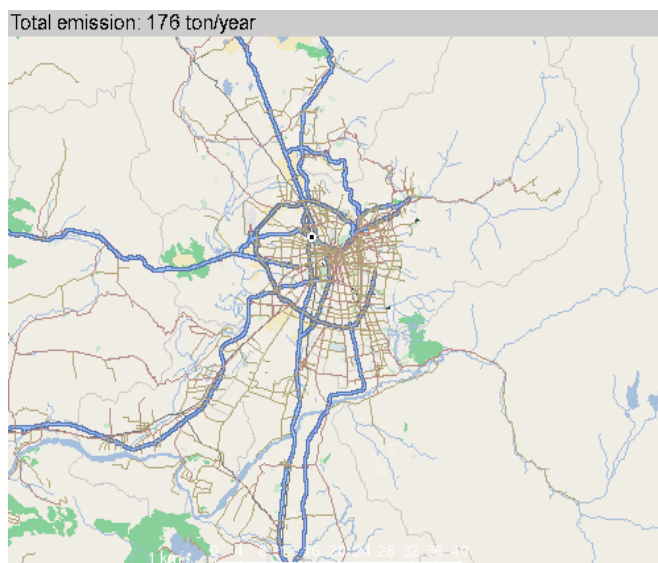
Figura 32 Mapa Región Metropolitana en plataforma Airviro correspondiente a la fuente puntual con Reg. Sesma 766; Proceso de Horno Rotatorio en base a combustible no definido con abatimiento de Precipitador electrostático con mayor emisión de  $\text{SO}_x$  correspondiente a SOPROCAL CALERIAS E INDS. S.A.

### *Generación eléctrica*

La Figura 33 y Figura 34 muestran la posición de la termoeléctrica Nueva Renca en la Región Metropolitana. La Central se sitúa al Norte de Santiago, por lo que sus emisiones contribuirán al fondo regional de emisiones. Cuando no haya acción de los vientos, ésta tendrá un aporte más local en la ciudad. Habrá determinados episodios en que gracias a la aparición de los vientos del Norte, las emisiones de la Central tendrán más influencia a nivel regional.



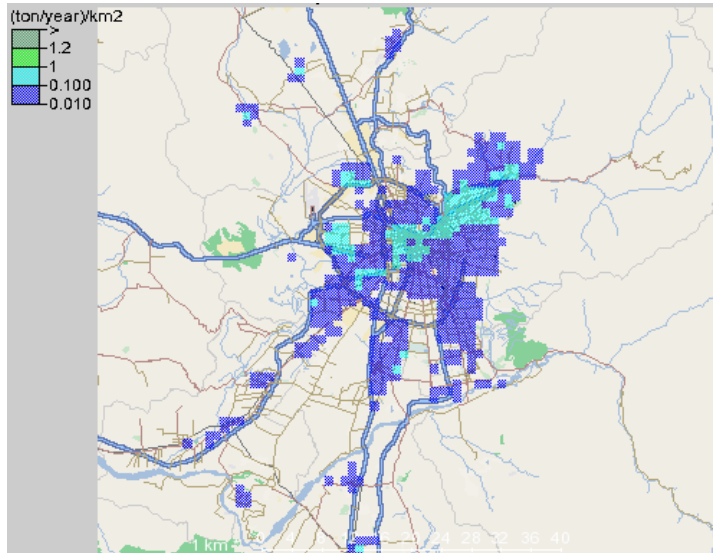
**Figura 33. Emisiones de NOx Generación Eléctrica Central Nueva Renca a Gas Natural**



**Figura 34. Emisiones de NOx Generación Eléctrica Central Nueva Renca a Diésel**

#### 4.2.1. Emisiones industriales grupales

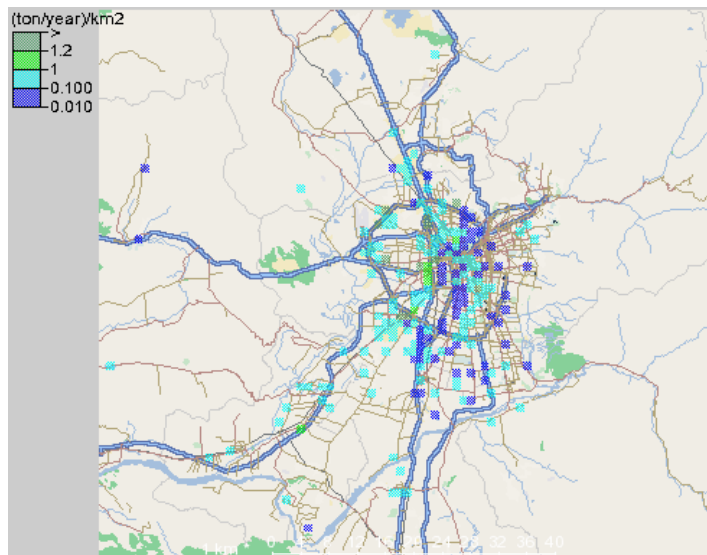
##### *Calderas de Calefacción MP*



**Figura 35. Distribución de emisiones de MP de Calderas de Calefacción en la RM**

Las emisiones de MP<sub>2,5</sub> producidas por las calderas de calefacción se distribuyen a lo largo de toda la Región Metropolitana, siendo las comunas de Las Condes, Vitacura, Ñuñoa y Providencia las que más concentración de emisiones presentan. También existe un foco importante de emisiones correspondiente a la comuna de Cerro Navia y alrededores, situado en la zona Oeste de la Región.

##### *Calderas Industriales MP*



**Figura 36. Distribución de emisiones de MP de las Calderas Industriales en la RM**

Las calderas industriales correspondientes a las fuentes grupales se distribuyen a lo largo de la Región Metropolitana de forma irregular. La mayor concentración de éstas se da en el centro y en el Este y el Sur de la Región, pero las fuentes que emiten más emisiones de MP<sub>2,5</sub> se concentran en la comuna de Estación Central, entre otras.

### Grupos Electrógenos MP

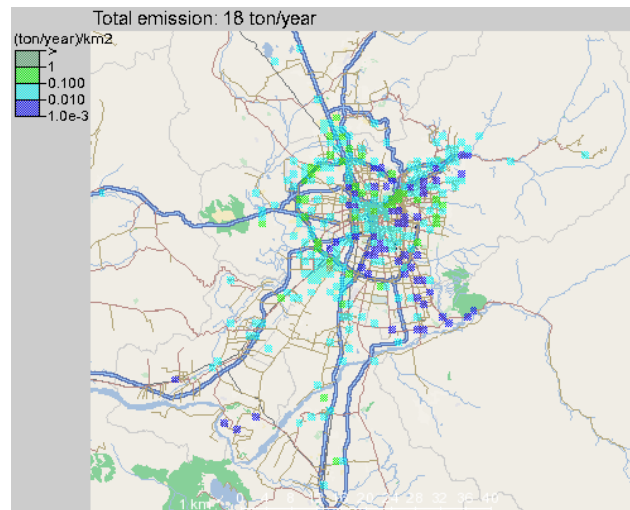


Figura 37. Distribución de emisiones de MP de los Grupos Electrógenos en la RM

Las emisiones de MP<sub>2,5</sub> provocadas por los Grupos electrógenos, se encuentran distribuidas de forma casi homogénea a lo largo de la Región, localizándose la mayor parte de ellas dentro y en los alrededores del anillo de Vespucio.

#### 4.2.4. Emisiones residenciales

Las emisiones residenciales se producen principalmente cuando se quema algún tipo de combustible en viviendas particulares, ya sea para los usos de calefacción, calentar agua o la cocción de alimentos. Los combustibles que se estudian en esta sección son los que se indican a continuación:

Tabla 14. Combustibles asociados a las emisiones provenientes de la combustión residencial

Combustibles residenciales	
a)	Leña
b)	Parafina o Kerosene
c)	Gas licuado GLP
d)	Gas natural GN
e)	Gas de ciudad – gas propano diluido GPD



#### 4.2.4.1. Leña

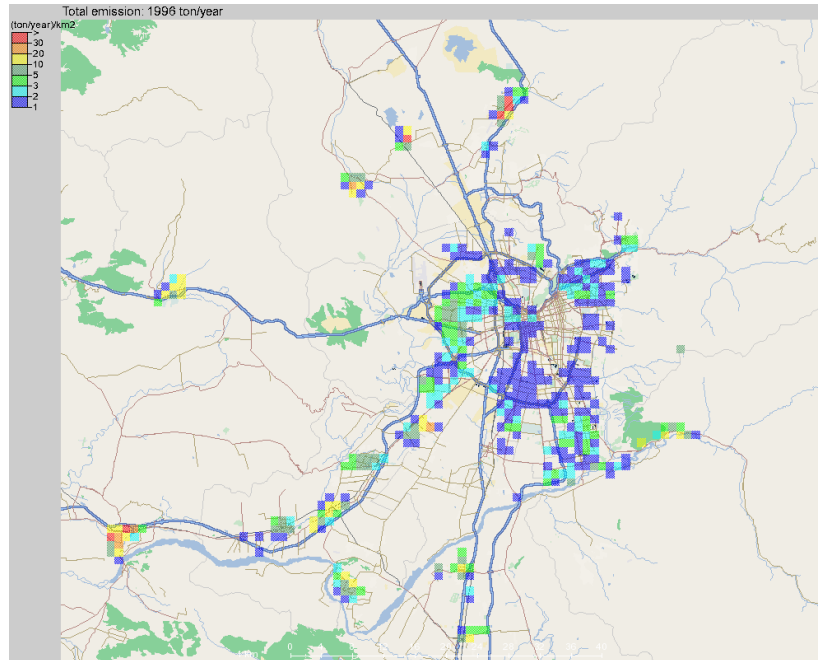


Figura 38. Emisiones de MP<sub>2,5</sub> provenientes de la combustión de leña en estufas residenciales.

#### 4.2.4.2. Otros combustibles

Para los demás combustibles residenciales (parafina, gas licuado, gas natural, o gas de ciudad) las emisiones se obtienen multiplicando el consumo anual asociado a cada combustible por un factor de emisión, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E_c = FE_c \times A_c \quad (3)$$

Donde:

$E_c$  : Emisiones del contaminante “c” en estudio [ton/año] por comuna

$FE_c$  : Factor de emisión del contaminante “c” en estudio, en función del tipo de combustible (ton/kg) utilizado.

$A_c$  : Consumo anual del combustible por comuna para el artefacto. El consumo se obtiene de la SEC y se actualiza cada año.

Los factores de emisión se obtienen del Inventario de Emisiones 2005 para la RM. Estos son:

Tabla 15. Factores de emisión por estufas residenciales que utilizan otros tipos de combustibles.

	COT <sup>1</sup>	CO	NO <sub>x</sub>	MP	SO <sub>2</sub>	Unidad	NH <sub>3</sub>
Gas licuado	87,47	221,68	1090,42	33,55	1,4	kg/1000 m <sup>3</sup>	3,78x10 <sup>-3</sup> (kg/ton)
Parafina	298,73	599,13	2156,88	299,57	3.567,06	kg/1000 m <sup>3</sup>	0,0951 (kg/ton)
Gas natural	180,0	640,0	1500,0	182,8	10,0	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	8,34x10 <sup>-6</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>
Gas ciudad	180,0	640,0	1500,0	182,8	0,01	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,65x10 <sup>-6</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Compuestos orgánicos totales.

<sup>2</sup>DEVELOPMENT AND SELECTION OF AMMONIA EMISSION FACTORS, Final Report by R. Battye, W. Battye, C. Overcash, and S. Fudge

#### 4.2.4.3. Emisiones evaporativas residenciales

Las emisiones evaporativas residenciales comprenden una zona de emisión que abarca toda el área poblada de la RM, concentrando la mayor emisión en aquellos lugares donde se ubique una mayor población. A continuación se presenta en la Figura 39 la distribución típica de emisión para todas las subcategorías de evaporativas residenciales, siendo las mayores emisiones para las comunas de La Florida y Maipú.

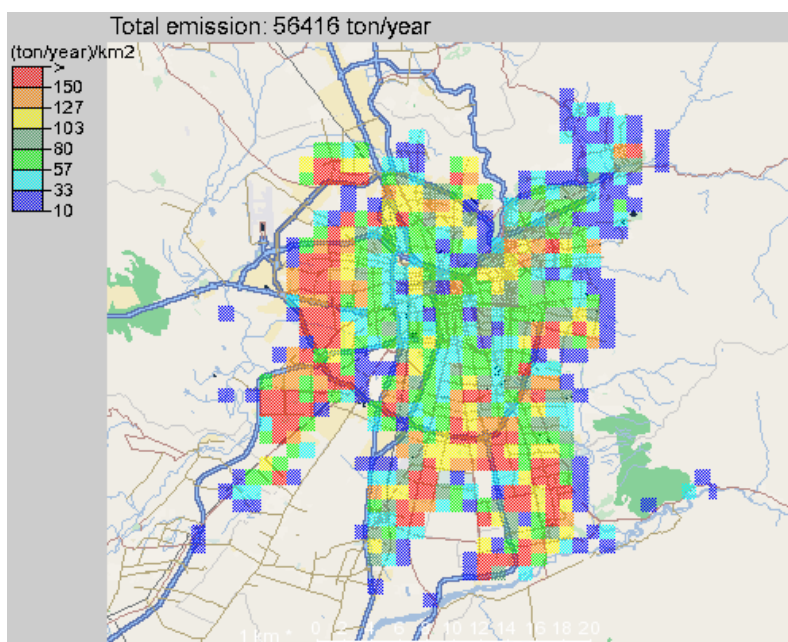


Figura 39. Emisiones evaporativas de COV provenientes de residencias

Los niveles de emisión provenientes de las residencias deja en manifiesto la necesidad de controlar el uso de todo tipo de solventes, desde productos de limpieza a pinturas para viviendas, sin embargo para hacer un control efectivo de estos productos se necesita un conocimiento de las distintas gamas de productos presentes en el mercado y de esta forma estimar el aporte disminuyendo el error, para que posteriormente se puedan aplicar medidas concretas de abatimiento o directrices de abatimiento tal como lo realiza la unión europea en sus directivas aplicables al uso de solventes y pinturas (Directiva Europea 2004/42/CE).

#### 4.2.5. Emisiones evaporativas comerciales

El comercio es una de las principales fuentes de emisoras de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) en la RM, siendo las actividades de artes gráficas y la distribución de combustibles las responsables del casi 90% del total de emisiones de este sector.

La cadena de distribución de combustible es considerada un área con un gran potencial para reducir las emisiones de COV. Las medidas paliativas están enfocadas a la cadena de

distribución, desde la refinería o granja de tanques, a la estación de gasolina y carga de vehículos.

Los mecanismos de recolección y posterior recuperación de vapores anunciadas por el PPDA se refieren a dos tipos, la recuperación de vapor de las islas a los estanques y el venteo de los estanques. La primera se controla por los laboratorios acreditados por la INN y autorizados por la SEC, la cual pareciera no tener mayores problemas, sin embargo la segunda tiene problemas mayores ya que requiere inversiones en los estanques de las estaciones anteriores al 2004 que al parecer no se han efectuado. Si se considera que a la fecha en la RM hay 546 estaciones de servicio de las cuales sólo el 30% son estaciones posteriores al 2004 y las que incluirían en sus estanques de almacenamiento un sistema de recuperación de vapores al momento de su construcción, el 70% restante correspondería a estaciones anteriores con un sistema de recuperación de vapores sólo desde las islas a los estanques de almacenamiento y no el correspondiente al venteo en los estanques. La correcta instalación sin tener que incurrir en gasto elevados sería la causal de tal falta de sistema de recuperación, debido a que no en todos los estanques es posible una correcta instalación sin tener que realizar gastos elevados.

Con respecto al transporte, según el artículo Nº109 del PPDA se exige a los camiones cisterna disponer de equipos de captura y posterior recuperación de vapores o eliminación de vapor de hidrocarburos, y contar con los elementos necesarios para una eficiente operación. Sin embargo esta exigencia no puede corroborarse debido a que actualmente no existe ningún protocolo que acredite la existencia de estos equipos y por ende su eficiencia. Esto deja a esta medida sin efecto.

Y por último con respecto a los terminales de distribución de combustible en la comuna de Maipú, no existe ninguna exigencia y por ende ningún protocolo que permita conocer las prácticas y eficiencias en las unidades de recuperación de vapores. Esta falta de información genera un escenario incierto en toda esta etapa.

Con respecto a la subcategoría de artes gráficas esta es constituida por alrededor de 3000 empresas a nivel nacional, de las cuales el 60,5% se concentra en la Región Metropolitana. Estas empresas se agrupan de acuerdo al sistema de impresión utilizado, los cuales corresponden a: offset, flexografía, serigrafía, tipografía, huecografía, impresión digital y gigantografía, de los cuales el más importante es el heat set offset.

Del universo de imprentas, solo un 0,3% corresponden a grandes empresas, siendo los grupos más importantes; las microempresas (60%) y las empresas de tamaño pequeño (35%). En tanto, el porcentaje restante son de tamaño mediano (4,7%), según clasificación CORFO.

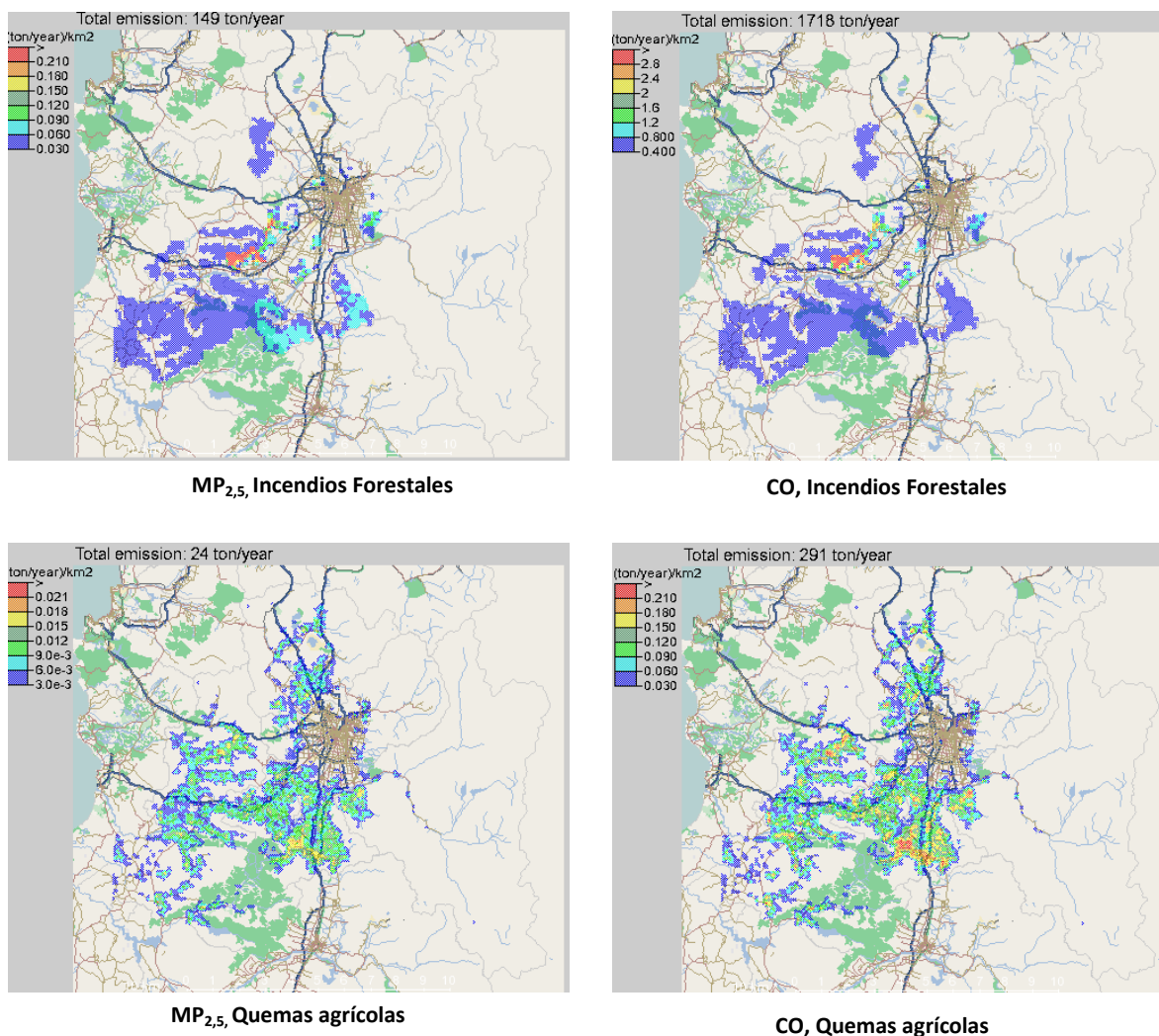
Debido a que la mayoría corresponden a microempresas, medianas y pequeñas las cuales no están en la categoría de fuentes puntuales si no que en fuentes areales, no controlan sus emisiones por medio de tecnologías de abatimiento y no implementan las mejores prácticas según el informe "*Diagnostico del sector imprentas, como base para proponer un acuerdo de producción limpia*" (ASIMPRES, 2008). Esto posiciona a las artes gráficas en uno de los principales emisores de COV's, aportando casi 19.000 ton/año debido a malas prácticas de almacenamiento, limpieza y casi nula captación de COV's durante el proceso. Debido a la falta de información de este sector como primera medida para la posterior reducción en las

emisiones es un levantamiento de información de las actuales empresas operando y de los productos utilizados, y de esta forma enfocar las medidas de reducción, siguiendo las directrices de la unión europea en su Directiva Europea 2004/42/CE.

#### 4.2.6. Emisiones agrícolas

##### *Quemas agrícolas*

Dentro de la categoría de quemas, se incluyen las emisiones provenientes de incendios de bosques y predios forestales, como también de restos de desechos agrícolas. Las estimaciones fueron realizadas bajo las directrices presentadas en el documento guía de elaboración de inventarios, creado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (EMEP/EEA, 2013), en sus capítulos 3F. "Field burning of agricultural residues", y 11B. "Forest Fires". Debido a la extensión, las quemas producidas por incendios forestales, dominan este sector en cuanto a la emisión de  $MP_{2,5}$  y  $CO$ , en comparación a las quemas agrícolas. En la Figura 40 se puede observar que las emisiones de las quemas agrícolas están distribuidas por toda la región.



**Figura 40. Distribución espacial de las emisiones totales de  $MP_{2,5}$  y  $CO$  generadas por incendios forestales y quemas de desechos agrícolas.**

Si bien los incendios forestales son producidos durante el periodo estival, este grupo emitió 149 toneladas de  $MP_{2,5}$  durante el año 2012, siendo responsable del 86% de material particulado y CO, dentro de este sector. En cuanto al aporte comunal, se observó que tan solo 5 comunas (Melipilla, San Pedro, El Monte, Padre Hurtado y Paine) aportaron con el 73% de las emisiones, cuyo emplazamiento se ubicó en el sector sur-poniente de la RM. A diferencia de las quemas agrícolas, los incendios forestales están concentrados en el sector sur-oeste, y con emisiones mucho más altas.

### *Emisiones biogénicas*

Para la estimación de las emisiones provenientes de fuentes biogénicas, se utilizó el programa MEGAN2.1, modelo cuyas últimas mejoras fueron implementadas el año 2012 por el National Center for Atmospheric Research (NCAR, EEUU). Como modelo numérico, MEGAN2.1 necesita contar con datos de entrada para el dominio de estudio (RM), como lo son mapas de uso/cobertura de suelo (LU/LC, Land Use/Land Cover) e información meteorológica.

El modelo MEGAN generó campos horarios de 20 compuestos (antecedentes detallados en sección Anexos) e información agregada en promedio mensuales. Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) emitidos naturalmente por la vegetación, corresponden a isopreno, monoterpenos y sesquiterpenos, cuya distribución regional es mostrada en la Figura 41. En su totalidad, las emisiones biogénicas de COVs alcanzaron las 14 858 toneladas durante el año 2012, de las cuales el 60% correspondió a isopreno, 35% a monoterpenos y 5% a sesquiterpenos.

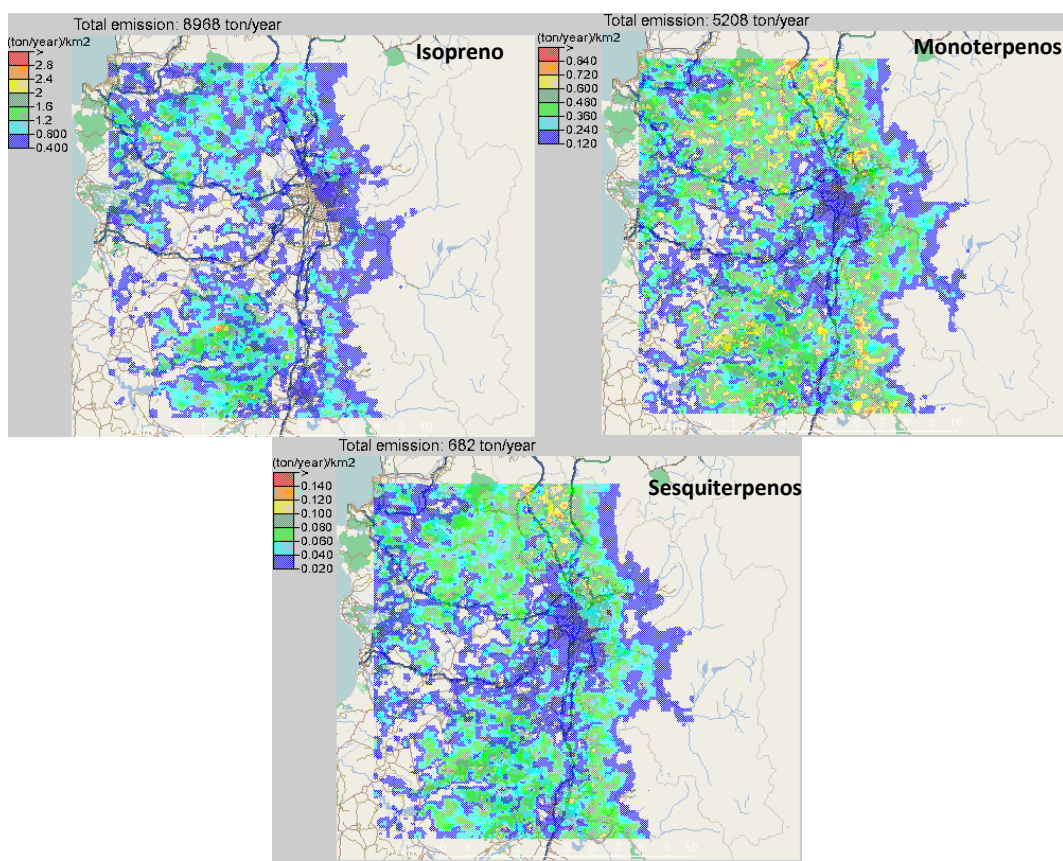


Figura 41. Emisión y distribución regional de COVs biogénicos generados durante el año 2012.

No obstante la cantidad anterior, existe una marcada diferencia estacional de las emisiones biogénicas, con un máximo durante el verano y mínimo durante el invierno, en concordancia a la tasa de actividad metabólica de la vegetación (Figura 42).

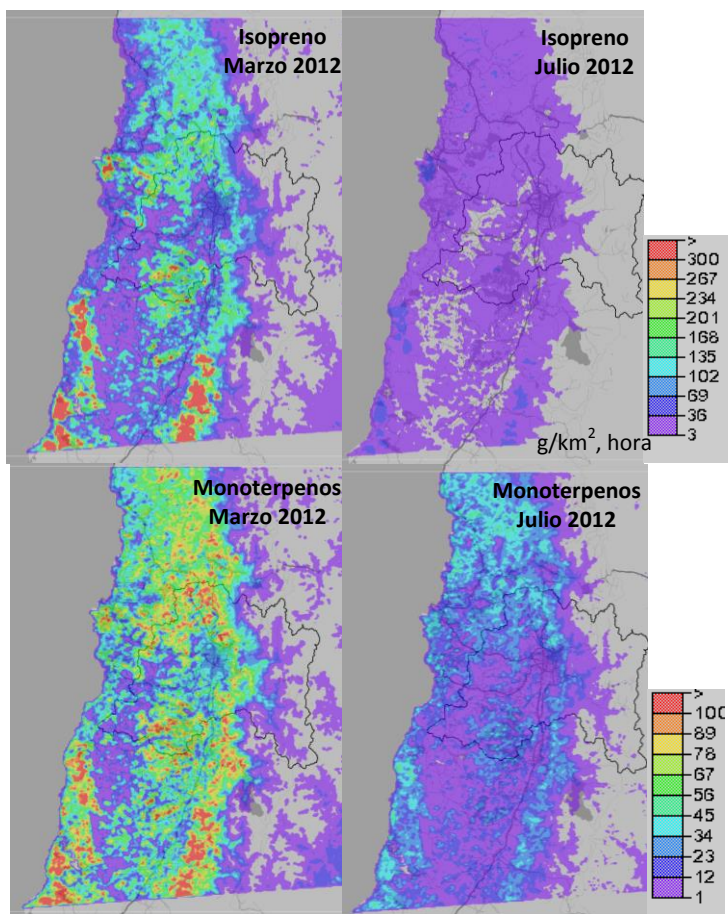


Figura 42. Concentración de emisiones estacionales de Isopreno y Monoterpenos biogénicos.

Además, existe también una acentuada variación horaria, en particular para isopreno que tiene su máximo después del mediodía (ver Figura 43). Es destacable la observación de que el isopreno casi no se emite durante la noche, pero los monoterpenos sí mantienen un nivel de emisión.

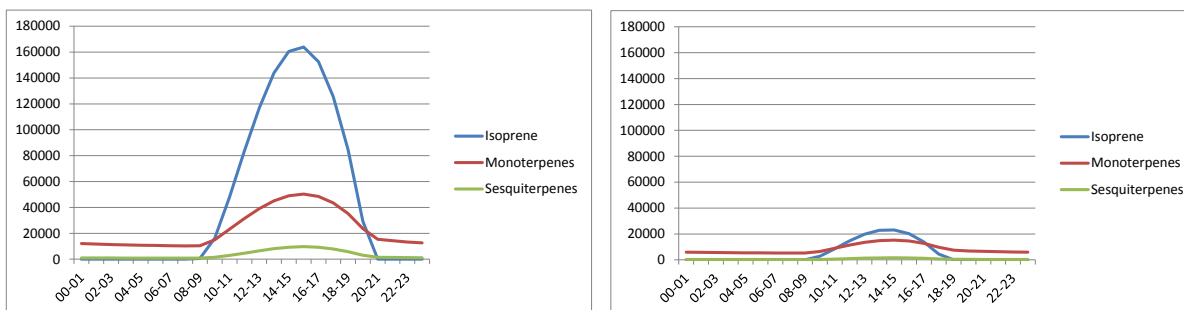


Figura 43.- Variación diaria durante marzo/verano (izquierda) y durante julio/invierno (derecha). Unidad:  $\text{g}/\text{km}^2, \text{hora}$

A continuación se ilustra la emisión mensual de los 3 compuestos biogénicos en la región, para el año 2012. Adicionalmente se realiza la comparación con emisiones biogénicas modeladas para Europa (Langner, 2012), cuya variación muestra la misma tendencia pero con niveles diferentes. La comparación entre las emisiones de Europa y de la RM (Figura 44) indican que las estas últimas, son aproximadamente 1% de las emisiones europeas, algo que parece razonable pensando en el área a la cual representa cada una.

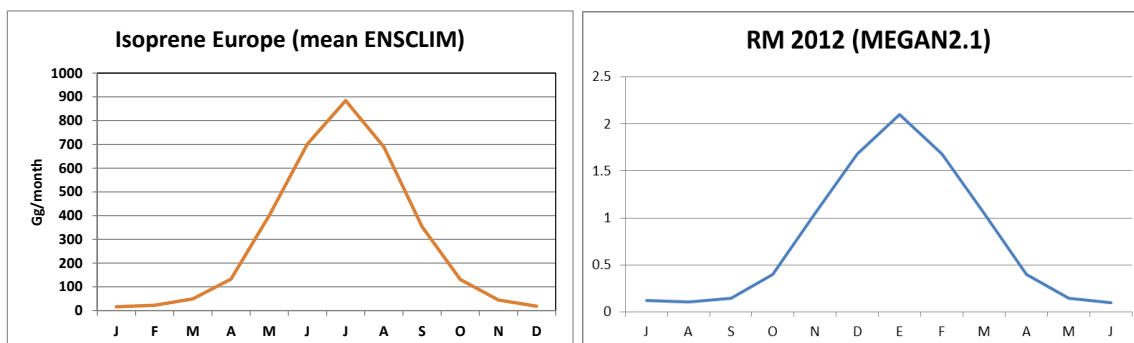
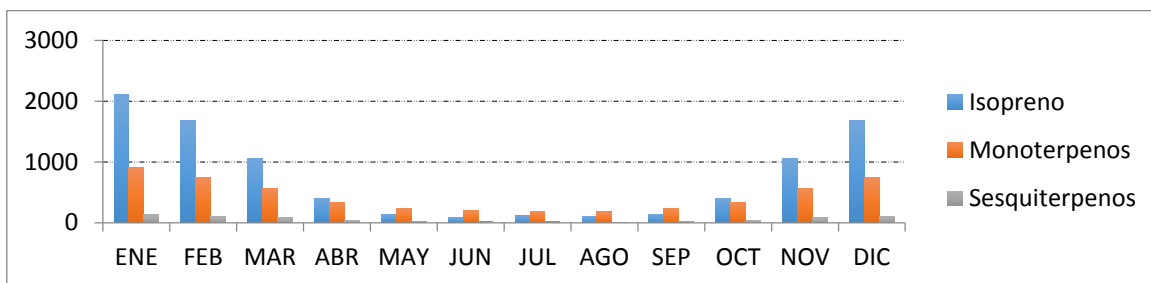


Figura 44. Variación mensual de las emisiones biogénicas con los resultados del MEGAN2.1. Se ha utilizado información de un estudio de modelación de Europa donde emisiones biogénicas de 4 modelos fueron comparadas<sup>10</sup>. Las emisiones de isopreno mostraron la misma variación pero con niveles diferentes.

<sup>10</sup> Langner, J. E. (2012). A multi-model study of impacts of climate change on surface ozone in Europe. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 10423-10440.

### Fertilizantes y plaguicidas.

En esta categoría se ha incluido el inventario especializado de NH<sub>3</sub> desarrollado por Sistam Ingeniería para el periodo 2011 (Sistam Ingeniería, 2013). Este inventario utiliza una metodología de tipo descendente considerando las tasas de nutrientes de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación y niveles de actividad (uso de suelo agricultura) desarrollados a partir de los datos de VII Censo Agropecuario de la RM actualizados con datos de la ODEPA al año 2011.

Las emisiones calculadas en este inventario se muestran en la Tabla 78.

Tabla 16: Emisiones de NH<sub>3</sub> Fertilizantes

Grupo de Cultivos	Emisiones (ton/año)
Cereales	5.127,08
Cultivos industriales	31,53
Flores	13,18
Frutales	6.365,18
Hortalizas	4,15
Leguminosas y tubérculos	865,61
Plantas Forrajeras	216,44
Viñas y parronales viníferos	1.241,24
Total	13.864,42

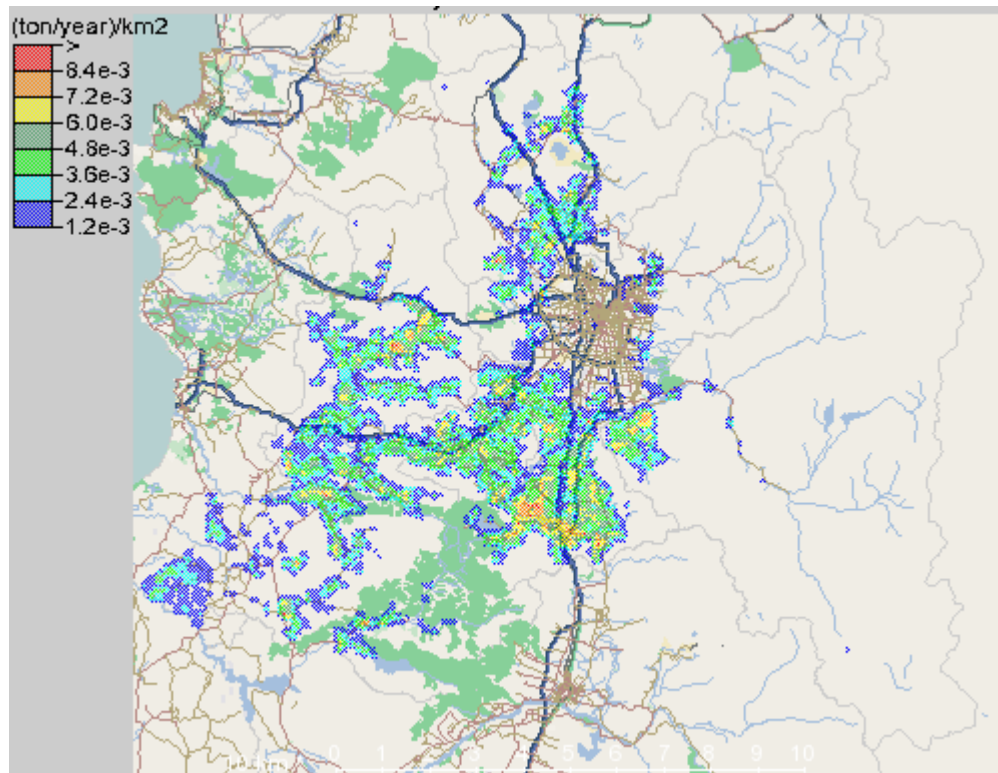


Figura 45. Distribución geográfica de las emisiones de Fertilizantes.



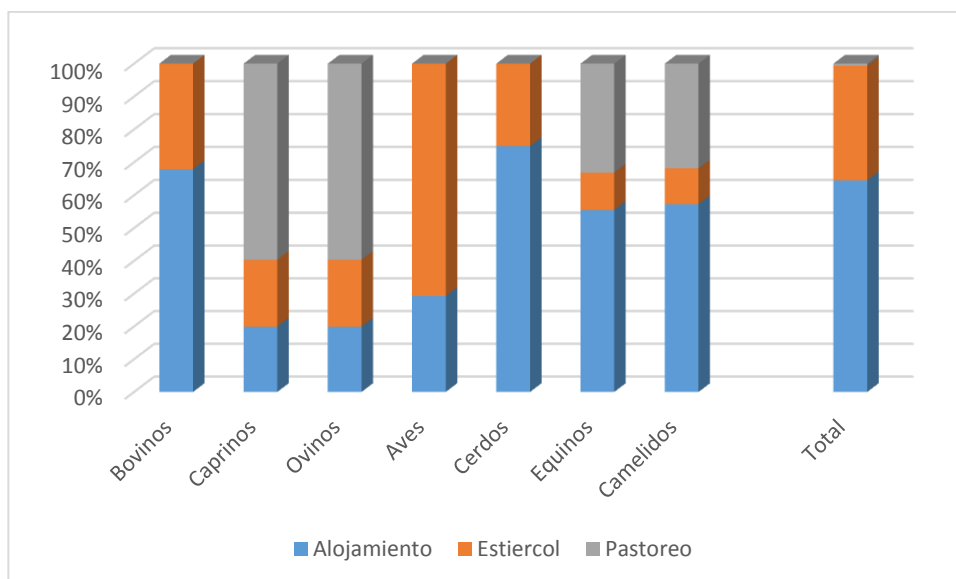
### Crianza de animales

Las actividades agropecuarias y en especial la crianza de animales, son las principales fuentes responsables de las emisiones de NH<sub>3</sub> en la región metropolitana.

En la Tabla 17 se presentan los resultados de la estimación de las emisiones de NH<sub>3</sub> para la RM por categoría de animal. La categoría "Otras aves" encontrada en la metodología se incluyó dentro de la categoría "Aves".

**Tabla 17. Resultado de la estimación de emisiones de NH<sub>3</sub> para la RM debido a Crianza de animales.**

Actividad	Bovinos	Caprinos	Ovinos	Aves	Cerdos	Equinos	Camélidos
Alojamiento	2476,14	3,38	5,24	800,37	6373,91	119,54	0,57
Estiércol	1170,39	3,46	5,37	1937,27	2136,38	24,41	0,12
Pastoreo	0,00	10,11	15,69	0,00	0,00	71,30	0,34



**Figura 46. Distribución de las emisiones provenientes de la crianza de animales.**

Como se puede observar en la Figura 46, la actividad que más contribuye a las emisiones es el alojamiento de animales. Además observando la Tabla 17 se puede concluir que el alojamiento de Cerdos es la principal fuente de emisiones.

Con la finalidad de tener un inventario de emisiones lo más actualizado posible al 2012, se ha incluido el inventario especializado de NH<sub>3</sub> desarrollado por Sistam Ingeniería para el periodo 2011 (Sistam Ingeniería, 2013). En este inventario se calculan las emisiones debido a los planteles de exportación existentes en la RM con una metodología del tipo ascendente.

Tabla 18: Emisiones de NH<sub>3</sub> Crianza de Animales

Categoría	Rubro	Emisiones (ton/año)
Bovinos	Novillos	2.136,01
	Terneros	552,24
	Toros	348,41
	Vacas de Carne	4.399,47
	Vacas Lecheras	9.982,13
	TOTAL Bovinos	17418,27
<b>Aves</b>		168,07
<b>Porcinos</b>		1.650,70

Con respecto a la georreferenciación de las emisiones mediante el sistema Airviro, esta se muestra en la Figura 47. Se puede destacar que las emisiones se concentran en el sector más poniente de la RM.

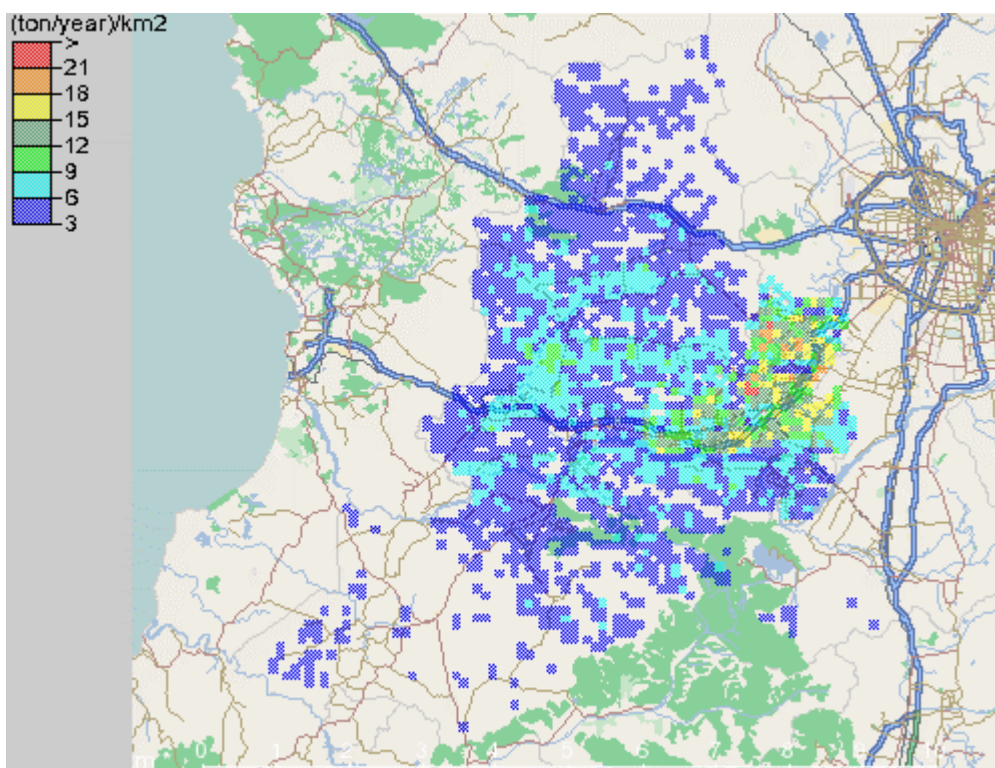


Figura 47. Emisiones de NH<sub>3</sub> provenientes de la crianza de animales.

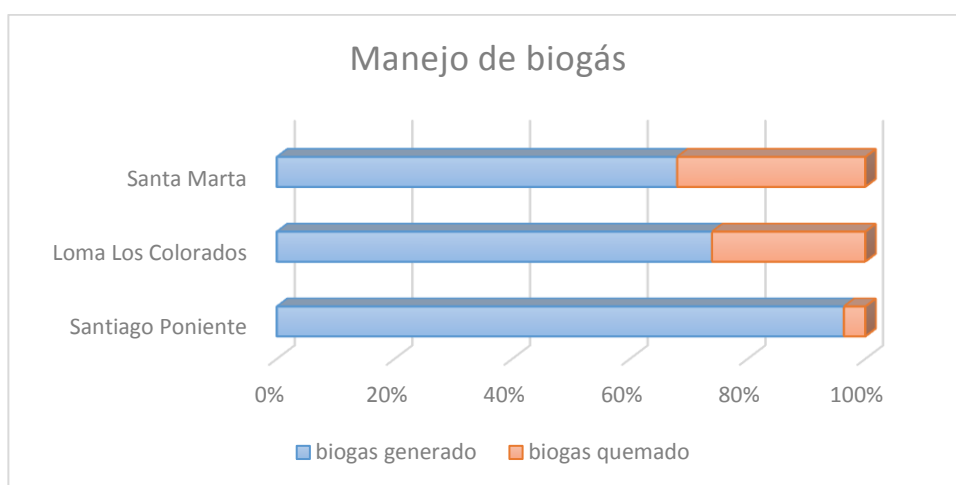
### Rellenos sanitarios

Se considera que en los rellenos sanitarios se emiten principalmente gases de efecto invernadero: metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado en el proceso de descomposición de materia orgánica, además de estos gases se emite monóxido de carbono (CO), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) y material particulado (MP) como consecuencia de la quema de biogás en antorcha.

Para este inventario se consideró relevante las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) y material particulado (MP), así como las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Para las emisiones debido a la quema de biogás en antorcha se utilizaron los factores de emisión establecidos en el informe AP42 de la US EPA, no considerando los sistemas de abatimiento de emisiones, por lo que estas emisiones pueden estar muy sobreestimadas.

**Tabla 19. Emisiones provenientes de los 3 rellenos sanitarios de la RM al año 2012.**

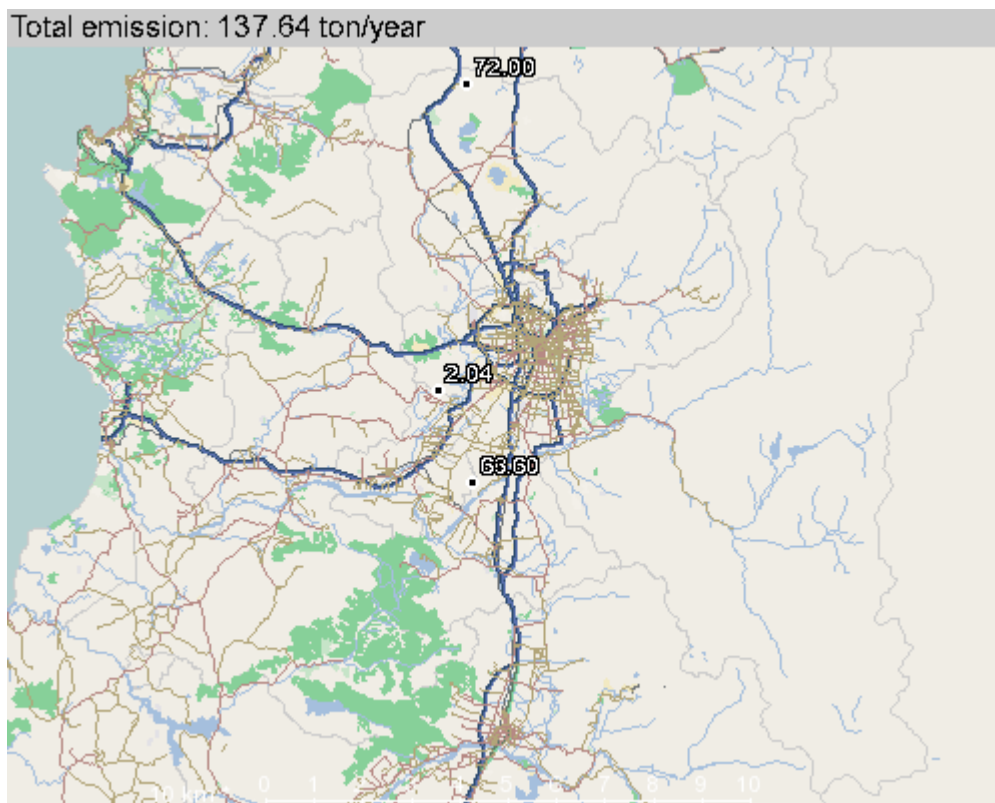
Actividad	Contaminante	Santiago Poniente	Loma Los Colorados	Santa Marta
Descomposición de materia orgánica	biogás generado (m <sup>3</sup> /año)	45.118.544	170.381.827	112.860.000
	CH <sub>4</sub> (Ton/año)	12040	59677	16354
	CO <sub>2</sub> (Ton/año)	49554	148145	44872
Quema de biogás en antorcha	biogás quemado (m <sup>3</sup> /año)	1.700.000	60.000.000	53.000.000
	CO (Ton/año)	2.04	72	63.6
	NO <sub>x</sub> (Ton/año)	0.1105	3.9	3.445
	MP <sub>10</sub> (Ton/año)	0.0459	1.62	1.431



**Figura 48. Relación entre el biogás generado en cada relleno sanitario y el biogás quemado en antorcha.**

Como se observa en la Figura 48, el relleno sanitario Santiago poniente es el que tiene la menor relación entre generación y quema de biogás en antorcha, además de ser el relleno más pequeño en la RM.

En la Figura 49, se presenta las emisiones provenientes de la quema de biogás en antorcha de los rellenos sanitarios, como fuente puntual en el sistema Airviro.



**Figura 49. Emisiones de CO provenientes de la quema de biogás en antorcha en los rellenos sanitarios.**

#### *Plantas de tratamiento de aguas servidas.*

En la Tabla 20, se muestran las emisiones de las plantas de tratamiento de aguas servidas, las emisiones de COV y de NH<sub>3</sub> son muy similares debido a que el factor de emisión es muy parecido, para calcular las emisiones se utilizó el caudal de agua tratada por cada planta de tratamiento.

**Tabla 20. Emisiones de las plantas de tratamiento de aguas servidas.**

Nombre sistema de tratamiento	Caudal mensual (Lt/seg)	Emisión de NH <sub>3</sub> (Ton/año)	Emisión de COV (Ton/año)
Barrancas	25,10	0,016	0,012
Buín - Maipo	100,70	0,064	0,048
Curacavi	35,40	0,023	0,017
El Manzano	3,00	0,002	0,001
El Monte	60,80	0,039	0,029
El Parronal	4,70	0,003	0,002
El Trebal	3933,00	2,519	1,866

Nombre sistema de tratamiento	Caudal mensual (Lt/seg)	Emisión de NH <sub>3</sub> (Ton/año)	Emisión de COV (Ton/año)
Jardin Lo Prado	24,50	0,016	0,012
La Cadellada	200,00	0,128	0,095
La Farfana	8795,00	5,632	4,172
Larapinta	14,70	0,009	0,007
Las Higueras	24,50	0,016	0,012
Lomas De Lo Aguirre	3,80	0,002	0,002
Los Trapenses	38,00	0,024	0,018
Melipilla	168,90	0,108	0,080
Paine	78,30	0,050	0,037
Pomaire	21,10	0,014	0,010
Quilicura	91,70	0,059	0,043
San José De Maipo	14,00	0,009	0,007
Santa Elena	2,70	0,002	0,001
Santa Luz	10,90	0,007	0,005
Santo Tomas	15,80	0,010	0,007
Talagante	410,60	0,263	0,195
Til-Til	9,20	0,006	0,004
Valdivia De Paine	23,80	0,015	0,011
Villa Galilea	10,00	0,006	0,005

Las emisiones se concentran en las dos plantas más grandes de la RM: La Farfana (5,63 Ton/año de NH<sub>3</sub>) y El Trebal (2,52 Ton/año de NH<sub>3</sub>). En la Figura 50 se puede observar la distribución geográfica de las plantas de tratamiento de aguas servidas de la RM.

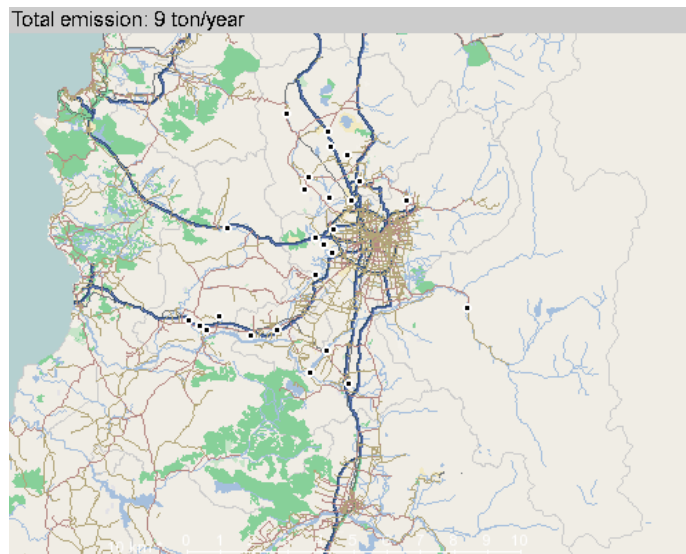


Figura 50. Emisiones de NH<sub>3</sub> provenientes de las plantas de aguas servidas ingresadas como fuentes puntuales en el sistema Airviro.

## 4.2.7. Emisiones del transporte

### *En ruta*

La distribución de las emisiones de  $MP_{2,5}$  (directas del tubo de escape) y  $NO_x$  para transporte en ruta están representadas en la Figura 51 y Figura 53 respectivamente. En las Figuras a, b y c se presentan las emisiones de  $MP_{2,5}$  para transporte en carretera, otras vías y Transantiago

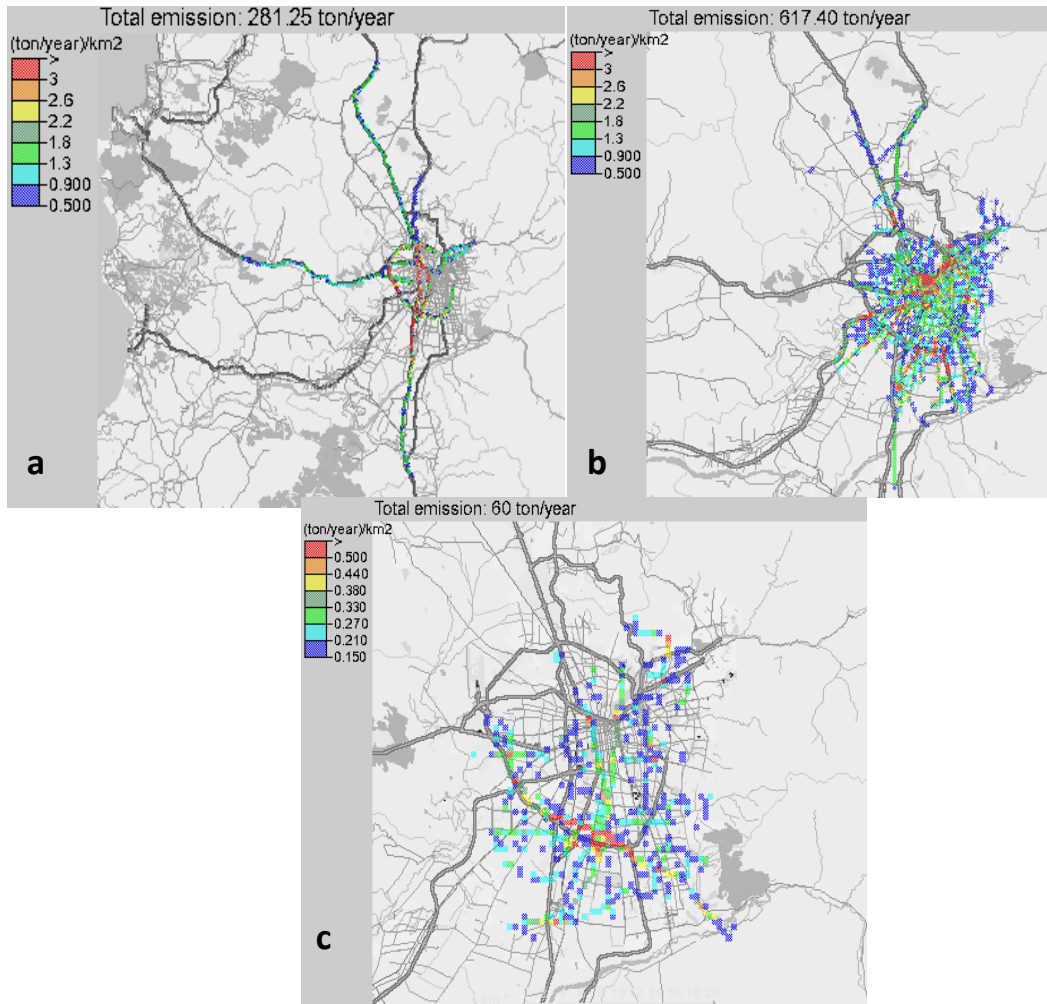
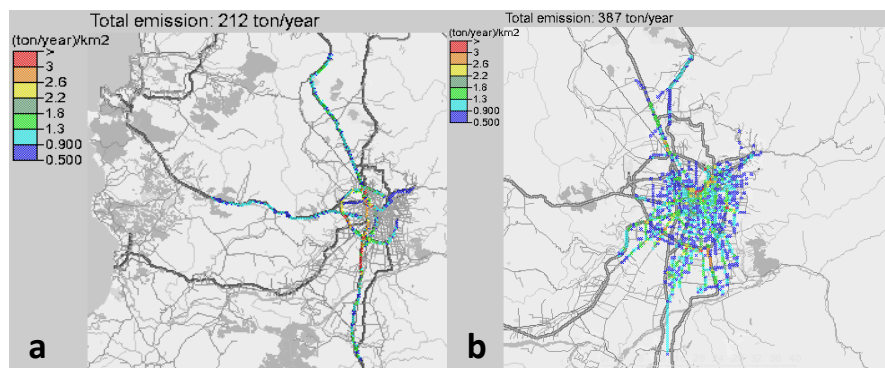


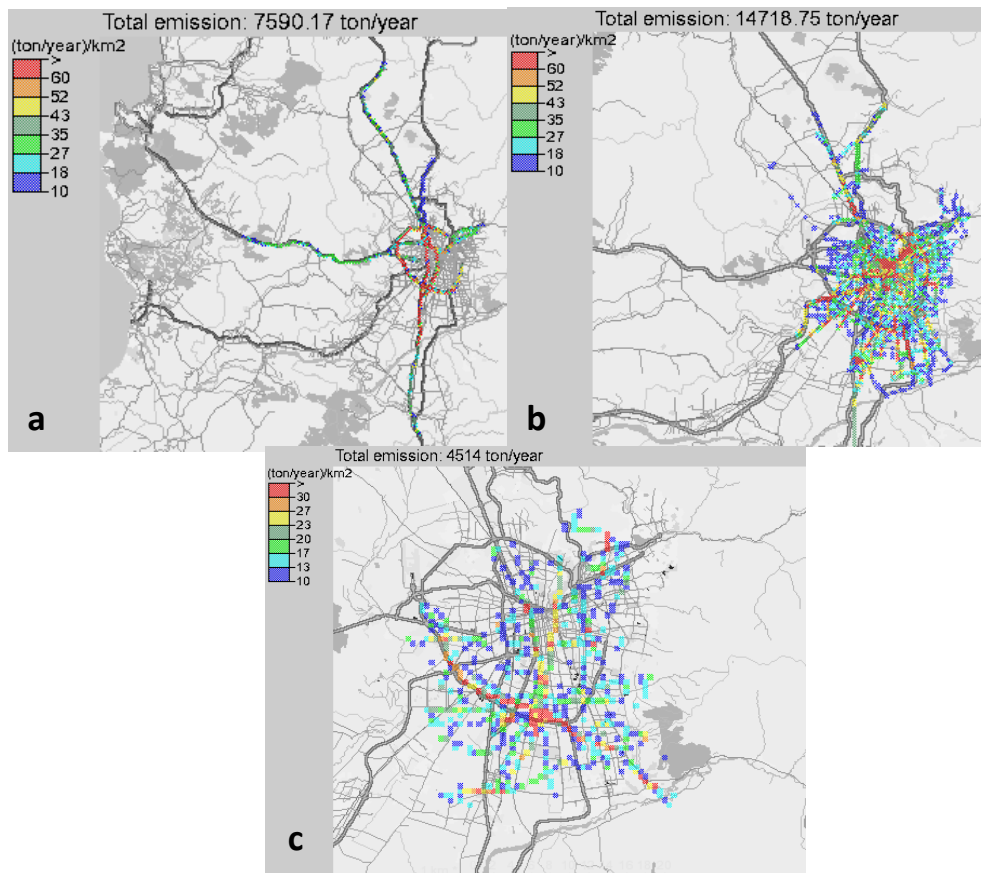
Figura 51. Distribución de las emisiones de  $MP_{2,5}$  y  $NO_x$  para transporte en ruta

respectivamente. Se puede observar que las emisiones se concentran principalmente en las autopistas central y Vespucio Sur, vías por las que circula mayor flujo de camiones y buses. En el caso de las emisiones del resto de las vías; las mayores densidades de emisiones se presentan en el sector centro-oriental de la ciudad y en la vía Libertador Bernardo O'Higgins. Las emisiones del Transantiago se presentan en la c, en ella se observan mayores densidades de emisión en ejes Alameda y Vespucio sur, donde principalmente circulan buses sin filtros de partículas. Al comparar las emisiones de estos tres grupos de vías/vehículos; se destaca las menores emisiones del Transantiago en relación al transporte privado (camiones/buses/vehículos diésel/vehículos gasolina), correspondiendo a cerca del 9% de las emisiones totales de  $MP_{2,5}$ , lo cual es resultado de medidas de post tratamiento de emisiones en buses del Transantiago, específicamente a la incorporación de filtros de partículas en cerca de un 40% de la flota, medida que no ha sido usada ampliamente en el sector de transporte de carga. En la Figura 52 se presentan las emisiones de  $MP_{2,5}$  del transporte de carga.



**Figura 52: Emisiones  $MP_{2,5}$  Transporte de carga y buses, en carretera y otras vías.**

Las mayores densidades de emisiones de  $NO_x$  del transporte en ruta, tienen una misma distribución espacial que para el  $MP_{2,5}$ , pero la diferencia del transporte privado con la flota del Transantiago no es de la misma magnitud que para el  $MP_{2,5}$ , correspondiendo al 17% de las emisiones del transporte en ruta. Lo anterior puede explicarse a que los sistemas de post tratamientos de los buses del transporte público abaten solo material particulado, aún con la incorporación masiva de tecnología Euro V en la flota de Transantiago no se vería una mayor baja en las emisiones de  $NO_x$ , la incorporación de tecnología Euro VI o tecnología avanzada como la híbrida y eléctrica podría disminuir las emisiones. El mismo análisis es aplicable para el transporte de carga, además de la renovación del parque de este último.



**Figura 53: Emisiones de NOx año 2012 transporte en ruta: a) carreteras; b) Otras vías; c) Transantiago.**

### *Fuera de ruta*

Tal como se presentó en secciones anteriores para el transporte fuera de ruta se consideró la maquinaria de construcción y las emisiones del Aeropuerto. La distribución espacial de  $MP_{2,5}$  y  $NO_x$  se presentan en las Figura 54 y Figura 53 respectivamente. Las emisiones se concentran principalmente en el sector centro-oriente de la región, donde existe mayor cantidad de edificios en construcción, según la Cámara Chilena de la construcción estas se concentran en las comunas de Santiago Centro, Las Condes, Ñuñoa y Providencia (56% del total de proyectos).



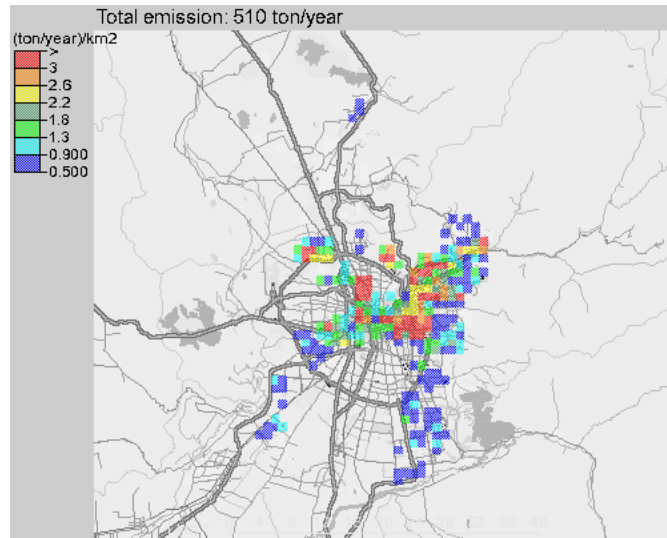


Figura 54: Emisiones 2012  $MP_{2,5}$  maquinaria de la construcción

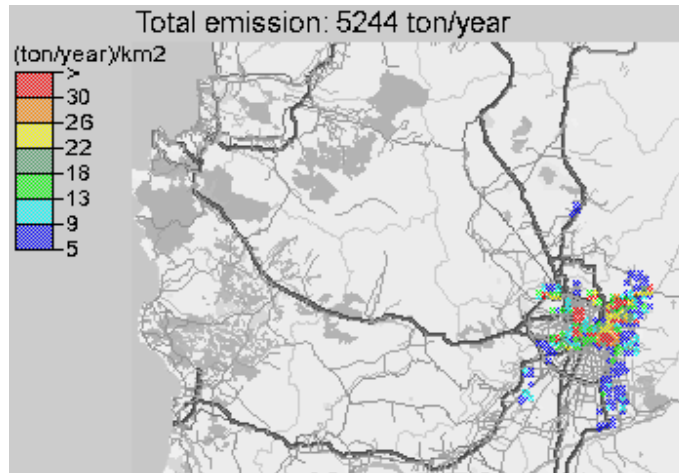


Figura 55: Emisiones 2012  $NO_x$  maquinaria de la construcción.

### 4.3. Comparación con el inventario anterior de la RM.

#### 4.4.1. Emisiones industriales

Hay que hacer notar, que los procesos industriales que se observan en la Tabla 21, manifiestan amplias diferencias con respecto a los contaminantes NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y CO, ya que en la base de datos disponible, Decreto nº138 “Declaración de Emisiones” los niveles de actividad se encontraban vacíos y/o los procesos presentados en esta se definían poco claros para encontrar su factor de emisión y realizar los cálculos de manera precisa. Por lo tanto para este tipo de contaminantes no se pudo utilizar la base de datos “Fijas” facilitada por la Seremi de Salud 2012 y rellenar los resultados para cada fuente ya que esta se refería solo a MP.

Tabla 21 Comparación Inventarios Sector Industrial Dictuc 2005 versus USACH 2013.

Sector	Emisiones de Contaminantes [ton/año]									
	MP10		MP2,5		NO <sub>x</sub>		SO <sub>x</sub>		CO	
	DICTUC '05	USACH '13	DICTUC '05	USACH '13	DICTUC '05	USACH '13	DICTUC '05	USACH '13	DICTUC '05	USACH '13
Generación Eléctrica			119	45	643	1.149				
Calderas Industriales	193,4	69	154,3	54	4.065	1.268	3.062	754	1634	260
Calderas de Calefacción	147	75	130	29	2.506	487	545	3	1466	89
Grupos electrógenos	51,19	34	44	19	777	275	3799	19		
Productos minerales	156	91	97	80	3.740	1.435	1.910	1.108	984	302
Alimentos y Agricultura	18	32	5	29	240	SD	0	SD	0	SD <sup>11</sup>
Procesos Siderúrgicos	186	115	165	96	59	10	287	SD	116	422
Otras actividades industriales puntuales	81	86	65	86	817	297	116	107	200	66

#### 4.4.2. Emisiones residenciales

Las principales diferencias para las emisiones residenciales radica en la diferente metodología escogida, para el caso de solventes de uso doméstico se utilizó los factores de emisión reportados por la EPA, y para el caso de DICTUC se desconoce la metodología ya que no fue reportada en el informe. Para las siguientes dos subcategorías la diferencia es debido a que el

<sup>11</sup> SD: Sin Datos, en ninguna de las bases disponibles se encontraron datos para realizar el cálculo para estos contaminantes

nivel de actividad es diferente ya que se utiliza la proyección de la población para el año evaluado, correspondiendo a un aumento entre cada año transcurrido.

**Tabla 22. Comparación de las emisiones residenciales, inventarios DICTUC 2005 versus USACH 2013.**

Sub-categoría	DICTUC 2005 [ton/año]	USACH 2013 [ton/año]
Solvente de uso domestico	1.681	21.976
Pintado arquitectónico	8.179	9.530
Fugas residenciales de GLP	10.999	11.670

#### 4.4.3. Emisiones evaporativas

Para la estimación de las emisiones de las subcategorías lavaseco y pintado de vehículos se utilizaron los mismos factores de emisión reportados por la EPA, y la diferencia es debido al nivel de actividad que corresponde a la proyección de la población para el año evaluado.

En la sub-categoría distribución de combustible se aprecia una diferencia a causa de que fue considerado un escenario desfavorable en la recuperación de vapores. En el caso de DICTUC se consideró una recuperación del 90%, debido a que este es el exigido en el PPDA de la RM, pero como se constató por el informe (agregar bibliografía Mauricio OSSES) la recuperación de vapores no es más allá del 20%, se consideró un escenario desfavorable en toda la cadena de distribución, detalle de la metodología utilizada se encuentra en Anexo 1, y de esta no subestimar las emisiones.

Para el caso de Artes gráficas la diferencia es a causa de que se consideraron en esta subcategoría las emisiones de las siguientes industrias INQUILIMA LTDA, ALUSA S.A., EDELPA S.A. y empresas Jordan Ltda a diferencia del inventario del DICTUC donde se estima solo las emisiones de pequeñas y medianas empresas.

**Tabla 23. Comparación de las emisiones evaporativas entre los inventarios DICTUC 2005 y USACH 2013.**

Sub-categoría	DICTUC 2005 [ton/año]	USACH 2013 [ton/año]
Distribución de combustibles	1.162	7.250
Lavaseco	321	444
Pintado de vehículos	750	981
Artes gráficas	4.885	18.277
Fugas comerciales de GLP	No informa	86
Aplicación de asfalto	4.357	2.081

#### 4.4.4. Emisiones agrícolas

##### *Crianza de animales.*

En la Tabla 24 se calcula el NH<sub>3</sub> emitido en kg/año por un animal de cada categoría, considerando el total de emisiones reportado y los niveles de actividad utilizados en cada inventario. Para calcular esta emisión se realizó el cociente entre la emisión total y el número de animales considerado en el respectivo inventario.

**Tabla 24. Comparación del orden de magnitud de emisiones de NH<sub>3</sub> en (kg/año) con inventarios anteriores de la RM.**

Sub Categoría	Rubro	RM 2005 (DICTUC)	RM 2010 (CENMA)	NH3 RM 2012 (Sistam)	RM 2012 (USACH)
Crianza de animales	Bovinos	50.52	46,44	53,19	53,19
	Cerdos	23.14	5,07	46,34	46,34
	Ovinos	1.34	3,53	NP	1,03
	Caprinos	1.34	3,48	NP	1,03
	Camélidos	5.93	5,18	NP	1,03
	Equinos	5.85	3,42	NP	4,27
	Aves	0.59	0,51	0.28	0,28

*NP: no presenta esta categoría*

Se aprecia diferencias significativas en la magnitud de las emisiones. A nivel regional, estas diferencias se deben principalmente a los niveles de actividad utilizados y a la metodología usada en el informe "NH<sub>3</sub> RM 2012 (Sistam)".

## Disposición y tratamiento de residuos

Tabla 25. Comparación de las emisiones provenientes de los rellenos sanitarios en Ton/año

Actividad	Contaminante	RM 2005 (DICTUC)	RM 2010 (CENMA)	RM 2012 (USACH)
Componentes del biogás	CO <sub>2</sub>	28770	NE	242570
	CH <sub>4</sub>	14421	NE	88071
Quema de biogás en antorcha	NO <sub>x</sub>	5,86	8,00	7,46
	CO	108,09	147,68	137,64
	MP <sub>10</sub>	2,43	3,32	3,097

NE: no estimado

Se aprecia el mismo orden de magnitud en las estimaciones.

## Plantas de tratamiento de aguas servidas.

Tabla 26. Comparación de las emisiones provenientes del tratamiento de aguas servidas en Ton/año.

Contaminante	RM 2005 (DICTUC)	RM 2010 (CENMA)	RM 2012 (USACH)
NH <sub>3</sub>	1408,2	2,24	9,04
COV	NE	NE	6,70

La principal diferencia con el inventario DICTUC 2005 es la utilización de un factor de emisión de hasta 3 órdenes de magnitud más pequeño y considerar el nivel de actividad como el caudal de agua tratada y no la estimación de la cantidad de agua utilizada por persona en la RM.

### 4.4.5. Emisiones del Transporte

La comparación de las emisiones entre inventarios anteriores se presenta en las Tabla 27 y Tabla 28.

**Tabla 27: Comparación inventarios sector Transporte en Ruta (t/año)**

	CENMA 2010	DICTUC	USACH 2013	CENMA 2010	DICTUC	USACH 2013	CENMA 2010	DICTUC	USACH 2013	CENMA 2010	DICTUC	USACH 2013
<b>Categoría</b>	<b>PTS</b>			<b>PM10</b>			<b>PM2.5</b>			<b>CO</b>		
Alquiler	62			48			28			4.439		
Buses	47			44	95		37	82		219	515	
Transantiago	166			159	221		128	196	61	1.415	1.436	908
Camiones	288			282	763		252	671	600	1.499	3.515	4.140
Comerciales	446			395			302			55.455		
Motocicletas	5			4	2		2	0		10.769	3.971	
Particulares	352			273	515		157	249	299	83.192	735.371	39.584
Taxis colectivos	24			19			11			1.838		
<b>Total general</b>	<b>1.390</b>			<b>1.224</b>	<b>1.596</b>	<b>0</b>	<b>918</b>	<b>1.198</b>	<b>960</b>	<b>158.826</b>	<b>744.808</b>	<b>44.632</b>

**Tabla 28: Comparación inventarios sector Transporte en Ruta (t/año)**

	CENMA 2010	DICTUC	USACH 2013	CENMA 2010	DICTUC	USACH 2013	CENMA 2010	DICTUC	USACH 2013	CENMA 2010	DICTUC	USACH 2013
<b>Categoría</b>	<b>NOx</b>			<b>HC</b>			<b>SO2</b>			<b>NH3</b>		
Alquiler	650			247			16			216		
Buses	915	2.507		91	235		4	9		0	1	
Transantiago	5.207	5.867	4.627	492	715	158	30	22		2	2	
Camiones	3.035	11.180	16.675	911	2.199	943	12	44		2	7	
Comerciales	9.256			3.909			81			472		
Motocicletas	86	25		2.085	707		1	0		1	0	
Particulares	8.797	17.325	8.336	7.428	16.212	2.589	91	70		1.125	1.009	271
Taxis colectivos	266			99			7			72		
<b>Total general</b>	<b>28.211</b>	<b>36.903</b>	<b>29.638</b>	<b>15.261</b>	<b>20.067</b>	<b>3.690</b>	<b>242</b>	<b>144</b>	<b>0</b>	<b>1.891</b>	<b>1.019</b>	<b>271</b>

Las mayores diferencias se encuentran en las emisiones de CO, 44.600 t/año en comparación a 158.000 y 744.000 t/año, la diferencia radica principalmente en las emisiones de vehículos particulares. Lo anterior puede ser explicado por la participación de vehículos no catalíticos en el parque, mientras que en el presente inventario se consideró una participación de un 4%, para la estimación del año 2010 se consideró un 7% de la flota como no catalítico, además de considerar que los factores de emisión Copert a velocidades bajas posee una gran variación para CO lo que puede sobreestimar la emisión de esta sustancia, situación que no ocurre mediante la implementación de conceptos de condición de tráfico.

Lo anterior señalado se puede, de cierta manera validar realizando una modelación Gaussiana para CO; esta se realizó para el día 19 de junio del 2012 con las bases de datos de Autopistas y Vías. Al calcular la concentración de CO cercano al Parque O'Higgins (estación de monitoreo usada) se obtiene un resultado aproximado de 410 µg/m<sup>3</sup> de CO, en las Figura 56 y Figura 57 se pueden observar los outputs de las modelaciones; el día modelado la concentración de CO fue en promedio 506 µg/m<sup>3</sup> lo cual indica que las emisiones de CO en el presente inventario no están subestimadas.

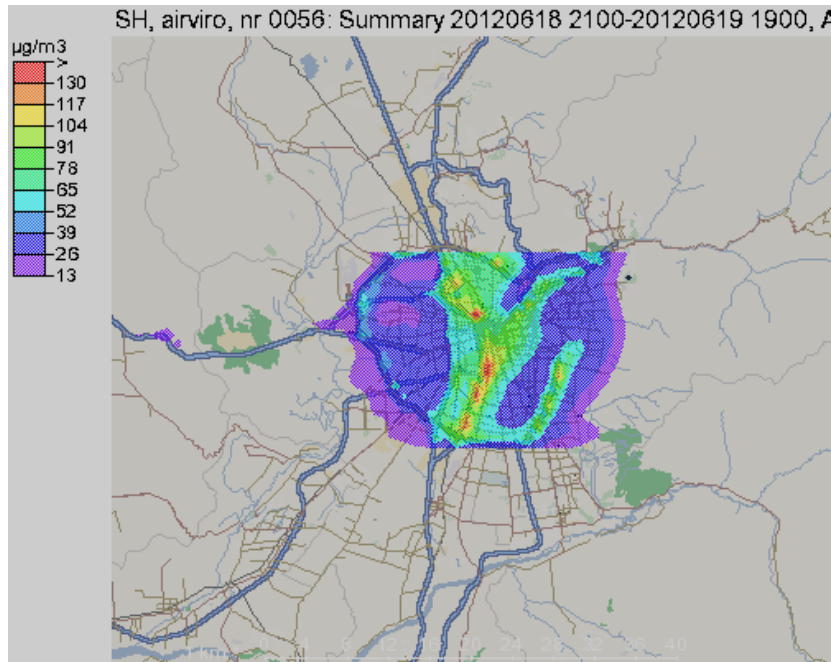


Figura 56: Modelación Gaussiana CO Autopistas

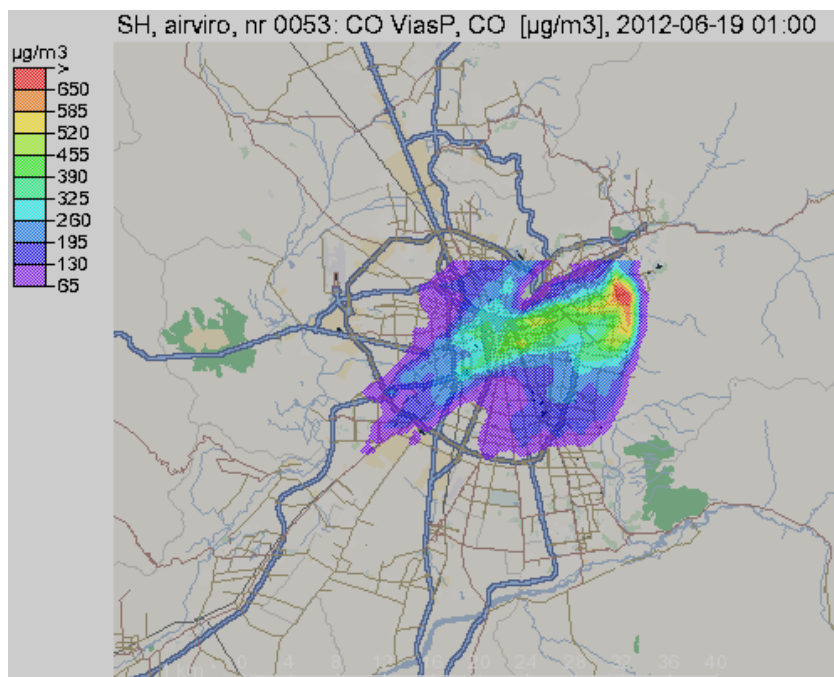


Figura 57: Modelación Gaussiana CO Vías.

- Mayor uso del diésel en 2005 (mayor emisión en MP), reducción del MP debido al uso mayoritario del GN
- Mayor producción de electricidad, mayor consumo de combustible por lo que hay mayores emisiones de NOx. Sistema aplicado de SCR sólo para cuando usa diésel, pero no cuando usa GN. Sugerencia de aplicar el sistema SCR para su uso con GN.

## 5. SISTEMA I-AIRVIRO CARGADO CON INFORMACIÓN DE LOS INVENTARIOS

### 5.1. Introducción

Airviro es un sistema de gestión de calidad del aire, basado en herramientas de información geográfica e interfaz web, permite la administración, almacenamiento, manejo de información meteorológica y de calidad del aire, como también la colección de emisiones en un área determinada.

### 5.2. Estructura de la base de datos

La base de datos dinámica de las emisiones fue almacenada en el interfaz Airviro, bajo el módulo EDB. La información distribuida bajo una estructura de clasificación de fuentes (puntuales, lineales o grilla), permiten la ubicación de cada una en un mapa digital, junto a información sobre la fuente. Cada información de emisión almacenada en la base de datos, fue asignada a un código de actividad, actividad económica o llaves de búsqueda, con el fin de facilitar la movilidad en grandes bases, como la generada en el presente proyecto.

En este sentido, la principal gestión empleada en el almacenaje de los datos del inventario de emisiones para la RM, fue la desagrupación de fuentes en puntuales o fijas (mayoritariamente industriales), lineales (tránsito) y de grilla. Dependiendo de la información disponible, las fuentes quedaron representadas de forma individual (metodología ascendente) o distribuidas como una emisión total (representando un grupo de fuentes), mediante una grilla con información relacionada a las emisiones (metodología descendente). Las ventajas de la metodología ascendente es su mejor precisión espacial y su alta trazabilidad. La ventaja con una metodología descendente, es su eficiencia y la facilidad con la cual se puede actualizar el inventario de emisiones.

Las grandes actividades industriales fueron ingresadas como fuentes puntuales, con la información de la emisión de cada uno de los contaminantes. Las actividades industriales más pequeñas fueron agrupadas, estimándose sus emisiones por comuna, y presentándolas como fuente tipo grilla. Este mismo procedimiento fue aplicado a fuentes comerciales, residenciales, agrícolas, quemas y residuos. En el caso de las fuentes del transporte, las emisiones de autopistas, del transporte público y de las vías principales de la ciudad de Santiago, fueron almacenadas como fuentes lineales. Alternativamente, las emisiones de la vialidad menor fueron presentadas en forma de grilla.

Las fuentes asociadas a actividades económicas fueron divididas consecutivamente, por sector económico, grupo y glosas. Para mejor comprensión se presenta como ejemplo, en la Tabla 29, la división empleada para el sector de generación eléctrica. Cada glosa se encuentra identificada con un código de actividad, de acuerdo a la clasificación empleada en otros sistemas de información del Ministerio de Medio Ambiente (código CIU). Este código facilita la búsqueda de información en la base de datos de emisiones, como también la presentación de emisiones, por glosa o agrupadas en grupos o sectores.



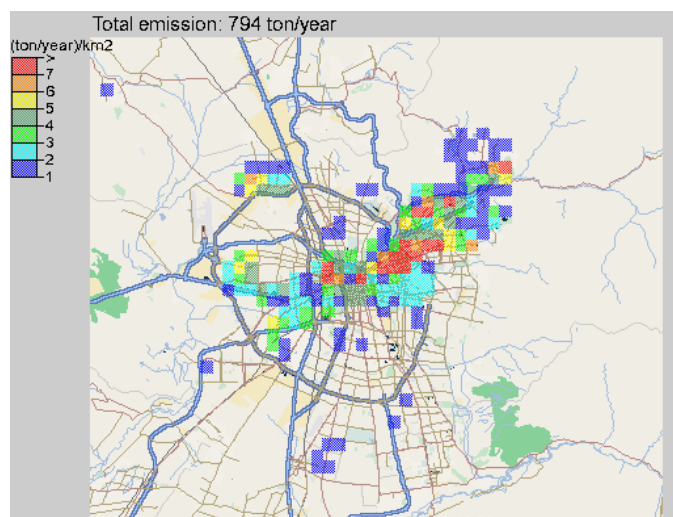


Figura 58. Representación de emisiones asociadas a fuentes agrupadas en tipo grilla.

Tabla 29. Ejemplificación de la estructuración de las fuentes asociadas a sectores con actividad económica.

Sector	Grupo	Glosa	Código CIU
Generación eléctrica	Generación, captación y distribución de energía eléctrica	Generación en centrales de ciclo combinado GN	401012
		Generación en centrales de ciclo combinado Diesel	401012
		Generación en otras centrales - grupos electrógenos diesel	401019
		Generación en otras centrales - grupos electrógenos GN	401019

El resumen del número de grupos y glosas, para cada sector de fuentes, es mostrado a continuación en la Tabla 2. En adición al código de actividad, todas las fuentes de emisión fueron asignadas a un código geográfico (CUT) de 3 niveles, que representa la región, provincia y comuna, en donde se encuentra.

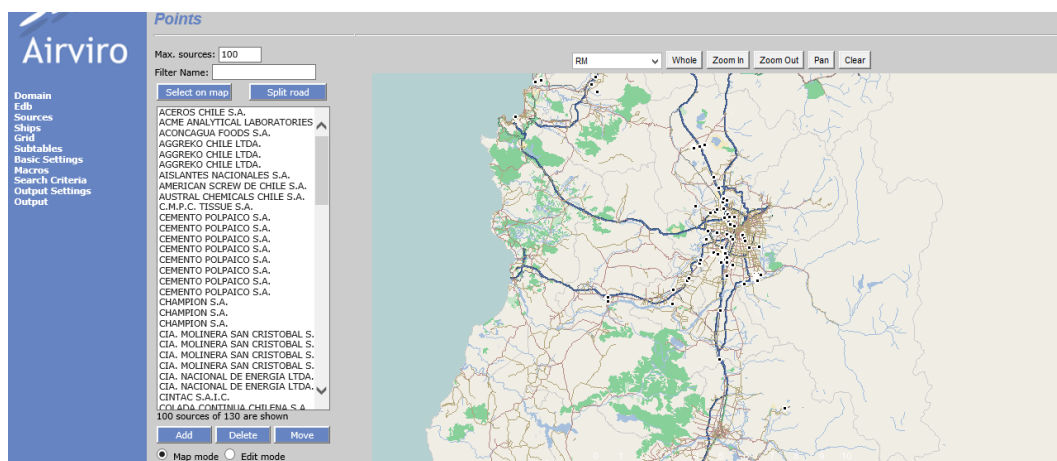
Tabla 30. Número de grupos y glosas sub-agrupados en cada sector de fuentes.

Sector	Grupos	Glosas
Generación eléctrica	1	4
Industria	9	18
Comercio	4	5
Residencias	4	9
Agricultura	2	2
Residuos	1	2
Vegetación	1	1
Transporte	5	Por definir

## Fuentes Puntuales.

Las fuentes industriales puntuales que generan el 50% de las emisiones de MP de la industria han sido georeferenciadas e ingresadas en el sistema Airviro. La plataforma computacional incluye el factor de emisión, el nivel de actividad (consumo de combustible, materia producida) y los perfiles diarios y mensuales de operación para calcular las emisiones de cada una de las fuentes. La Figura 59 muestra el mapa de la Región Metropolitana con la ubicación de las fuentes.

La base de datos correspondientes a las fuentes industriales fijas o puntuales en la Región Metropolitana, cuenta con aproximadamente 11 mil fuentes, de las cuales 123 corresponden al 50% de las mayores emisoras de MP del sector industrial. Con respecto a lo anterior se asumió esta característica separándolas con la categoría de “grandes emisoras”, estas han sido georeferenciadas e ingresadas en el sistema Airviro. A la plataforma computacional se le ingreso el factor de emisión correspondiente a cada sector industrial<sup>12</sup>, el nivel de actividad (consumo de combustible, materia producida) y los perfiles diarios y mensuales de operación para calcular las emisiones de cada una de las fuentes<sup>13</sup>. Adicionalmente, se incorporó la variación temporal de las emisiones, tanto mensual como diaria, o bien una serie de tiempo anual, según el estado de disponibilidad de la información.



**Figura 59 Representación del mapa de la Macro zona Chile en la plataforma Airviro, la cual incluye las 123 fuentes puntuales clasificadas como “grandes emisoras” dentro de la Región Metropolitana más una termoeléctrica correspondiente a Gener. También se adhieren 4 termoeléctricas, 2 fundiciones pertenecientes a la región de Valparaíso y una fundición de la sexta región.**<sup>14</sup>

<sup>12</sup> Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors

<sup>13</sup> Base de Datos facilitada por la Seremi de Salud 2012 y Decreto 138\_Declaración de emisiones.

<sup>14</sup> 131 Fuentes pertenecientes a la EDB “Fijas” en la Plataforma Airviro.

Las restantes 10.887 fuentes fueron distribuidas en grillas a nivel comunal. Estas fuentes, en las cuales se incluyen combustión de calderas residenciales y fuentes industriales pequeñas, entre otras, fueron sub-agrupadas a su vez en actividades, explicadas con mayor detalle en el capítulo 2 del presente informe.

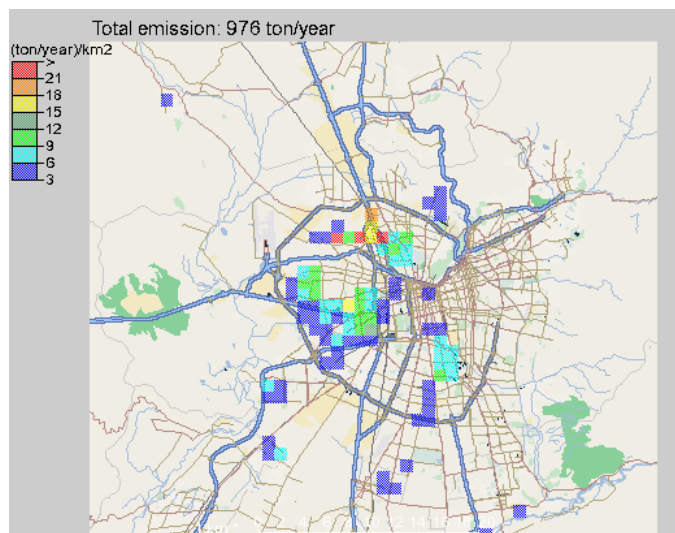


Figura 60. Ejemplo de distribución de fuentes fijas mediante uso de grillas. Se presenta la distribución de las fuentes clasificadas en el grupo “calderas industriales”.

#### *Fuentes Móviles.*

La estructuración de la base de datos para fuentes móviles se basó en la separación del transporte público (Transantiago), transporte privado en autopistas, calles principales, y resto de calles. Para cada una de las vías, se identificó la coordenada de inicio y término del arco, cada uno asociado a un código definido. Los factores de emisión, flujo vehicular, tipo de calle y variación temporal, fue asignado a cada una de estas fuentes. Las fuentes de calles principales, medianas y resto, debido a su mayor complejidad y número, serán ingresadas en formato de fuentes tipo grilla.

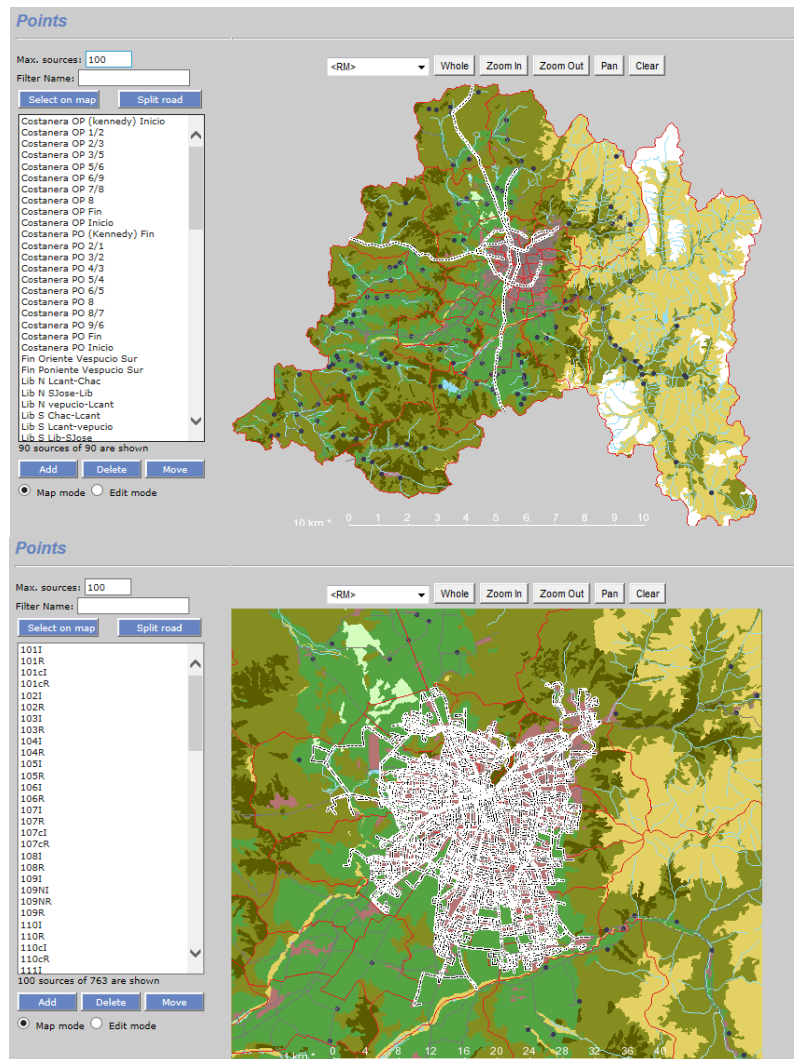


Figura 61. Representación de fuentes móviles (arco vial). Arriba: sub-sector de transporte privado en autopistas. Abajo: sub-sector de transporte público (Transantiago).

### Fuentes en Grillas.

Uno de los avances propuestos en el inventario actual, fue la integración de fuentes areales y/o puntuales dispersas sobre un área de gran tamaño, en capas de formato grilla. Esta consideración permite concentrar grandes números de fuentes, que están delimitadas a un área geográfica específica. Por ejemplo, en el caso del sector calefacción residencial, es posible estimar la cantidad de combustible utilizado a nivel comunal, por lo que es posible también estimar las emisiones en una grilla para cada comuna, relacionado a este tipo de fuente. Para cada capa de grilla (asociado a un sub-sector particular), existe información específica almacenada en cada celdilla, que en este caso se limitó a una resolución geográfica de 1 km por 1 km. Por defecto, la emisión en cada grilla fue distribuida dentro de cada comuna según la densidad poblacional, terreno agrícola u algún otro parámetro de distribución comunal.

Si bien es posible, como alternativa, asignar los datos a emisiones areales, la decisión de componer grillas para este tipo de fuentes se basó en las ventajas que provee en comparación a fuentes de área, como incremento en la velocidad de computación y modelación de emisiones, menores requerimientos en espacio de disco (generalmente un factor limitante), y mayor facilidad en una posterior actualización de los valores del inventario.

Otra diferencia, es que la emisión de la capa de grilla puede ser especificada para una sustancia o para un grupo de ellas (substance group). La ventaja de utilizar un grupo de sustancias, especialmente en fuentes industriales menores, es la aplicación de un factor de emisión directo al tipo de combustible, según la composición específica de cada uno (% de COV, NH<sub>3</sub>, MP, por ejemplo). Las sustancias contaminantes incluidas en la base de datos, son mostrados a continuación en la Tabla 3, junto al grupo de sustancias “combustible” (leña, diesel, gasolina, gas natural, según sea el caso de la emisión de la grilla).

**Tabla 31. Sustancias y grupo de sustancia relacionados a cada fuente en el EDB.**

Sustancias											Grupo de sustancias
MP <sub>10</sub>	MP <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Hct	HCNM	VOC	CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	combustible

Un resumen del número de archivos preliminares de datos, creados con la información de emisiones estimadas para cada sub-sector, es ilustrado a continuación en la Tabla 32. Como fue mencionado anteriormente, el archivo de fuentes industriales puntuales incluye las emisiones estimadas para las 123 fuentes “mayores”. Como ejemplo, del sector “generación eléctrica”, la central termoeléctrica existente en la región fue incluida en el archivo con las 123 fuentes puntuales regionales, mientras que las emisiones de los grupos electrógenos de diesel y gas natural, fueron incorporadas en dos archivos de grilla separados, uno para MP y otro para NO<sub>x</sub>.

**Tabla 32. Resumen del número de archivos de datos creados para cada sector, e integrados en el EDB preliminar.**

Sector	Número de Archivos		
	Tipo de fuente		
	Puntual	Lineal	Grilla
Generación eléctrica	1		2
Industria	1		6
Comercio			4
Residencias			10
Agricultura			2
Residuos			2
Vegetación			1
Transporte		3	3

### 5.3. Información empleada para estimar emisiones

La elección de la información empleada para estimar las emisiones correspondientes a los distintos sectores emisores en la Región Metropolitana, se basó en el objetivo de representar

adecuadamente las distintas fuentes de emisión de contaminantes, tanto en términos de nivel de actividad como en términos de su tecnología.

Para los niveles de actividad se emplearon distintas publicaciones nacionales, principalmente de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, de la Secretaría Regional Ministerial de Salud, del Ministerio de Agricultura, del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), del Sistema de Evaluación de Ambiental (SEA), de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), de la Dirección Nacional de Meteorología (DCM), del Ministerio de Obras Públicas y del Ministerio de Transportes, entre otros. Varias de estas publicaciones/encuestas son generadas periódicamente, otras han requerido un trabajo de actualización mediante distintos métodos mencionados en los respectivos sub-capítulos que prosiguen.

Los factores de emisión fueron recopilados de publicaciones internacionales, buscando en cada caso el que representara de mejor forma la tecnología presente en las fuentes de emisión de la RM. Se destaca el uso del documento guía de inventarios de emisiones (air pollutant emission inventory guidebook) publicada por la Agencia Europea del Medio Ambiente (EMEP/EEA) durante el 2013, como base en el uso de directrices y factores de emisión actualizados durante los últimos años.

En las páginas siguientes se podrá encontrar con la metodología de cálculo de emisiones para cada sub-sector, utilizando los registros de información mencionados, y los factores de emisión escogidos para cada fuente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Algoritmos. (2011). *Actualización memoria de cálculo de emisiones Aeropuerto Arturo Merino Benítez, año 2010*.
- Battye, R., Battye, W., Overcash, C., & Fudge, S. (1994). *DEVELOPMENT AND SELECTION OF AMMONIA EMISSION FACTORS, Final Report*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Cenma. (2011). *Actualización del Inventario de Emisiones de contaminantes atmosféricos en la región Metropolitana 2010*. Santiago.
- CONAMA. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*.
- Concawe. (2009). *Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries*.
- Davidson, C. A. (2004). *The Environmental Institute, Carnegie Mellon University, CMU Ammonia Model v.3.6*.
- Dickson, R. e. (1991). *Development of the Ammonia*. Sacramento CA: RADIANT Corporation.
- Dictuc. (2007). *Actualización del inventario de emsiones de contaminantes atomosféricos en la Región Metropolitana"*. Santiago.
- Dorn, J. (2009). *A weighted average emission factor calculated using data from the 2002 CMU Ammonia Model v.3.6*. E.H. Pechan & Associates.
- EGTEI. (2003). *Final Background Document on the sectors Car coating, Vehicle refinishing, Architectural and domestic use of paints, Coil coating, Wood coating, Truck and van coating, Truck cabin coating, Bus coating, Wire coating, Industrial application of paints*.
- EMEP. (2006). *Corinair Emission Inventory Guidebook, version 4 (2006 edition), Technical report No 11/2006*. European Environmental.
- EMEP/EEA. (2009). *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2009. Part B: sectoral guidance chapters. Chapter 6.B Waste water handling*. EMEP/EEA.
- EMEP/EEA. (2013). *emission inventory guidebook, Wastewater handling*.
- EMEP/EEA emission inventory guidebook. (2013). *Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles*.
- EMEP/EIA. (2013). *Non-road mobile sources and machinery*.
- EPA. (s.f.). *Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors*.
- EPA, U. (1996). *EPA consumer products survey*.
- European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). (s.f.). *Corinair Emission Inventory Guidebook, version 4 (2006 edition), Technical report No 11/2006*. European Environmental.

- FUNDACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA, C. P. (2008). *CONSULTORÍA PARA EL APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS MEDIDAS DEL PPDA EN TRANSPORTE Y COMBUSTIBLES*. Santiago.
- Geasur. (2013). *Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión*.
- Guether, & col., y. (2012). The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions. *Geoscience Model Dev.*, 1503-1560.
- IIASA. (2008). *Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies (GAINS) model*.
- INFRAS. (2010). *Handbook emission factors for road transport 3.1, Quick reference*.
- INFRAS. (2010). *Handbook emission factors for road transport 3.1. Quick Reference*.
- INIA. (1998). *Evaluación de las emisiones de amoníaco y riesgo de problemas sanitarios por presencia de vectores en planteles de engorda de cerdos*. Servicio Agrícola y Ganadero.
- Inventario Nacional de conaminantes de Australia. (Diciembre 2011). *National Pollutant Inventory. Emission estimation technique. Manual for combustion in boilers. Version 3.6*.
- Italian, I. (2012). *Informative Inventory report 2012*. Obtenido de [http://webdab1.umweltbundesamt.at/download/submissions2012/IT\\_IIR2012.zip?cgi\\_proxy\\_skip=1](http://webdab1.umweltbundesamt.at/download/submissions2012/IT_IIR2012.zip?cgi_proxy_skip=1)
- Klimont Z, B. C. (2004). *Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe*. Final Report submitted to The Royal Ministry of Environment, Oslo, Norway [2004].
- Klimont, Z. (2001). Current and Future Emissions of Ammonia in China. *Annual Emission Inventory Conference*. 2361 Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
- Langner, J. E. (2012). A multi-model study of impacts of climate change on surface ozone in Europe. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 10423-10440.
- Lauretis, D. (1999). *Personal communication (emission factor/inhabitant)*. Rome, Italy.
- Luebert, F. P. (2006.). Sinópsis bioclimática y vegetacional de Chile. *Editorial Universitaria.*, 316 pp.
- Ministerio de Planificación, Programa de Vialidad y Transporte Urbano, SECTRA. (2010). *Análisis y desarrollo de ciclos de consucción por categoría vial para Santiago*. Julio.
- Norwegian, I. (2012). *Informative Inventory report 2012*. Obtenido de [http://webdab1.umweltbundesamt.at/download/submissions2012/NO\\_IIR2012.zip?cgiproxy\\_skip=1](http://webdab1.umweltbundesamt.at/download/submissions2012/NO_IIR2012.zip?cgiproxy_skip=1)
- Pain, B. F. (1998). A new inventory for ammonia emissions from UK agriculture. *Atmospheric Environment* 32, 309-313.



- POCH Ambiental. (2006). *Evaluación de las Emisiones de Amoniacó, Actividades Ganaderas RM*. SAG.
- Radian Corporation. (1991). *Development of the Ammonia Emission Inventory for the Southern California Air Quality Study*.
- Samara Carbone, S. S. (2013). Chemical characterization of submicron aerosol particles in Santiago de Chile. *Aerosol and Air Quality Research*, 12.
- SECTRA. (2010). *Análisis y desarrollo de ciclos de conducción por categoría vial para Santiago*. Julio.
- Sectra; Dictuc. (2010). *Actualización metodológica MODEM-MODEC para el Gran Santiago*.
- SEREMI de Salud. (2012). *Base de datos de Fuentes fijas Industriales para la Región Metropolitana*.
- SISTAM. (2013). *DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE REGISTRO DE EMISIONES DE AMONIACO (NH3) CON ACTUALIZACIÓN PERIÓDICA PARA LA REGIÓN METROPOLITANA*. SAG.
- Sistam Ingeniería. (2013). *“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE REGISTRO DE EMISIONES DE AMONIACO (NH3) CON ACTUALIZACIÓN PERIÓDICA PARA LA REGIÓN METROPOLITANA*. Subsecretaría del Medio Ambiente.
- Stephen M. Roe, M. D. (2004). *Estimating Ammonia Emissions from Anthropogenic Nonagricultural Sources – Draft Final Report*. U.S. Environmental Protection Agency, Emission Inventory Improvement Program.
- Swiss, I. (2012). *Informative Inventory report 2012*. Obtenido de [http://webdab1.umweltbundesamt.at/download/submissions2012/CH\\_IIR2012.zip?cgiproxy\\_skip=1](http://webdab1.umweltbundesamt.at/download/submissions2012/CH_IIR2012.zip?cgiproxy_skip=1)
- tecnológica, F. p. (2008). *CONSULTORÍA PARA EL APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS MEDIDAS DEL PPDA EN TRANSPORTE Y COMBUSTIBLES*. Santiago.
- Theloke, J. (2005). *Emissionen aus der Lösemittelanwendung und Möglichkeiten zu ihrer Minderung*. Fortschritt-Berichte.
- Tzanidakis, K. K. (2012). Variations in emission rates from solvent use in the residential sector: The case of Greece. *Environ, Sci. Technol.*, 173-182.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1999). *Wastewater Flow Projections for POTWs and Privately and Federally Owned Treatment Works in 2000, 2005, and 2010. Table A-8 in Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States, EPA530-R-99-009*. U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency. (19 de 05 de 2009). *Clean Watersheds Needs Survey, Ask WATERS Online Database Query Tool*. Obtenido de [http://iaspub.epa.gov/waters10/query\\_tool.criteria?srept\\_no=165&branding=15](http://iaspub.epa.gov/waters10/query_tool.criteria?srept_no=165&branding=15)

- U.S. Environmental Protection Agency. (2009). *Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2008*, "Table 1. Generation and Recovery of Materials in MSW, 2008. U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency. (s.f.). *AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 2: Solid Waste Disposal*.
- U.S. EPA. (2005). *National Emission Inventory – Ammonia Emissions from Animal Agricultural Operations, Revised Draft Report*.
- UDT, U. d. (2008). *DIAGNÓSTICO PARA LA DEFINICIÓN DE CONTROL DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) A NIVEL INDUSTRIAL Y RESIDENCIAL*. Concepción.
- UK Inventory. (s.f.). United Kingdom Air Pollutant Emission Inventory. 2004.
- UK NAEI. (14 de Octubre de 2013). *National Atmospheric Emissions Inventory*. Obtenido de <http://naei.defra.gov.uk/>
- US EPA. (2004). *National Emission Inventory - Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operation Draft Report*. US EPA.
- US EPA. (2005). *AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 2: Solid Waste Disposal, 2.4 "Municipal Solid Waste Landfills"* de *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. US EPA.
- US EPA. (05 de 2005). *Landfill Gas Emission Model version 3.02*. US EPA.
- Wiedinmyerm, & col., y. (2011). The fire inventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning. *Geoscience, Model Dev*, 625-641.
- Yueting, X. J. (2008). The temporal changing information extraction on spectral reflectance and growth parameters of typical crops. . *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII PartB7.

## 6. ANEXO 1. Metodología utilizada, factores de emisión y niveles de actividad

### 6.1. Metodología de cálculos en fuentes Industriales

En el siguiente capítulo se da muestra de las emisiones  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $SO_x$ ,  $NO_x$  y CO para procesos industriales correspondientes a las fuentes fijas puntuales correspondientes al 50% del total de los mayores emisores contaminantes de la industria en la región Metropolitana considerando la base de datos proporcionada por la Seremi de Salud 2012 y por el Decreto n°138 del Ministerio de Salud “Declaración de emisiones”, identificando así el proceso, cantidad de toneladas producidas al año y metros cúbicos de combustible consumidos para ejecutar los procesos. Además se identificaron los factores de emisión para cada uno de ellos en el **AP-42, Quinta edición “Compilación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos, Volumen 1: fuentes estacionarias puntuales y de Área”**, con el objetivo de realizar el cálculo matemático y obtener la emisión precisa de dichos contaminantes en unidad de Toneladas anuales. Los procesos fueron divididos en Calderas Industriales y Otros procesos industriales. En los casos donde las fuentes cuentan con equipos de control de emisión se consideró la eficiencia de abatimiento para cada proceso, tal como se muestra en la Tabla 1 del Anexo 1.

#### 6.1.1 Fuentes Industriales Puntuales

Para los cálculos de emisiones se consideró la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$E_c = A \cdot FE \cdot \frac{(1 - EA)}{100}$$

Donde,

$E_c$ : Emisión en [Ton/año]

A: Nivel de actividad [Ton de materia producida/año]

EA: Eficiencia de Abatimiento [%]

FE: Factor de emisión [Kg/Ton producida al año].

*Calderas Industriales en base a distintos combustibles:*

A continuación se muestran los distintos factores de emisión correspondientes a Calderas Industriales obtenidos del AP-42 de la EPA, como también los consumos de cada tipo de combustible del “Decreto nº138-Declaración de Emisiones”, en caso de encontrarse vacío se utilizó como segunda opción el dato disponible en la base de datos Ffijas de la Seremi de Salud 2012, cabe destacar que el dato de combustible consumido se muestra en unidades de kg de combustible consumido anualmente, mientras que en las bases de datos se daba a conocer en unidades de m<sup>3</sup> por lo que se realizó una conversión con la unidad de densidad de cada tipo de combustible, es decir [kg/m<sup>3</sup>].

a) Gas Natural:

**Tabla 33. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, en unidades de [kg/kg de GN consumido]. La última columna muestra el combustible total consumido anualmente por las calderas industriales**

Proceso	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	Combustible Consumido[kg de GN/Año]
Caldera Industrial En Base A Gas Natural <sup>15</sup>	1,6x10 <sup>-4</sup>	1,6x10 <sup>-4</sup>	5,95x10 <sup>-3</sup>	2,17x10 <sup>-4</sup>	1,82x10 <sup>-3</sup>	31.275.108

b) Petróleo 6

**Tabla 34. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, en unidad de [kg/kg de Pet6]; La última columna muestra el combustible consumido anualmente por las calderas industriales.**

Proceso	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	Combustible consumido [kg/Año]
Caldera Industrial En Base a Petróleo 6. <sup>16</sup>	1,56x10 <sup>-3</sup>	1,29x10 <sup>-3</sup>	6,76x10 <sup>-3</sup>	3,01x10 <sup>-3</sup>	8x10 <sup>-5</sup>	2.006.000

c) Diésel (Petróleo 2)

**Tabla 35. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, en unidades de [kg/kg de Petróleo 2].**

Proceso	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	Comb. Consumido[kg de Pet2/Año]
Caldera Industrial En Base A Petróleo 2 <sup>17</sup>	3x10 <sup>-5</sup>	1,4x10 <sup>-3</sup>	2,83x10 <sup>-3</sup>	4,2x10 <sup>-3</sup>	7,1x10 <sup>-4</sup>	711.874.304

<sup>15</sup> (SCC 20100201); AP-42 de la EPA , Stationary Gas Turbines.

<sup>16</sup> (SCC 1-01-005-01); AP-42 de la EPA, Cap. 1.3, Tabla 1.3-1

<sup>17</sup> (SCC 1-01-005-01); AP-42 de la EPA, Cap. 1.3, Tabla 1.3-1

d) Carbón

Tabla 36. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, todos en unidad de [kg/kg de carbón consumido].

Proceso	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	Comb. Consumido[kg de Pet2/Año]
Caldera Industrial En Base A Carbón. <sup>18</sup>	1,12x10 <sup>-3</sup>	2,96x10 <sup>-3</sup>	3,75x10 <sup>-3</sup>	5,51x10 <sup>-2</sup>	3x10 <sup>-3</sup>	17.768.689

RESUMEN DE CALDERAS INDUSTRIALES:

Tabla 37. Total de emisiones correspondientes a las fuentes fijas correspondientes a Calderas Industriales con distintos combustibles de consumo en la Región Metropolitana.

Calderas industriales	MP <sub>2,5</sub> [Ton/Año]	MP <sub>10</sub> [Ton/Año]	NO <sub>x</sub> [Ton/Año]	SO <sub>x</sub> [Ton/Año]	CO[Ton/Año]
Carbón Bituminoso	1	2	217	707	39
Petróleo #6	0,2	1	19	28	5
Diesel	0,2	0,9	4	6	1
Gas Natural	5,5	5,5	206	10	58
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>446</b>	<b>751</b>	<b>103</b>

---

<sup>18</sup> (SCC 1-01-002-12); AP-42 de la EPA, Cap. 1.3, Tabla 1.3-1

### Procesos industriales

Para las fuentes industriales que no son calderas, se destacan los grupos: “Industria de productos minerales”, “Industria de Alimentos y Agricultura”, “Procesos siderúrgicos”, como también “Otros Procesos Industriales”. Los datos de nivel de actividad fueron obtenidos de la Declaración de Emisiones mediante el Decreto n° 138 del Ministerio de Salud.

**Tabla 38. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, en unidades de [kg/Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondiente a la industria del Cemento.**

Proceso (Grandes Industrias)	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	Nivel de actividad[Ton materia producida/Año]	Eficiencia de Abatimiento[%]
Alimentación con crudo a molino con filtro de manga. <sup>19</sup>	0,435	0,7	0,255	0,6	0,4	240.705	95
Horno rotatorio de proceso húmedo con Filtro de Mangas <sup>20</sup>	0,103	0,084	2,1	0,54	1,8	603.568	0

**Tabla 39. Factores de emisión correspondientes a distintos contaminantes, en unidades de [kg/Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondiente a la industria de ladrillos.**

Proceso (Grandes Industrias)	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	Nivel de actividad[Ton materia producida/Año]	Eficiencia de Abatimiento[%]
Secador de Ladrillo <sup>21</sup>	0,0385	ND	0,049	ND <sup>22</sup>	0,155	250.344	0
Hornos de cocción en base a carbón con filtro mangas <sup>23</sup> .	0,435	0,7	0,255	0,6	0,4	240.705	95

<sup>19</sup> (SCC 3-05-006-24); AP-42 de la EPA, Cap. 11.6, Tabla 11.6-3.

<sup>20</sup> (SCC 3-05-006-06); AP-42 de la EPA, Cap. 11.6, Tabla 11.6-2

<sup>21</sup> (SCC 3-05-003-50, -51); Referencia EPA-42, Cap. 11.3, Tabla 11.3-1

<sup>22</sup> ND: No está definido en el AP-42.

<sup>23</sup> (SCC 3-05-003-13); Referencia EPA 42, Cap. 11.3, Tabla 11.3-1

**Tabla 40. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, todos en unidad de [kg/Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondientes a la industria del Vidrio.**

Proceso (Grandes Industrias)	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	Nivel de actividad[Ton materia producida/Año]	Eficiencia de Abatimiento[%]
Hornos de Fundición Cristalerías Chile <sup>24</sup>	0,6	0,7	3,1	1,7	0,1	262.904	96
Horno de Fundición Cristalerías Toro <sup>25</sup>	0,6	0,7	3,1	1,7	0,1	62.193	95

**Tabla 41. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, todos en unidad de [kg/Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondientes a la industria de la Cal.**

Proceso (Grandes Industrias)	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	Nivel de actividad[Ton materia producida/Año]	Eficiencia de Abatimiento[%]
Horno Rotatorio con Precipitador electrostático. <sup>26</sup>	0,06	2,3	1,6	2,7	0,74	262.904	0

**Tabla 42. Factores de emisión de MP de algunos procesos de grano.**

Proceso (Grandes Industrias)	MP <sub>10</sub> [Kg/Ton material producido]	Nivel de actividad[Ton materia producida/Año]	Eficiencia de Abatimiento[%]
Enfriador de Pellet	0,006 <sup>a</sup>	157.900	75
Manipulación de granos por medio de cinta transportadora	0,0305 <sup>b</sup>	72000	95
Tamización	0,006 <sup>c</sup>	173736	0
Filtro de grano	0,0375 <sup>e</sup>	660.000	95

<sup>24</sup> (SCC 3-05-014-02); Referencia EPA-42, Cap. 11.15, Tabla 11.15-1

<sup>25</sup> (SCC 3-05-014-02); Referencia EPA- 42, Cap. 11.15, Tabla 11.15-1

<sup>26</sup> (SCC 3-05-016-18); Referencia EPA-42, Cap. 11.17, Tabla 11.17-1

**Tabla 43. Factores de emisión correspondiente a distintos contaminantes, todos en unidad de [kg/kg de Material producido]; Nivel de actividad y Eficiencia de abatimiento para procesos correspondientes a la Industria Siderúrgica.**

Proceso (Grandes Industrias)	MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	Nivel de actividad[Ton materia producida/Año]	Eficiencia de Abatimiento[%]
Horno de Arco Eléctrico (MP <sub>2,5</sub> )	8,17 <sup>a</sup>	11,02	ND	ND	4,3	9.600	95
Tratamiento térmico	0,28	0,83	ND	ND	22	1.647	0

#### Resumen de Procesos Industriales:

**Tabla 44. Total de emisiones correspondientes a las fuentes fijas correspondientes distintos Sectores Industriales en la Región Metropolitana.**

Sector Industrial	MP <sub>10</sub> [Ton/Año]	MP <sub>2,5</sub> [Ton/Año]	NO <sub>x</sub> [Ton/Año]	SO <sub>x</sub> [Ton/Año]	CO[Ton/Año]
Productos minerales	91	80	1.435	1.108	302
Alimentos y Agricultura	32	29	ND	ND	ND
Procesos Siderúrgicos	115	96	10	ND	422
Otros	86	86	297	107	66
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>291</b>	<b>1.742</b>	<b>1.215</b>	<b>790</b>

En los datos de la Tabla 44 se consideraron los procesos de las fuentes correspondientes a distintos procesos industriales de los cuales se obtuvo información de nivel de actividad en la base de datos del Decreto nº138 del ministerio de salud – “Declaración de Emisiones” para realizar el cálculo de manera precisa y fidedigna, algunos datos de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y CO fueron omitidos en esta tabla ya que el dato de nivel de actividad se encontraba vacío y/o el proceso de la fuente no era claro para identificar su factor de emisión correspondiente, por lo que los datos de emisión MP<sub>10</sub> para estas fuentes fueron tomados directamente de la Fuente proporcionada por la seremi de salud en el año 2012 y se asumieron como MP<sub>2,5</sub> por los motivos que se detallan a continuación.

Con respecto al aporte total de MP<sub>2,5</sub> correspondiente a las fuentes puntuales de la Industria de procesos minerales, en particular a la cementera la contribuye exclusivamente la empresa *Cementos Polpaico*, para la industria de Cal *Soprocal Calerías e Inds. S.A.* y la Industria de Ladrillos *Princesa S.A.* En el caso de la Industria de yeso el aporte es en conjunto por parte de Cia. Ind. El Volcán y Soc. Ind. El Romeral, en La Industria del vidrio corresponde a



Cristalerías de Chile y Cristalerías toro S.A.I.C. Al tratarse de minerales no metálicos, dentro de los procesos presentes se encuentran la molienda, los harneros, descarga en tolvas y silos por lo que la diferencia entre  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$  se desprecia, es por esto que se asume lo ya citado. Al respecto de “Alimentos”, los procesos se refieren exclusivamente al tratamiento de granos en molienda y tamizado por lo que también se asume que todo el  $MP_{2,5}$  es  $MP_{10}$ .

### *Metodología de cálculos en pequeñas fuentes*

Es este apartado se detalla la metodología y consideraciones que se tuvieron en cuenta para el manejo de la base de datos de la industria, considerando aquellas fuentes fijas industriales que tienen menor emisiones (consideradas como fuentes fijas grupales), las cuales se corresponden con aproximadamente el 50% de las emisiones de  $MP_{10}$ .

Para este análisis se tuvo en cuenta la base de datos de Fuentes Fijas proporcionada por la SEREMI de Salud para el año 2012. En este caso, y a diferencia con el análisis y estudio de las fuentes industriales puntuales, no se tuvo en cuenta el Decreto nº138 del Ministerio de Salud “Declaración de emisiones”, ya que, tras el análisis de dicha base, se observó falta de datos en los consumos de combustible de las fuentes, numerosas celdas vacías a la vez que una incompleta información en la definición del combustible utilizado. Por todo ello se consideró la base de datos de Fuentes Fijas más completa para el análisis de datos industriales grupales.

En el análisis de las Fuentes Fijas Pequeñas, se clasificaron 3 grandes categorías, atendiendo al tipo de proceso de cada industria: 1. Calderas de calefacción; 2. Calderas Industriales; y 3. Grupos Electrógenos. Hay una última categoría denominada “Otros procesos” en la cual se incluyen el resto de procesos industriales, ya que son procesos muy variados y no sería viable clasificar y estudiar uno a uno.

Atendiendo a la clasificación anterior, se formaron unas subcategorías dependiendo del combustible que las calderas o grupos electrógenos utilizan. Las categorías 1 (Calderas de Calefacción) y 2 (Calderas Industriales) se dividieron a su vez según el combustible utilizado: Diésel, Gas Natural, Gas Licuado del Petróleo o Kerosene. Referente a la categoría 3 (Grupos electrógenos) se formaron dos subcategorías, según si utilizaban Combustible Petróleo Diésel o Gas Natural para su funcionamiento. Para la categoría 4 (Otros procesos) no se distinguieron más categorías, y se tomó el valor estimado de emisión por la SEREMI de Salud para  $MP_{10}$ .

Se consideró como nivel de actividad el consumo de combustible de cada industria. Los datos utilizados fueron a partir de las estimaciones realizadas para el año 2012 por la Secretaría Regional Ministerial de Salud (SEREMI). Estas estimaciones incluían el consumo de combustible, en número de horas diarias y días de año que funcionaban los equipos, entre otros.

Para las calderas (tanto industriales como de calefacción) que utilizan gas natural como combustible se ha tenido que seguir otro método, ya que el consumo del gas otorgado por la SEREMI no concuerda con las ventas de combustible que se encuentran en los datos oficiales dados por el Estado, siendo las de la base de datos mayor que la de la venta (excede en más de 400 mill. de  $m^3$ ). Por lo tanto, se ha tomado el consumo de combustible de Gas Natural ofrecido en la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA, 2011). A partir de ahí se ha hecho una

estimación de consumo para cada una de las fuentes, más coherente que los datos dados por la SEREMI de Salud.

Los factores de emisión utilizados son los reportados por la EPA (EPA) (*“Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors”*) y los utilizados de Australia (Inventario Nacional de conaminantes de Australia, Diciembre 2011) (*“National Pollutant Inventory. Emission estimation technique manual For Combustion in boilers. Version 3.6. December 2011”*).

### *Calderas de Calefacción*

#### **I. Diésel**

Este apartado analiza las fuentes fijas industriales englobadas en el grupo de fuentes industriales que tienen un menor consumo de combustible.

A partir de la base de datos de las fuentes fijas industriales de la Región Metropolitana, proporcionada por el SEREMI de Salud para el año 2012, se agruparon todas las calderas industriales que utilizan Petróleo Diésel como combustible. Al año objeto de estudio, estaban registradas un total de 557 calderas de calefacción Diésel. Todas estas calderas supusieron un consumo de 57.000 toneladas de combustible.

Los factores de emisión considerados fueron tomados a partir de los proporcionados por la EPA AP 42 (EPA). En la tabla a continuación, se definen el valor de los factores de emisión considerados y su nivel de actividad.

**Tabla 45. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad total en la R.M para la categoría calderas de calefacción subcategoría combustible diésel.**

<b>Contaminante</b>	<b>Factor de emisión (kg/l)</b>	<b>Fuente</b>	<b>Nivel de Actividad</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	$2,4 \times 10^{-3}$	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
<b>MP</b>	$2,4 \times 10^{-4}$	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
<b>HNM</b>	$2,4 \times 10^{-5}$	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
<b>COV</b>	$2,55 \times 10^{-5}$	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
<b>CO</b>	$0,6 \times 10^{-3}$	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
<b>CO<sub>2</sub></b>	2,676	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI

#### **II. Gas Natural**

Se agruparon todas las calderas de calefacción a Gas Natural de la Región Metropolitana. Para el año 2012 había un total de 4645 calderas que utilizan este tipo de combustible. Dentro de las fuentes industriales grupales consideradas, este grupo es el que presenta un mayor número de fuentes. Como se indicó anteriormente, el consumo de cada una de las fuentes ha sido estimado a partir del consumo de gas natural total industrial dado por la encuesta ENIA.

Los factores de emisión utilizados son los descritos en el inventario nacional de contaminantes de Australia (Inventario Nacional de conaminantes de Australia, Diciembre 2011).

Los factores de emisión y el nivel de actividad tenidos en cuenta se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 46. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas de calefacción subcategoría combustible Gas Natural**

Contaminante	Factor de emisión (kg/m <sup>3</sup> )	Fuente	Nivel de Actividad
NO <sub>x</sub>	1,7x10 <sup>-3</sup>	Inventario Nacional de contaminantes de Australia	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
MP	1,23x10 <sup>-4</sup>	Inventario Nacional de contaminantes de Australia	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
COV	9,15x10 <sup>-5</sup>	Inventario Nacional de contaminantes de Australia	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO	1x10 <sup>-3</sup>	Inventario Nacional de contaminantes de Australia	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI

### III. GLP

Este grupo presenta un total de 390 fuentes registradas, lo que representa un total aproximado de 20.000 toneladas de combustible consumidas para el año 2012. Los factores de emisión considerados para este grupo fueron tomados de la EPA AP 42 (EPA) .

**Tabla 47. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas de calefacción subcategoría combustible Gas Licuado del Petróleo.**

Contaminante	Factor de emisión (kg/m <sup>3</sup> )	Fuente	Nivel de Actividad
NO <sub>x</sub>	2,5	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
MP	0,07	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO	0,42	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO <sub>2</sub>	1.760	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI

## Calderas Industriales

### I. Diésel

Dentro del segundo gran grupo referente a las calderas industriales, un total de 259 fuentes registradas corresponden a aquellas que utilizan petróleo diésel como combustible. Dichas fuentes tuvieron un consumo aproximado de 100.000 toneladas de combustible para el año 2012.

Los factores de emisión utilizados para calcular las emisiones, vienen detallados a continuación, y fueron tomados de la EPA AP 42 (EPA). El nivel de actividad considerado es el consumo de combustible que la SEREMI de Salud estimó en el año 2012.

**Tabla 48. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas industriales subcategoría combustible Diésel.**

Contaminante	Factor de emisión (kg/l)	Fuente	Nivel de Actividad
NO <sub>x</sub>	2,4x10 <sup>-3</sup>	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
MP	2,4x10 <sup>-4</sup>	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
HNM	2,4x10 <sup>-5</sup>	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
COV	2,55x10 <sup>-5</sup>	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO	0,6x10 <sup>-3</sup>	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO <sub>2</sub>	2.676	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI

## II. Gas Natural

Al igual que ocurría en las calderas de calefacción, el combustible más utilizado en las calderas industriales es el Gas Natural. Las calderas industriales que usan este gas son las más numerosas de esta categoría, con un total de 308 fuentes registradas. Como se indicó más arriba, el consumo de las fuentes registradas de gas natural se estimó a partir de los datos oficiales (ENIA, 2011).

Los factores de emisión que se utilizaron corresponden al inventario de Australia (Inventario Nacional de conaminantes de Australia, Diciembre 2011). El nivel de actividad considerado es el consume de combustible para cada fuente fija registrada.

**Tabla 49. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas de calefacción subcategoría combustible Gas Natural**

Contaminante	Factor de emisión (kg/m <sup>3</sup> )	Fuente	Nivel de Actividad
NO <sub>x</sub>	1,7x10 <sup>-3</sup>	Inventario Nacional de contaminantes de Australia	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
MP	1,23x10 <sup>-4</sup>	Inventario Nacional de contaminantes de Australia	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
COV	9,15x10 <sup>-5</sup>	Inventario Nacional de contaminantes de Australia	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO	1x10 <sup>-3</sup>	Inventario Nacional de contaminantes de Australia	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI

### III. GLP

Las calderas industriales que utilizan como combustible el Gas Licuado del Petróleo son un total de 144 fuentes registradas. El consumo de combustible registrado por la SEREMI de salud al año 2012 fue de 74.000 toneladas aproximadamente.

Los factores de emisión tenidos en cuenta son los presentados por la EPA AP-42 (EPA) y el nivel de actividad considerado es el consumo de combustible.

**Tabla 50. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría calderas industriales subcategoría combustible Gas Licuado del Petróleo.**

Contaminante	Factor de emisión (kg/m <sup>3</sup> )	Fuente	Nivel de Actividad
NO <sub>x</sub>	2,5	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
MP	0,07	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO	0,42	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO <sub>2</sub>	1.760	EPA AP 42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI

### *Grupos electrógenos*

#### I. Diésel

La categoría referida a los grupos electrógenos que utilizan combustible diésel está formada por un total de 1.174 fuentes registradas para el año 2012. Su consumo aproximadamente fue de casi 34.000 toneladas de combustible, ya que muchos de estos grupos son grupos electrógenos de emergencia o de respaldo funciona solamente unas determinadas horas al año.

Los factores de emisión vienen detallados a continuación, y fueron tomados de la EPA AP 42 (EPA). El nivel de actividad considerado fue, al igual que en el resto de las categorías, el consumo de combustible estimado por la SEREMI (SEREMI de Salud, 2012), referido a cada fuente en particular.

Tabla 51. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad en la R.M para la categoría Grupos electrógenos subcategoría combustible Diésel.

Contaminante	Factor de emisión (lb/MMBtu)	Fuente	Nivel de Actividad
NOx	0,441	EPA AP-42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
MP <sub>2,5</sub>	0,029	EPA AP-42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
COV	0,031	EPA AP-42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO	0,095	EPA AP-42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
BC	0,035	EPA AP-42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI
CO <sub>2</sub>	16,4	EPA AP-42	Consumo de combustible facilitado por la SEREMI

*“Otros procesos”*

Dentro del grupo denominado *Fuentes Industriales Grupales*, hay un grupo llamado *Otros Procesos* el cual, debido a su gran variedad en procesos, no ha sido viable su estudio detallado. Por lo tanto, se ha tomado en cuenta la emisión de MP<sub>10</sub> que fue entregada por la SEREMI de Salud.

<b>Nº FUENTES</b>	<b>3.074</b>
<b>EMISIÓN PM<sub>10</sub> Ton/año</b>	<b>246,4</b>

Este grupo presenta un total de 3.074 fuentes registradas, cuya emisión en MP<sub>10</sub> es un total de 246,4 Ton/año. Se han desagregado dichas fuentes, agrupando las que presentan procesos similares para ver cuántas son y cuánto aportan en emisión respecto a la emisión total del grupo. Los resultados están descritos en la tabla a continuación:

Tabla 52. Emisiones PM10 estimadas por la SEREMI de Salud.

FUENTES SIMILARES	Nº FUENTES	EMISIÓN MP10 Ton/año	% Respecto del grupo
HORNOS PANIFICADORES	1.559	15	6%
CABINA PINTURA	250	40	16%
HORNOS PINTURA	101	6	2%
RESTO HORNOS	519	47,3	19%
MOLINOS	47	12,9	5%
SECADOR	70	15	6%
SISTEMAS EXTRACCIÓN	56	12	5%
<b>Total</b>	<b>2.602</b>	<b>148,2</b>	<b>60%</b>

Las 472 fuentes restantes comprenden una amplia variedad de procesos que dificulta aún más su agrupación. Éstas emiten 98,2 Ton MP<sub>10</sub>/año, responsables del 40% de emisiones del grupo de *Otros Procesos*.

## 6.2. Fuentes Residenciales

Las emisiones residenciales se generan cuando se quema algún tipo de combustible en viviendas particulares, ya sea para los usos de calefacción, calentar agua o la cocción de alimentos. A continuación se describe la metodología de cálculo utilizada, los factores de emisión y el número de estufas residenciales.

Los combustibles que se estudian en esta sección son los que se indican a continuación:

**Tabla 53. Combustibles asociados a las emisiones provenientes de la combustión residencial**

Combustibles residenciales
a) Leña
b) Parafina o Kerosene
c) Gas licuado GLP
d) Gas natural GN
e) Gas de ciudad – gas propano diluido GPD

Las emisiones se obtienen multiplicando el consumo anual asociado a cada combustible por un factor de emisión, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E_c = FE_c \times A_c \quad (1)$$

Donde:

$E_c$  : Emisiones del contaminante “c” en estudio [ton/año]

$FE_c$  : Factor de emisión del contaminante “c” en estudio, en función del tipo de combustible (ton/kg) utilizado.

$A_c$  : Nivel de actividad para el contaminante “c”, definido por el consumo anual de combustible [kg/año] respecto a la distribución espacial de las emisiones generadas por la combustión. El nivel de actividad se determina para cada comuna de la Región Metropolitana.

### 6.2.1 Metodología de cálculo en las emisiones de Leña

Las emisiones de MP<sub>10</sub> provenientes del uso de leña en calefacción y cocina se obtienen de la siguiente ecuación:

$$E_{ca} = FE_{ca} \times N_a \times A_c \times M_h \times M_o \times M_l \quad (2)$$

Donde:

$E_{ca}$  : Emisiones del contaminante “c” provenientes del artefacto “a” [ton/año]

$FE_{ca}$  : Factor de emisión del contaminante “c” para el artefacto “a” para la leña (ton/kg).

$N_a$  : Número de artefactos del tipo “a” en cada comuna.

$A_{ca}$  : nivel de actividad para el contaminante “c” y el artefacto tipo “a” definido por el consumo anual de combustible [kg/año] para ese artefacto.

Diversos estudios indican que la mayor parte de las emisiones de Material Particulado<sup>27,28,29</sup> de la leña corresponden a MP<sub>2,5</sub>, en que este último representa una fracción entre 90% y 99% del MP<sub>10</sub>. Por ello, en este estudio, se utilizará un valor intermedio de 95%. Todos los cálculos se hacen para MP<sub>10</sub> y el 95% de este resultado corresponde a MP<sub>2,5</sub>.

El nivel de actividad se determina para cada tipo de artefacto y es el mismo para todas las comunas. El nivel de actividad se obtiene a partir de encuestas. Para este inventario se utilizaron los resultados del estudio: PROPUESTA DE MEDIDAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA LEÑA EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO realizado por la CDT el año 2012. El nivel de actividad se obtuvo calculando el promedio anual de uso de leña en la Región Metropolitana para cada artefacto. Los resultados son:

**Tabla 54. Consumo promedio anual de leña por artefacto en la Región Metropolitana**

Artefacto	Consumo anual (kg)
Salamandra	1.256
Simple	1.301
Templador <sup>1</sup>	1.315
Chimenea	3.584
Pellet	1.345
Otros	1.724
Cocina	2.762

<sup>1</sup>Ver definiciones al final de esta sección.

$M_h$ : Modificador relacionado con la humedad de la leña. El factor varía entre 1 y 2 dependiendo de la humedad de la leña. Unidad: adimensional. Nota: la leña que es considerada seca tiene entre un 16 y 20% de humedad, y la mayoría de los estudios se realizan con leña entre 16 y 20% de humedad. En casos excepcionales, la leña tiene un 10% de humedad.

**Tabla 55. Factor multiplicativo H, para las emisiones de acuerdo a la humedad de la leña**

Humedad (%)	Factor	Referencia
10	0,83	Environment Ontario <sup>(a)</sup>
20	1	Environment Ontario <sup>(a)</sup>
30	1,25	Environment Ontario <sup>(a)</sup>

<sup>27</sup> AP-42 y referencias mencionadas en este informe.

<sup>28</sup> "Residential Wood Combustion— PM2.5 Emissions", James E. Houck and Paul E. Tiegs, OMNI Environmental Services, Inc. 5465 SW Western Avenue Beaverton, Oregon 97005, <http://www.omni-test.com/publications/westar.pdf>

<sup>29</sup> Fine particle emissions from combustion of wood and lignite in small furnaces., Michal Branc, Jiri Horak, Tadeas Ochodek, Environment Protection Engineering, (2011) Vol 37, 123 – 132.



40	1,58	Environment Ontario <sup>(a)</sup>
50	2,0	Environment Ontario <sup>(a)</sup>

- a. Environment Ontario, "EVALUATION OF METHODS TO DETERMINE THE IMPACT OF RESIDENTIAL WOOD BURNING ON AMBIENT AIR QUALITY", R. A. C. PROJECT NO. 426C, <http://archive.org/details/evaluationofmeth00yanduoft>

$M_o$ : Modificador relacionado con la operación del artefacto. Este factor se origina del hecho que cuando la entrada de aire es baja, se produce combustión con poco oxígeno y lo por tanto las emisiones aumentan. Se usarán los mismos factores que los utilizados en estudio "Análisis Detallado de Medidas para Incorporar al Plan de Descontaminación por  $MP_{2,5}$  de Temuco y Padre Las Casas" del año 2013.

**Tabla 56. Modificador relacionado con la operación de la estufa.**

	Tiraje de la estufa		
	Abierto	Medio	Cerrado
Factor	1	2	3

$M_i$ : Modificador relacionado con el tipo de leña. Se consideran los presentados en la tabla siguiente. Unidad: adimensional.

**Tabla 57. Factor de multiplicativo  $M_i$ , para las emisiones de acuerdo al tipo de leña utilizada**

Tipo de leña	Modificador	Referencia
Pino o Eucaliptus, podas	1	Environment Ontario <sup>(a)</sup>
Dura (espino)	0,87	Environment Ontario <sup>(a)</sup>
Papeles, cartones, ramas pequeñas, hojas.	3	Ambiente Consultores <sup>(b)</sup>
Despunte, aserrín	3	Ambiente Consultores <sup>(b)</sup>

- a. Environment Ontario, "EVALUATION OF METHODS TO DETERMINE THE IMPACT OF RESIDENTIAL WOOD BURNING ON AMBIENT AIR QUALITY", R. A. C. PROJECT NO. 426C, <http://archive.org/details/evaluationofmeth00yanduoft>  
b. Ambiente Consultores (2010) "Análisis Comparativo de Programas de Recambio Tecnológico para Estufas a Leña y Evaluación de su Implementación en la R.M.", para CONAMA R.M.

Una descripción de los tipos de estufas que se usan para este inventario y los argumentos para la selección de los factores de emisión se muestra a continuación:

### Salamandra

La Salamandra es un artefacto hecho de fierro forjado que no tiene tecnología de reducción de emisiones. Por ello, se puede asimilar a tecnologías de estufas convencionales del estudio AP-42 de la EPA. El documento AP-42 ha sido elaborado utilizando una recopilación de muchos estudios realizados en Estados Unidos con metodologías aprobadas por la EPA y representa una de las fuentes más confiables de información para las tasas de emisión. El valor de emisiones de  $MP_{10}$  sugerido por la EPA para las estufas convencionales es de 15,3 g/kg de leña.

### **Estufa simple**

La estufa simple es de fabricación industrial y cuenta con métodos de control de aire, pero no cuenta con tecnología de reducción de emisiones. Por esto, se utilizará la sugerencia de la EPA para la estufa convencional de 15,3 g/kg de leña.

### **Estufa doble entrada**

Este tipo de estufa es el más utilizado y vendido en Chile. Cuenta con una placa templadora que calienta el aire de salida, permitiendo una mejor combustión. Comúnmente se le llama de Doble Cámara, o tipo Bosca, pero no tiene doble cámara sino una placa templadora. Esta tecnología es similar a la descrita en el documento AP-42 de la EPA para estufas no catalíticas. Por esto, se utilizará la sugerencia de emisiones de la EPA de 9,8 g/kg de leña.

### **Chimenea hogar abierto**

Las chimeneas de hogar abierto corresponden a estructuras generalmente construidas junto con la casa con un ducto de descarga de emisiones al exterior. La toma de aire está abierta hacia interior de la casa de tamaños que varían entre 0,5 x 0,5 m<sup>2</sup> y 1,5 x 1 m<sup>2</sup> y no tiene sistema de control de flujo. Estas chimeneas han sido descritas en el documento AP-42 de la EPA, que ha sido elaborado utilizando una recopilación de muchos estudios realizados en Estados Unidos. El valor de emisiones sugerido por la EPA(2) para las chimeneas de hogar abierto es de 17,3 g/kg de leña.

### **Chimenea hogar (cerrado)**

Este tipo de estufas corresponden en general a modificaciones que han sido hechas a las chimeneas de hogar abierto. La modificación consiste en insertar en el espacio de la chimenea una estufa con templador o una modificación de estas estufas que quepa adecuadamente en el espacio original. También pueden ser construidas directamente en casas nuevas con tecnología de doble cámara o templador. Por lo tanto las emisiones de estas estufas son similares a las estufas de doble cámara y se utilizará el mismo valor de 9,8 g/kg de leña.

### **Caldera a leña**

Las calderas a leña que son actualmente utilizadas en la Región Metropolitana (y que corresponden al resultado de la encuesta) son artefactos relativamente nuevos que cuentan con tecnología de reducción de emisiones similar a las estufas de doble cámara, por lo tanto se puede utilizar el mismo factor de emisiones que las estufas de doble cámara de 9,8 g/kg de leña.

### **Estufa a base de pellet**

Estas estufas utilizan combustible en base a biomasa, de tamaño e ingredientes controlados. El encendido, la carga de combustible y la operación están controlados, de tal manera que el operador no pueda cambiarlos. De este modo, es posible limitar las emisiones. Estas estufas han sido descritas en el documento AP-42(1), por tanto se ha usado el valor sugerido por la EPA de 2,1 g/kg de combustible.

### **Cocina a leña**

Las cocinas a leña utilizadas en la Región Metropolitana corresponden a artefactos antiguos que aún siguen siendo utilizados para calefacción y cocina. De acuerdo a los resultados de la encuesta de la CDT, la venta de cocinas a leña nuevas con tecnología de reducción de emisiones no ocurre en la Región Metropolitana. Al ser un artefacto sin tecnología de

reducción de emisiones, pero no empotrado en la pared, es similar a una Salamandra. Por ello, se utilizará el mismo valor de emisiones que las Salamandras, de 15,3 g/kg de leña.

### Otros

Los equipos clasificados como otros corresponden a estufas “hechizas” fabricadas modificando recipientes metálicos, estructuras de lavadoras o secadoras viejas, etc. A estas estructuras se les agrega un ducto para evacuar las emisiones. Las emisiones de este tipo de equipos probablemente se asemejen a las chimeneas de hogar abierto, ya que no existe ningún diseño estándar ni tienen ningún tipo de control de flujo o reducción de emisiones. Por ello, se utilizará el mismo valor de emisiones que las estufas de hogar abierto de 17,3 g/kg.

Un resumen de los factores de emisión se muestra en la Tabla 58

**Tabla 58. Factores de emisión de MP<sub>10</sub> para artefactos a leña utilizados en este inventario**

Artefacto	Factor de emisión (g/kg)	Referencia
Salamandra	15,3	AP-42
Estufa simple	15,3	AP-42
Estufa doble entrada	9,8	AP-42
Chimenea hogar abierto	17,3	AP-42
Chimenea hogar cerrada	9,8	AP-42
Caldera a leña	9,8	AP-42
Estufa a pellet	2,1	AP-42
Cocina a leña	15,3	AP-42
Otros	17,3	AP-42

**Tabla 59. Factores de emisión provenientes de la quema de leña para otros contaminantes**

Artefacto	Factor de emisión (g/kg)							Referencia
	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	<sup>1</sup> CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	
Salamandra	126,3	1,3	115	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Estufa simple	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Estufa doble entrada	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Chimenea hogar abierto	126,3	1,4	115	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Chimenea hogar cerrada	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Caldera a leña	126,3	1,4	115	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Estufa a pellet	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Cocina a leña	126,3	1,4	115	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42

<sup>1</sup> El factor de emisión es mayor que la masa de leña que ingresa a la estufa porque por cada kg de leña también ingresan aproximadamente 7,3 kg de aire.

La mayoría de los factores de emisión en la compilación AP-42 no están separados por tipo de estufa, o existen para sólo un tipo de estufa. Por ello, se va a usar el mismo factor para tipos de estufa similares.

## 6.2.2 Metodología de cálculo en las emisiones de otros combustibles residenciales

Para los demás combustibles residenciales (parafina, gas licuado, gas natural, o gas de ciudad) las emisiones se obtienen multiplicando el consumo anual asociado a cada combustible por un factor de emisión, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E_c = FE_c \times A_c \quad (3)$$

Donde:

$E_c$  : Emisiones del contaminante "c" en estudio [ton/año] por comuna

$FE_c$  : Factor de emisión del contaminante "c" en estudio, en función del tipo de combustible (ton/kg) utilizado.

$A_c$  : Consumo anual del combustible por comuna para el artefacto. El consumo se obtiene de la SEC y se actualiza cada año.

Los factores de emisión se obtienen del Inventario de Emisiones 2005 para la RM. Estos son:

**Tabla 60. Factores de emisión por estufas residenciales que utilizan otros tipos de combustibles.**

	COT <sup>1</sup>	CO	NO <sub>x</sub>	MP	SO <sub>2</sub>	Unidad	NH <sub>3</sub>
Gas licuado	87,47	221,68	1090,42	33,55	1,4	kg/1000 m <sup>3</sup>	3,78x10 <sup>-3</sup> (kg/ton)
Parafina	298,73	599,13	2156,88	299,57	3.567,06	kg/1000 m <sup>3</sup>	0,0951 (kg/ton)
Gas natural	180,0	640,0	1500,0	182,8	10,0	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	8,34x10 <sup>-6</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>
Gas ciudad	180,0	640,0	1500,0	182,8	0,01	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,65x10 <sup>-6</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Compuestos orgánicos totales.

<sup>2</sup>DEVELOPMENT AND SELECTION OF AMMONIA EMISSION FACTORS, Final Report by R. Battye, W. Battye, C. Overcash, and S. Fudge

## 6.2.3 Consumo de leña en la Región Metropolitana

**Tabla 61. Consumo total de leña (kg/año) en todos los equipos (fuente: Estudio CDT 2012)**

	Salamandras	Simple	Doble cámara	Chimenea	Pellet	Otros	Cocina	Total (kg/año)
Alhué	162.255		646.687					808.942
Buín	2.469.377	225.210	943.444				1.324.944	4.962.975
Calera de tango	334.580		2.106.437					2.441.017
Cerrillos	7.497	8.838	143.988	9.120				169.443
Cerro Navia	192.925	158.902		107.848			1.108.699	1.568.375
Colina	1.156.613	259.678	728.364				5.451.633	7.596.287

	Salamandras	Simple	Doble cámara	Chimenea	Pellet	Otros	Cocina	Total (kg/año)
Conchalí		50.317	685.797	104.389				840.503
Curacaví	643.089		2.671.380	1.090.619			995.904	5.400.992
El Bosque	33.576	72.366	1.558.888	47.566				1.712.397
El Monte	467.466		996.228	245.093			174.857	1.883.643
Estación Central								0
Huechuraba	135.110	59.000	2.025.686					2.219.796
Independencia		10.231	185.083	31.622				226.936
Isla de Maipo	3.438.536	230.790	1.610.205					5.279.531
La Cisterna	97.830	79.084	1.091.921	211.402				1.480.237
La Florida		108.000	2.217.960	571.500	108.711			3.006.171
La Granja	38.000	25.449	672.966					736.415
La Pintana	9.959	25.074	315.648					350.681
La Reina		27.651	1.226.705	360.906	107.765	93.900		1.816.926
Lampa	7.984.876		5.518.681				1.807.092	15.310.648
Las Condes	195.000	105.560	3.996.415	1.243.364	503.446			6.043.785
Lo Barnechea	1.310.050		1.609.565			83.300		3.002.915
Lo Espejo	32.400	60.890	745.065					838.355
Lo Prado	186.491	36.660	584.001	32.476				839.628
Macul	26.557	71.089	452.752	130.642				681.039
Maipú	2.983.591	963.277	1.917.164					5.864.031
María Pinto	187.704		2.078.974	901.092			191.394	3.359.164
Melipilla	5.773.588	837.774	17.939.611					24.550.973
Ñuñoa		30.199	673.262	106.889	29.750			840.100
Pedro Aguirre C.	29.735	17.220	199.075	31.861				277.891
Padre Hurtado	367.279	741.664	3.174.977					4.283.921
Paine	1.524.914	86.407	3.185.229					4.796.550
Peñaflor	884.541	138.942	2.117.436					3.140.919
Peñalolén	23.077	155.411	818.464	111.456	55.500			1.163.907
Pirque	1.971.923	112.134	289.220					2.373.277
Providencia								0
Pudahuel	1.016.491	169.741	206.171				780.006	2.172.410
Puente Alto		767.005	5.780.365	300.242				6.847.613
Quilicura	52.581	63.000	752.568	94.154				962.302
Quinta Normal	260.340	273.952	58.537				860.950	1.453.778
Recoleta	14.400	45.310	639.360					699.069
Renca	52.556	80.721	1.352.285					1.485.561
San Bernardo	29.700	39.600	1.018.690	75.900				1.163.890
San Joaquín	28.761	67.143	506.445	53.831				656.179
S. J. de Maipo	4.612.138	991.928						5.604.066

	Salamandras	Simple	Doble cámara	Chimenea	Pellet	Otros	Cocina	Total (kg/año)
San Miguel	110.400	38.102	1.032.294	279.451	24.000			1.484.247
San Pedro	81.058	524.003	1.166.617	698.758			349.249	2.819.685
San Ramón	109.324	77.573	713.218					900.114
Santiago	197.493	79.399	1.115.504	603.558				1.995.954
Talagante	6.815.858	708.798	4.007.999				359.667	11.892.322
Til Til	1.853.522	756.000	1.077.280	429.917		2.410.289	3.151.350	9.678.357
Vitacura			830.592	114.492	134.919	118.647		1.198.649
<b>Total</b>	<b>47.903.160</b>	<b>9.380.091</b>	<b>85.385.201</b>	<b>7.988.147</b>	<b>964.091</b>	<b>2.706.135</b>	<b>16.555.743</b>	<b>170.882.568</b>
<b>Fracción</b>	<b>28,0%</b>	<b>5,5%</b>	<b>50,0%</b>	<b>4,7%</b>	<b>0,6%</b>	<b>1,6%</b>	<b>9,7%</b>	

## 6.2.4 Número de equipos de leña en la Región Metropolitana

Tabla 62. Cantidad de equipos que usan leña, por comuna y por tipo.

	Salamandras	Simples	Doble cámara	Chimeneas	Pellet	Otros	Cocina	Total
Alhué	190	0	665	0	0	0	0	855
Buín	1.546	214	822	0	0	0	321	2.903
Calera de tango	255	0	1.623	0	0	0	0	1.878
Cerrillos	5	10	125	5	0	0	0	145
Cerro Navia	128	128	192	32	0	0	256	736
Colina	1.827	377	377	0	0	377	1.972	4.930
Conchalí	0	40	520	20	0	0	0	580
Curacaví	752	0	2.531	380	0	0	190	3.853
El Bosque	51	102	1.326	51	0	0	0	1.530
El Monte	342	0	992	146	0	0	140	1.620
Estación Central								0
Huechuraba	118	59	1.534	0	0	0	0	1.711
Independencia	0	18	150	6	0	0	0	174
Isla de Maipo	2.474	157	1.439	0	0	0	0	4.070
La Cisterna	64	64	800	32	0	0	0	960
La Florida	0	90	2.340	180	90	0	0	2.700
La Granja	19	38	513	0	0	0	0	570
La Pintana	13	13	338	0	0	0	0	364
La Reina	0	38	912	76	76	38	0	1.140
Lampa	3.950	0	3.739	0	0	0	404	8.093
Las Condes	130	130	3.250	260	390	0	0	4.160
Lo Barnechea	392	0	980	49	0	49	0	1.470
Lo Espejo	27	54	702	0	0	0	0	783
Lo Prado	110	22	330	22	0	22	22	528

	Salamandras	Simples	Doble cámara	Chimeneas	Pellet	Otros	Cocina	Total
Macul	32	80	336	32	0	0	0	480
Maipú	2.158	664	1.328	0	0	166	166	4.482
María Pinto	180	0	1.160	180	0	0	60	1.580
Melipilla	3.549	421	12.270	0	0	0	0	16.240
Ñuñoa	0	17	459	17	17	0	0	510
Pedro Aguirre C.	24	24	184	8	0	0	0	240
Padre Hurtado	330	418	3.432	0	0	0	0	4.180
Paine	1.542	84	2.634	0	0	0	0	4.260
Peñaflor	1.240	124	2.356	0	0	0	0	3.720
Peñalolén	37	111	888	37	37	0	0	1.110
Pirque	1.800	70	140	0	0	0	0	2.010
Providencia								0
Pudahuel	999	222	444	0	0	0	444	2.109
Puente Alto	0	642	5.564	214	0	0	0	6.420
Quilicura	70	70	875	35	0	0	0	1.050
Quinta Normal	280	224	112	0	0	0	224	840
Recoleta	24	48	600	0	0	0	0	672
Renca	66	99	825	0	0	0	0	990
San Bernardo	33	33	891	33	0	0	0	990
San Joaquín	30	45	360	15	0	0	0	450
San José de Maipo	3.220	690	0	0	0	0	0	3.910
San Miguel	48	24	576	48	24	0	0	720
San Pedro	90	210	450	90	0	0	120	960
San Ramón	57	38	475	0	0	0	0	570
Santiago	260	52	832	156	0	0	0	1.300
Talagante	3.245	346	2.726	0	0	0	173	6.490
Til Til	1.658	252	257	126	0	524	1.164	3.981
Vitacura	0	0	864	72	108	36	0	1.080
<b>Total</b>	<b>33.365</b>	<b>6.562</b>	<b>67.238</b>	<b>2.322</b>	<b>742</b>	<b>1.212</b>	<b>5.656</b>	<b>117.097</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>28,5%</b>	<b>5,6%</b>	<b>57,4%</b>	<b>2,0%</b>	<b>0,6%</b>	<b>1,0%</b>	<b>4,8%</b>	

## 6.2.5 Emisiones de MP por comuna y tipo de estufa.

Tabla 63. Emisiones de MP (ton/año) por comuna y por tipo de estufa

MP(ton)	Salamandras	Simple	Doble Cámara	Chimenea	Pellet	Otros	Cocina	Total (kg/año)
Alhué	3,7	0,0	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	12,22
Buín	29,7	4,3	10,6	0,0	0,0	0,0	15,3	59,90
Calera de tango	4,9	0,0	20,9	0,0	0,0	0,0	0,0	25,81
Cerrillos	0,1	0,2	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	2,34
Cerro Navia	2,5	2,5	2,5	2,0	0,0	0,0	12,2	25,82
Colina	35,1	7,5	4,9	0,0	0,0	9,9	94,2	156,88
Conchalí	0,0	0,8	6,7	1,2	0,0	0,0	0,0	9,08
Curacaví	14,5	0,0	32,6	23,6	0,0	0,0	9,1	79,70
El Bosque	1,0	2,0	17,1	3,2	0,0	0,0	0,0	23,69
El Monte	6,6	0,0	12,8	9,1	0,0	0,0	6,7	35,10
Estación Central	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Huechuraba	2,3	1,2	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0	23,71
Independencia	0,0	0,4	1,9	0,4	0,0	0,0	0,0	2,77
Isla de Maipo	47,5	3,1	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	69,21
La Cisterna	1,2	1,3	10,3	2,0	0,0	0,0	0,0	14,80
La Florida	0,0	1,8	30,1	11,2	0,3	0,0	0,0	43,35
La Granja	0,4	0,8	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,89
La Pintana	0,2	0,3	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	5,31
La Reina	0,0	0,8	11,7	4,7	0,2	1,0	0,0	18,44
Lampa	75,9	0,0	48,2	0,0	0,0	0,0	19,3	143,39
Las Condes	2,5	2,6	41,9	16,1	1,1	0,0	0,0	65,30
Lo Barnechea	7,5	0,0	12,6	3,0	0,0	1,3	0,0	24,91
Lo Espejo	0,5	1,1	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,87
Lo Prado	2,1	0,4	4,3	1,4	0,0	0,6	1,1	11,69
Macul	0,6	1,6	4,3	2,0	0,0	0,0	0,0	8,52
Maipú	41,5	13,2	17,1	0,0	0,0	4,4	7,9	98,35
María Pinto	3,5	0,0	14,9	11,2	0,0	0,0	2,9	32,43
Melipilla	68,2	8,4	158,1	0,0	0,0	0,0	0,0	234,67
Ñuñoa	0,0	0,3	5,9	1,1	0,0	0,0	0,0	7,35
Pedro Aguirre C.	0,5	0,5	2,4	0,5	0,0	0,0	0,0	3,87
Padre Hurtado	6,3	8,3	44,2	0,0	0,0	0,0	0,0	58,88
Paine	29,6	1,7	33,9	0,0	0,0	0,0	0,0	65,24
Peñaflor	23,8	2,5	30,4	0,0	0,0	0,0	0,0	56,65
Peñalolén	0,7	2,2	11,4	2,3	0,1	0,0	0,0	17,08



MP(ton)	Salamandras	Simple	Doble Cámara	Chimenea	Pellet	Otros	Cocina	Total (kg/año)
Pirque	34,6	1,4	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	37,79
Providencia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Pudahuel	19,2	4,4	5,7	0,0	0,0	0,0	21,2	65,79
Puente Alto	0,0	12,8	71,7	13,3	0,0	0,0	0,0	97,74
Quilicura	1,3	1,4	11,3	2,2	0,0	0,0	0,0	16,18
Quinta Normal	5,4	4,5	1,4	0,0	0,0	0,0	10,7	32,08
Recoleta	0,5	1,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	9,76
Renca	1,3	2,0	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	14,15
San Bernardo	0,6	0,7	11,5	2,0	0,0	0,0	0,0	15,10
San Joaquín	0,6	0,9	4,6	0,9	0,0	0,0	0,0	7,17
San José de Maipo	61,9	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	75,62
San Miguel	0,9	0,5	7,4	3,0	0,1	0,0	0,0	11,87
San Pedro	1,7	4,2	5,8	5,6	0,0	0,0	5,7	23,02
San Ramón	1,1	0,8	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	8,13
Santiago	5,0	1,0	10,7	9,7	0,0	0,0	0,0	30,44
Talagante	62,4	6,9	35,1	0,0	0,0	0,0	8,3	112,64
Til Til	31,9	5,0	3,3	7,8	0,0	13,8	55,6	119,70
Vitacura	0,0	0,0	11,1	4,5	0,3	0,9	0,0	16,85
<b>Total</b>	<b>641,2</b>	<b>130,7</b>	<b>866,3</b>	<b>144,0</b>	<b>2,1</b>	<b>32,0</b>	<b>270,3</b>	<b>2.086,44</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>30,7%</b>	<b>6,3%</b>	<b>41,5%</b>	<b>6,9%</b>	<b>0,1%</b>	<b>1,5%</b>	<b>13,0%</b>	<b>1,03</b>

## 6.2.6 Emisiones de CO por comuna y tipo de estufa.

Tabla 64. Emisiones de CO provenientes de las estufas a leña (ton/año)

MP(ton)	Salamandra	Simple	Doble cámara	Chimenea	Pellet	Otros	Cocina	Total (kg/año)
Alhué	30,1	0,0	100,9	0,0	0,0	0,0	0,0	131,03
Buín	245,3	32,1	124,7	0,0	0,0	0,0	112,0	514,09
Calera de tango	40,5	0,0	246,2	0,0	0,0	0,0	0,0	286,68
Cerrillos	0,8	1,5	19,0	2,3	0,0	0,0	0,0	23,52
Cerro Navia	20,3	19,2	29,1	14,5	0,0	0,0	89,3	172,46
Colina	289,8	56,6	57,2	0,0	0,0	82,1	688,0	1173,73
Conchalí	0,0	6,0	78,9	9,1	0,0	0,0	0,0	93,95
Curacaví	119,3	0,0	384,0	172,0	0,0	0,0	66,3	741,57
El Bosque	8,1	15,3	201,2	23,1	0,0	0,0	0,0	247,66
El Monte	54,3	0,0	150,5	66,1	0,0	0,0	48,8	319,68
Estación Central	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

MP(ton)	Salamandra	Simple	Doble cámara	Chimenea	Pellet	Otros	Cocina	Total (kg/año)
Huechuraba	18,7	8,9	232,7	0,0	0,0	0,0	0,0	260,30
Independencia	0,0	2,7	22,8	2,7	0,0	0,0	0,0	28,18
Isla de Maipo	392,5	23,6	218,3	0,0	0,0	0,0	0,0	634,36
La Cisterna	10,2	9,6	121,4	14,5	0,0	0,0	0,0	155,62
La Florida	0,0	13,5	355,0	81,5	14,0	0,0	0,0	463,97
La Granja	3,0	5,7	77,8	0,0	0,0	0,0	0,0	86,55
La Pintana	2,1	2,0	51,3	0,0	0,0	0,0	0,0	55,29
La Reina	0,0	5,7	138,4	34,4	11,8	8,3	0,0	198,54
Lampa	626,6	0,0	567,2	0,0	0,0	0,0	141,0	1334,82
Las Condes	20,6	19,5	493,1	117,7	60,5	0,0	0,0	711,43
Lo Barnechea	62,2	0,0	148,7	22,2	0,0	10,7	0,0	243,71
Lo Espejo	4,3	8,1	106,5	0,0	0,0	0,0	0,0	118,89
Lo Prado	17,5	3,3	50,1	10,0	0,0	4,8	7,7	93,24
Macul	5,1	12,0	51,0	14,5	0,0	0,0	0,0	82,55
Maipú	342,3	99,7	201,5	0,0	0,0	36,1	57,9	737,59
María Pinto	28,6	0,0	176,0	81,5	0,0	0,0	20,9	306,95
Melipilla	563,0	63,2	1.861,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2487,73
Nuñoa	0,0	2,6	69,6	7,7	2,6	0,0	0,0	82,52
Pedro Aguirre C.	3,8	3,6	27,9	3,6	0,0	0,0	0,0	38,95
Padre Hurtado	52,4	62,8	520,7	0,0	0,0	0,0	0,0	635,80
Paine	244,6	12,6	399,6	0,0	0,0	0,0	0,0	656,84
Peñaflor	196,7	18,6	357,4	0,0	0,0	0,0	0,0	572,76
Peñalolén	5,9	16,7	134,7	16,7	5,7	0,0	0,0	179,75
Pirque	285,5	10,5	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	317,30
Providencia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Pudahuel	158,5	33,3	67,4	0,0	0,0	0,0	154,9	414,09
Puente Alto	0,0	96,4	844,1	96,9	0,0	0,0	0,0	1037,40
Quilicura	11,1	10,5	132,7	15,8	0,0	0,0	0,0	170,21
Quinta Normal	44,4	33,6	17,0	0,0	0,0	0,0	78,2	173,20
Recoleta	3,8	7,2	91,0	0,0	0,0	0,0	0,0	102,04
Renca	10,5	14,9	125,2	0,0	0,0	0,0	0,0	150,50
San Bernardo	5,2	5,0	135,2	14,9	0,0	0,0	0,0	160,30
San Joaquín	4,8	6,8	54,6	6,8	0,0	0,0	0,0	72,92
San José de Maipo	510,8	103,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	614,44
San Miguel	7,6	3,6	87,4	21,7	3,7	0,0	0,0	124,06
San Pedro	14,3	31,5	68,3	40,7	0,0	0,0	41,9	196,69
San Ramón	9,0	5,7	72,1	0,0	0,0	0,0	0,0	86,81
Santiago	41,2	7,8	126,2	70,6	0,0	0,0	0,0	245,89
Talagante	514,8	52,0	413,6	0,0	0,0	0,0	60,4	1040,66
Til Til	263,0	37,8	39,0	57,0	0,0	114,1	406,1	917,08

MP(ton)	Salamandra	Simple	Doble cámara	Chimenea	Pellet	Otros	Cocina	Total (kg/año)
Vitacura	0,0	0,0	131,1	32,6	16,8	7,8	0,0	188,27
<b>Total</b>	<b>5.292,9</b>	<b>985,5</b>	<b>10.200,8</b>	<b>1.051,0</b>	<b>115,2</b>	<b>263,9</b>	<b>1.973,3</b>	<b>20.607,36</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>26,6%</b>	<b>5,0%</b>	<b>51,3%</b>	<b>5,3%</b>	<b>0,6%</b>	<b>1,3%</b>	<b>9,9%</b>	

## 6.2.7 Emisiones evaporativas de solventes y pinturas residenciales

Para esta sub-categoría se desarrolló una metodología en la cual la plataforma AIRVIRO va calculando las emisiones agregando los datos de entrada ya sea factores de emisión y nivel de actividad en una EDB de grilla específica para uso de solventes domésticos. Los factores de emisión utilizados pertenecen a los reportados por la EPA en el informe AP-42. Para el nivel de actividad se utilizaron las estimaciones realizadas por el INE para el año 2012, desagregada para cada comuna de la RM.

**Tabla 65. Factores de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría solventes de uso domestico**

Contaminante	Factor de emisión	Fuente	Nivel de actividad
COV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productos en aerosol: 0,046 kg/persona</li> <li>• Productos domésticos: 0,36 kg/personas</li> <li>• Productos de cuidado personal: 1,05 kg/personas</li> <li>• Pesticidas domésticos: 0,81 kg/personas</li> <li>• Productos de cuidado automotriz: 0,61 kg/personas</li> <li>• Adhesivos y selladores: 0,26 kg/personas</li> </ul>	<p>EPA, AP-42</p> <p><a href="http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/areainv5.pdf">http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/areainv5.pdf</a></p>	<p>Se utilizó la población proyectada para el 2012 según el INE para cada comuna de la RM.</p>

### *Pintado arquitectónico.*

Esta subcategoría fue estimada utilizando la plataforma AIRVIRO, al cual va calculando las emisiones agregando los datos de entrada ya sea factores de emisión y nivel de actividad en una EDB de grilla específica para pintado arquitectónico. El factor de emisión que se utilizó es el reportado por la EPA para el *Programa de Emisiones de México*. El nivel de actividad correspondió a la estimación de la población para el 2012, realizada por el INE.

**Tabla 66. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría pintado arquitectónico**

Contaminante	Factor de emisión (Kg/habitante año)	Fuente	Nivel de actividad
COV	1,36	Programa de inventario de emisiones de México (Radian, 1997 <sup>30</sup> ). Disponible en: <a href="http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/areainv5.pdf">http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/areainv5.pdf</a>	Se utilizó la población proyectada para el 2012 según el INE para cada comuna de la RM.

### 6.2.8 Fugas residenciales de GLP

Se utilizó como factor de emisión la estimación de porcentaje de pérdida al consumo total de combustible reportado por la Superintendencia de Energía y Combustible (SEC) en su *Informe estadístico 2012*, el cuál fue determinado a partir del estudio de la Empresa Nacional del Petróleos Mexicanos, PEMEX del año 2000.

El nivel de actividad corresponde a las ventas a residencia de GLP y su factor de emisión corresponde a un porcentaje de estas ventas, específicamente un 3%. Debido a que las ventas van fluctuando año a año se desarrolló una metodología en la cual la plataforma AIRVIRO va calculando las emisiones agregando los datos de entrada ya sea factores de emisión y nivel de actividad en una EDB de grilla específica para fugas residenciales de GLP. La ventaja de este método es que se puede ir modificando año a año los niveles de actividad y AIRVIRO va calculando de una manera sencilla y rápida la emisión.

**Tabla 67. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría fugas residenciales de GLP**

Contaminante	Factor de emisión (% de pérdida)	Fuente	Nivel de actividad
COV	3,5	Valor derivado a partir del estudio de la Empresa Nacional de Petróleos Mexicanos, PEMEX del año 2000	Consumo total de GLP para la RM, según <i>Informe estadístico 2012</i>

### 6.2.9 Fugas residenciales de GLP

---

<sup>30</sup> <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/areainv5.pdf>

## 6.3. Fuentes Evaporativas

### 6.3.1 Distribución de combustible

Las emisiones evaporativas asociadas a esta sub-categoría se producen en el almacenamiento, transporte y expendio final. Para este caso sólo la emisión de las gasolinas se consideran debido a la baja presión de vapor del resto de los combustibles.

#### Almacenamiento de combustibles

Las emisiones de COV's debido al almacenamiento de combustibles en los tanques se calcularon utilizando el programa TANKS 4.0.9d de la EPA. Para esto se realizaron una serie de supuestos, los cuales serán descritos a continuación.

- En la RM hay un total de 546 Estaciones De Combustibles (EDC) de las cuales 465 son urbanas dentro de la provincia del Gran Santiago y sólo 81 rurales ubicadas en las comuna de Pirque, San José de Maipo, Colina, Lampa, Tiltil, San Bernardo, Buin, Calera de Tango, Paine, Melipilla, Alhue, Curacaví, María Pinto, San Pedro, Talagante, El Monte, Isla de Maipo, Padre Hurtado y Peñaflor. Con esta clasificación de urbana y rural se hacen todas las siguientes consideraciones.

**Tabla 68. Consideraciones utilizadas para el cálculo de emisiones desde estanques de almacenamiento.**

Consideraciones	Estación urbana	Estación rural
Número de estaciones	465	81
Tipo de tecnologías de estanques.	Estanques de techo fijo 70% 325 EDC Estanques de techo flotante interno 15% 70 EDC Estanques de techo flotante externo 15% 70 EDC	Estanques de techo fijo 70% 57 EDC Estanques de techo flotante interno 15% 12 EDC Estanques de techo flotante externo 15% 12 EDC
Volumen de almacenamiento	31,790m <sup>3</sup>	31,790m <sup>3</sup>
Volumen de ventas	3377 m <sup>3</sup>	903 m <sup>3</sup>
Estanque de techo fijo	Dimensiones altura de la cúpula: 26,25 ft diámetro: 8,20 ft altura del combustible: 22,00 ft promedio de altura combustible:15,00 ft volumen: 8,398 gallons Número de veces que se llena el estanque: 94 veces Rendimiento por año: 795.216,55 gallons/año Características pintura Color cúpula: blanca	Dimensiones altura de la cúpula: 26,25 ft diámetro: 8,20 ft altura del combustible: 22,00 ft promedio de altura combustible:15,00 ft volumen: 8,398 gallons Número de veces que se llena el estanque: 94 veces Rendimiento por año: 795.216,55 gallons/año Características pintura

Consideraciones	Estación urbana	Estación rural
	<p>Condición pintura: buena  Color techo: blanca  Condición pintura: buena  Características techo  Tipo techo: cúpula  Altura: 4 ft  Radio cúpula:8,20  Ajuste de venteo  Ajustes de venteo: -0,03 psig  Ajustes de presión: 0,03 psig</p>	<p>Color cúpula: blanca  Condición pintura: buena  Color techo: blanca  Condición pintura: buena  Características techo  Tipo techo: cúpula  Altura: 4 ft  Radio cúpula:8,20  Ajuste de venteo  Ajustes de venteo: -0,03 psig  Ajustes de presión: 0,03 psig</p>
<p>Estanque de techo flotante interno</p>	<p>Dimensiones  diámetro: 8,33 ft  volumen: 8,398 gallons  Número de veces que se llena el estanque: 94 veces  Rendimiento por año: 795.216,55 gallons/año  Características pintura  Color cúpula: blanca  Condición pintura: buena  Color techo: blanca  Condición pintura: buena  Características sello  Primer sello: mecánica  Segundo sello: sin segundo sello  Características de la cubierta  Categoría de cubierta de montaje: típica  Tipo de montaje: soldada</p>	<p>Dimensiones  diámetro: 8,33 ft  volumen: 8,398 gallons  Número de veces que se llena el estanque: 94 veces  Rendimiento por año: 795.216,55 gallons/año  Características pintura  Color cúpula: blanca  Condición pintura: buena  Color techo: blanca  Condición pintura: buena  Características sello  Primer sello: mecánica  Segundo sello: sin segundo sello  Características de la cubierta  Categoría de cubierta de montaje: típica  Tipo de montaje: soldada</p>
<p>Estanque de techo flotante externo</p>	<p>Dimensiones  diámetro: 8,33 ft  volumen: 8,398 gallons  Número de veces que se llena el estanque: 94 veces  Rendimiento por año: 795.216,55 gallons/año  Características pintura  Color cúpula: blanca  Condición pintura: buena  Características techo  Tipo: pontón  Categoría montaje: típica  Características de la construcción del tanque y sello  Construcción: soldada  Primer sello: mecánico</p>	<p>Dimensiones  diámetro: 8,33 ft  volumen: 8,398 gallons  Número de veces que se llena el estanque: 94 veces  Rendimiento por año: 795.216,55 gallons/año  Características pintura  Color cúpula: blanca  Condición pintura: buena  Características techo  Tipo: pontón  Categoría montaje: típica  Características de la construcción del tanque y sello  Construcción: soldada  Primer sello: mecánico</p>

Tomando en cuenta todos estos factores, se calcularon las emisiones para los estanques existentes en la región, los cuales corresponden a: estanque de techo fijo, estanque de techo flotante interno y estanque de techo flotante externo, con el programa TANKS 4.0.9.d desarrollado por la EPA. Los resultados se muestran en la Figura 62

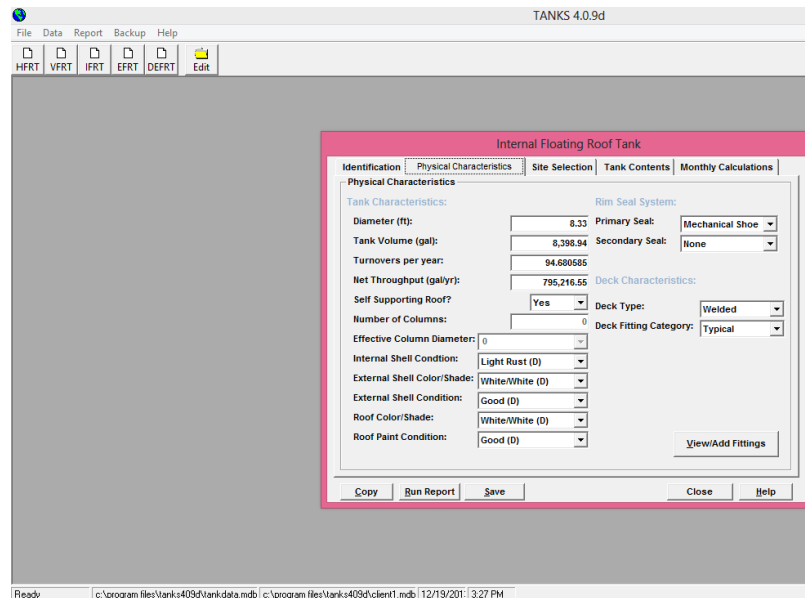


Figura 62. Ventana de programa TANKS en la cual se agregan las características físicas de los estanques.

Luego se calculan las emisiones de almacenamiento con el nivel de actividad de ventas de combustibles según el *Informe estadístico del 2012*, realizado por la SEC, para cada comuna, debido a que cada comuna posee un número distinto de estaciones de combustible y diferente volumen de venta.

### Transporte de combustible

Debido a que la emisión a causa del transporte de combustible se realiza con una fórmula en la cual se deben considerar una serie de variables, se enuncian en la Tabla 69 todos los supuestos utilizados.

$$L_1 = 12,46 \times \frac{S \times P \times M}{T} \times \left(1 - \frac{E_{ff}}{100}\right)$$

Ecuación 2

Dónde:

$L_1$  : Pérdidas por llenado (libras/ 1000 galones líquido cargado).

$S$  : Factor de saturación

$P$  : Presión de vapor real del líquido cargado.

$M$  : Peso molecular de vapores (lb/Lb mol).

$T$  : Temperatura del líquido cargado °R (°R = °F + 460)

$E_{ff}$  : Eficiencia de recuperación de vapores.

**Tabla 69. Variables utilizadas para el cálculo de emisiones división transporte.**

Variable		Valor	Unidad	Fuente
S	Factor de saturación	0,6	adimensional	AP 42, 2008 Fifth Edition, Volume I. Chapter 5: Petroleum Industry, Transportation and marketing of Petroleum Liquids <a href="http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch05/final/c05s02.pdf">www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch05/final/c05s02.pdf</a>
P	Presión de vapor real del líquido cargado	9,68	psig	
M	Peso molecular de vapores (lb/Lb mol).	66	lb/lmol	
T	Temperatura del líquido cargado ( $^{\circ}R = ^{\circ}F + 460$ )	540	$^{\circ}R$	
$E_{ff}$	Eficiencia de recuperación de vapores.	0	%	

Los valores de las variables elegidas corresponden a las características del combustible transportado, para el caso de la eficiencia de recuperación de vapores de los camiones cisterna se optó por suponer un escenario desfavorable del 0% de eficiencia, esta suposición se respalda con información entregada de la SEC donde aclaran que no existe a la fecha ningún protocolo que certifique a los camiones cisterna que posean un sistema de recuperación de vapores y por ende su eficiencia.

#### Expendio de combustibles

Las emisiones del expendio de combustible fueron calculadas con factores seleccionados de la EPA, utilizando los que se adecuaban a la realidad local y considerando un escenario desfavorable, para no subestimar emisiones. El nivel de actividad utilizado corresponde a las ventas de gasolina en la RM. Una vez determinada la emisión de todas las etapas de distribución de combustible se suman e ingresan a una EDB de grilla la cual desagrega emisión por comuna en la RM.

**Tabla 70. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría distribución de combustible, división expendio final**

Contaminante	Factor de emisión (Ton/m <sup>3</sup> )	Fuente	Nivel de actividad
COV	Alimentación sumergida: $880 \cdot 10^{-6}$ Respiración del estanque: $120 \cdot 10^{-6}$ Llenado no controlado: $1320 \cdot 10^{-6}$ Derrames: $80 \cdot 10^{-6}$	AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 5: Petroleum Industry, Transportation and marketing of Petroleum Liquids <a href="http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch05/final/c05s02.pdf">http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch05/final/c05s02.pdf</a>	Consumo total de Gasolina 93, 95 y 97 para la RM, según <i>Informe estadístico 2012</i>



### 6.3.2 Lavasecos

Para esta sub-categoría se consideró un nivel de actividad la proyección de la población realizada por el INE para el año 2012, debido a que no se contaba con información más en detalle cantidad de solventes utilizados por todos los lavasecos existente en la RM. La estimación se desarrolló por metodología en la cual la plataforma AIRVIRO va calculando las emisiones agregando los datos de entrada ya sea factores de emisión y nivel de actividad en una EDB de grilla específica para lavasecos, los valores utilizados corresponden a los siguientes.

**Tabla 71. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría lavaseco**

Contaminante	Factor de emisión Kg/habitante	Fuente	Nivel de actividad
COV	0,0633	Estudio "NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung und Möglichkeiten zu ihrer Minderung. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 15 Nr. 252", Jochen Theloke, 2005	Se utilizó la población proyectada para el 2012 según el INE para cada comuna de la RM.

### 6.3.3 Pintado de vehículos

Para esta sub-categoría se consideró un factor de emisión relacionado con la proyección de la población realizada por el INE para el año 2012, debido a que no se contaba con información más en detalle de cantidad de pintura, tipo de pintura (en base a agua o solventes), prácticas de aplicado de pintura, etc., utilizados por los distintos talleres de pintado existentes en la RM. Entonces debido a que el valor de nivel de actividad va variando año a año, por ende la emisión, se desarrolló una metodología en la cual la plataforma AIRVIRO va calculando las emisiones agregando los datos de entrada ya sea factores de emisión y nivel de actividad en una EDB de grilla específica para pintado de vehículos.

**Tabla 72. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría pintado de vehículos**

Contaminante	Factor de emisión (Kg/habitante)	Fuente	Nivel de actividad
COV	0,14	Programa de Inventario de Emisiones de México, SERMANAT 2000, disponible en: <a href="http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/areainv5.pdf">http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/areainv5.pdf</a>	Se utilizó la población proyectada para el 2012 según el INE para cada comuna de la RM.

### 6.3.4 Artes gráficas

Esta sub-categoría se compone de fuentes agregadas en grilla y de fuentes puntuales. Las que son agregadas en grilla corresponden a pequeñas operaciones de imprentas distribuidas en toda la RM, además de las emisiones provenientes de operaciones domésticas, estas emisiones serán calculadas en la plataforma AIRVIRO, para esto se necesita agregar los datos de entrada, los que corresponden a los factores de emisión y nivel de actividad a una EDB de grilla específica para artes gráficas, descritos a continuación. Para las fuentes puntuales se utilizaron las emisiones reportadas por los distintos estudios de evaluación de impacto ambiental de las principales fuentes emisoras de COV's, estas corresponden a las empresas INQUILIMA LTDA, ALUSA S.A., EDELPA S.A. y empresas Jordan Ltda, estas serán ingresadas con su emisión directa a la plataforma AIRVIRO.

Para la emisión de pequeñas operaciones relacionado con la proyección de la población se utilizó el siguiente factor:

**Tabla 73. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría artes gráficas para emisiones de pequeñas operaciones.**

Contaminante	Factor de emisión Kg/habitante	Fuente	Nivel de actividad
COV	0,4	AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 4: Evaporation Loss Sources 4.9.1 General Graphical Printing	Se utilizó la población proyectada para el 2012 según el INE para cada comuna de la RM.

Las emisiones de los distintos estudios utilizadas en el inventario son las siguientes:

- a. *Diagnóstico del Sector Imprentas como base para proponer un Acuerdo de Producción Limpia.*

**Tabla 74. Factor de emisión, nivel de actividad y emisión reportados por el estudio "Diagnostico del sector Imprentas como base para proponer un Acuerdo de Producción Limpia"**

Proceso	Consumo solvente (Ton/año)	Factor de emisión (Kg COV/ton solvente)	Emisión (Ton/año)
Offset en caliente	2784	143	398
Flexografía Rotograbado	22400	625	14.000
Offser en frio	684	64	41
<b>Total</b>			<b>14.439</b>

*b. Estimación de las Emisiones de COV en el Sector Operaciones, Septiembre 2010*

El año 2009 Empresas Jordan S.A. firmó el “Acuerdo de Producción Limpia: Sector Imprentas” el cual tiene como uno de sus objetivos construir una línea base de emisiones de COV para determinar las mejores alternativas de manejo a aplicar en caso de identificar puntos de generación de COV a causa de un manejo deficiente o diseño inadecuado dentro de los distintos procesos llevados a cabo por la empresa.

En la siguiente tabla se observa las estimaciones realizadas por las empresas Jordan, las que finalmente no fueron consideradas en la confección del inventario, debido que dichas emisiones se encuentran incluidas en el estudio antes referido de Diagnóstico del Sector Imprentas como base para proponer un Acuerdo de Producción Limpia.

**Tabla 75. Consumo y emisiones de empresas Jordan S.A.**

<b>Empresa</b>	<b>Consumo Productos con COVs (Kg/año)</b>	<b>Participación Consumo Total (%)</b>	<b>Emisiones COVs (ton/año)</b>	<b>Participación Emisiones Total (%)</b>
Archivert	1.463	1,0	1,04	1,2
Jordan	62.918	41,6	40,64	47,0
Vigamil	89.938	57,5	44,72	51,8
Total	15.315	100	86,41	100

Fuente: Empresas Jordán, Estimación de las Emisiones de COV en el Sector Operaciones, Septiembre 2010

*c. Planta de Recuperación de Solventes, INQUILIMA LTDA, Septiembre 2007.*

El proyecto “Planta de Recuperación de Solventes, INQUILIMA Ltda.” consiste en el reacondicionamiento de un módulo industrial, perteneciente a Núcleo Industrial Santiago Sur S.A., para la operación de un establecimiento industrial destinado a la recuperación de solvente sucios, provenientes de empresas que se dedican a la impresión, fotograbados o servicios con giro gráfico, recuperándolos para su posterior uso industrial por el mismo tipo de industrias. Dichos solventes son principalmente orgánicos.<sup>31</sup>

Con respecto a las emisiones atmosféricas, dado que el proyecto contempla la instalación de dos evaporadores que utilizarán como combustible gas licuado, se estima un consumo máximo diario de aproximadamente 15 kg, por lo cual las emisiones que generará como productos de la combustión son mínimas. Por lo que la empresa concluye que durante la etapa de operación del Proyecto, no se prevé la generación de emisiones atmosféricas significativas.<sup>32</sup>

*d. Declaración de Impacto Ambiental Proyecto “SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE SOLVENTES” ALUSA 2008.*

El objetivo principal del Proyecto “Sistema de Recuperación de Solventes”, cuyo titular es Alusa S.A., consiste en la recuperación de los vapores de solventes provenientes del proceso

---

<sup>31</sup> Declaración de Impacto Ambiental Proyecto “Planta de Recuperación de Solventes, INQUILIMA Ltda

<sup>32</sup> Declaración de Impacto Ambiental Proyecto “Planta de Recuperación de Solventes, INQUILIMA Ltda

de fabricación de envases flexibles, del mismo titular, evitando su efecto nocivo al medio ambiente, quedando en un estándar similar al de compañías pares de Europa.<sup>33</sup>

El proyecto en sí mismo es una mejora en materia de emisiones para la planta de Alusa S.A. existente, dado que se capturará cerca de un 93% del total de emisiones de aire cargado con solventes, emanadas por dicha Planta, lo cual genera consecuencias altamente favorables al medio ambiente.<sup>34</sup>

**Tabla 76. Emisiones totales de Empresa ALUSA Ltda.**

Fuentes de Emisión	Ventilador de Extracción (ton/año)	Tamices Moleculares (ton/año)	Destilación Reinyección a Proceso (ton/año)
Flujo	1.767	1.732	1.678
Residuo		35	70
Perdida			16

Fuente: Declaración de Impacto Ambiental Sistema de Recuperación de Solventes

Las emisiones presentadas por Alusa Ltda. fueron consideradas dentro del proceso de estimación de emisiones de Fuentes fijas, para evitar doble conteo.

*e. Declaración de Impacto Ambiental Proyecto Planta de Recuperación de Solventes, EDELPA, Abril 2006*

El proyecto “Planta de Recuperación de Solventes”, consistió en la captura mediante un proceso de adsorción de los solventes evaporados productos de los procesos de impresión y laminación de envases flexibles, para luego ser condensados y destilados hasta producir solventes puros recuperados y aptos para ser reutilizados. El proyecto, por lo tanto, consistió en la construcción y operación de una nueva planta dentro de los predios de Envases del Pacífico S.A. (EDELPA) en Maipú, Región Metropolitana, para la recuperación de solventes.<sup>35</sup> Cuyas emisiones se observan en la Tabla 77 siendo estas consideradas en la estimación de emisiones del inventario.

**Tabla 77. Emisiones de empresa EDELPA S.A.**

	Emisión Sin Proyecto (Ton/año)	Emisión Con Proyecto (Ton/año)
Fugitivas	444	444
Por chimenea	3.052	200
Total	3.496	644

Fuente: DEC IMPIANTI.

<sup>33</sup> Declaración de Impacto Ambiental Sistema de Recuperación de Solventes, Alusa Ltda.

<sup>34</sup> Declaración de Impacto Ambiental Sistema de Recuperación de Solventes, Alusa Ltda.

<sup>35</sup> Declaración de Impacto Ambiental Proyecto Planta de Recuperación de Solventes, EDELPA, Abril 2006

### 6.3.5 Fugas comerciales de GLP

Para las emisiones de fugas comerciales de GLP se consideró como nivel de actividad el consumo comercial de GLP. Sin embargo esta información no es reportada en el *informe estadístico 2012* de la SEC, por lo tanto se consideró que el consumo comercial correspondía a un 3% del total de ventas de GLP a las residencias, esta información es corroborada en distintos inventario de la RM, donde aproximadamente se considera ese valor. Obtenidos los datos, estos son ingresados en la EDB grilla específica para fugas comerciales de GLP y la plataforma AIRVIRO realiza el cálculo de emisión en toda la RM.

**Tabla 78. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría fugas comerciales de GLP.**

Contaminante	Factor de emisión (% de pérdida)	Fuente	Nivel de actividad
COV	1,5	Valor derivado a partir del estudio de la Empresa Nacional de Petróleos Mexicanos, PEMEX del año 2000	Consumo total de GLP para la RM, según <i>Informe estadístico 2012</i>

### 6.3.6 Aplicación de asfalto

Para la estimación de emisiones se utilizó el factor de emisión antes ya utilizado en el informe “Diagnóstico para la definición de control de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV’s) a nivel industrial y residencial” encargado por CONAMA RM 2008 a la Universidad de Concepción y a la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT). El nivel de actividad utilizado son las toneladas de asfalto utilizado en prácticas de conservación de caminos, sellador, recubrimientos industriales, etc.

El cálculo de emisión será realizado en la plataforma AIRVIRO y los datos serán ingresados en una EDB de grilla específica para la actividad de aplicación de asfalto. La ventaja de este método es que se puede ir modificando año a año los niveles de actividad y AIRVIRO va calculando de una manera sencilla y rápida la emisión.

**Tabla 79. Factor de emisión, fuente y nivel de actividad para la sub-categoría aplicación de asfalto.**

Contaminante	Factor de emisión (kg/Ton)	Fuente	Nivel de actividad
COV	950	Estudio “NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung und Möglichkeiten zu ihrer Minderung. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 15 Nr. 252”, Jochen Theloke, 2005	Toneladas de asfalto utilizados en RM para el año 2012, información perteneciente al MINVU y SERVIU, los cuales se relacionan con los kilómetros de calles pavimentadas con asfalto.

## 6.4. Fuentes agrícolas

### 6.4.1. Quemadas agrícolas

#### 6.3.6.1 Metodología de cálculo.

Para las quemadas de residuos agrícolas, se estimaron las emisiones provenientes de este sector, utilizando la metodología Tier 1 descrita en el capítulo 3.F del documento guía de inventarios EMEP/EEA 2013, la cual propone la estimación de emisiones mediante el cálculo de la masa de los residuos quemados (kg materia seca), y el uso de factores de emisión por defecto para cultivos, en escenarios donde no se disponga de un nivel mayor de detalle en los registros estadísticos.

$$\text{Emisión}_{\text{contaminante}} = \text{TA}_{\text{residuo\_quemado}} * \text{F.E}_{\text{contaminante}}$$

**Ecuación 3**

La base de datos utilizada en esta sección, fue obtenida a través de información anual y comunal de quema de residuos agrícolas, proporcionados por CONAF. Adicionalmente, se utilizaron datos de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), respecto al rendimiento en 2012, de cultivos esenciales en la región. Ambas bases de datos permitieron la estimación de la masa de residuos quemados ( $\text{TA}_{\text{residuo\_quemado}}$ ), necesario para el cálculo de la emisión total.

$$\text{TA}_{\text{residuo\_quemado}} = A * Y * s * p_b * C_f$$

**Ecuación 4**

Donde;

A= área quemada (ha)

Y= rendimiento de cultivos (kg/ha)

s= tasa entre masa de residuos y rendimiento del cultivo

d= materia seca del cultivo

$p_b$ = proporción de residuos que son quemados

$C_f$  = factor de combustión.

Los valores de  $s$ ,  $d$ ,  $p_b$ ,  $C_f$  que se utilizaron, son los descritos por defecto en la metodología Tier 2, los cuales además se encuentran en consistencia a las directrices del documento guía para inventarios de gases invernaderos IPCC, 2006 (Cap. 2.4). El resumen de valores, para cada tipo de cultivo mayoritario, es mostrado en la Tabla 80. Para todos se consideró  $d=0,85$ ; y  $p_b=1$ .

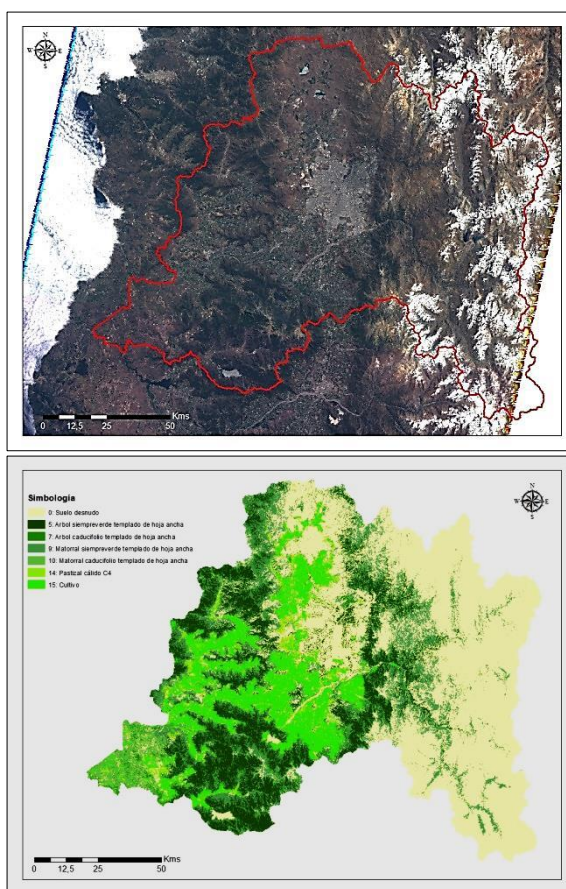
**Tabla 80. Valores de parámetros s y  $C_f$  por tipo de cultivo.**

Valores por tipo de cultivo		
	s	$C_f$
Trigo Harinero	1,3	0,9
Trigo Candeal	1,3	0,9
Avena	1,3	0,9
Cebada Forrajera	1,2	0,9
Maíz Consumo	1	0,8
Maíz Semilla	1	0,8

Poroto Consumo	2,1	0,9
Arveja	1,5	0,9
Papa	1,3	0,9
Maravilla	1,3	0,9
Raps	1,3	0,9

Una vez estimado el  $TA_{\text{residuo\_quemado}}$ , se pudo calcular la emisión total provenientes de la quema de residuos agrícolas (legales), utilizando los FE indicados en la Tabla 3-1, Cap. 3.F, del documento guía EMEP/EEA 2013.

Debido a que el nivel de detalle de la distribución de cultivos no se encuentra en datos comunales, la emisión fue calculada para la RM en su totalidad. Posteriormente, a través de un procesamiento de imágenes satelitales, se seleccionaron las áreas agrícolas dispuestas en pendiente  $\leq 10\%$ , con la finalidad de eliminar cobertura vegetal de cerros y montaña. Adicionalmente se seleccionaron áreas de cultivo sobre 1 hectárea para eliminar posibles asociaciones a parches vegetales ubicados en zonas urbanas, que no corresponden a zonas agrícolas.



Una vez obtenido el producto final correspondiente al procesamiento de la imagen satelital de referencia (27 de noviembre 2012), se distribuyó la emisión total de cada contaminante en la RM, según la superficie de cultivo asociada a cada celda de  $1 \text{ km}^2$ , creando la grilla "Quemas

agrícolas” ingresada en Airviro. A continuación se ilustran los pasos del procesamiento preliminar de la información satelital geográfica, hasta la creación de la grilla asociada, en Airviro.

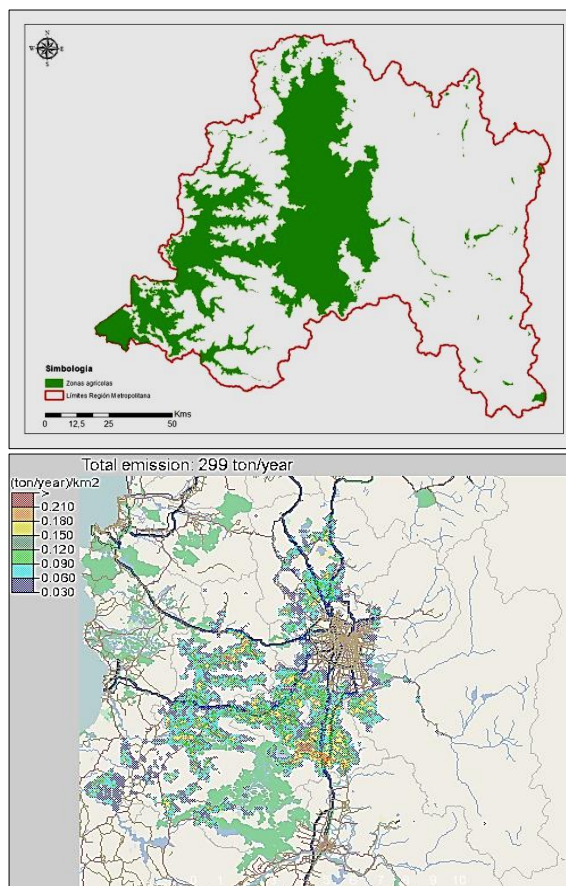


Figura 63. Imagen satelital LANDSAT 7 (Arr.Izq). Clasificación de LU/LC (Arr.Der). Información geográfica de cultivos agrícolas (Ab. Izq). Representación de emisiones de CO proveniente de quemas agrícolas en Airviro (Ab.Der).

### 6.3.6.1 Factores de emisión

El seguimiento de las directrices y recomendaciones indicadas por la guía de inventario de emisiones, de la Agencia Europea del Medio Ambiente, permitió estimar nuevas emisiones anuales de contaminantes en la RM. En general, estas nuevas emisiones son menores a las estimadas en inventarios pasados (2005, 2010), en parte debido al mejor ajuste en distintos niveles de detalles y factores de emisión, que los utilizados anteriormente.



Tabla 81. Factores de emisión por defecto para quemas agrícolas (Tier 1). Referidos a Tabla 3-1 del Cap. 3F. EMEP/EAA Emission Inventory Guidebook 2013.

QUEMAS AGRÍCOLAS	
	F.E (kg/kg material seco)
MP <sub>10</sub>	0,0057
MP <sub>2,5</sub>	0,0054
CO	0,0667
COV	0,0005
SO <sub>2</sub>	0,0005
NOX	0,0023
NH <sub>3</sub>	0,0024
BC	0,0005

## 6.4.2. Incendios Forestales

### *Metodología de cálculo.*

El nivel de actividad (área quemada), proveniente de registros estadísticos de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), fue obtenida en forma desagregada, a nivel de plantaciones forestales (pino, eucaliptus, otras especies) y vegetación natural (arbolado, matorral, pastizal).

El anterior detalle estadístico permitió utilizar los factores de emisión Tier 2 (kg/ha), dispuestos en el Cap. 11.B (Tablas 3-2; 3-5; 3-6; 3-7; 3-8), del documento guía para inventarios EMEP/EAA 2013. No obstante, las categorías proporcionadas por CONAF debieron ser asociadas a “tipos funcionales de planta” (PFT), precisados por los FE nivel Tier 2. La Tabla 82, a continuación, ilustra la asociación establecida sobre parámetros de similitud ecológica.

Tabla 82. Asociación de categoría CONAF a categoría PFT utilizado por factores de emisión Tier 2.

	Categoría CONAF	Categoría Tier 2 (PFT)
plantaciones forestales	Pino	Bosque TEMPLADO
	Eucaliptus	Bosque TEMPLADO
	Otras	Bosque TEMPLADO
vegetación natural	Arbolado	Bosque MEDITERRÁNEO
	Matorral	MATORRAL
	Pastizal	PASTIZAL

Los factores de emisión dados en kilogramos por área, permitieron la simplificación de la Ecuación 2, hacia la multiplicación directa de los FE (para cada tipo de PFT) por el área afectada.

$$\text{Emisión}_{\text{contaminante}} = A * \text{FE}_{\text{contaminante}}$$

**Ecuación 5**

Donde:

A: área quemada (ha)

No obstante, en el caso de las emisiones de material particulado, los FE expresados a nivel Tier 2, son descritos en función de la masa vegetal quemada. Para el cálculo de emisiones de material particulado, el nivel de actividad debió ser ajustado a la cantidad de biomasa quemada, multiplicando el área afectada a nivel comunal, por la densidad promedio de biomasa de cada PFT. El cálculo se basó en datos referenciales, otorgados por la tabla 3-2. Capítulo 11.B, del documento guía EMEP/EAA. La ecuación modificada para la estimación de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>, es presentada a continuación.

$$E_c = A * B * \beta * \alpha * \text{FE}_c$$

**Ecuación 6**

Donde:

$E_c$ : Emisión del contaminante “c”

A: área quemada (m<sup>2</sup>)

B: densidad total promedio de biomasa (kg/m<sup>2</sup>)

$\alpha$ : fracción de biomasa superficial (adimensional)

$\beta$ : eficiencia de quema (adimensional)

$\text{FE}_c$ : factor de emisión del contaminante “c”

### *Factores de emisión.*

Los F.E utilizados corresponden a los entregados por la guía para inventarios EMEP/EAA 2013, ilustrados a continuación en la Tabla 83.

**Tabla 83. Factores de emisión Tier 2 para incendios forestales según el tipo de bosque. FE expresados en kg/ha quemada. Para MP10 y MP2.5 la unidad corresponde a g/kg de material quemado.**

Factores de Emisión: INCENDIOS FORESTALES				
	<i>Templado</i>	<i>Mediterráneo</i>	<i>Matorral</i>	<i>Pastizal</i>
MP <sub>10</sub>	11	11	11	11
MP <sub>2,5</sub>	9	9	9	9
CO	5400	2900	2500	373
COV	500	270	230	34
SO <sub>2</sub>	38	20	17	3
NOX	190	100	86	13
NH <sub>3</sub>	43	23	19	3
Eficiencia quema	0,2	0,25	0,5	0,5

*Nivel de actividad.*

El nivel de actividad obtenido a nivel comunal (hectáreas quemadas) son mostradas a continuación en la Tabla 84.

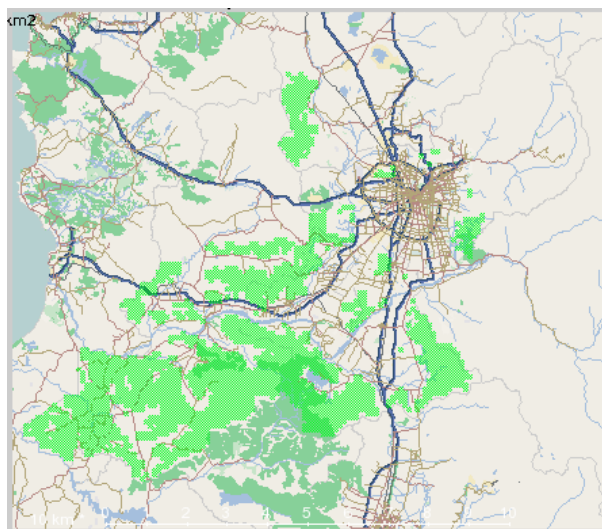
**Tabla 84. Nivel de Actividad correspondiente al área afectada a nivel de comunal. En color gris se destacan comunas sin registro de incendios forestales.**

	Total Ha/año	Tipo Forestal Incendiado					
		TOTAL PINO INSIGNE	EUCALIPTO	OTRAS SP.	ARBOLADO	MATORRAL	PASTIZAL
COLINA	13,69	0,05	1,30	0,35	0,25	3,04	8,71
LAMPA	81,06	0,00	0,05	0,00	5,25	16,86	58,90
TILTIL	41,30	0,00	0,00	0,00	2,85	11,15	27,30
PUENTE ALTO	8,75	0,05	0,28	0,00	0,45	1,92	6,06
PIRQUE	3,91	0,00	0,55	0,00	0,13	0,70	2,54
SAN JOSE DE MAIPO	32,60	0,10	0,20	0,00	8,75	13,13	10,43
SAN BERNARDO	37,91	0,20	1,21	0,01	0,50	6,52	29,48
BUIN	13,66	0,00	0,05	0,26	0,00	2,67	10,69
PAINE	158,46	0,00	0,60	0,78	17,28	83,70	56,11
CALERA DE TANGO	0,95	0,00	0,00	0,00	0,15	0,27	0,53
TALAGANTE	6,61	0,00	0,75	0,00	0,10	1,60	4,16
PENAFLO	12,76	0,00	1,43	0,16	0,63	2,92	7,63
EL MONTE	97,42	0,00	6,43	0,15	15,48	26,67	48,70
ISLA DE MAIPO	11,85	0,00	4,05	0,00	0,45	2,50	4,85
PADRE HURTADO	33,75	0,00	0,80	0,35	7,43	10,15	15,03
MELIPILLA	338,91	0,25	15,51	0,36	17,12	104,62	201,07
MARIA PINTO	8,30	0,05	0,00	0,00	1,15	1,08	6,03
SAN PEDRO	224,56	2,00	19,45	0,25	4,55	55,04	143,28
CURACAVI	6,16	0,00	0,01	0,00	0,85	1,95	3,36
ALHUE	26,52	0,00	0,00	0,25	4,90	7,11	14,26
SANTIAGO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INDEPENDENCIA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RECOLETA	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,30
ESTACION CENTRAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CONCHALI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HUECHURABA	6,00	0,00	0,15	0,05	0,00	1,08	4,72
QUILICURA	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	1,93
RENCA	6,50	0,00	0,30	0,00	0,00	1,06	5,15
QUINTA NORMAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PUDAHUEL	8,18	0,00	0,00	0,05	0,03	0,93	7,17
CERRO NAVIA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LO PRADO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAIPU	12,05	0,00	0,30	0,00	1,70	3,50	6,55
P.A.C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CERRILLOS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LO ESPEJO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

LA PINTANA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EL BOSQUE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LA FLORIDA	15,90	0,00	0,75	0,00	2,05	4,50	8,60
LA GRANJA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MACUL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PENALOEN	3,01	0,00	0,18	0,40	0,25	0,58	1,61
LA REINA	1,48	0,00	0,02	0,00	0,13	0,46	0,88
PROVIDENCIA	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10
ÑUÑO A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LAS CONDES	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	0,84
VITACURA	0,70	0,00	0,00	0,00	0,20	0,15	0,35
LO BARNECHEA	4,36	0,05	0,10	0,00	0,55	0,91	2,75

**TOTAL Ha. Quemada: 1,221**

Debido a que no se dispone de mayor información sobre los puntos exactos (coordenadas geográficas) donde se produjeron los incendios, la anterior información fue cruzada con los datos provenientes del tratamiento de imágenes satelitales (LANDSAT 7), en donde el uso de suelo clasificado en los atributos mencionados en la Tabla 83 permitieron distribuir la información geográficamente, requisito necesario para el ingreso de emisiones en el sistema Airviro.



**Figura 64. Distribución de áreas forestales ingresadas a Airviro, asociada a las emisiones provenientes de incendios forestales.**

### 6.4.3. Emisiones biogénicas

#### *Metodología de cálculo*

La estimación de las emisiones biogénicas, principalmente COVs, fue desarrollada mediante el uso del programa “Modelo de Emisiones de Gases y Aerosoles de la Naturaleza versión 2.1” (MEGAN2.1, Guenther et al, 2012, (<http://acd.ucar.edu/~guenther/MEGAN/MEGAN.htm>)). El sistema genera grillas horarias de emisiones de 20 diferentes variables, las cuales quedan disponibles en los siguientes formatos:

- Archivos formato NetCDF (un archivo por día durante un año, cada archivo 24 grillas horarias, 20 variables)
- Airviro EDB: Emisiones tipo grilla como promedio mensual y con variación temporal horaria, para 3 grupos de compuestos biogénicos: isopreno, monoterpenos y sesquiterpenos.
- Airviro Dispersion: Emisiones archivados bajo el modelo “EM” para ser visualizados en su totalidad (un resultado para cada sustancia emitida, con campos horarios de 20 variables)

**Tabla 85. 20 variables utilizados en el output de MEGAN.**

<b>No.</b>	<b>variable</b>	<b>abreviación</b>	<b>grupo</b>
1	Isopreno	ISO	Isopreno
2	Mirceno	MYR	Monoterpenos
3	Sabineno	SAB	
4	Limoneno	LIM	
5	3-Careno	A_3	
6	t-β-Ocimeno	OCI	
7	β-Pineno	BPI	
8	α-Pineno	API	
9	Otros Monoterpenos	OMT	
10	α-Farneseno	FAR	
11	β-Cariofileno	BCA	
12	Otros sesquiterpenos	OSQ	
13	232-MBO	MBO	
14	Metanol	MEO	
15	Acetona	ACT	
16	CO	CO_	
17	NO	NO_	
18	COV bidireccional	BID	
19	COV estrés	STR	
20	Otros COVs	OTH	

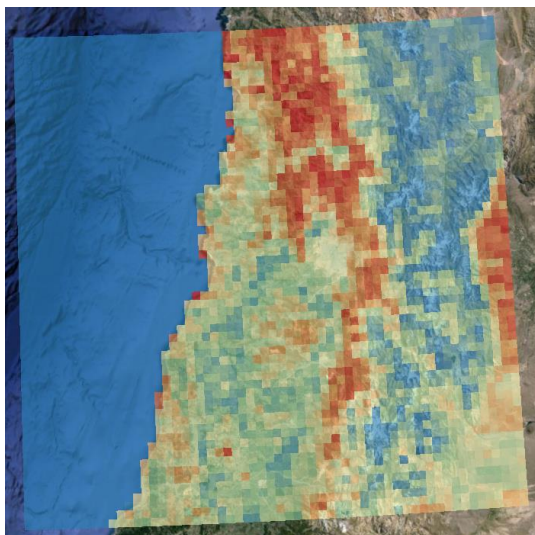
MEGAN requiere como datos de entrada:

1. Datos meteorológicos en forma de output del modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model, datos horarios)

2. Datos de vegetación (*plant functional type*) PFT (constante en tiempo)
3. Datos del estado de la vegetación (Índice areal de hoja, *leaf area index*) LAI (mensual o cada 8 días)

A continuación se describe el procedimiento utilizado para la incorporación de cada base de datos:

**Datos meteorológicos WRF:** A través de la DMC (Dirección Meteorológica de Chile), se recibió una base de datos WRF cubriendo el período Marzo 06 a Agosto 22, 2012. Como dato de entrada al MEGAN se ha elegido las corridas con resolución espacial de  $6 \text{ km}^2$ , en total un área de  $360 \times 360 \text{ km}^2$ . El modelo MEGAN trabaja con la grilla meteorológica definida por WRF. Para poder aprovechar la resolución posterior de PFT y LAI, se refinó la grilla WRF a  $1 \text{ km}^2$ , utilizando como base la misma corrida de WRF (Figura 65).



**Figura 65. Área y grilla del modelo WRF con su resolución original (60x60 celdas). Posteriormente se convirtió la grilla a 360+360 celdas para ser ingresadas a MEGAN.**

Las variables output de WRF utilizadas, fueron:

- SOIM1: unidad =  $\text{M}^3/\text{M}^3$ , "humedad volumétrica del suelo en cm superior"
- SOIT1: unidad = K, "temperatura del suelo en cm superior"
- SLTYP: unidad = CATEGORY, "tipo de textura del suelo en categoría"
- TEMP2: unidad = K, "temperatura a 2 metros"
- PRES: unidad = Pa, "presión" ;
- QV: unidad = KG/KG, "razón de mezcla de vapor de agua"
- WINDSPD: unidad = m/s, "velocidad del viento centrada en cada celda"
- RAIN\_ACC24: unidad = cm, "precipitación acumulada en 24 horas"
- PREC\_ADJ: unidad = - , "factor de ajuste de precipitación"
- PAR: unidad =  $\text{WATTS}/\text{M}^2$ , "radiación fotosintéticamente activa". Este dato no fue provisto por el modelo WRF, sino que la radiación global obtenida de la red de agrometeorología del INIA fue re-escalada a PAR (50% de la radiación global).

**Datos de vegetación PFT:** Para la RM se consideraron los PFT relacionados a la región biogeográfica presente, es decir se ignoraron los valores para zonas boreales y tropicales

descritos en el programa. Con la anterior consideración se construyó un mapa de uso/cobertura de suelo (LU/LC), mediante el uso de una imagen satelital LANDSAT 7, correspondiente a los meses de junio y noviembre 2012. Para el resto del año, se extrapolaron los valores utilizando información de la base de datos global de MEGAN (<http://cdp.ucar.edu/>). Estos datos se descargan en proyección de WGS84 (EPSG: 4326). Para servir como input a MEGAN, es necesario la conversión a la proyección mencionada (utilizado también por WRF), lo cual tiene la definición Proj4:

```
+proj=lcc +lat_1=-30 +lat_2=-60 +lat_0=-33.5576 +lon_0=-75 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=WGS84
+towgs84=0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs
```

El anterior comando de conversión puede ser utilizada en el programa QGIS.

Los PFT distribuidos en grillas de resolución 1 km, son los presentados a continuación en la Tabla 86.

**Tabla 86. Grupos Funcionales de Plantas (PFT) considerados en el modelo MEGAN2.1 (Guenther et al, 2012)**

BIOGÉNICAS	
N° FE	PFT
1	Árbol hoja Aciculada Perenne Templado
2	Árbol hoja Aciculada Perenne Boreal
3	Árbol hoja Aciculada Caduca Boreal
4	Árbol hoja Ancha Perenne Tropical
5	Árbol hoja Ancha Perenne Templado
6	Árbol hoja Ancha Caduca Tropical
7	Árbol hoja Ancha Caduca Boreal
8	Árbol hoja Ancha Perenne Boreal
9	Arbusto hoja Ancha Perenne Templado
10	Arbusto hoja Ancha Caduca Templado
11	Arbusto hoja Ancha Caduca Boreal
12	Pastizal C3 Artico
13	Pastizal C3 Frio
14	Pastizal C4 Templado
15	Cultivo
16	Maíz

Para determinar el tipo de PFT en la imagen satelital, se utilizó el método de Clasificación no Supervisada para obtener clases de uso y cobertura de suelos (LU/LC). Posteriormente, con información bibliográfica de especies y pisos vegetacionales propuestos en la literatura (Luebert, 2006.), se asignó una clase PFT a cada uso y cobertura verde de acuerdo a las especies identificadas por los autores. En su conjunto, estas clases PFT componen el paisaje típico de la zona central de Chile, donde abundan las especies esclerófilas en bosque y matorral nativo en las zonas cordilleranas. Ejemplos de especies representativas del bosque

esclerófilo son el Litre (*Lithrea caustica*), Espino (*Acacia caven*), Peumo (*Cryptocarya alba*) y Colliguay (*Colliguaja odorifera*). Gran parte del territorio también es dominado en verano por cultivos agrícolas en las zonas planas o de poca pendiente, especialmente maíz y trigo

La clasificación local obtenida a través de la imagen LANDSAT de noviembre 27, 2012, entregando el output en la proyección WGS84 UTM 19S (EPSG: 32719), clasificó los suelos de la RM según:

- no 5: Árbol siempreverde templado de hoja ancha: 29.7%
- no 7: Árbol caducifolio templado de hoja ancha: 1.8%
- no 9: Matorral siempreverde templado de hoja ancha: 35.9%
- no 10: Matorral caducifolio templado de hoja ancha: 5.0%
- no 14: Pastizal cálido C4 4.8%
- no 15: Cultivo: 22.8%

#### **Datos de Índice Areal de hoja (*Leaf Area Index, LAI*)**

El modelo MEGAN requiere información mensual o de cada 8 días de LAI. La información global disponible está elaborada en base a fotos satelitales del año 2003, presentados como valores mensuales. Para cumplir con los requerimientos de la versión actual de MEGAN, se han creado 46 grillas representando cada una, 8 días del año 2012. La variación de LAI durante el año depende de la localidad, no obstante la variación promedio de LAI sobre la RM tiene una variación estacional representativa.



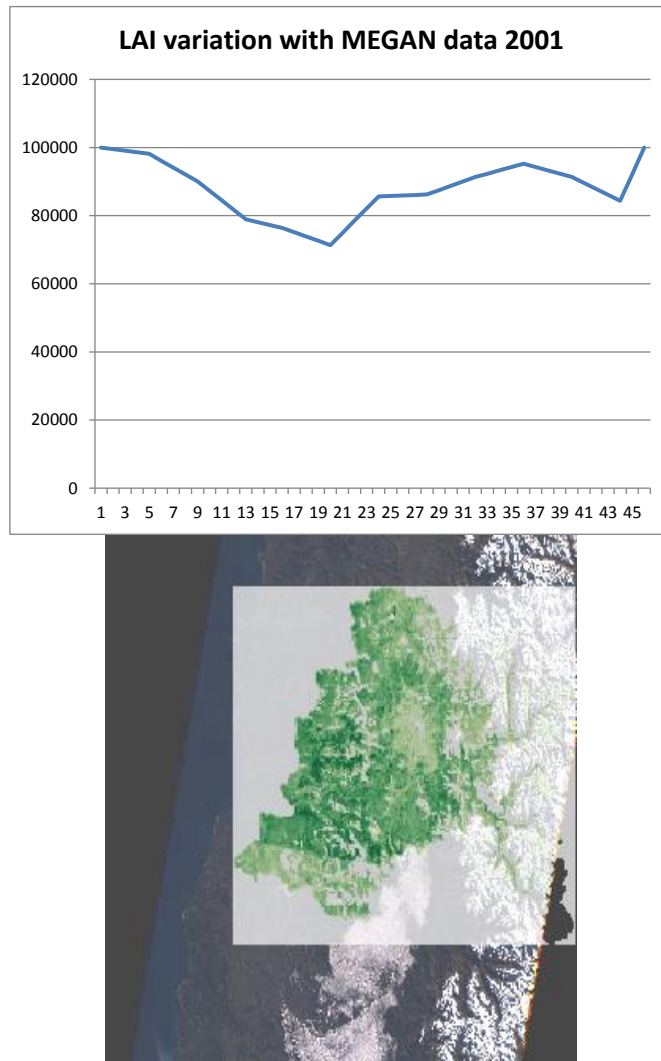


Figura 66. Izq. Variación anual (46 períodos de 8 días) de LAI como promedio (tomado del año 2003, base de datos de MEGAN). Sin unidad. Der. Distribución de LAI sobre la RM. Imagen satelital junio 2012.

Para la determinación de los valores de LAI, se utilizaron las bandas roja e infrarroja cercana, de la imagen LANDSAT 7. En base a ellas se calcula el índice vegetacional NDVI (Ecuación 7), que ha demostrado estar altamente relacionado a LAI. Se utilizó el modelo de regresión propuesto por la literatura (Yueting, 2008) para cultivos típicos. Este modelo, dentro de otros disponibles en bibliografía, es el que arroja valores más similares a datos LAI de referencia (MODIS LAI), además de que no depende de otras variables ajenas a la imagen.

#### Ecuación 7

$$NDVI = \frac{I Rc - R}{I Rc + R^{LAI}} = 0.218 * \exp(3.345 * NDVI)$$

Por otra parte, se ha estudiado un ejemplo del producto LAI basado en la información del satélite MODIS con objeto de comparar calidad de resultados respecto a las otras dos fuentes de datos LAI. A diferencia del LAI LANDSAT 7 las imágenes LAI MODIS están disponibles para todas las regiones del mundo con resolución de 926 m, pero con la certeza de que el algoritmo de cálculo de LAI al ser global es más adecuado para asociaciones heterogéneas de vegetación. El material es dispuesto por la NASA de forma gratuita en el sitio <http://earthexplorer.usgs.gov>.

Los factores de emisión, ilustrados en la siguiente sección, fueron multiplicados con los porcentajes de PFT para llegar a una emisión potencial de cada celda de la grilla WRF. El producto creado correspondió a un input, nombrado EF\_MAP.

### Corrida del modelo MEGAN.

Para este procedimiento, se contó con tres archivos input, todos en el formato .csv:

- PFT.csv
- LAI.csv
- EF\_MAP.csv

Los archivos describen la grilla de 360x360 celdas, con proyección del modelo WRF, y una celda por línea, empezando con las celdas más al sur.

Ejemplo PFT.csv:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	CID	ICELL	JCELL	NT_EG_TEMP	NT_DC_BORL	NT_EG_BORL	BT_EG_TROF	BT_EG_TEMP	BT_DC_TROF	BT_DC_TEMP	BT_DC_BORL	SB_EG_TEMP	SB_DC_TEMP	SB_DC_BORL	GS_C3_COLD	GS_C3_COOL	GS_C3_WARM	CROP	CORN	
126	125	125	1	5	0	0	0	0	0	11	0	23	0	0	0	0	0	32	30	0
127	126	126	1	9	0	0	0	0	0	17	0	24	0	0	0	0	0	47	3	0
128	127	127	1	4	0	0	0	0	0	6	0	40	0	0	0	0	0	43	2	0
129	128	128	1	3	0	0	0	0	0	6	0	49	0	0	0	0	0	32	2	0
130	129	129	1	4	0	0	0	0	0	11	0	40	0	0	0	0	0	32	2	0

Ejemplo LAI.csv (tiene 46 columnas representando LAI cada 8 días del año):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1	CELL_ID	X	Y	LAI01	LAI02	LAI03	LAI04	LAI05	LAI06	LAI07	LAI08	LAI09	LAI10	LAI11	LAI12	LAI13	LAI14	LAI15	LAI16	LAI17	LAI
194	193	193	1	4.9490	5.1250	5.3010	5.4770	5.6530	5.2070	4.7620	4.3160	3.8710	4.0270	4.1840	4.3400	4.4970	4.3460	4.1960	4.0460	3.4800	
195	194	194	1	4.8990	5.0750	5.2510	5.4270	5.6030	5.2380	4.8740	4.5100	4.1460	4.2150	4.2840	4.3530	4.4220	4.3380	4.2540	4.1710	3.5430	
196	195	195	1	4.6000	4.7410	4.8830	5.0250	5.1670	4.8830	4.6000	4.3160	4.0330	4.0870	4.1410	4.1950	4.2500	3.9940	3.7380	3.4830	3.0740	
197	196	196	1	4.0750	4.2310	4.3870	4.5430	4.7000	4.5430	4.3870	4.2310	4.0750	3.8930	3.7120	3.5310	3.3500	3.1750	3.0000	2.8250	2.5430	
198	197	197	1	3.9090	4.1060	4.3030	4.5000	4.6970	4.5090	4.3220	4.1350	3.9480	3.3950	2.8420	2.2890	1.7360	1.6760	1.6170	1.5580	1.4570	
199	198	198	1	4.0410	4.1120	4.1840	4.2560	4.3280	4.1680	4.0080	3.8480	3.6880	3.1350	2.5830	2.0300	1.4780	1.2530	1.0280	0.8040	0.7780	
200	199	199	1	3.1810	3.1470	3.1140	3.0800	3.0470	2.9830	2.9200	2.8560	2.7930	2.5190	2.2460	1.9730	1.7000	1.4180	1.1360	0.8550	0.7900	

Ejemplo EF\_MAP.csv (una columna para cada output del MEGAN)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	CID	X	Y	LAT	LONG	OSRAI	OTEM	ISOP	MYRC	SABI	LIMO	A_3CAR	OCIM	BPIN	APIN	OMTP	FARN	BCAR	OSQT	MBO
4076	4075	115	12	-35.15069962	-71.87982941	250	300	1358.040	17.626	26.194	33.494	23.926	45.040	65.130	129.840	62.900	20.900	26.640	51.240	49.00
4077	4076	116	12	-35.15069962	-71.8684082	250	300	972.200	9.980	15.820	20.020	11.780	29.000	36.100	75.200	39.000	14.000	16.400	31.600	14.00
4078	4077	117	12	-35.15069962	-71.8569987	250	300	1714.200	21.987	33.903	42.803	27.387	59.680	79.235	160.580	79.550	27.070	34.590	66.780	42.00
4079	4078	118	12	-35.15069962	-71.8455988	250	300	2556.030	23.984	34.896	46.996	33.884	61.960	92.520	197.560	87.400	26.870	34.470	67.760	77.00
4080	4079	119	12	-35.15069962	-71.83414459	250	300	1942.080	17.617	24.773	34.073	26.617	43.480	69.785	148.780	64.050	19.250	24.730	47.780	70.00
4081	4080	120	12	-35.15069962	-71.82272339	250	300	1424.130	14.541	21.529	28.329	19.941	38.140	55.105	114.940	53.750	17.540	21.860	42.140	42.00
4082	4081	121	12	-35.15069962	-71.81130219	250	300	742.390	7.413	11.097	14.497	10.113	20.020	28.265	58.420	29.250	10.520	12.380	22.020	21.00

Posteriormente, se ejecutó el modelo en dos pasos:

1. run.txt2ioapi: convirtiendo los 3 archivos csv a archivos ncf (formato NetCDF)
2. run.emproc: ejecución del modelo MEGAN mismo.

La salida del modelo MEGAN es por 1 archivo ncf por día, conteniendo 24 campos horarios de cada sustancia emitida. Los archivos ncf se han archivado y serán entregados como parte del inventario 2012. Para facilitar un acceso más sencillo, se han transferido las emisiones a la proyección del Airviro SINCA (WGS84 UTM 19S) y se ha cargado cada campo en el módulo Dispersion (tipo "EM"). A la base de datos de emisiones - módulo EDB - se ha cargado el

promedio mensual de los tres grupos isopreno/montoterpenos/sesquiterpenos, cada promedio mensual, con una variación diaria.

### Factores de emisión

Los distintos FE utilizados en la corrida del modelo MEGAN, son los descritos a continuación.

**Tabla 87. Factores de Emisión ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) de distintos COVs para emisiones biogénicas vegetales. Se indica el FE asociado a cada grupo de PFT (Guenther et al, 2012).**

BIOGÉNICAS															
Compuesto	FE1	FE2	FE3	FE4	FE5	FE6	FE7	FE8	FE9	FE10	FE11	FE12	FE13	FE14	FE15
Isopreno	600	3000	1	7000	10000	7000	10000	11000	2000	4000	4000	1600	800	200	1
Mirceno	70	70	60	80	30	80	30	30	30	50	30	0,3	0,3	0,3	0,3
Sabineno	70	70	40	80	50	80	50	50	50	70	50	0,7	0,7	0,7	0,7
Limoneno	100	100	130	80	80	80	80	80	60	100	60	0,7	0,7	0,7	0,7
3-Careno	160	160	80	40	30	40	30	30	30	100	30	0,3	0,3	0,3	0,3
<i>t</i> - $\beta$ -Ocimeno	70	70	60	150	120	150	120	120	90	150	90	2	2	2	2
$\beta$ -Pinoeno	300	300	200	120	130	120	130	130	100	150	100	1,5	1,5	1,5	1,5
$\alpha$ -Pinoeno	500	500	510	600	400	600	400	400	200	300	200	2	2	2	2
Otros Monoterpenos	180	180	170	150	150	150	150	150	110	200	110	5	5	5	5
$\alpha$ -Farneseno	40	40	40	60	40	60	40	40	40	40	40	3	3	3	4
$\beta$ -Cariofileno	80	80	80	60	40	60	40	40	50	50	50	1	1	1	4
Otros Sesquiterpenos	120	120	120	120	100	120	100	100	100	100	100	2	2	2	2
232-MBO	700	60	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Metanol	900	900	900	500	900	500	900	900	900	900	900	500	500	500	900
Acetona	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	80	80	80	80
CO	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
COV Bidireccional	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	80	80	80	80

#### 6.4.4. Fertilizantes y plaguicidas

##### *Metodología de cálculo*

Los fertilizantes con base en nitrógeno emiten amoníaco a la atmosfera. La cantidad de emisiones de amoníaco depende del tipo de fertilizante aplicado y se expresa como un porcentaje del contenido de nitrógeno del fertilizante.

Para estimar las emisiones provenientes de fertilizantes inorgánicos se utiliza la metodología propuesta en el informe “Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe”.

Las emisiones de amoníaco de uso de fertilizantes se calculan utilizando la siguiente ecuación:

$$E_{i,j,l} = \sum_j (nf_{i,j} \frac{17}{14} FC_{i,j,l})$$

**Donde:**

*i,j,l*: País, Categoría de fertilizante (urea y otros fertilizantes nitrogenados), años.

*E*: Emisiones de amoníaco por uso de fertilizante [Gg NH<sub>3</sub>-N / año]

*nf*: Pérdida de nitrógeno (categoría de abono específico) [% de contenido de N / 100]

*FC*: Uso de fertilizantes [Gg N / año].

Dado que la pérdida de nitrógeno se expresa como un porcentaje del total de nitrógeno en el fertilizante, el factor de conversión (17/14) se utiliza para calcular las emisiones de amoníaco.

Debido a la falta de información del sector, en este informe se ha utilizado la metodología alternativa propuesta por el inventario especializado de NH<sub>3</sub> desarrollado por Sistem Ingeniería para la Subsecretaría del medio ambiente para el periodo 2011. Esta metodología utiliza las tasas de demanda de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación actualizadas al año del inventario. Debido a que a la fecha de este inventario la FAO no tiene información más actualizada de las tasas de demanda de nutrientes, se utilizan las tasas actualizadas al 2011.

**Tabla 88:** Tasa de aplicación de nutrientes por unidad de superficie

Kg de nutriente por ha			
CHILE	TASA N	TASA P	TASA K
Cebada	100	80	30
Remolacha	200	250	90
Forraje	45	30	0
Frutas	80	45	40
Maíz	200	100	30
Otros cereales	100	80	0
Potata	100	110	60
Legumbres	50	80	40
Rape (tabaco)	140	150	30
Arroz	120	80	40
Sorgo (maiz)	80	80	30
Girasol	100	80	40
Tabaco	100	40	30
Verduras	0,1	0,2	66,1
Trigo	100	80	20

Fuente: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), Sistem Ingeniería.

Las hectáreas por tipo de cultivo en la región metropolitana es multiplicada por la tasa de aplicación de nutrientes, obteniendo como resultado el consumo de nitrógeno para cada cultivo y comuna. La pérdida de nitrógeno se expresa como un porcentaje del total de nitrógeno en el fertilizante, el factor de conversión (17/14) se utiliza para calcular las emisiones de amoniaco.

#### 6.4.5. Crianza de animales

##### *Metodología de cálculo*

Se utilizó la metodología planteada por “*Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe*” (Klimont Z, 2004), esta metodología de tipo descendente considera cuatro actividades principales asociadas a la generación de emisiones.

- Alojamiento de animales

- Almacenaje de estiércol
- Pastoreo de animales (ruminantes, equinos)
- Aplicación de estiércol sobre el suelo (como fertilizante)

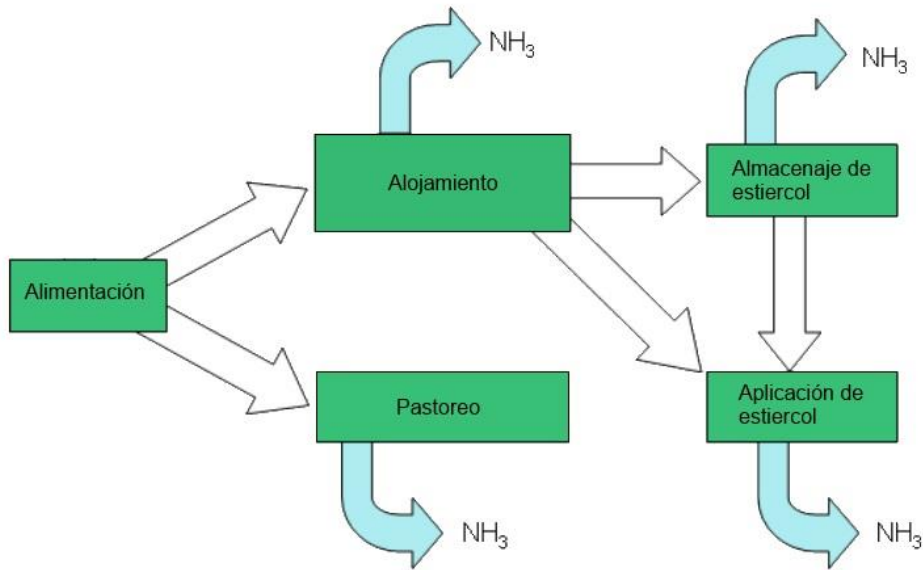


Figura 67: Actividades asociadas a la generación de emisiones de crianza de animales. Imagen adaptada de EMEP/EEA 2013 Inventory guidebook section 3.B Manure management página 4.

#### Factores de emisión

Las emisiones de amoníaco debido a crianza de animales están dadas por:  $E_{NH_3} = 1.21 \times FE_{NH_3-N} \times NA$ , donde  $NA$  es el nivel de actividad y  $FE_{NH_3-N}$  representa el factor de emisión. Para más detalles ver (US EPA, 2004). El factor de emisión varía según la actividad agraria y tipo de animal, para determinar el factor de emisión se utilizan las ecuaciones mostradas en la Tabla 89 y los coeficientes mostrados en la Tabla 90.

Tabla 89: Ecuaciones para determinar el factor de emisión  $FE_{NH_3-N}$ .

Actividad	Cerdos y aves	Bovinos, ovinos, caprinos, camélidos y equinos.
Alojamiento de animales	$\frac{(C \times F + D \times G) \times 365 \times 0.5}{1000}$	$\frac{(C \times F + D \times G) \times 365}{1000}$
Aplicación de estiércol al suelo	$\frac{I}{1000} [N_{exim} - (C \times F + C \times G) \times 365 \times 0.5]$ $N_{exim} = N_{ex} \times C$	$\frac{I}{1000} [N_{exim} - (C \times F + D \times G) \times 365]$ $N_{exim} = N_{ex} \times \left[ \frac{C + D \times E}{C + E \times (1 - C)} \right]$
Pastoreo de animales	$\frac{H}{1000} \times N_{ex} \times (1 - C)$	$\frac{H}{1000} \times N_{ex} \times \left[ 1 - \frac{C + D \times E}{C + E \times (1 - C)} \right]$

donde:

$N_{exim}$ : Nitrógeno excretado en los alojamientos, por categoría de animal al año.  
 $N_{ex}$ : Nitrógeno excretado fuera de los alojamientos al año.

Factor H: Fracción del nitrógeno excretado en las fecas y orinas, que se transforma en NH<sub>3</sub>.

Factor I: Factor de emisión que relaciona el total de nitrógeno aplicado como estiércol.

**Tabla 90: Factores para diferentes tipos de animales.**

Categoría	Factor C	Factor D	Factor E	Factor F <sup>1</sup>	Factor G <sup>1</sup>	Factor H	Factor I	Nex <sup>2</sup>
Bovinos <sup>3</sup>	0,50000	0,50000	1,00000	0,04493	0,05869	0,08000	0,22000	59,540
Cerdos <sup>3</sup>	1,00000	0,00000	0,00000	0,01441	0,01441	0,00000	0,14000	14,730
Ovinos	0,08000	0,00000	1,00000	0,00581	0,00581	0,04600	0,22000	12,000
Caprinos	0,08000	0,00000	1,00000	0,00581	0,00581	0,04600	0,22000	12,000
Camélidos	0,08000	0,00000	1,00000	0,00581	0,00581	0,04600	0,22000	12,000
Equinos	0,08000	0,00000	1,00000	0,02423	0,02423	0,04600	0,22000	50,000
Aves <sup>3</sup>	1,00000	0,00000	0,00000	0,0002	0,00020	0,00000	0,19000	0,5460
Otras Aves <sup>3,4</sup>	1,00000	0,00000	0,00000	0,00018	0,00018	0,00000	0,07200	0,4040

Fuente: INIA, 1998.

<sup>(1)</sup> unidades en Kg/animal/día

<sup>(2)</sup> unidades en Kg/animal/año

<sup>(3)</sup> Modificado en SAIE 2001.

<sup>(4)</sup> Incluye patos, pavos y gansos.

donde los factores representan:

Factor C: Período del año que el animal permanece en estabulación con dieta de invierno

Factor D: Período del año que el animal permanece en estabulación con dieta de verano.

Factor E: Diferencia entre las dietas con respecto al valor proteico.

Factor F: Emisiones provenientes tanto de los alojamientos como de las producidas desde los lugares de almacenamiento del estiércol para época invernal.

Factor G: Emisiones provenientes tanto de los alojamientos como de las producidas desde los lugares de almacenamiento del estiércol para época estival.

Factor H: Fracción de nitrógeno excretado en las fecas y orina que se transforma en NH

Factor I: Fracción del nitrógeno aplicado como estiércol al suelo que se transforma en NH

Nex: Excreción de nitrógeno en las diferentes categorías de animales.

Estos factores están desarrollados por estudios específicos (INIA 1998, modificados por el SAIE en el 2001). Para actualizar estos factores se necesitan estudios científicos que consideren las condiciones meteorológicas locales y las diferentes condiciones de alojamiento y de manejo de residuos existentes en la zona de estudio.

### *Niveles de Actividad.*

La estimación de las emisiones es calculada a partir de los datos del último censo agropecuario y forestal (VII Censo Agropecuario y Forestal 2006 – 2007) como un solo valor para cada comuna, diferenciando si se trata de alojamiento de animales, aplicación de estiércol al suelo o pastoreo de animales.

Además se incluyó el inventario especializado de NH<sub>3</sub> 2011 para las categorías Bovinos, porcinos y aves, desarrollado por Sistam Ingeniería que considera las emisiones de los planteles de exportación de la RM con una metodología ascendente, más detalles sobre esta metodología y la estimación de las emisiones se encuentra en el informe “Desarrollo e Implementación de Sistema de Registro de Emisiones De Amoniaco (NH3) con Actualización Periódica para la Región Metropolitana” desarrollado para la Subsecretaría de medio ambiente.

## 6.4.6. Rellenos sanitarios

### *Metodología de cálculo.*

Para calcular las emisiones se utilizó el modelo Landgem (US EPA, 2005) tomando en consideración las variables descritas en las declaraciones y estudios de impacto ambiental de cada relleno sanitario y considerando las medidas de control de emisión de gases existentes.

### *Factores de emisión*

Los factores de emisión utilizados provienen del informe AP42 “solid waste disposal” desarrollado por la US EPA y son factores que incorporan variables locales.

En la tabla se muestran los factores de emisión y la fuente de información utilizados.

**Tabla 91: Factores de emisión según actividad y contaminante para los rellenos sanitarios.**

Actividad	Contaminante	Factor de emisión	Unidades	Fuente
Emisión de biogás	CH <sub>4</sub>	0.55	Del biogás generado	US EPA Landgem Model (US EPA, 2005)
	CO <sub>2</sub>	*	*	
Quema de biogás (Antorcha)	CO	12000	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub>	AP42 (US EPA, 2005)
	NO <sub>x</sub>	650		
	MP	270		

\* calculado por el modelo Landgem según parámetros de entrada.

Los parámetros de entrada en el modelo Landgem son los siguientes:

**Tabla 92: Parámetros de entrada en el modelo Landgem**

Parámetros de entrada	Valor
Methane Generation Rate, k (year-1)	0,04
Potential Methane Generation Capacity, Lo (m3/Mg)	100
NMOC Concentration (ppmv as hexane)	2400
Methane Content (% by volume)	55

### *Niveles de actividad*

Los niveles de actividad corresponden al total de residuos en el relleno, actualizado al año de este inventario, información dada por la proyección de residuos en el relleno sanitario (Servicio de Evaluación Ambiental) y la cantidad de biogás generado, declarado por cada empresa controladora a la Seremi de Salud de la RM.



## 6.4.7. Plantas de tratamiento de aguas servidas

### *Metodología de cálculo*

La Metodología para calcular los factores de emisión utilizados en la disposición y manejo de residuos provienen del informe AP42 “*solid waste disposal*” desarrollado por la US EPA y son factores que incorporan variables locales.

Para estimar las emisiones provenientes de los COV, se utilizó el factor de emisión de primer nivel propuesto en la guía europea de inventarios de emisiones (EMEP, 2006). Las emisiones se calculan multiplicando el factor de emisión por el nivel de actividad  $E = FE \times NA$ , el nivel de actividad corresponde al caudal de agua tratada por cada planta de tratamiento.

### *Factores de emisión*

Las emisiones de NH<sub>3</sub> de esta categoría se calcularon utilizando un factor de emisión diferente al utilizado en los inventarios anteriores que considera investigaciones científicas más recientes (Stephen M. Roe, 2004), estos estudios mencionan que las estimaciones de NH<sub>3</sub> proveniente del tratamiento de aguas servidas basadas en balance de masas no son confiables debido principalmente a que en las plantas de aguas servidas, la cantidad de nitrógeno emitido varía sustancialmente dependiendo de variables biológicas, químicas, tecnológicas y factores meteorológicos. Se indica que las emisiones de estos procesos fueron sobrestimadas en los inventarios anteriores de la EPA de 2.5 a 4 órdenes de magnitud.

**Tabla 93: Factores de emisión y nivel de actividad de las emisiones de las plantas de tratamiento de aguas servidas utilizados en este inventario.**

Contaminante	Factor de Emisión (mg/Lt)	Fuente	Nivel de actividad
COV	0,0150	(Stephen M. Roe, 2004)	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)
NH <sub>3</sub>	0,0143	(EMEP, 2006)	

### *Nivel de actividad*

A diferencia de los inventarios anteriores donde se hace una estimación del caudal de agua tratada a partir del gasto promedio de agua por persona y las estadísticas de población comunal, en este inventario se consideró el caudal anual de agua tratada por cada planta que figura en el catastro de la superintendencia de servicios sanitarios al año 2012. Esta información fue proporcionada por la SISS.

## 6.5. Fuentes móviles

### 6.5.1. En ruta

#### *Transporte público*

El inventario de transporte público utilizó como base los outputs TSANT2 (fuentes Road), para luego realizar una grilla de emisiones utilizando un promedio de factores de emisión para toda la flota y el flujo vehicular acumulado 2012 [veh km], por lo anterior el inventario del transporte público en el inventario 2012 está representado como grillas de emisión.

A continuación se presenta la metodología para el desarrollo de TSANT2.

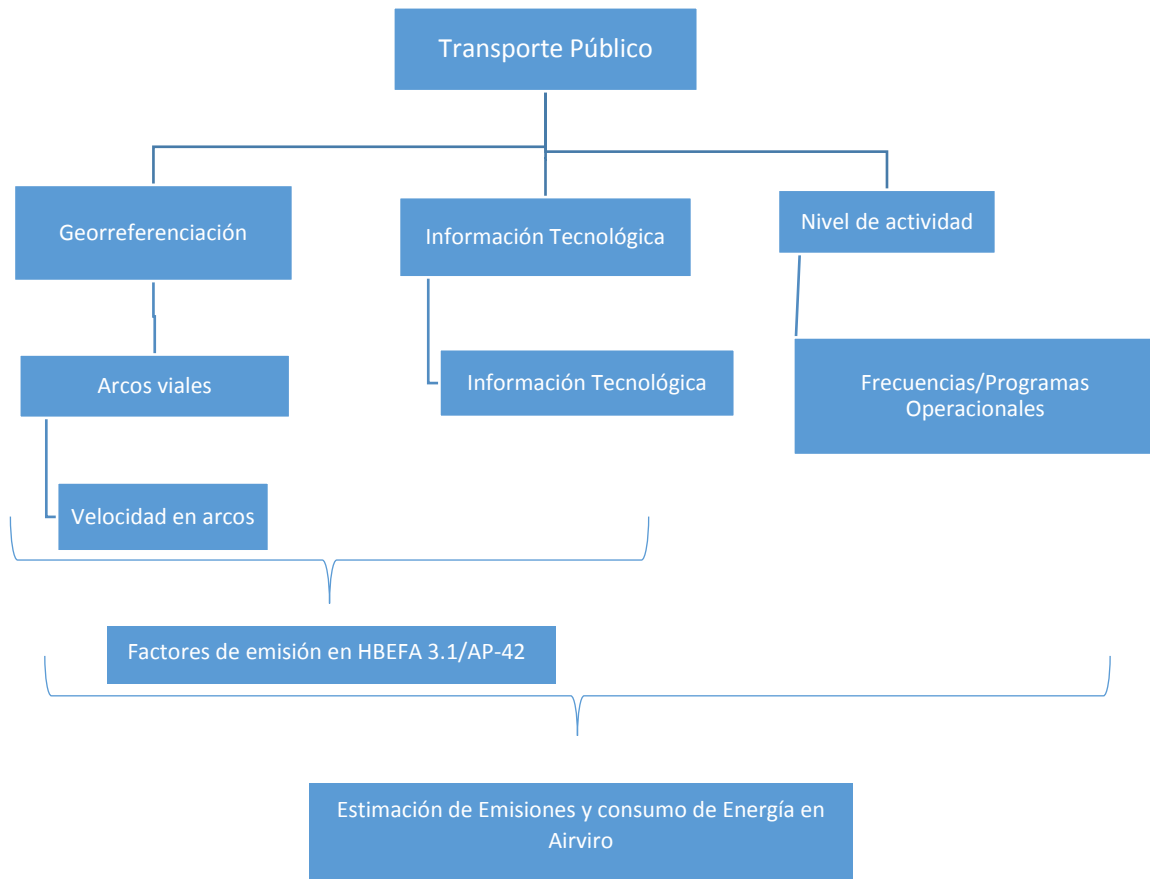


Figura 68: Diagrama de Metodología Transporte Público

## Arcos viales

Se importan los recorridos (formato Shape) a Airviro, la georreferenciación está disponible en la página web del Directorio de Transporte Público Metropolitano<sup>36</sup>, de igual manera están disponibles los Programas operacionales de los servicios de Transantiago.

Como primer paso es necesaria la identificación de los arcos viales e infraestructura de las vías por donde circula el transporte público, para esto se propone realizar viajes en el transporte público para su categorización o con el uso de herramientas satelitales disponibles, como Street View<sup>37</sup>.

Un ejemplo de la metodología que se utilizará para el corte de arcos se puede observar en la Figura 69.

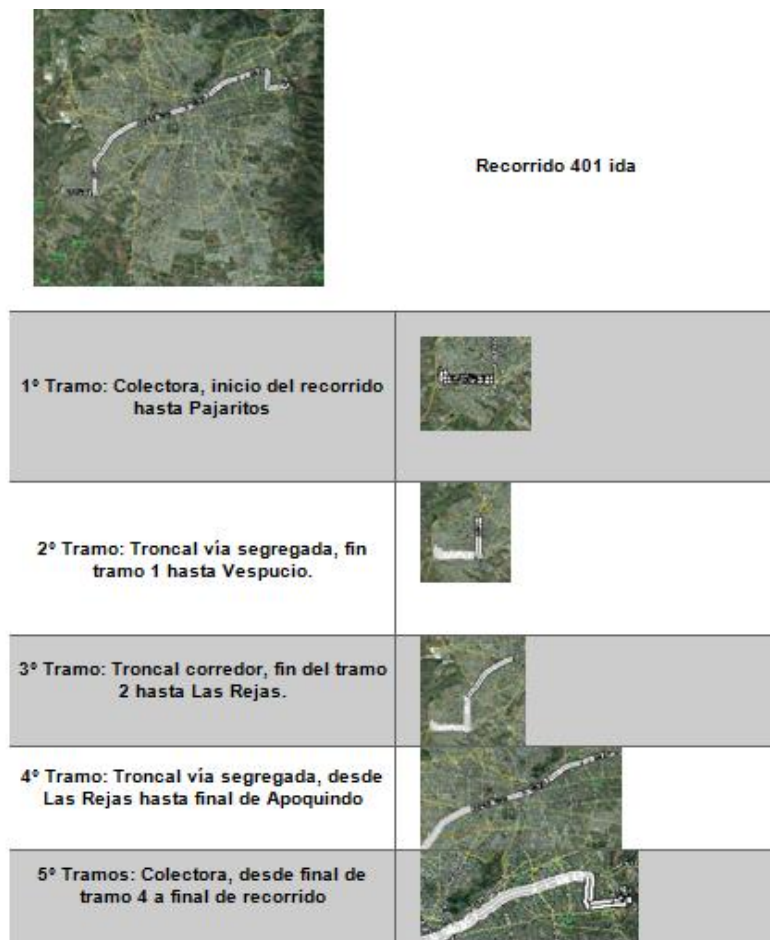


Figura 69: Arcos de servicio 401 Ida

<sup>36</sup> <http://www.dtpm.gob.cl/>

<sup>37</sup> Google Maps

## Velocidad de arcos

Para determinar la función de velocidad en cada arco, es necesaria la información de GPS por arcos viales del año 2012, se consideraran las velocidades de servicios de transporte del mes de mayo.

Como primer paso se deben limpiar los datos de GPS, debido a que muchos de estos entregan valores fuera de rango físico. Luego se deben asignar los datos de GPS que están desplazados geográficamente a recorridos, se determinó un rango de 100 metros para considerar válido el dato de GPS.

Para la determinación y asignación de velocidades se consideró los datos de arco por servicio (Ecuación 8)

$$v = f(\text{arco}, \text{servicio}) \quad \text{Ecuación 8}$$

En la Figura 70 se presentan 4 consideraciones para el cálculo de la velocidad promedio por arco (Ecuaciones 9 – 12) muestran las distintas maneras de calcular la velocidad promedio según los datos que se obtengan por cada arco/servicio.

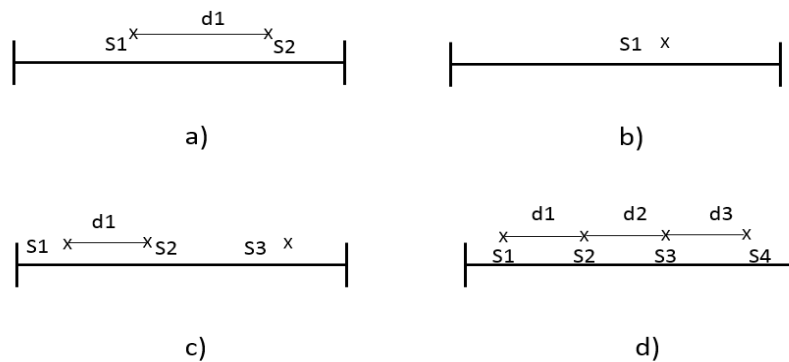


Figura 70: Cálculo de velocidades promedio por arco.

$$V_a = \frac{d_1}{t_1} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$V_b = \text{Nulo} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$V_c = \frac{d_1}{t_1} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$V_d = \frac{(d_1+d_2+d_3)}{(t_1+t_2+t_3)} \quad \text{Ecuación 12}$$

En la situación a) se calcula la velocidad con 2 puntos válidos en un arco, si sólo hay 1 punto en un arco, como en la situación b) se considera nulo, si se tienen 3 puntos se calcula la velocidad con 2 puntos (situación c)), y finalmente si se tienen números pares de puntos (más de 4) la velocidad se calcula como en la situación d).

### Nivel de Actividad

#### Frecuencia de Buses

Las frecuencias de buses se importan desde los programas operacionales que están disponibles en formatos Excel para cada una de las Unidades de Negocio; en ellos cada hoja de la planilla corresponde al itinerario de cada uno de los servicios y es necesario un complemento que transforme estos archivos Excel a formato .txt, que son los que soporta Airviro, este complemento ya ha sido desarrollado y se llama *Excel to File*.

Al tener cortados y asignados los arcos viales, las velocidades de servicios en cada uno de ellos más las frecuencias de los buses (Programas operacionales), es posible desarrollar la Intensidad de Uso de esta fuente y de esta manera poder utilizar mejores factores de emisión, que junto a la descripción tecnológica de la flota de buses de Transantiago permitirá la estimación de emisiones y consumos de energía.

Tal como se mencionó en los párrafos anteriores es necesario un trabajo de optimización metodológica, las cuales incluye un cambio de las fuentes para seleccionar los servicios de buses, un contador de calles por servicios, generar las series de tiempo de frecuencias por cada servicio y contador de calles, regeneración y chequeo de las series de tiempo, cargar en el sistema el algoritmo del cálculo de emisiones y realizar pruebas del cálculo de las emisiones.

### *Transporte en carretera*

Las autopistas urbanas concesionadas (Costanera N, Autopista Central, Vespucio N y Vespucio S) e interurbanas (autopista Los Libertadores y Ruta 68) reportan sus flujos al Ministerio de Obras Públicas (MOP), la información que se les entrega a las autoridades y a la cual es accesible es una información agregada, es decir posee flujos cada 30 minutos para las concesionadas y cada 1 hora para las interurbanas. La clasificación de vehículos utilizada es la siguiente:

- Autos y camionetas
- Camiones con remolque
- Buses y camiones

En la Figura 71 se presenta un diagrama con la metodología para la estimación de emisiones del transporte privado en carretera

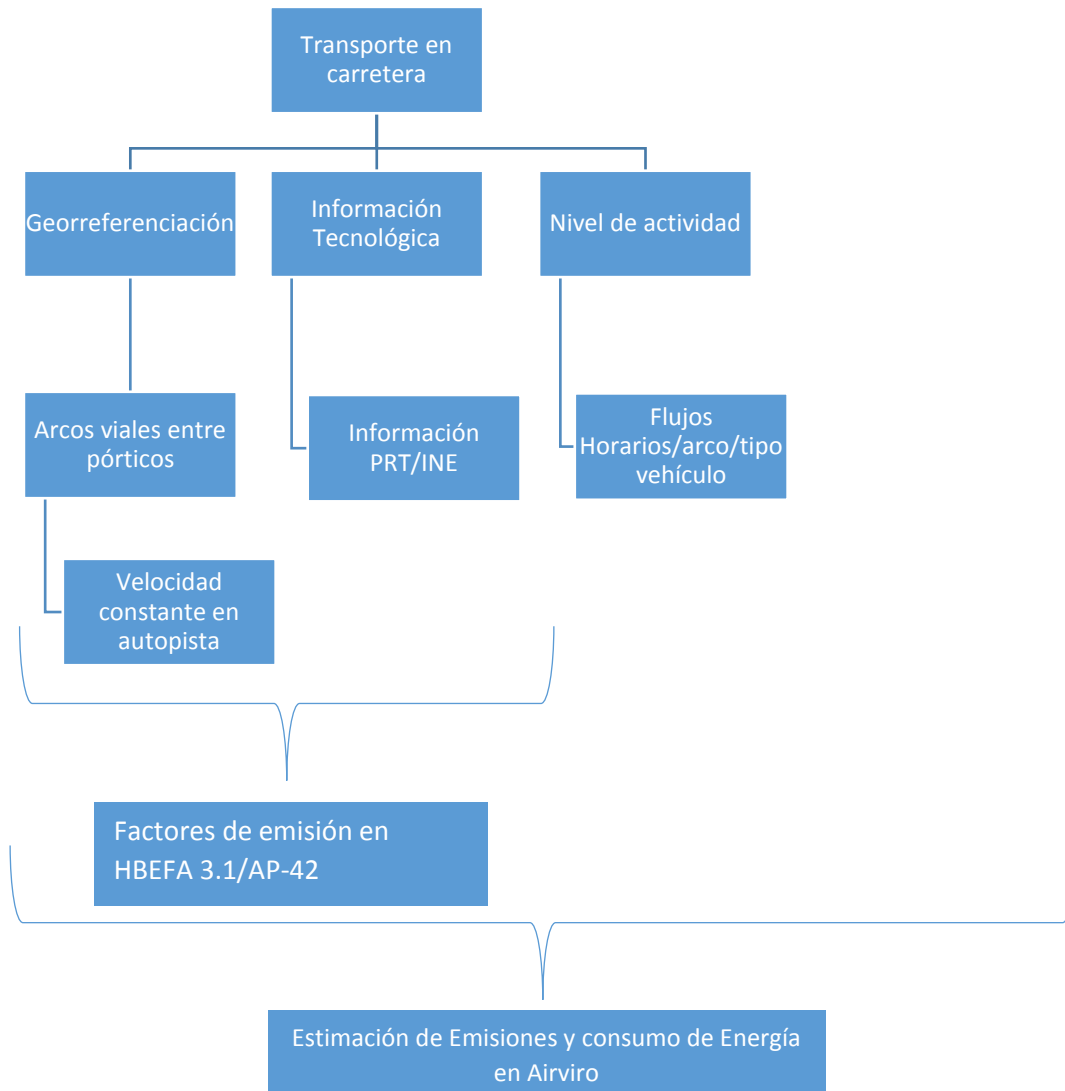


Figura 71: Diagrama de Metodología Transporte Privado en Carretera

## Georreferenciación.

Se georreferencian en uno de los módulos Edb de Airviro cada tramo de las autopistas, entre pórtico y pórtico o entre cada peaje según corresponda (Figura 72 y Figura 73).

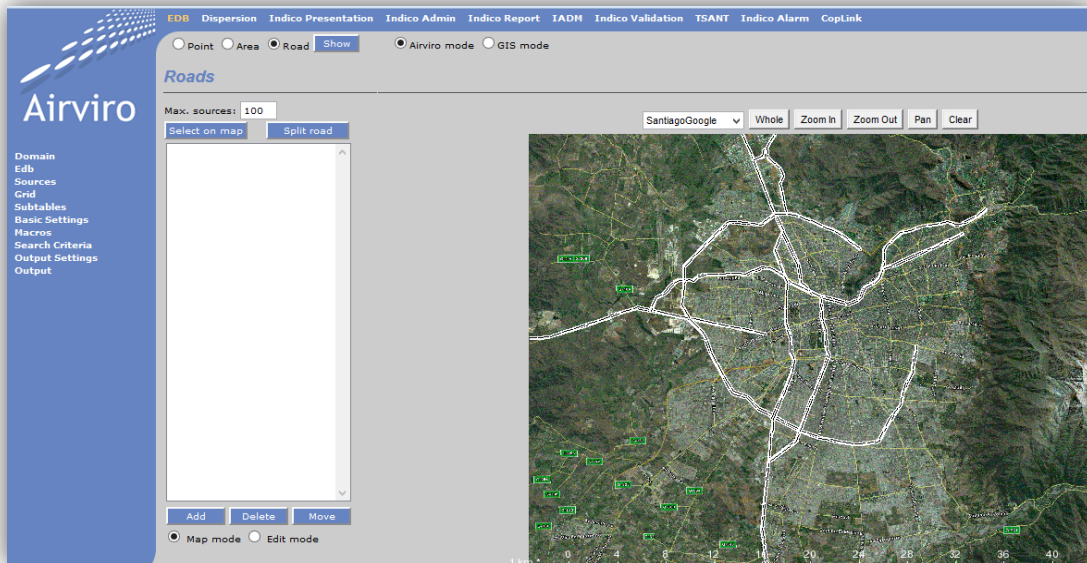


Figura 72: ventana de Airviro donde se dibujan los Tramos a analizar

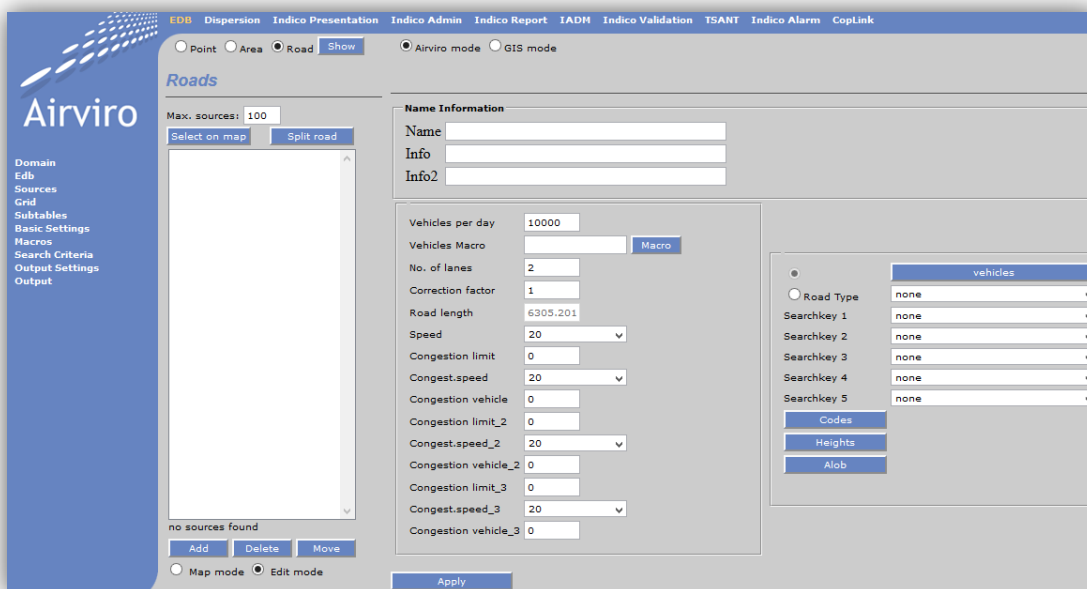


Figura 73: Ventana de Airviro donde se agrega información correspondiente al tramo.



En la Tabla 94 se presenta en detalle los tramos agregados a la plataforma de Airviro, además de su desagregación por sentido.

**Tabla 94: Detalle de cantidad de tramos, pódicos y peajes para cada autopista con su respectivo sentido.**

Sentido	AUTOPISTAS															
	Central central)	(eje S-N	Central gral. Velásquez) N-S	(eje S-N	Vespucio Norte O-P	P-O	Vespucio Sur O-P	P-O	Costanera central) O-P	P-O	Costanera (eje Kennedy) O-P	P-O	Ruta 68 O-P	P-O	Los Libertadores O-P	P-O
Nº de tramos	10	8	4	4	6	7	6	7	5	6	1	1	2	2	3	3
Nº de pódicos	10	8	5	5	7	8	7	8	6	7	2	2	2	2	2	2
Nº peajes manuales	1	1											2	2	2	2

#### Nivel de actividad.

Se trabajó con la información de flujos cada 1 hora de vehículos que transitan por cada uno de los pódicos de las autopistas o por los peajes manuales, con la cual se estimó el flujo de vehículos por día, perfiles diarios y mensuales.

El ingreso de las bases de datos a Airviro se realizó de manera manual, es decir, se llenaron las EdB en formato excel y se exportaron al sistema Airviro.

#### Descripción tecnológica.

Se utilizó información del INE, ventas de vehículos y PRT para determinar la distribución de tecnología

**Tabla 95: Categorías de tecnología para clasificación vehículos livianos.**

Tipo de Vehículo	
Vehículo de pasajero	PC petrol 1,4-<2L PreEuro
	3WCat <1987
	PC petrol 1,4-<2L PreEuro
	3WCat 1987-90
	PC petrol 1,4-<2L Euro-1

	PC petrol 1,4-<2L Euro-2
	PC petrol 1,4-<2L Euro-3
	PC petrol 1,4-<2L Euro-4
	PC diesel 1,4-<2L Euro-3
Vehículos M+N1	LCV petrol M+N1-I Euro-2
	LCV petrol M+N1-I Euro-3
	LCV diesel M+N1-I Euro-1
	LCV diesel M+N1-I Euro-3
	LCV diesel M+N1-I Euro-4

**Tabla 96: Categorías de tecnología para clasificación de camiones**

Tipo de camión	Tamaño
Camión Simple	<=7,5t
Camión Simple	>7,5-12t
Camión Simple	>12-14t
Camión Simple	>14-20t
Camión Simple	>20-26t
Camión Simple	>26-28t
Camión Simple	>28-32t
Camión Simple	>32t
Camión Articulado	>20-28t
Camión Articulado	>28-34t
Camión Articulado	>34-40t
Camión Articulado	>40-50t
Camión Articulado	>50-60t

## Transporte en otras vías

### MODEM

En esta categoría se ingresaron a Airviro las emisiones georreferenciadas de utilizando la metodología MODEM y que ha sido calculado por SECTRA (Información entregada por SECTRA proveniente de simulaciones MODEM 2010). Se subió la información de todos los vehículos exceptuando la información de buses de Transantiago y de autopistas concesionadas.

### Cálculo alternativo a MODEM

Como alternativa a la metodología MODEM, se facilita información sobre las emisiones del transporte en otras vías (excluyendo Transantiago y autopistas concesionadas). Este cálculo fue realizado por los profesionales encargados del proyecto y representa una manera más sencilla de cálculo de las emisiones del transporte.

Los resultados de este cálculo se muestran en la Tabla 97.

Tabla 97. EDB Adicional

Sector	Emisiones de Contaminantes [ton/año]											
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Hct	HCNM	COV	CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CC
Transporte en vías principales y secundaria ADICIONAL	618	618	14.722	47	2.770			36.245		18	4.362.258	1.550.559 <sup>38</sup>

La metodología para la estimación de emisiones de esta categoría es la siguiente:

La estimación de emisiones en otras vías se realizó con la información de ventas de combustible y consumo de combustibles del transporte público y en carretera.

$$\text{Consumo Gasolina en Vías} = \text{Ventas regionales} - \text{Consumo en autopistas}$$

$$\text{Consumo diesel en vías} = \text{ventas regionales} - \sum \text{Consumo Transporte } i$$

Considerando Consumo Transporte i, como los consumos del diésel del transporte público, vehículos en carretera y vehículos fuera de ruta.

Los datos considerados para el consumo de combustibles fueron los reportados por el INE para el año 2012; 1.643.402 m<sup>3</sup> y 1.090.098 m<sup>3</sup> para gasolina y diésel respectivamente, en este último no se consideran las ventas para empresas sólo transporte y minorista.

<sup>38</sup> Suma de consumo de diésel y gasolina: 512.916 ton/año de diésel y 1.037.643 ton/año de gasolina

Luego se construye un factor de emisión representativo para el consumo de gasolina y diésel, se determinó que la condición Heavy y calle Distribuidora (URB/Distr/50/Heavy) es representativa de las vías de la región que no son autopistas.

Con la información anterior se calculó los kilómetros recorridos para cada uno de los tipos de vehículos, considerando la siguiente distribución en las calles:

**Tabla 98: Distribución típica de vehículos en calles**

LDV gasolina	LDV Diesel	Camiones/buses	Camiones con remolque
83,30%	11,10%	4,50%	1,00%

De esta manera se obtuvieron kilometrajes iguales a los presentados en

**Tabla 99: kilometrajes anuales por tipo de vehículos**

	LDV Gasolina	LDV Diesel	Camiones/buses	Camiones con remolque
Kilometro año	15.447.860.128	2.061.201.972	843.218.989	187.381.997

Con la información de kilometraje se estimaron las emisiones de los distintos contaminantes, utilizando factores de emisión para calles distribuidora y en condición de tráfico heavy.

**Tabla 100: Factores de emisión para vías**

	Condición URB/Distr/50/Heavy (g/km)						
	NOx	HC	PM	CO2(total)	NH3	CO	FC
LDV Gasolina	0,303	0,111	0,004	210,586	0,072	2,158	67,171
LDV Diésel	0,983	0,060	0,085	212,591	0,001	0,267	66,873
Camiones/buses	6,983	0,979	0,350	613,664	0,003	2,467	194,814
Camiones con remolque	12,735	0,748	0,543	1096,675	0,003	3,514	348,151

Para georreferenciación y automatización de la estimación de emisiones se utilizó información de MODEM V, zonas y perfil semanal eliminando de los flujos los datos de buses del Transantiago. Los pasos para la programación son los que se enumeran a continuación:

Archivos necesarios:

- emi\_arco.dbf (MODEM)
- emi\_arco.shp (MODEM)
- zonas.dbf (MODEM)
- zonas.shp (MODEM)
- Perfil\_semanal.csv (MODEM)

- EFvehicles.txt (los mismos utilizados para transporte en carretera con HBEFA 3.1 y parque de la RM)
- TVStandard.txt

1) Crear una nueva y vacía EDB usando el módulo EDB. El dueño de la EDB es <user> y el nombre <edbname>.

2) Importar las formulas estándar a la EDB.  
timevardb -r -u <user> -e <edbname> -i TVStandard.txt

3) Crear factores de emisión para vehículos. An example can be found in the file EFvehicles.txt. Hay 4 tipos de vehículos creados:

- PC LDV gasolina con índice 2
- Buses y camiones con índice 3
- Camiones cn rem con índice 4
- PC LDV diesel con índice 5.

El archivo puede ser cargado en Airviro con:  
svehdb -u <user> -e <edbname> -i <filename>

4) Crear variaciones diarias para todas las zonas, vehículos y direcciones.

- Input file: Perfil\_semanal.csv
- Commando: ./PromedioPerfil Perfil\_semanal.csv > <filename>
- Importar: timevardb -r -u <user> -e <edbname> -i <filename>

5) Cargar las calles en Airviro.

Son usados los siguientes archivos de entrada: emi\_arco.shp, emi\_arco.dbf, zonas.shp and zonas.dbf

Los porcentajes de participación de los diferentes vehículos cargados son los siguientes para todas las calles:

- PC LDV gasolina con índice 2: 83.3%
- Buses y camiones con índice 3: 4.5%
- Camiones cn rem con índice 4: 1.0%
- PC LDV diesel con índice 5. 11.1%

Estos deben tener el mismo porcentaje de participación usado para el cálculo VEHKMPERDAY  
Si no es así el cálculo de consumo de combustible será distinto

The program is run with: ./loadroad > <outfile>

The roads loaded with: roaddb -u <user> -e <edbname> -li <outfile>

6) Borrar autopistas.

7) Put the correct flow (VEHKMPERDAY) on the roads.

Export the roads with: roaddb -u <user> -e <edbname> -o <outfile>

Put the flows with: ./setflow VEHKMPERDAY <infile> > <outfile>

Import the roads: roaddb -u <user> -e <edbname> -Fi <outfile>

### *Emisiones evaporativas*

La estimación de emisiones evaporativas se realizó para el 75% de la flota de vehículos livianos a gasolina, que son los tipos de vehículos que tienen emisiones evaporativas (PC petrol 1,4-<2L Ucat; PC petrol 1,4-<2L Euro-1; PC petrol 1,4-<2L Euro-3; PC petrol 1,4-<2L Euro-4 y PC petrol 1,4-<2L Euro-5).

Se estimaron las emisiones con Copert IV, las mismas utilizadas en el HBEFA 3.1 considerando las temperaturas presentadas en la Tabla 101 :

**Tabla 101: temperatura para estimación de emisiones evaporativas**

Mes	Tº min	Tº Max
Enero	12	29
Febrero	11	29
Marzo	9	27
Abril	7	23
Mayo	5	18
Junio	3	14
Julio	3	15
Agosto	4	17
Septiembre	6	19
Octubre	7	22
Noviembre	9	26
Diciembre	11	28

Se calcularon las emisiones evaporativas diurnas, por pérdida del estanque y soak.

### *Polvo resuspendido*

Se calculó según la metodología EPA AP-42, donde se calcula la Tasa de emisión anual (CONAMA, 2009).

$$Epa = Ed \left( 1 - \frac{P}{4N} \right)$$

$$Ed = e * F * L$$

Donde:

Epa : Tasa de emisión anual de partículas para el tramo de calle pavimentada (g/año).

Ed : Tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle pavimentada (g/día).

P : días con precipitaciones mayores de 0.254 mm durante el periodo considerado.

N : número de días del periodo de estudio (365 en el caso anual).

Ed : Tasa de emisión diaria por tramo (g/día).

e : factor de emisión de partículas por calles (g/vehículo-km).

F : flujo vehicular diario (vehículos/día).

L : longitud del tramo (km).

$$e = k \left( \frac{Sp}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1.5} - C$$

Donde,

e: Emisión de polvo fugitivo por calle (g/vehículo-km).

Sp : Contenido de material fino, fracción de polvo de diámetro  $\leq 75$  micrones (g/m<sup>2</sup>).

k : Constante, depende del tamaño de partícula a considerar (gr/vKT).

W : peso promedio de la categoría de vehículo en movimiento (ton).

C : factor de emisión de ajuste, asociado a emisiones de escape y desgaste de frenos y neumáticos.

El que varía según el flujo de vehículos por las calles

Se calculó el factor de emisión de partículas por calles para una de las condiciones presentadas y se ingresaron a Airviro según el flujo en cada una de ellas

Tabla 102. Luego se estimó la tasa de emisión diaria de partículas para los tramos de calle pavimentada Ed con una base de datos con flujo en autopistas y vías dando como resultado.

**Tabla 102: Factor de emisión de partículas por calle (e).**

	Factor de emisión de partículas por calle (g/vehículo-km)			
	<500	500-5000	5000-10000	>10000
Veh livianos	0,162	0,079	0,036	0,023
Camiones/buses	3,536	1,731	0,792	0,504
Camiones con remolque	29,219	14,306	6,541	4,169

Se consideraron 24 días en los cuales llovió más de 0,245 mm.

## 6.5.2. Fuera de ruta

### *Transporte en construcciones*

Se utilizó la información entregada en el informe "Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión" Licitación N°: 608897-17-LE13. Las metodologías, niveles de actividad y factores de

emisión están descritas en dicho informe, en la Figura 74 se presenta un diagrama que indica la metodología propuesta por el consultor.

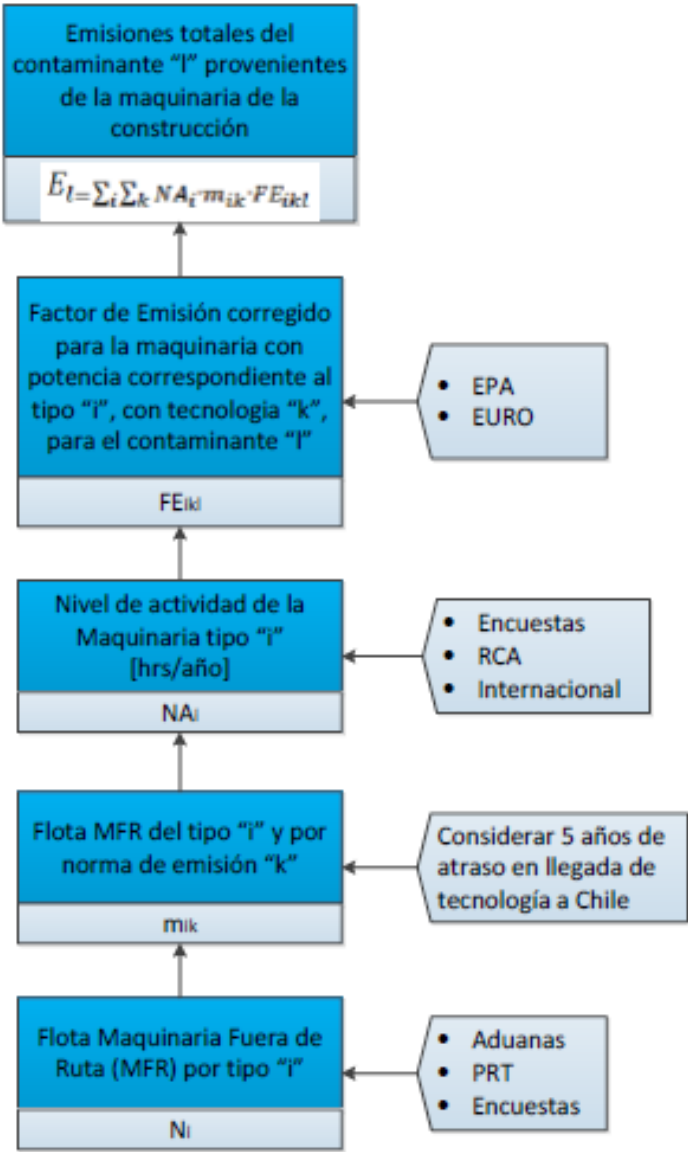


Figura 74: Diagrama de la metodología para la estimación de emisiones de maquinaria de construcción.



### *Transporte en aeropuertos*

Para las emisiones de la fuente “aeropuerto” se ha considerado la información del estudio “Actualización memoria de cálculo de emisiones Aeropuerto Arturo Merino Benítez, año 2010” (Algoritmos, 2011), donde se calcularon las emisiones de la operación del aeropuerto, flujo vehicular que accede al aeropuerto, y las emisiones de fuentes como quemas agrícolas y erosión eólica del sector suroeste del Aeropuerto.

Las emisiones de la operación del Aeropuerto fueron estimadas con el modelo Emission Dispersion Modelling System (EDMS)<sup>39</sup> el cual utiliza factores de emisión asociados a cada modelo de aeronave y tipo de motor específico.

Para el inventario se utiliza la información de emisiones de las fuentes internas del aeropuerto, es decir Aeronaves, grupos de soporte terrestre y unidades de energía auxiliar.

---

<sup>39</sup> Desarrollado por Federal Aviation Administration (FAA) junto a United State Air Force (USAF)