



Inventario de emisiones de fuentes móviles de ámbito urbano (IEFMU)

Años 2012 a 2018

Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible y Programa Nacional de Movilidad Urbana para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático

GreenLab - Dictuc S.A.

NUMP Chile EC+

Contexto del Estudio

El presente proyecto se desarrolla en el contexto de la iniciativa *Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible y Programa Nacional de Movilidad Urbana para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en Chile*. Ambos instrumentos constituyen la Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible (NUMP, por sus siglas en inglés), que busca proveer de las bases conceptuales y directrices nacionales para una movilidad sostenible, así como desarrollar los instrumentos técnicos y financieros que permitan la materialización de los objetivos estratégicos trazados por la política de transporte. El foco principal de la iniciativa es conectar el compromiso suscrito por Chile mediante la *Contribución Nacional Determinada* (NDC, por sus siglas en inglés) desde la movilidad urbana sostenible y captar el conjunto de co-beneficios que se deriven de un desarrollo urbano sostenible y de una acción climática coherente y sinérgica.

La iniciativa explorará un modelo de gobernanza para la movilidad sostenible como uno de sus principales ejes de acción. Este modelo permitirá establecer procesos, criterios, estándares y prácticas para una participación efectiva, cualitativamente superior a la actual, y que tenga como columna vertebral la acción multisectorial y multinivel.

El presente estudio recopila, sistematiza y analiza la información de los modelos MODEM para las 22 zonas urbanas de Chile que cuentan con este tipo de modelo, con el objetivo de recopilar un inventario de emisiones del transporte urbano en el país.

Este proyecto es implementado por GIZ, y financiado por el programa EUROCLIMA+ de la Unión Europea.

Encuétranos en www.euroclimaplus.org

Descargo de Responsabilidad

El contenido presentado en este documento ha sido recopilado con sumo cuidado. No obstante, GIZ no garantiza que la información proporcionada sea actual, precisa, completa o libre de errores. GIZ no acepta responsabilidad por daños o pérdidas que surjan directa o indirectamente del uso de este documento, siempre que no haya sido causado intencionalmente o por negligencia grave.

GIZ se reserva expresamente el derecho de modificar o anexar este documento en parte o en su totalidad sin previo aviso, o de detener la publicación por completo o por un período limitado. Las presentaciones cartográficas de ninguna manera constituyen reconocimiento bajo el derecho internacional de fronteras y territorios. El contenido de los documentos de GIZ GmbH está protegido por derechos de autor. Las imágenes utilizadas están marcadas con créditos fotográficos cuando lo exige la ley. El uso de cualquier imagen requiere el consentimiento previo de GIZ GmbH, si no se indica lo contrario.

Agradecimientos

Nos gustaría expresar nuestra sincera gratitud a los diferentes equipos que han estado involucrado en el desarrollo y ejecución de los modelos de transporte y la estimación de sus emisiones atmosférica a través de los años, cuyo trabajo ha sido fundamental no sólo para generar el presente informe, sino que para fundar las bases del impacto de la movilidad urbana en la salud humana y en el cambio climático. Asimismo, quisiéramos destacar a la contraparte técnica del estudio por su constante disponibilidad y alto nivel de profesionalismo, quienes dieron forma y contenido a nuestros esfuerzos.

Tabla de Contenido

1. Acrónimos y abreviaturas	14
2. Introducción	15
2.1 Objetivos	15
2.1.1 Objetivo general.....	15
2.1.2 Objetivos específicos	15
2.1.3 Tareas	15
2.1.4 Alcance del informe.....	16
3. Metodología General.....	17
3.1 Método de estimación	17
3.1.1 Metodología de cálculo de MODEM.....	17
3.1.2 Definición y origen de datos bases.....	18
3.2 Estructura del inventario	22
3.2.1 Contaminantes considerados.....	23
3.2.2 Niveles de agregación.....	24
3.2.3 Alcance temporal.....	27
3.2.4 Fuentes de emisión.....	31
4. Resultado inventario de emisiones	33
4.1 Inventario de emisiones	33
4.1.1 Inventario grandes zonas metropolitanas	35
4.1.2 Inventario ciudades intermedias 1	37
4.1.3 Inventario ciudades intermedias 2	38
4.2 Contraste con metodología Top-Down	41
4.2.1 Presentación metodología <i>Top-Down</i>	41
4.2.2 Resultados Top-Down y comparación con resultados del inventario	42
5. Análisis de emisiones GEI	45
5.1 Análisis histórico de tendencia	45
5.1.1 GEI por zona urbana	45
5.1.2 GEI per cápita	47
5.2 Análisis multivariable.....	52
5.2.1 Análisis de serie de tiempo	53
5.2.2 Análisis transversal.....	59
5.2.3 Conclusiones del análisis transversal	66
6. Conclusiones	67
Referencias	69
7. Anexos	70

7.1	Detalle de análisis de tendencia preliminar por ciudad	70
7.1.1	1.a Gran Santiago	70
7.1.2	1.b Gran Valparaíso	70
7.1.3	1.c Gran Concepción	72
7.1.4	2.a Iquique	72
7.1.5	2.b Antofagasta	74
7.1.6	2.c La Serena - Coquimbo	75
7.1.7	2.d Rancagua	76
7.1.8	2.e Temuco - Padre Las Casas	77
7.1.9	3.a Arica	79
7.1.103.b	Calama	79
7.1.113.c	Copiapó.....	80
7.1.123.d	Ovalle.....	82
7.1.133.e	Curicó.....	83
7.1.143.f	Talca	84
7.1.153.g	Chillán	85
7.1.163.h	Linares.....	86
7.1.173.i	Los Ángeles	87
7.1.183.i	Angol	88
7.1.193.k	Osorno	89
7.1.203.l	Valdivia	91
7.1.213.m	Puerto Montt.....	92
7.1.223.n	Punta Arenas	93
7.2	Inventario GEI por extensión de ciudades	94
7.2.1	1.a Gran Santiago	94
7.2.2	1.b Gran Valparaíso	99
7.2.3	1.c Gran Concepción	103
7.2.4	2.a Iquique	107
7.2.5	2.b Antofagasta	112
7.2.6	2.c La Serena-Coquimbo	117
7.2.7	2.d Rancagua	123
7.2.8	2.e Temuco-Padre Las Casas.....	128
7.2.9	3.a Arica	134
7.2.103.b	Calama	140
7.2.113.c	Copiapó.....	145
7.2.123.d	Ovalle.....	151
7.2.133.e	Curicó.....	156
7.2.143.f	Talca	161

7.2.153.g Linares	166
7.2.163.h Chillán	171
7.2.173.i Los Ángeles	176
7.2.183.j Angol	182
7.2.193.k Valdivia	187
7.2.203.l Osorno.....	192
7.2.213.m Puerto Montt.....	197
7.2.223.n Punta Arenas	202
7.3 Potencial de calentamiento	209
7.4 Análisis multivariable en detalle.....	210
7.4.1 Metodología general de análisis	210
7.4.2 Resultados por tipo de análisis	213

Índice de Tablas

Tabla N°1 Series de tiempo resultados MODEM por zona urbana.....	19
Tabla N°2 Variación de inventario corregido respecto a los datos originales	20
Tabla N°3 Datos complementarios utilizados.....	22
Tabla N°4 Contaminantes considerados en el inventario.....	23
Tabla N°5 Detalle cobertura geográfica	25
Tabla N°6 Población [hab] por zona urbana y agrupación por tipo de ciudad.....	26
Tabla N°7 Resumen de análisis preliminar de tendencia	30
Tabla N°8 Número de ciudades con valores <i>outliers</i> por año	31
Tabla N°9 Agrupación según tipo y subtipo de vehículo	32
Tabla N°10 Inventario de emisiones [ton], años 2012 a 2018	33
Tabla N°11 Inventario de emisiones [ton] con detalle anual y tasa promedio anual de crecimiento	35
Tabla N°12 Inventario emisiones [ton] - Grandes zonas metropolitanas, años 2012 a 2018	36
Tabla N°13 Inventario de emisiones [ton] con detalle anual y tasa promedio anual de crecimiento, grandes zonas metropolitanas.....	37
Tabla N°14 Inventario emisiones [ton] – Ciudades intermedias 1 (población mayor a 250 mil habitantes), años 2012 a 2018	37
Tabla N°15 Inventario de emisiones [ton] con detalle anual y tasa promedio anual de crecimiento, ciudades intermedias 1 (población mayor a 250 mil habitantes)	38
Tabla N°16 Inventario emisiones [ton] – Ciudades intermedias 2 (población menor a 250 mil habitantes), años 2012 a 2018	39

Tabla N°17 Inventario de emisiones [ton] con detalle anual y tasa promedio anual de crecimiento, ciudades intermedias 2 (población menor a 250 mil habitantes).....	40
Tabla N°18 Factor de emisión [tCO ₂ /m ³] por combustible	42
Tabla N°19 Resultado de emisiones de CO ₂ [miles de ton] metodología Top-Down.....	43
Tabla N°20 Contraste emisiones CO ₂ metodología Top-Down vs Inventario.....	44
Tabla N°21 Emisiones GEI de cada ciudad según año de estudio [tCO ₂ eq/año].....	46
Tabla N°22 Emisiones GEI per cápita anuales para las ciudades según los años de estudio [tCO ₂ eq/hab-año].....	48
Tabla N°23 Variables seleccionadas para el análisis multivariable	53
Tabla N°24 Comparación estimación emisiones GEI [millones tCO ₂ eq] sector transporte.....	68
Tabla N°25 Indicadores GEI Gran Santiago	95
Tabla N°26 Inventario de emisiones [ton/año] para Gran Santiago según año	96
Tabla N°27 Indicadores GEI Gran Valparaíso.....	100
Tabla N°28 Inventario de emisiones [ton/año] para Gran Valparaíso según año.....	101
Tabla N°29 Indicadores GEI Gran Concepción	104
Tabla N°30 Inventario de emisiones [ton/año] para Gran Concepción según año	105
Tabla N°31 Indicadores GEI Iquique	108
Tabla N°32 Inventario de emisiones [ton/año] para Iquique según año	109
Tabla N°33 Descripción general de Antofagasta	113
Tabla N°34 Total emisiones [ton/año] para Antofagasta, según año.....	114
Tabla N°35 Descripción general de La Serena-Coquimbo.....	118
Tabla N°36 Inventario de emisiones [ton/año] para La Serena-Coquimbo según año	119
Tabla N°37 Descripción general de Rancagua	124
Tabla N°38 Inventario de emisiones [ton/año] para Rancagua según año.....	125
Tabla N°39 Descripción general de Temuco-Padre Las Casas.....	129
Tabla N°40 Inventario de emisiones [ton/año] para Temuco-Padre Las Casas según año.....	130
Tabla N°41 Descripción general de Arica.....	135
Tabla N°42 Inventario de emisiones [ton/año] para Arica según año	136
Tabla N°43 Descripción general de Calama.....	141
Tabla N°44 Inventario de emisiones [ton/año] para Calama según año	142
Tabla N°45 Descripción general de Copiapó.....	146
Tabla N°46 Inventario de emisiones [ton/año] para Copiapó según año	147
Tabla N°47 Descripción general de Ovalle.....	152
Tabla N°48 Inventario de emisiones [ton/año] para Ovalle según año	153
Tabla N°49 Descripción general de Curicó	157

Tabla N°50 Inventario de emisiones [ton/año] para Curicó según año.....	158
Tabla N°51 Indicadores GEI Talca	162
Tabla N°52 Inventario de emisiones [ton/año] para Talca según año	163
Tabla N°53 Indicadores GEI Linares.....	167
Tabla N°54 Inventario de emisiones [ton/año] para Linares según año.....	168
Tabla N°55 Indicadores GEI Chillán	172
Tabla N°56 Inventario de emisiones [ton/año] para Chillán según año	173
Tabla N°57 Descripción general de Los Ángeles	177
Tabla N°58 Inventario de emisiones [ton/año] para Los Ángeles según año.....	178
Tabla N°59 Descripción general de Angol	183
Tabla N°60 Inventario de emisiones [ton/año] para Angol según año.....	184
Tabla N°61 Indicadores GEI Valdivia	188
Tabla N°62 Inventario de emisiones [ton/año] para Valdivia según año	189
Tabla N°63 Indicadores GEI Osorno.....	193
Tabla N°64 Inventario de emisiones [ton/año] para Osorno según año.....	194
Tabla N°65 Descripción general de Puerto Montt.....	198
Tabla N°66 Inventario de emisiones [ton/año] para Puerto Montt según año	199
Tabla N°67 Descripción general de Punta Arenas	203
Tabla N°68 Inventario de emisiones [ton/año] para Punta Arenas según año.....	204
Tabla N°69 Potencial de calentamiento (100 años) para contaminantes seleccionados	209
Tabla N°70 Variables para el análisis multivariable	212
Tabla N°71 Estructura de tablas de resultados de regresiones	212
Tabla N°72 Resultados análisis demográfico – Nacional	215
Tabla N°73 Resultados análisis demográfico – Gran zona metropolitana.....	215
Tabla N°74 Resultados análisis demográfico – Ciudades intermedias 1	216
Tabla N°75 Resultados análisis demográfico – Ciudades intermedias 2	216
Tabla N°76 Resultado análisis económico - Nacional	220
Tabla N°77 Resultado análisis económico – Gran zona metropolitana.....	220
Tabla N°78 Resultado análisis económico – Ciudades intermedias 1.....	220
Tabla N°79 Resultado análisis económico – Ciudades intermedias 2.....	221
Tabla N°80 Resultados análisis demográfico - Nacional	223
Tabla N°81 Resultados análisis territorial – Nacional.....	230

Índice de Figuras

Figura N°1 Esquema de metodología MODEM.....	18
Figura N°2 Distribución porcentual de emisiones según tipo de ciudad, años 2012 a 2018.....	34
Figura N°3 Porcentaje de emisiones al aire, según contaminante, años 2012 a 2018.....	35
Figura N°4 Distribución de emisiones entre zonas urbanas, grandes zonas metropolitanas.....	36
Figura N°5 Distribución de emisiones entre zonas urbanas, Ciudades intermedias 1 (población mayor a 250 mil habitantes), años 2012 a 2018.....	38
Figura N°6 Distribución de emisiones entre zonas urbanas, Ciudades intermedias 2 (población menor a 250 mil habitantes), años 2012 a 2018.....	40
Figura N°7 Comparación de estimación de emisiones CO2 entre inventario y metodología Top-Down.....	43
Figura N°8 Emisiones GEI según tipo de ciudad y año estudio.....	47
Figura N°9 Emisiones GEI per cápita [ton CO2eq/hab] por tipo de zona y año.....	49
Figura N°10 Relación entre emisiones de GEI [ton CO2eq] y número de vehículos.....	50
Figura N°11 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO2eq/hab] y parque vehicular total.....	51
Figura N°12 Emisiones de GEI per cápita [tCO2eq/hab.] y tasa de motorización particular respecto al año 2012 (año base 2012 = 1).....	52
Figura N°13 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO2eq/hab] y población.....	55
Figura N°14 Evolución de las emisiones de GEI y del PIB.....	57
Figura N°15 Correlación entre las emisiones de GEI y el PIB regional.....	57
Figura N°16 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO2eq/hab] y tasa de urbanización, 2017.....	61
Figura N°17 Emisiones de CO2eq per cápita por tipo de ciudad.....	62
Figura N°18 Relación entre emisiones de GEI [ton CO2eq] y el área de cada ciudad, año 2017.....	63
Figura N°19 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO2eq/hab] y el área de cada ciudad, año 2017.....	64
Figura N°20 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO2eq/hab] y variables de densidad.....	65
Figura N°21 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO2eq/hab] y la forma de cada ciudad.....	66
Figura N°22 Ajuste emisiones CO2 – Gran Santiago.....	70
Figura N°23 Ajuste emisiones CO2 – Gran Valparaíso.....	71
Figura N°24 Ajuste emisiones CO2 – Gran Valparaíso, sin <i>outliers</i>	71
Figura N°25 Ajuste emisiones CO2 – Gran Concepción.....	72
Figura N°26 Ajuste emisiones CO2 – Iquique.....	73
Figura N°27 Ajuste emisiones CO2 – Iquique, sin <i>outliers</i>	73

Figura N°28 Ajuste emisiones CO2 – Antofagasta	74
Figura N°29 Ajuste emisiones CO2 – Antofagasta, sin outliers.....	75
Figura N°30 Ajuste emisiones CO2 – La Serena-Coquimbo.....	75
Figura N°31 Ajuste emisiones CO2 – La Serena – Coquimbo, sin outliers	76
Figura N°32 Ajuste emisiones CO2 – Rancagua	76
Figura N°33 Ajuste emisiones CO2 – Rancagua, sin outliers	77
Figura N°34 Ajuste emisiones CO2 – Temuco-Padre Las Casas.....	78
Figura N°35 Ajuste emisiones CO2 – Temuco-Padre Las Casas, sin outliers.....	78
Figura N°36 Ajuste emisiones CO2 – Arica.....	79
Figura N°37 Ajuste emisiones CO2 – Calama	80
Figura N°38 Ajuste emisiones CO2 – Calama, sin outliers	80
Figura N°39 Ajuste emisiones CO2 – Copiapó	81
Figura N°40 Ajuste emisiones CO2 – Copiapó, sin outliers	81
Figura N°41 Ajuste emisiones CO2 – Ovalle.....	82
Figura N°42 Ajuste emisiones CO2 – Ovalle, sin outliers	83
Figura N°43 Ajuste emisiones CO2 – Curicó	83
Figura N°44 Ajuste emisiones CO2 – Talca.....	84
Figura N°45 Ajuste emisiones CO2 – Talca, sin outliers.....	84
Figura N°46 Ajuste emisiones CO2 – Chillán.....	85
Figura N°47 Ajuste emisiones CO2 – Chillán, sin outliers	86
Figura N°48 Ajuste emisiones CO2 – Linares	87
Figura N°49 Ajuste emisiones CO2 – Los Ángeles.....	88
Figura N°50 Ajuste emisiones CO2 – Angol	88
Figura N°51 Ajuste emisiones CO2 – Angol, sin outlier.....	89
Figura N°52 Ajuste emisiones CO2 – Osorno.....	90
Figura N°53 Ajuste emisiones CO2 – Osorno, sin outliers	90
Figura N°54 Ajuste emisiones CO2 – Valdivia.....	91
Figura N°55 Ajuste emisiones CO2 – Valdivia, sin outliers.....	92
Figura N°56 Ajuste emisiones CO2 – Puerto Montt	92
Figura N°57 Ajuste emisiones CO2 – Puerto Montt, sin outliers	93
Figura N°58 Ajuste emisiones CO2 – Punta Arenas.....	94
Figura N°59 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Gran Santiago	97
Figura N°60 Resultado estimación MP10 [ton/año] Gran Santiago	97
Figura N°61 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Gran Santiago	98

Figura N°62 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Gran Santiago.....	99
Figura N°63 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Gran Valparaíso.....	101
Figura N°64 Resultado estimación MP10 [ton/año] Gran Valparaíso.....	102
Figura N°65 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Gran Valparaíso.....	102
Figura N°66 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Gran Valparaíso.....	103
Figura N°67 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Gran Concepción.....	105
Figura N°68 Resultado estimación MP10 [ton/año] Gran Concepción.....	106
Figura N°69 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Gran Concepción.....	106
Figura N°70 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Gran Concepción.....	107
Figura N°71 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Iquique.....	110
Figura N°72 Resultado estimación MP10 [ton/año] Iquique.....	111
Figura N°73 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Iquique.....	111
Figura N°74 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Iquique.....	112
Figura N°75 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año].....	115
Figura N°76 Resultado estimación MP10 [ton/año].....	116
Figura N°77 Resultado estimación MP2.5 [ton/año].....	116
Figura N°78 Resultado estimación gases de combustión [ton/año].....	117
Figura N°79 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] La Serena-Coquimbo.....	120
Figura N°80 Resultado estimación MP10 [ton/año] La Serena-Coquimbo.....	121
Figura N°81 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] La Serena-Coquimbo.....	122
Figura N°82 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] La Serena-Coquimbo.....	123
Figura N°83 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Rancagua.....	126
Figura N°84 Resultado estimación MP10 [ton/año] Rancagua.....	126
Figura N°85 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Rancagua.....	127
Figura N°86 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Rancagua.....	128
Figura N°87 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Temuco-Padre Las Casas ...	131
Figura N°88 Resultado estimación MP10 [ton/año] Temuco-Padre Las Casas.....	132
Figura N°89 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Temuco-Padre Las Casas.....	133
Figura N°90 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Temuco-Padre Las Casas .	134
Figura N°91 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Arica.....	137
Figura N°92 Resultado estimación MP10 [ton/año] Arica.....	138
Figura N°93 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Arica.....	139
Figura N°94 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Arica.....	140
Figura N°95 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Calama.....	143

Figura N°96 Resultado estimación MP10 [ton/año] Calama.....	144
Figura N°97 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Calama.....	144
Figura N°98 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Calama.....	145
Figura N°99 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Copiapó.....	148
Figura N°100 Resultado estimación MP10 [ton/año] Copiapó	149
Figura N°101 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Copiapó	150
Figura N°102 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Copiapó.....	151
Figura N°103 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Ovalle.....	154
Figura N°104 Resultado estimación MP10 [ton/año] Ovalle.....	155
Figura N°105 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Ovalle.....	155
Figura N°106 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Ovalle.....	156
Figura N°107 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Curicó.....	159
Figura N°108 Resultado estimación MP10 [ton/año] Curicó.....	159
Figura N°109 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Curicó.....	160
Figura N°110 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Curicó.....	161
Figura N°111 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Talca	164
Figura N°112 Resultado estimación MP10 [ton/año] Talca.....	164
Figura N°113 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Talca.....	165
Figura N°114 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Talca	166
Figura N°115 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Linares.....	169
Figura N°116 Resultado estimación MP10 [ton/año] Linares.....	169
Figura N°117 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Linares.....	170
Figura N°118 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Linares.....	171
Figura N°119 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Chillán.....	174
Figura N°120 Resultado estimación MP10 [ton/año] Chillán.....	174
Figura N°121 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Chillán.....	175
Figura N°122 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Chillán.....	176
Figura N°123 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Los Ángeles.....	179
Figura N°124 Resultado estimación MP10 [ton/año] Los Ángeles.....	180
Figura N°125 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Los Ángeles.....	181
Figura N°126 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Los Ángeles.....	182
Figura N°127 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Angol.....	185
Figura N°128 Resultado estimación MP10 [ton/año] Angol.....	185
Figura N°129 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Angol.....	186

Figura N°130 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Angol.....	187
Figura N°131 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Valdivia	190
Figura N°132 Resultado estimación MP10 [ton/año] Valdivia	190
Figura N°133 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Valdivia	191
Figura N°134 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Valdivia	192
Figura N°135 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Osorno.....	195
Figura N°136 Resultado estimación MP10 [ton/año] Osorno.....	196
Figura N°137 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Osorno.....	196
Figura N°138 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Osorno.....	197
Figura N°139 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Puerto Montt	200
Figura N°140 Resultado estimación MP10 [ton/año] Puerto Montt	201
Figura N°141 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Puerto Montt	201
Figura N°142 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Puerto Montt.....	202
Figura N°143 Resultado estimación emisiones GEI [tCO ₂ eq/año] Punta Arenas.....	205
Figura N°144 Resultado estimación MP10 [ton/año] Punta Arenas.....	206
Figura N°145 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Punta Arenas.....	207
Figura N°146 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Punta Arenas.....	208
Figura N°147 Ejemplo ajuste emisiones CO ₂ eq y población en el Gran Valparaíso.....	210
Figura N°148 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO ₂ eq/hab] y población.....	214
Figura N°149 Aumento de las emisiones de GEI y del PIB regional.....	217
Figura N°150 Correlación entre las emisiones de GEI y el PIB regional	218
Figura N°151 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO ₂ eq/hab] y tasa de urbanización, año 2017.....	222
Figura N°152 Relación entre emisiones de GEI [ton] y el área de cada ciudad, año 2017.....	224
Figura N°153 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO ₂ eq/hab] y el área de cada ciudad, año 2017	225
Figura N°154 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO ₂ eq/hab] y variables de densidad	226
Figura N°155 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO ₂ eq/hab] y la forma de cada ciudad	229

1. Acrónimos y abreviaturas

AM	En horario punta
AR4	Cuarto Informe de Evaluación del IPCC
COPERT	Calculadora de emisiones vehiculares desarrolladas por la Unión Europea
EEA	Agencia Europea del Medio Ambiente
EMEP	Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación de contaminantes atmosféricos
FP	En horario fuera de punta
GEI	Gases de efecto invernadero
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental en Cambio Climático (siglas en inglés)
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
PCG	Potencial de calentamiento global
PIB	Producto interno bruto
PRT	Planta de revisión técnica
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustibles
SECTRA	Secretaría de Planificación de Transporte

Contaminantes

CO ₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
CO ₂	Dióxido de carbono
N ₂ O	Óxido de nitrógeno
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
COV	Compuestos orgánicos volátiles
MP ₁₀	Material particulado grueso, tamaño menor a 10 µm
MP _{2.5}	Material particulado fino, tamaño menor a 2.5 µm
NH ₃	Amoniaco
NO _x	Óxidos de nitrógeno
SO ₂	Dióxido de azufre

Tipos de Cambio

Moneda Local	EUR	USD	Fecha
1 CLP (\$)	0,0011 EUR	0,0013 USD	12/11/2020

2. Introducción

La limitación y reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), así como de las externalidades con efecto local derivados de la movilidad urbana, constituyen metas que, en parte, dependen de la capacidad de disponer de aproximaciones sistemáticas y de base científica de dichas emisiones. Esta capacidad permite lograr mejoras en los instrumentos de planificación del transporte, en materia de identificación, selección y evaluación de las medidas y conjunto de proyectos. En este sentido, el enfoque del presente estudio es mejorar la capacidad de diagnóstico de estado de las emisiones de fuentes móviles, mediante la sistematización y análisis de los resultados de estimaciones previas, así como ayudar a la determinación de brechas a superar para fortalecer los instrumentos de diagnóstico y de planificación con el objetivo de cumplir con la ambición de limitación y reducción de las emisiones de GEI.

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

El objetivo general del estudio es elaborar un inventario de emisiones de fuentes móviles a nivel urbano para el conjunto de las 22 ciudades principales de Chile y desarrollar un análisis de los datos que lo componen.

2.1.2 Objetivos específicos

Para cumplir el objetivo general, se enuncian los siguientes objetivos específicos

1. Disponer de una caracterización y síntesis de las emisiones derivadas de los sistemas de transporte para las ciudades que cuentan con información desarrollada por RETC
2. Generar un inventario de emisiones para el subsector transporte urbano considerando un año de referencia en base al análisis de la información histórica de emisiones, este año de referencia tiene por finalidad acotar el inicio del periodo de análisis
3. Compilar las estimaciones del potencial de calentamiento global a partir de las estimaciones de CO₂, CH₄ y N₂O en el periodo analizado, de acuerdo con los PCG dispuestos en el cuarto informe de evaluación del IPCC (AR4), para las ciudades consideradas en el estudio.
4. Poseer una línea base de emisiones incluida la determinación del año base.
5. Proponer una interpretación y sistematización de la información que permita describir el comportamiento y varianza histórica de los datos *peak*
6. Obtener un diagnóstico general de estado del arte o *status quo*
7. Explorar líneas estratégicas a partir de los datos y variables observadas

2.1.3 Tareas

Con el fin de cumplir los objetivos planteados, a continuación, se presentan las tareas que conforman el estudio:

- I. **Definición de los datos a utilizar:** Sistematizar, compilar y clasificar los datos de emisiones disponibles para cada una de las áreas de interés.

- II. **Definición temporal de análisis:** Proponer mediante el análisis de la información disponible de emisiones en la base de datos de RETC, el año que se considerará como base del análisis, para lo cual propondrá a la contraparte técnica el año a partir del cual existe suficiente información para que el inventario sea representativo de las 22 ciudades.
- III. **Elaboración de inventario de emisiones urbana en ciudades modeladas:** Desarrollar una proposición metodológica para construcción del inventario de emisiones de transporte y la caracterización de las emisiones en las ciudades en estudio. Cálculo de potencial de calentamiento de acuerdo con la metodología según el cuarto informe de evaluación (AR4) del IPCC, para los sistemas urbanos observados y elaboración de histogramas representativos desde el año base al año de corte (año de término), incluyendo el reporte y elaboración de gráficas explicativas.
- IV. **Análisis histórico de tendencia:** Elaborar un modelo explicativo, que describa la tendencia de emisiones del transporte para las 22 ciudades analizadas, considerando el comportamiento tendencial en el bloque temporal 2005-2018, pudiendo variar por ciudades de acuerdo con la data disponible.
- V. **Análisis multivariable:** Desarrollar un análisis multivariable que correlacione las variables explicativas y factores de contexto urbano, así como la influencia de las dinámicas de desarrollo urbano, perfil demográfico y el desempeño medioambiental de transporte.
- VI. **Contraste de inventario de emisiones de fuentes móviles Bottom-up vs Estimación Top-Down:** Reportar diferencias en la magnitud de la diferencia de emisiones de CO₂ y consumo de combustible observadas entre la estimación Bottom-up, a partir de resultados MODEM, y Top-Down, a partir de consumo de combustible reportado por la SEC

2.1.4 Alcance del informe

El presente informe contiene el desarrollo metodológico y resultados de las tareas expuestas en la Sección anterior.

3. Metodología General

De forma general, un inventario de emisiones es la mejor estimación de los contaminantes liberados a la atmósfera en un período de tiempo determinado¹. Los valores presentados en el inventario de emisiones quedan definidos por la estimación de las mismas emisiones. En la mayor parte de los casos, estas estimaciones se dan por medio de metodologías aproximativas y no son, por tanto, el resultado de un censo completo de las emisiones. De esta forma existe un nivel de incertidumbre asociado al método de cálculo, así como de los datos y supuestos utilizados. Al respecto, el carácter estimativo no es una cualidad que afecte la validez del inventario, sin embargo, releva la importancia de la transparencia y trazabilidad de los datos y métodos usados para la estimación.

Por otra parte, la estructuración de este, así como los niveles de desagregación, son características particulares de cada inventario y responden a los objetivos y a la disponibilidad de información. Es relevante destacar que el análisis de los resultados del inventario va a estar definida por la estructuración y los niveles de desagregación disponibles.

En el presente capítulo, se desarrollan tanto el método de estimación y origen de los datos utilizados, como la estructuración que da forma al inventario de emisiones desarrollado presentado en los siguientes capítulos.

3.1 Método de estimación

En la presente sección se da cuenta del método para la estimación de emisiones, así como la identificación de los datos utilizados. En este respecto se destaca que el presente trabajo utiliza información secundaria para la construcción de los inventarios, sin desarrollar ni implementar una metodología propia para la estimación de emisiones. Los resultados de la modelación en MODEM son la principal fuente de estimación de emisiones, razón por la cual se realiza una descripción de la forma de cálculo.

3.1.1 Metodología de cálculo de MODEM

El presente inventario de emisiones es construido a partir de información secundaria: las estimaciones previamente realizadas en el software MODEM, por diversas consultorías que han realizado las estimaciones para la serie 2005-2018 para 17 zonas urbanas y 2012-2018 para cinco zonas urbanas. MODEM tiene como objetivo estimar las emisiones de contaminantes provocadas por el transporte motorizado a partir de la modelación de transporte² de los sistemas de transporte de las ciudades.

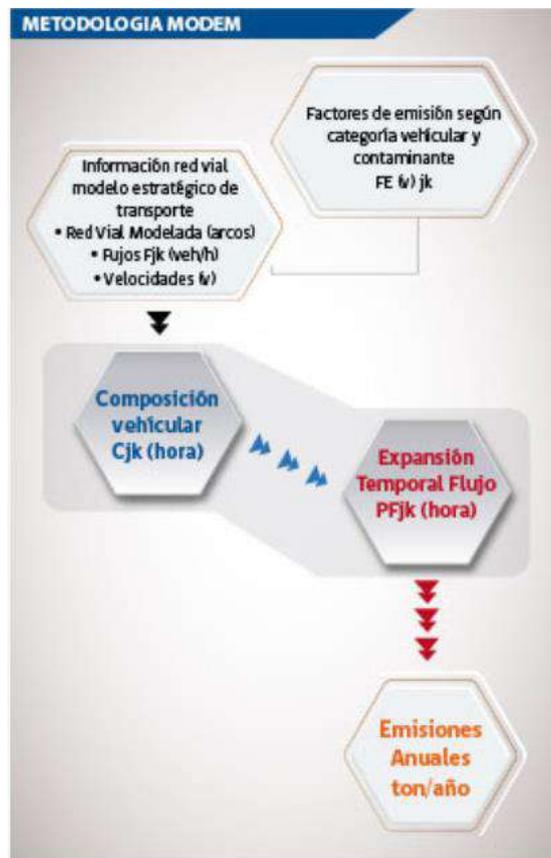
La Figura N°1 presenta de forma esquemática el funcionamiento de MODEM. Las modelaciones de transporte, realizadas previamente, entregan una descripción de la operación del sistema de transporte por arco, en diferentes condiciones de operación. De esta forma las modelaciones de transporte proveen a MODEM de una modelación de la red vial, y para cada uno de los arcos que componen la red vial, los flujos y velocidades para cada categoría vehicular y condición de operación (en horario punta - AM y fuera de punta - FP). MODEM realiza la expansión temporal de los flujos modelados para cubrir todo el año, para lo cual cuenta con perfiles de flujo semanales y mensuales, los cuales son multiplicadores de la variación del flujo modelado para las distintas

¹ <https://www.epa.gov/air-quality-management-process/managing-air-quality-emissions-inventories>

² Modelaciones realizadas previamente en ESTRAUS o VIVALDI

horas del día, según sentido del tráfico, zona de la ciudad, día de la semana y mes. La expansión descrita permite simular el nivel de actividad del transporte por categoría vehicular.

Figura N° 1 Esquema de metodología MODEM



Fuente: SECTRA³

El nivel de actividad por categoría vehicular se distribuye tecnológicamente, tanto por combustible como por norma de emisión. Esta caracterización es realizada por el consultor responsable de cada una de las corridas anuales de MODEM y se basa principalmente en la información disponible en las PRT. A partir del nivel de actividad distribuido por tecnología se estiman las emisiones por medio de factores de emisión, que dan cuenta de la tasa de emisión por unidad de nivel de actividad. Los factores de emisión utilizados corresponden a funciones que dependen de la velocidad promedio (obtenida por arco desde las modelaciones de transporte) que permiten estimar las emisiones de diferentes contaminantes para las diferentes tecnologías de las categorías vehiculares, obtenidas desde las diferentes versiones de COPERT⁴ y sistematizados por EMEP/EEA.

3.1.2 Definición y origen de datos bases

3.1.2.1 Datos de emisiones

La información de las emisiones en cada sistema urbano fue recibida desde la contraparte técnica del estudio y contrastada con la información disponible en el RETC del MMA. La información

³ <http://www.sectra.gob.cl/metodologias/modem.htm> , consultado en agosto 2020

⁴ Calculadora de emisiones vehiculares desarrollada por la Unión Europea

recibida corresponde a los proyectos modelados en MODEM para cada ciudad durante toda la serie temporal estudiada. De esta forma se cuenta tanto con los archivos de salida (estimación de nivel de actividad y emisiones en un año) como de los archivos de entrada (modelación de transporte, sistema vial modelado, composición tecnológica, perfiles de expansión) de MODEM. Se observa que en determinados pares año-ciudad se cuenta con múltiples versiones de algunos de los archivos, en cuyo caso se seleccionó la versión más actualizada.

Con lo anterior se cuenta con información para las siguientes zonas urbanas:

Tabla N° 1 Series de tiempo resultados MODEM por zona urbana

Zona urbana	Serie de tiempo con resultados MODEM
Arica; Iquique; Antofagasta; Calama, Copiapó; La Serena-Coquimbo; Gran Valparaíso; Gran Santiago; Rancagua; Talca; Chillán; Gran Concepción; Los Ángeles; Temuco-Padre Las Casas; Valdivia; Osorno; Puerto Montt	2005 - 2018
Ovalle; Curicó; Linares; Angol; Punta Arenas	2012 - 2018

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos MODEM

Los archivos fueron sistematizados para facilitar el análisis. Es relevante destacar que en los archivos recibidos no se cuentan con la estimación de los kilómetros recorridos resultantes de MODEM para el Gran Santiago en el periodo 2008 a 2011 y para el año 2013, así como para el Gran Concepción en el año 2015.

Salvo la identificación y corrección de datos anómalos descritas en la Sección 3.1.2.2, los datos de los resultados de MODEM no fueron modificados. Para verificar la trazabilidad de los resultados finales, se tomaron muestras aleatorias del inventario y fueron comparadas con los resultados de MODEM, proceso en el que no se encontraron modificaciones salvo para los casos puntuales descritos en la siguiente Sección.

3.1.2.2 Identificación y corrección de datos anómalos de estimación MODEM

Como se desprende de la descripción de la metodología de MODEM, la estimación de emisiones sigue un enfoque *Bottom-up* que depende de múltiples variables de entrada. Por lo demás, durante los años en que se ha implementado la metodología, los responsables de las estimaciones han variado, y no se encuentra consolidado los supuestos y metodologías descritas para estimar los valores de las distintas variables de entradas de MODEM.

Un análisis de los datos permite observar que existen una serie de valores anómalos, en el sentido que se observan estimaciones puntuales cuyo valor se escapan de los valores esperados en comparación con la serie de tiempo. Estas anomalías resultan, en los casos más extremos, en estimaciones de emisiones para una ciudad de la mitad o el doble respecto de la misma ciudad en el año anterior. Si bien, parte de estas variaciones responden efectivamente a cambios en las emisiones reales explicados por la variación en la infraestructura o en los viajes, e incluso una parte pueden responder a mejoras metodológicas que responden a nueva información, se identifican una serie de datos anómalos que varían durante un periodo acotado.

Dentro de las variaciones metodológicas que pueden explicar los datos anómalos se destacan, entre otras:

- Distribución tecnológica del parque vehicular
- Imputación de flujos a las diferentes categorías vehiculares

- Factores de emisión imputados
- Perfiles semanales y mensuales de expansión
- Red vial y modelaciones de transporte

Lo anterior resultaría en que la variación de los datos estaría reflejando las variaciones metodológicas en los datos de entrada del modelo, lo cual oscurece las variaciones del sistema el transporte. De esta forma, si bien la opción de volver a correr los modelos para dar uniformidad a las metodologías de imputación de los resultados se escapa de los alcances del presente estudio, se propone una corrección estadística de los resultados anómalos más evidentes.

Esta identificación y corrección se realiza sólo para el alcance temporal del inventario (ver Sección 3.2.3) y estas se limitan solo a anomalías evidentes y significativas, que son corregidas de formas precisas, de acuerdo a las siguientes definiciones:

- Evidentes: Variación interanual del total de emisiones de un contaminante en una zona urbana mayor a 15% (valor absoluto) de un año a otro
- Significativas: Variación interanual del total de emisiones de un contaminante en una zona urbana mayor a 0.5% (valor absoluto) del total de emisiones inventariadas para dicho contaminante.
- Precisas: sólo se modifican las categorías vehiculares que explican la mayor parte de las variaciones observadas.

En la Tabla N°2 se presenta la variación para cada contaminante del inventario corregido con respecto al inventario con los datos MODEM original. Se observa que las variaciones del inventario corregido no sobrepasan el 10%, lo cual se considera que es un resultado en línea con las definiciones recién descritas.

Tabla N° 2 Variación de inventario corregido respecto a los datos originales

Contaminante	Variación
GEI (CO ₂ eq)	5.6%
MP10	5.5%
MP2.5	9.5%
NO _x	3.8%
SO ₂	-0.1%
CO	-5.9%
COV	-0.2%
NH ₃	6.4%

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

3.1.2.3 Otros datos complementarios

Además de la información de MODEM (entradas y salidas) en el presente estudio se considera una serie de otra información complementaria, utilizada principalmente para analizar la evolución de las emisiones y en la construcción y análisis del modelo multivariable.

La Tabla N°3 a continuación contiene el detalle del origen (fuente) de los datos, los años para los cuales se tiene información, el tipo de dato, y el detalle en que está presentado en la base de datos. Cabe destacar que, si bien algunos datos se presentan en la base de datos a nivel comunal, el análisis

se realizará a nivel de ciudad. No obstante, el dato original no fue agrupado para evitar perder información.

Tabla N° 3 Datos complementarios utilizados

Datos	Años	Unidad	Detalle	Fuente	Descripción
Parque vehicular	2005-2018	Número vehículos	Comuna, tipo vehículo	INE	Distribución por tipo de vehículo del parque vehicular de cada ciudad de interés, para los años 2005 a 2018.
PIB regional	2008-2018	Miles de millones de pesos	Región	(Banco Central, 2020)	PIB regional en miles de millones de pesos
IMACEC	2005-2018	Sin unidad	País	(Banco Central, 2020)	Cambio en el IMACEC con respecto al año base 2013
Certificación del parque vehicular (Euro I, Euro II, etc.)	2005-2018	Porcentaje	Comuna, tipo vehículo	MODEM, en base información plantas de revisión técnica	Distribución del parque que corresponde a cada tipo de certificación Euro. La información se recuperó en función de los kilómetros recorridos de MODEM.
Consumo de combustible del parque vehicular	2005-2018	Toneladas	Comuna, tipo vehículo	MODEM	Consumo de combustible obtenido directamente de las simulaciones de MODEM para cada ciudad y año.
Kilómetros recorridos	2005-2018	Kilómetros	Comuna, tipo vehículo	MODEM	Kilómetros recorridos por el parque vehicular obtenido directamente de las simulaciones de MODEM para cada ciudad y año.
Población	2002-2018	Habitantes	Comuna	INE (Censo 2017)	Población estimada para cada comuna por el INE tomando los resultados del censo 2017 como año base
Longitud de arcos	2005-2018	Kilómetros	Ciudad	MODEM	Longitud de arcos modelados en cada corrida de MODEM
Flujo en arcos	2005-2018	Kilómetros	Ciudad	MODEM	Flujo total modelado en cada corrida de MODEM

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

3.2 Estructura del inventario

El presente Capítulo presenta la estructuración del inventario, así como los niveles de desagregación de este. Las siguientes secciones buscan aclarar el método de estimación, los contaminantes incluidos, las fuentes de emisión consideradas, así como los alcances geográficos y temporales considerados.

3.2.1 Contaminantes considerados

El presente inventario considera la emisión de diez contaminantes, los cuales son agrupados en tres categorías, tal como se presenta en la Tabla N°4.

Tabla N° 4 Contaminantes considerados en el inventario

Categoría de contaminante	Contaminante	Sigla
Gases de Efecto Invernadero (GEI)	Dióxido de carbono	CO2
	Metano	CH4
	Óxido Nitroso	N2O
Materia Particulado	Material particulado respirable	MP10
	Material particulado fino respirable	MP2.5
Otros gases de combustión	Óxidos de Nitrógeno	NOx
	Monóxido de Carbono	CO
	Amoníaco	NH3
	Dióxido de Azufre	SO2
	Compuestos Orgánicos Volátiles	COV

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Los **GEI** son contaminantes climáticos cuya estada atmosférica significa un forzamiento radiativo positivo, contribuyendo al efecto invernadero. Estos gases tienen un efecto global y han sido objeto de diferentes compromisos del Estado de Chile, el último de ellos quedando plasmado en la actualización 2020 de la Contribución determinada a nivel nacional (NDC) de Chile, la cual entre otros se compromete a un *peak* de emisiones al año 2025, a un presupuesto de carbono para el periodo 2020 y 2030, un nivel de emisiones al 2030 de 95 MtCO₂eq y da pie para alcanzar la neutralidad en término de emisiones al 2050.

Las categorías de contaminantes presentadas en la Tabla N°4 tienen relación con los impactos de los diferentes contaminantes. El **material particulado** corresponde a partículas en suspensión que dependiendo de su tamaño pueden ingresar al sistema respiratorio humano. Existe amplia evidencia científica respecto a la relación entre la exposición a MP10 y MP2.5 y la salud humana, observándose aumentos en el riesgo de mortalidad prematura, así como en la morbilidad, especialmente por causas cardiopulmonares. En Chile, gran parte de los esfuerzos de la autoridad ambiental en término de descontaminación se han centrado en el material particulado, aun así, las ciudades del centro y sur de Chile superan largamente los niveles de concentración recomendados por la OMS resultando en una mortalidad prematura cercana a 4 mil casos por año (MMA, 2019).

Los **otros gases de combustión** son otros contaminantes los cuales tienen impacto directo sobre la salud humana y/o son precursores de la formación secundario de material particulado u ozono troposférico. Por lo demás, también tienen otros impactos indeseados como el aporte a lluvia acida, daño al patrimonio, daño a especies vegetales, reducción de visibilidad, entre otros.

Los contaminantes tienen diferentes impactos y, en general, la suma directa de ellos carece de sentido ambiental⁵. De esta forma, desde el punto de vista ambiental la adición de los contaminantes se da en términos de algunos de sus impactos específicos, por ejemplo, los GEI son usualmente presentado en términos de su aporte al calentamiento atmosférico, para lo cual se utiliza el potencial de calentamiento global de cada gas en términos de unidades de masa de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq). De forma análoga se podrían adicionar los impactos del material

⁵ Por lo demás, algunos de ellos forman parte de otros. Por ejemplo, el MP2.5 es una fracción del MP10, o el CH₄ es un tipo de COV.

particulado sobre la salud humana en término de aumento de riesgo de mortalidad o morbilidad, o los otros gases de combustión, de acuerdo, a su aporte a la formación de MP2.5 secundario. Al respecto cabe destacar que los impactos en salud o en la formación de contaminantes secundarios depende fuertemente de las condiciones locales donde se emiten los contaminantes, razón por lo cual estos esfuerzos son realizados en estudios particulares.

3.2.2 Niveles de agregación

El estudio está centrado en las 22 zonas urbanas que cuentan con el cálculo de emisiones por medio de MODEM a partir de las modelaciones de transporte realizadas por SECTRA. La Tabla N°5 muestra el detalle de las zonas urbanas consideradas por MODEM, así como la región y las comunas que componen cada una de las ciudades. Cabe destacar además que el modelo de transporte considera las emisiones solo de las calles pavimentadas de los distintos sistemas urbanos.

Tabla N° 5 Detalle cobertura geográfica

Región	Zonas urbanas	Comunas
XV. Arica y Parinacota	Arica	Arica
I. Tarapacá	Iquique	Iquique, Alto Hospicio
II. Antofagasta	Antofagasta	Antofagasta
	Calama	Calama
III. Atacama	Copiapó	Copiapó
IV. Coquimbo	La Serena-Coquimbo	La Serena, Coquimbo
	Ovalle	Ovalle
V. Valparaíso	Gran Valparaíso	Valparaíso, Viña del Mar, Concón, Quilpué, Villa Alemana
XIII. Metropolitana	Gran Santiago	Santiago, Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Joaquín, San Miguel, San Ramon, Vitacura, Puente Alto, Pirque, Colina, Lampa, Tiltil, San Bernardo, Buin, Calera de Tango, Paine, Talagante, Isla de Maipo, Padre Hurtado, Peñaflor
VI. O'Higgins	Rancagua - Machalí	Rancagua, Machalí
VII. Maule	Linares	Linares
	Curicó	Curicó
	Talca	Talca
XVI. Ñuble	Chillán	Chillán, Chillán Viejo
VIII. Biobío	Gran Concepción	Concepción, Talcahuano, Chiguayante, San Pedro de la Paz, Hualpén, Penco, Tomé, Coronel, Lota, Hualqui, Santa Juana, Florida
	Los Ángeles	Los Ángeles
IX. La Araucanía	Angol	Angol
	Temuco-PLC	Temuco, Padre Las Casas
XIV. Los Ríos	Valdivia	Valdivia
X. Los Lagos	Osorno	Osorno
	Puerto Montt	Puerto Montt
XII. Magallanes	Punta Arenas	Punta Arenas

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

En término de población, las zonas urbanas consideradas representan más de 12.9 millones de habitantes, de acuerdo al último Censo 2017 (INE, 2018), lo cual representa el 70% de la población nacional. La distribución de esta población, lejos de ser uniforme, se concentra en las grandes zonas urbanas con más de 9 millones de los habitantes concentrados en las tres principales zonas urbanas del país: Santiago, Concepción y Valparaíso. Dado el impacto que podría tener las diferencias poblacionales en la movilidad urbana, el inventario se estructura para reflejar la diferencia escala de las ciudades con el objetivo de facilitar la comprensión y análisis de los resultados. De esta forma, las diferentes zonas urbanas se agrupan bajo tres tipologías, definidas de acuerdo al número de habitantes en cada una de las zonas:

- Grandes zonas metropolitanas: zonas urbanas con un millón⁶ o más de habitantes
- Ciudades intermedias 1: zonas urbanas con más de 250 mil y menos de 1 millón de habitantes
- Ciudades intermedias 2: el resto de las zonas urbanas con estimaciones mediante MODEM

Los resultados de la agregación por tipo de ciudad, así como el número de habitantes en cada una de las zonas urbanas se presenta en la Tabla N°6.

Tabla N°6 Población [hab] por zona urbana y agrupación por tipo de ciudad

Tipo de ciudad	Zona Urbana	Población urbana 2017
Grandes zonas metropolitanas	Gran Santiago	7,064,859
	Gran Concepción	1,014,058
	Gran Valparaíso	985,198
Ciudades intermedias 1 (>250.000 habitantes)	La Serena - Coquimbo	437,336
	Antofagasta	373,442
	Temuco - Padre Las Casas	322,844
	Iquique	310,843
	Rancagua - Machalí	307,731
	Puerto Montt	231,492
	Arica	215,514
Ciudades intermedias 2 (<250.000 habitantes)	Talca	220,762
	Chillan – Chillán Viejo	204,920
	Los Ángeles	158,961
	Calama	164,362
	Valdivia	159,975
	Osorno	155,763
	Copiapó	161,876
	Curicó	139,006
	Punta Arenas	130,606
	Ovalle	92,219
	Linares	81,354
	Angol	50,636
Total		12,977,756

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a CENSO 2017 (INE, 2018)

Dado la agrupación de las zonas urbanas según tipo de ciudad se distinguen tres niveles de agrupación de escala territorial, a partir de los cuales se realiza la presentación de los resultados y los análisis:

1. Nivel 1 – Nivel Nacional: Corresponde a la suma de las 22 zonas urbanas con resultados de estimación de emisiones MODEM.
2. Nivel 2 – Tipo de Ciudad: Corresponde a la agregación de las zonas urbanas en tres tipos de ciudades, definidas según la población en cada una de ellas, tal como se presenta en la Tabla N°6.

⁶ La zona de Gran Valparaíso cuenta con una población de 985 mil habitantes, a pesar de esto se considera que corresponde a una gran zona metropolitana.

3. Nivel 3 – Zona Urbana: Corresponde a los resultados particulares de cada una de las 22 zonas urbanas con resultados de estimación de emisiones MODEM.

Los resultados para el Nivel 1 y 2 se presentan en el cuerpo del informe, mientras que los resultados del Nivel 3 se presentan en el Anexo 7.2.

3.2.3 Alcance temporal

Se cuenta con estimaciones de emisiones MODEM de forma anual para la serie temporal 2005-2018 para la mayoría de las ciudades. La excepción son las ciudades de Ovalle, Angol, Punta Arenas, Curicó y Linares, las cuales cuentan con estimaciones MODEM a partir del año 2012. Considerando los objetivos del estudio se considera relevante realizar una definición del alcance temporal para el análisis, de modo de acotar el período de la serie temporal a considerar en el inventario. Para ello conviene tener en cuenta los objetivos del inventario, los que son presentados en la Sección 2.1 del presente informe y que en síntesis proponen: por una parte, dar cuenta de la mejor estimación de emisiones en un período dado, y por otra, permitir el análisis de la trayectoria histórica de los datos.

En las siguientes subsecciones se presentan: el desarrollo de la definición de los criterios, su aplicación sobre los datos bases y el alcance temporal resultante de este proceso.

3.2.3.1 Definición temporal del análisis

En vista de los objetivos recién descritos, es deseable que para las variaciones observables en las estimaciones durante el periodo temporal de análisis reflejara variaciones en los sistemas de transporte urbanos, y no se viera oscurecida por cambios en la modelación que enmascaran dichas variaciones. Sin embargo, un análisis longitudinal⁷ de las estimaciones permite reconocer una serie de discontinuidades en las estimaciones que serían provocadas por variaciones metodológicas. Estas variaciones pueden ser inducidas por diferentes motivos, entre los que se destaca:

- Mejoras metodológicas provocadas por nuevos antecedentes
- Variaciones en la infraestructura vial modelada
- Variación en los factores de emisión considerado
- Variación en el método de estimación de la composición tecnológica
- Posibles errores de imputación de flujos
- Posibles omisiones de estimación

Por otra parte, un análisis transversal⁸ en las ciudades permite constatar que las discontinuidades observadas no se dan los mismos años en todas las ciudades. Esto implica un desafío mayor a la hora de determinar una única definición temporal que aplique a todas las ciudades. Al respecto, se observa que existen diferentes efectos de la selección de un periodo único de análisis según el objetivo que se esté considerando. Si bien es positiva para efectos comparativos, implica una exclusión de información en especial para efectos de análisis de trayectoria.

En vista de lo recién expuesto, se propone diferenciar la definición temporal de análisis según el objetivo. De esta forma para el inventario de emisiones se utilizará una definición temporal

⁷ Análisis en el tiempo

⁸ Análisis entre las ciudades

uniforme y transversal para todas las ciudades, definido a partir de un set de criterios. Mientras que, para el análisis de tendencia, así como para el análisis multivariable, se seleccionarán años a observar independientes para cada ciudad, obedeciendo a criterios particulares para cada caso.

La definición del análisis temporal en ambos casos requiere un análisis preliminar de la tendencia, con el objetivo de contar con algún indicador de los resultados que de luces de los resultados generales del modelo. En este sentido, el indicador de análisis preliminar de tendencia utilizado es las emisiones totales de CO₂ para cada ciudad. Se selecciona dicho indicador puesto que tiene ciertas ventajas sobre otras alternativas, entre las que destaca:

- **Complejidad:** se cuenta con estimación para cada par ciudad-año, situación que no se observa con otros indicadores alternativos como kilómetros recorridos.
- **Comparabilidad longitudinal:** Las emisiones de CO₂ son comparables a nivel longitudinal, en la medida que los cambios de norma vehicular afectan en menor medida a este gas que a otros contaminantes. Se considera que la entrada de vehículos híbridos y eléctricos aún es marginal y no afecta esta comparación.
- **Comparabilidad transversal:** Las emisiones de CO₂ tienen el mismo impacto sobre el cambio climático, independiente de la ciudad en que sea emitida, y por lo tanto su comparabilidad entre ciudades es válida desde el punto de vista ambiental. Esto se diferencia de los efectos de los otros contaminantes sobre salud humana, efectos sobre ecosistemas y patrimonio, cuyos impactos dependen fuertemente del lugar de origen de las emisiones.
- **Relevancia:** Las emisiones de CO₂ son relevantes en término de su impacto al cambio climático, siendo el principal gas en término de aporte al aumento de forzamiento radiativo. Se espera que, por esta razón, sea más probable que este resultado haya sido revisado por los diferentes responsables de las corridas MODEM.
- **Existencia de otras estimaciones:** Si bien, son estimadas con un enfoque diferente y con un alcance diferente, las emisiones presentadas en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) del MMA presenta un punto de comparación que permite contrastar los resultados.

Respecto a los criterios para la selección del período temporal de análisis para el inventario de emisiones se consideran los siguientes:

- **Criterio 1: Complejidad** – todas las ciudades cuentan con resultados de modelo MODEM para el periodo completo. Criterio considerado como un requisito mínimo.
- **Criterio 2: Consistencia** – los resultados del análisis preliminar de tendencia permiten observar resultados consistentes que reflejen variaciones en los cambios del sistema de transporte urbano por sobre variaciones metodológicas. Criterio considerado como deseable.
- **Criterio 3: Comparabilidad con sistemas urbanos de transporte actuales** – el periodo de análisis permite contar con un inventario de emisiones que refleje o sea similar a la situación actual de los sistemas de transporte urbanos. En este sentido, se privilegia las estimaciones más recientes por sobre estimaciones anteriores. Criterio considerado como deseable.

En el anexo presentado en la Sección 7.1 se desarrolla con mayor detalle el tema del análisis temporal del análisis, sin embargo, a priori se observan que existen discontinuidades en las estimaciones de una misma ciudad, las cuales, al no poder ser explicadas con datos de la realidad, responderían a cambios metodológicos, ya sea en la modelación de transporte, en los perfiles de expansión, en los factores de emisión o en la composición tecnológica del parque.

Desde el punto de vista de los objetivos del estudio, es deseable que el alcance temporal a seleccionar del inventario fuera tal, que la variación de las emisiones estimadas reflejará la situación real y no variaciones metodológicas, de forma que el análisis se centrará en las tendencias y no en las modificaciones del cálculo. Más aún, un análisis transversal de las ciudades permite observar que las variaciones metodológicas no se dan de forma homogénea entre las ciudades, observándose cambio en diferentes años para las diferentes ciudades modeladas.

3.2.3.2 Análisis de tendencia preliminar

Para llevar a cabo el análisis de tendencia preliminar, se considera la serie de tiempo de las emisiones CO₂ totales de cada ciudad. El objetivo no es explicar las variaciones de un año a otro, sino que identificar tendencias simples en el tiempo de las emisiones, que permitan identificar variaciones que se desvíen de la tendencia. Para ello, se desarrollan modelos lineales simples a partir de una variable independiente (año), y una variable dependiente (emisiones de CO₂). El supuesto detrás de este modelo es que los modelos de transporte urbano, si bien han tenido variaciones, presentan una tendencia estable en sus emisiones de CO₂ asociado a niveles de actividad (kilómetros recorridos) que no varían de forma brusca de un año a otro y a un parque vehicular que tampoco tiene cambios bruscos de un año a otro.

Para el análisis se comparan las emisiones de CO₂ resultantes de MODEM con la predicción del modelo lineal simple. Este proceso permitiría identificar datos *outliers* (fuera de la línea de tendencia), cuya exclusión a su vez resulta en un nuevo modelo lineal simple. Este proceso se realiza excluyendo el *outlier* con la mayor diferencia porcentual respecto al modelo predictivo, y se itera hasta que ningún dato pueda ser calificado como *outlier*. En este caso se considera que la calificación de *outlier* se da para todo valor que tenga una diferencia porcentual mayor al 20%.

Los resultados de este proceso son resumidos en la Tabla N°7. El detalle del análisis de tendencia preliminar de tendencia se presenta en el Anexo 7.1. Solo 7 de las 22 ciudades no cuenta con al menos un año calificado como *outlier*, y solo hubo 3 ciudades para las cuales se reconocen dos tendencias diferentes que justifican la presentación de ambos resultados.

Tabla N°7 Resumen de análisis preliminar de tendencia

Sistema Urbano	Años con datos de MODEM	Años outlier	R ²
Arica	2005-2018	-	0.85
Iquique	2005-2018	2005, 2015, 2018	0.89
Antofagasta	2005-2018	2006	0.82
Calama	2005-2018	Se distinguen dos series de tiempo diferentes: 2005-2011	0.87
		2012-2018	0.08
Copiapó	2005-2018	2005, 2006	0.94
Ovalle	2012-2018	2016	0.95
La Serena – Coquimbo	2005-2018	2005, 2006, 2012, 2013	0.98
Gran Valparaíso	2005-2018	2015, 2017	0.68
		Se distinguen dos series de tiempo: 2005-2012	
		2012-2018	
Gran Santiago	2005-2018	-	0.93
Rancagua	2005-2018	2005-2008, 2015	0.87
Curicó	2012-2018	-	0.11
Talca	2005-2018	2005,2006	0.68
Chillán	2005-2018	2005	0.96
Linares	2012-2018	-	0.05
Gran Concepción	2005-2018	-	0.86
Los Ángeles	2005-2018	-	0.89
Angol	2012-2018	2012	0.42
Temuco – Padre Las Casas	2005-2018	2005-2010	0.85
Osorno	2005-2018	2005, 2007, 2008, 2013, 2014	0.93
Valdivia	2005-2018	2015	0.81
Puerto Montt	2005-2018	2018	0.92
		Se distinguen dos series de tiempo: 2005,2006, 2012-2017	
		2007-2011	
Punta Arenas	2012-2018	-	0.01

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Cabe destacar que si bien en algunos casos los valores del R-cuadrado (R²) presentados en la Tabla N°7 son bajos, esto no resulta necesariamente un modelo con bajo nivel de ajuste. Este indicador da cuenta de que la variabilidad de la variable dependiente (emisiones de CO₂) no es explicada por la variabilidad de la variable independiente (año), y sucede en aquellos casos donde en lugar de observar un crecimiento sostenido de las emisiones, se observa una fluctuación en torno a un valor medio. Se destaca que este es el caso de 4 de las 5 ciudades con resultados MODEM a partir del año 2012: Curicó, Linares, Angol y Punta Arenas.

3.2.3.3 Definición temporal seleccionada

La definición temporal es construida a partir de los tres criterios definidos anteriormente. Los resultados según estos criterios son presentados a continuación.

- **Criterio 1: Completitud** – Solo 5 de las 22 ciudades con resultados MODEM sólo tiene resultados con este modelo a partir del año 2012.
- **Criterio 2: Consistencia** – En la Tabla N°8 se presenta una vista longitudinal del número de ciudades que fueron calificadas como *outlier* a partir del análisis de tendencias preliminar. Se observa que salvo el año 2011 todos los años al menos una ciudad califica como *outlier*.

Tabla N° 8 Número de ciudades con valores *outliers* por año

Año	Ciudades <i>Outlier</i>
2005	8
2006	6
2007	3
2008	3
2009	1
2010	1
2011	0
2012	2
2013	2
2014	1
2015	3
2016	2
2017	1
2018	2

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

- **Criterio 3: Comparabilidad con sistemas urbanos de transporte actuales** – Este criterio permite para las ciudades en los que se identificaron más de una tendencia decidir por cual utilizar. En los tres casos – Calama, Gran Valparaíso y Puerto Montt - se trata de las tendencias que incluyen al periodo 2012-2018 identificadas. Por lo demás, el criterio plantea las ventajas de utilizar una definición temporal lo más reciente posible.

De esta forma el Criterio 1, considerado como un requisito mínimo, exige que la definición temporal excluya el periodo anterior al 2011. De acuerdo al criterio 2, no se observan mayores diferencias entre los años posteriores al 2011, observándose que en cada año se tiene entre una y tres ciudades con *outliers*. Se destaca que, de las ciudades con mayor población, solo Gran Valparaíso (en 2015 y 2017) tiene *outliers* posterior al año 2011. Por su parte, el Criterio 3 permitió seleccionar las tendencias para ciudades que tuvieran más de una tendencia preliminar. Coincidentemente en los tres casos en que hubo ciudades con más de una tendencia, se priorizó una tendencia que incluía la serie 2012-2018. A partir de la discusión anterior, **se utiliza la serie 2012-2018 para la definición del inventario de emisiones.**

3.2.4 Fuentes de emisión

Las fuentes de emisión consideradas corresponden a los vehículos motorizados que transitan por las ciudades modeladas. Tal como se explica en la Sección 3.1.1, el tránsito de estos vehículos es simulado en modelos de transporte según categoría vehicular, y en MODEM se realiza una expansión para el resto del año con detalle según tecnología. De esta forma, los resultados obtenidos desde MODEM se obtienen a nivel de CCF8, el cual es un código que combina categoría

vehicular, uso, combustible y norma EURO. La combinación anterior resulta en cerca de 200 CCF8 diferentes.

El alto número de CCF8 resultantes dificulta el proceso de análisis de los resultados, por lo que, con la contraparte del estudio se define una clasificación de los vehículos en siete agrupaciones de acuerdo a lo señalado en la Tabla N°9. En la práctica, este nivel de agregación funciona como un cuarto nivel de desagregación de las emisiones, después de las agregaciones a nivel nacional, tipo de ciudad y zona urbana, según lo descrito en la Sección 3.2.2.

Tabla N° 9 Agrupación según tipo y subtipo de vehículo

Agrupación	Categorías incluidas
Particular	Vehículos Particulares diésel y gasolineros
	Alquiler diésel y gasolineros
	Motocicletas dos y cuatro tiempos
Comercial	Uso empresa diésel y gasolineros
	Uso particular diésel y gasolineros
Taxi colectivo	Taxis colectivos diésel y gasolineros
Bus Urbano	Buses licitados urbanos, caso de la RM todos los buses RED
Bus Rural	Buses rurales
Bus Interurbano	Buses interurbanos
Camiones	Camiones livianos, medianos y pesados

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Si bien la mayoría de las emisiones corresponden a la combustión del combustible en los motores, existen otros mecanismos que resultan en emisiones. En particular, MODEM considera:

- Tubo de escape vehículos (combustión del motor)
- Desgaste de frenos
- Desgaste de neumáticos
- Detenciones en caliente
- Evaporativas durante el día
- Evaporativas durante el recorrido
- Partidas en frío
- Polvo resuspendido

En base a los objetivos del presente estudio, se considera suficiente mostrar de forma agregada las emisiones en el presente informe, sin detallar en el mecanismo que les da origen. Las emisiones presentadas en los diferentes capítulos excluyen las emisiones de polvo resuspendido, puesto que los resultados de MODEM no asocian estas emisiones a las categorías vehiculares, sino que son reportadas sólo a nivel de zona. Se destaca que estas emisiones solo corresponden a emisiones de material particulado. Sin perjuicio de lo anterior, los anexos digitales que acompañan al presente informe contienen la información detallada de la estimación de polvo resuspendido para cada zona.

4. Resultado inventario de emisiones

En el presente capítulo se presentan los resultados del inventario de emisiones. La metodología de consolidación y estructura fue presentada en el capítulo anterior.

El capítulo se estructura en dos secciones: la primera, donde se presentan los resultados siguiendo la estructura de inventario descrita en la Sección 3.2, y la segunda, donde se presenta un contraste de los resultados con una metodología alternativa de cálculo.

4.1 Inventario de emisiones

En la Tabla N°10 se presenta el total de emisiones para el periodo 2012 a 2018 según contaminante. Como era de esperar de un sistema de transporte que depende de motores de combustión interna, la mayor parte (97.0%) de las emisiones atmosféricas inventariadas corresponde a emisiones de CO₂. Del resto de los contaminantes destacan las emisiones de CO (2.2%), NO_x (0.5%) y COV (0.3%). Ninguno de los otros contaminantes supera una emisión superior al 0.1% del total de emisiones.

Tal como se plantea en la Sección 3.2.1 la comparación entre contaminantes no es directa, pues estos se asocian a diferentes impactos y problemáticas socioambientales, teniendo además diferentes intensidades de impacto. Por ejemplo, si bien el CO₂, el CH₄ y el N₂O son GEI que afectan directamente el cambio climático, los impactos por tonelada son diferentes (ver Introducción del Capítulo 5 para mayor detalle respecto al potencial de calentamiento global).

Tabla N° 10 Inventario de emisiones [ton], años 2012 a 2018

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	MP2.5	MP10	NO _x	CO	COV	SO ₂	NH ₃
Nacional	78,379,973	7,379	2,871	13,893	16,719	416,646	1,751,543	234,728	1,217	8,512
1. Gran zona metropolitana	59,711,967	5,117	1,975	8,794	11,120	281,182	1,224,107	128,127	946	6,498
2. Ciudad Intermedia 1	10,117,254	1,104	409	2,824	2,553	64,601	258,511	45,961	145	1,099
3. Ciudad Intermedia 2	8,550,753	1,158	487	2,775	2,547	70,863	268,925	60,640	126	915

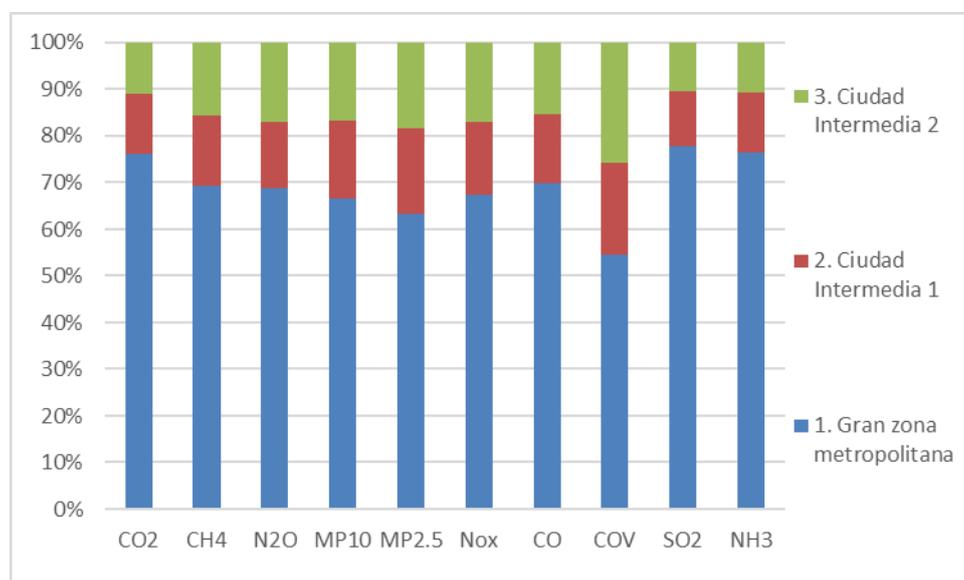
Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Al observar la distribución por tipo de ciudad (ver Figura N°2) se observa que la mayor parte de las emisiones se concentran en las **grandes zonas metropolitanas**, destacándose que el 76% de las emisiones de CO₂ se concentra en este tipo de ciudad. Al respecto resulta de interés contrastar la diferencia entre el CO₂ y otros contaminantes con impactos locales en la calidad del aire. En particular al comparar con el NO_x y el CO se observa que las grandes zonas metropolitanas representan una fracción menor de estos gases, 67% y 70% respectivamente.

Lo anterior respondería al efecto del parque tecnológico: mientras las emisiones de CO₂ dependen del combustible y volumen de consumo, las emisiones de los contaminantes locales son afectadas por las tecnologías de combustión. De esta forma se pueden encontrar diferencias en el orden de magnitud de las emisiones por unidad de consumo entre las distintas tecnologías Euro de los vehículos. La diferencia observada tendría su origen en que las grandes zonas metropolitanas tendrían un parque más nuevo, lo que se asocia a un mejor nivel tecnológico.

Mayor análisis por tipo de ciudad se presenta en las siguientes subsecciones.

Figura N° 2 Distribución porcentual de emisiones según tipo de ciudad, años 2012 a 2018



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Respecto a la evolución de las emisiones en el tiempo, en la Tabla N°11 se presenta el detalle anual de las emisiones a nivel nacional para el período 2012 a 2018. Si bien año a año se observan magnitudes similares de emisiones, existen tendencias diferentes entre los contaminantes inventariados. Como un resumen de esto, en la misma Tabla N°11 se presenta la tasa de crecimiento anual promedio. En ella se observa, por ejemplo, que las emisiones de CO₂ han aumentado con una tasa anual promedio de 4.0%, mientras que otras emisiones como las de NO_x, CO y COV se han reducido constantemente en el periodo del inventario con una tasa promedio en torno al 10%.

Lo anterior ocurre puesto que el CO₂ ha aumentado de forma consistente con el nivel de actividad de las zonas urbanas, mientras que las emisiones de NO_x, CO y COV hubieran aumentado de la misma forma de haberse mantenido constante la distribución tecnológica del parque. En este sentido, el efecto del recambio del parque ha sido más relevante en estas emisiones que el aumento del nivel de actividad.

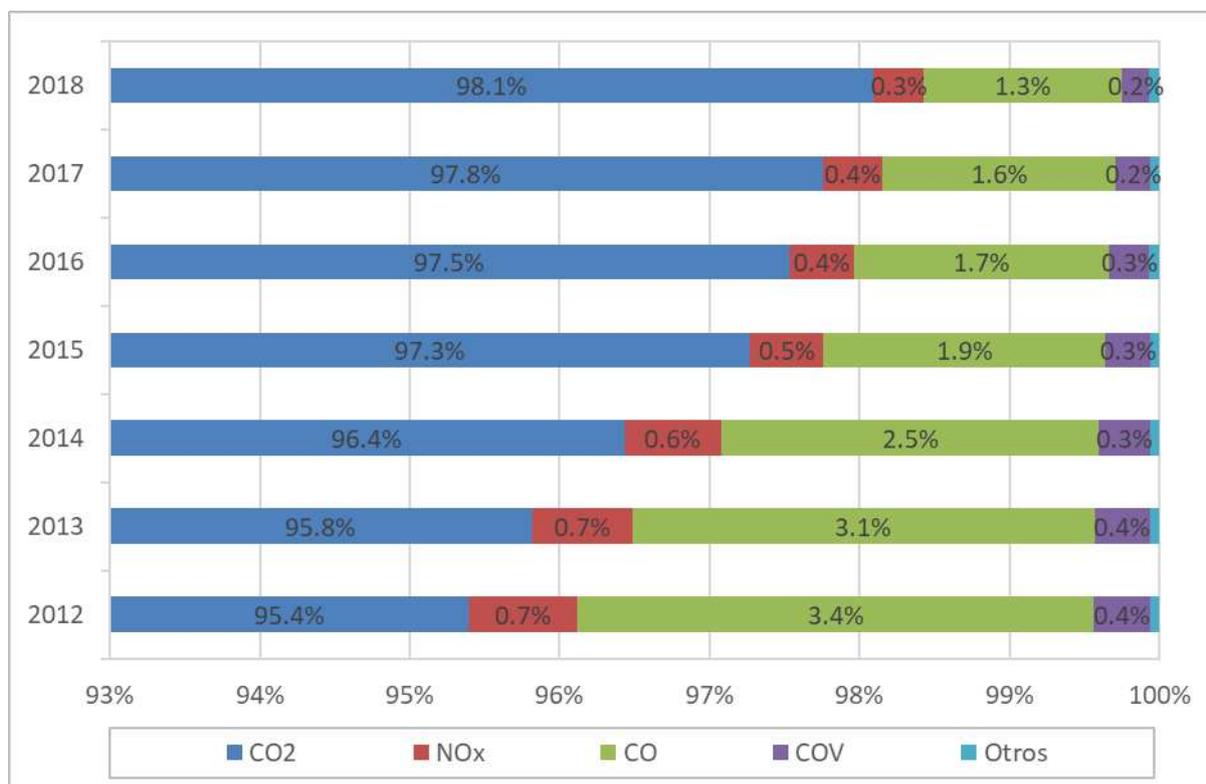
Una de las consecuencias de esto es que la participación de cada contaminante en las emisiones totales de los sistemas de transporte urbanos ha variado, resultando en un mayor peso del CO₂ respecto del total de emisiones. Lo anterior se puede observar en la Figura N°3 donde se presenta la distribución para los 4 principales contaminantes que de forma conjunta representa el 99.9% del total de las emisiones en todos los años inventariados, y donde se observa que de forma consistente las emisiones de CO₂ representan una fracción mayor del total de las emisiones atmosféricas.

Tabla N° 11 Inventario de emisiones [ton] con detalle anual y tasa promedio anual de crecimiento

	CO2	CH4	N2O	MP10	MP2.5	NOx	CO	COV	SO2	NH3
Total periodo	78,379,973	7,379	2,871	16,719	13,893	416,646	1,751,543	234,728	1,217	8,512
2012	9,958,886	1,218	465	1,756	1,446	75,907	359,316	39,448	165	1,355
2013	10,111,664	1,326	427	1,814	1,487	70,412	325,365	39,062	169	1,316
2014	10,914,601	1,203	447	1,980	1,586	72,835	285,422	38,816	183	1,236
2015	11,266,139	925	368	2,291	2,313	56,435	218,098	34,419	180	1,125
2016	11,541,067	886	349	3,346	2,466	50,734	201,613	31,230	181	1,082
2017	11,981,285	895	326	2,468	2,221	48,016	191,247	28,140	170	1,080
2018	12,606,332	925	490	3,063	2,373	42,309	170,482	23,612	170	1,317
Tasa crecimiento promedio	4.0%	-4.5%	0.9%	9.7%	8.6%	-9.3%	-11.7%	-8.2%	0.4%	-0.5%

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Figura N° 3 Porcentaje de emisiones al aire, según contaminante, años 2012 a 2018



Nota: Se presenta el gráfico desde el 93% para poder apreciar la evolución de los demás contaminantes, desde el 93% hacia atrás todo el aporte es por CO2.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

4.1.1 Inventario grandes zonas metropolitanas

En la Tabla N°12 se presentan las emisiones inventariadas para las grandes zonas metropolitanas, con el detalle por zona urbana. En este tipo de ciudades las emisiones de CO2 representan el

97.3% del total de emisiones, siendo el contaminante con mayores emisiones seguido por el CO (2.0%), NO_x (0.5%) y COV (0.2%).

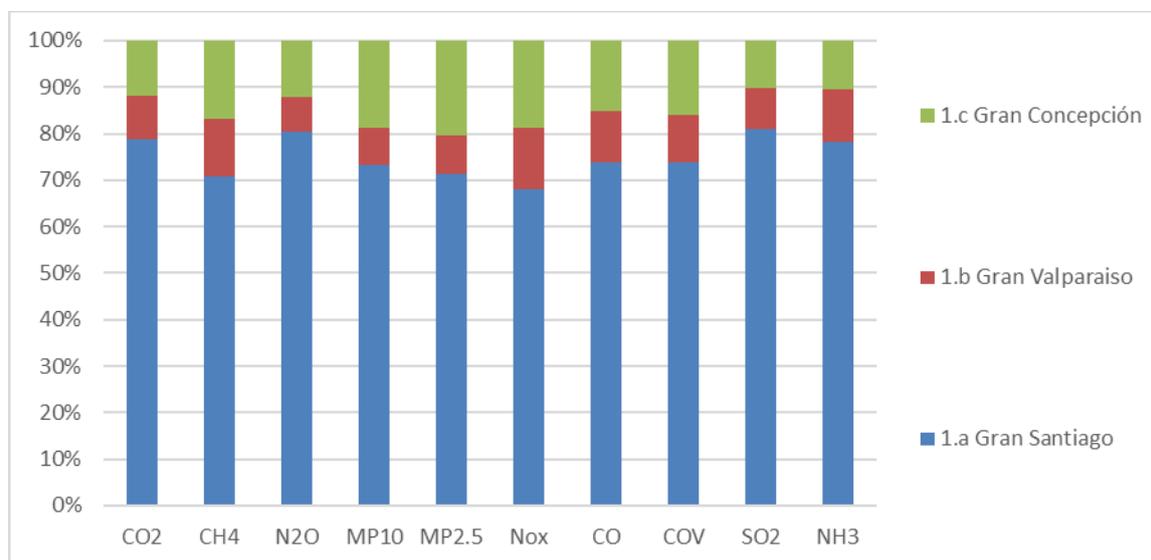
Tabla N° 12 Inventario emisiones [ton] - Grandes zonas metropolitanas, años 2012 a 2018

Zona urbana	CO2	CH4	N2O	MP10	MP2.5	NOx	CO	COV	SO2	NH3
1. Gran zona metropolitana	59,711,967	5,117	1,975	11,120	8,794	281,182	1,224,107	128,127	946	6,498
1.a Gran Santiago	47,028,947	3,628	1,589	8,133	6,278	190,985	903,374	94,443	766	5,084
1.b Gran Valparaíso	5,677,493	630	143	916	716	37,810	134,971	13,334	83	740
1.c Gran Concepción	7,005,526	860	242	2,071	1,799	52,388	185,763	20,350	97	674

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Al observar la distribución por zona urbana (ver Figura N°4), se observa que las emisiones están dominadas por las emisiones del Gran Santiago, que representa entre un 70% y un 80% de las emisiones, dependiendo del contaminante. Se observa que la participación de Santiago es mayor en CO₂ (79%) que en NO_x (68%) o CO (74%), lo cual se explicaría por contar con un parque vehicular con mejor tecnología de emisión.

Figura N° 4 Distribución de emisiones entre zonas urbanas, grandes zonas metropolitanas



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Respecto a la tendencia de las grandes zonas metropolitanas, las emisiones de CO₂, tienen una tasa de crecimiento anual promedio de 3.8%, levemente inferior al promedio nacional de 4.0%. Asimismo, las emisiones de NO_x, CO y COV en estas ciudades ha disminuido a una tasa proporcionalmente mayor que el promedio nacional, lo que da cuenta de un recambio del parque más rápido que en el resto de las ciudades.

Tabla N° 13 Inventario de emisiones [ton] con detalle anual y tasa promedio anual de crecimiento, grandes zonas metropolitanas

	CO2	CH4	N2O	MP10	MP2.5	NOx	CO	COV	SO2	NH3
1. Gran zona metropolitana	59,711,967	5,117	1,975	11,120	8,794	281,182	1,224,107	128,127	946	6,498
2012	7,644,630	885	359	1,247	1,009	53,146	269,211	21,903	130	1,115
2013	7,731,685	1,011	322	1,287	1,032	49,718	244,084	23,313	133	1,048
2014	8,379,177	866	333	1,428	1,111	51,160	200,545	22,659	143	941
2015	8,566,542	555	253	1,709	1,755	34,423	130,418	16,570	139	830
2016	8,702,502	543	245	2,264	1,454	32,172	135,649	15,605	138	820
2017	9,107,632	576	219	1,375	1,200	31,107	126,165	14,091	127	799
2018	9,579,798	682	245	1,809	1,234	29,457	118,037	13,986	136	945
Tasa crecimiento promedio	3.8%	-4.3%	-6.2%	6.4%	3.4%	-9.4%	-12.8%	-7.2%	0.8%	-2.7%

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

4.1.2 Inventario ciudades intermedias 1

En la Tabla N°14 se presentan las emisiones inventariadas para las ciudades intermedias 1 (más de 250 mil habitantes), con el detalle por zona urbana. En este tipo de ciudades las emisiones de CO2 representan el 96.4% del total de emisiones, siendo el contaminante con mayores emisiones seguido por el CO (2.4%), NOx (0.6%) y COV (0.4%).

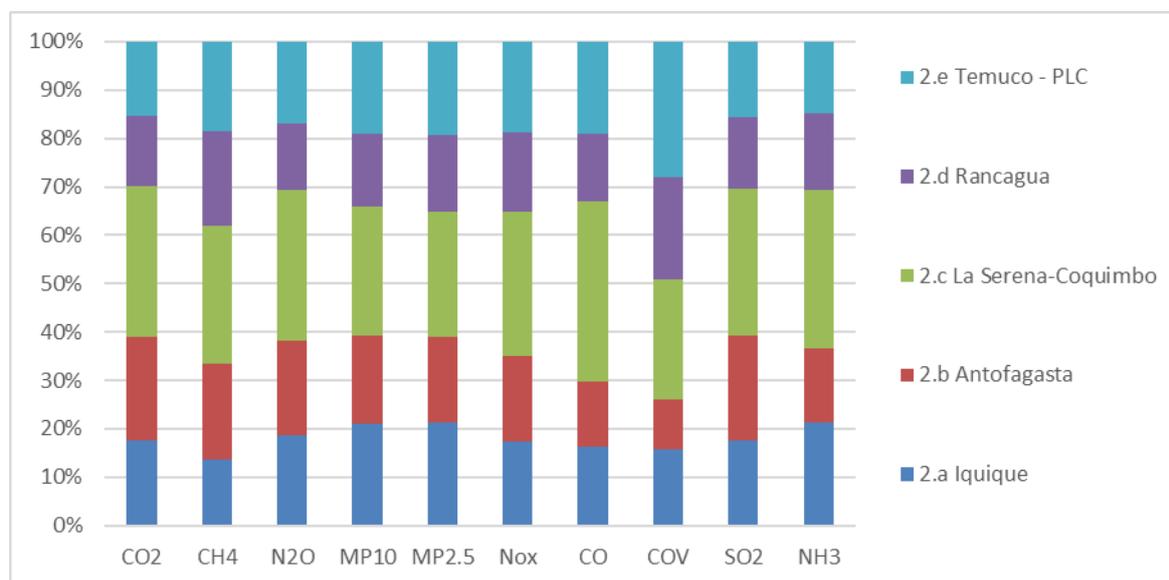
Tabla N° 14 Inventario emisiones [ton] - Ciudades intermedias 1 (población mayor a 250 mil habitantes), años 2012 a 2018

Zona Urbana	CO2	CH4	N2O	MP10	MP2.5	NOx	CO	COV	SO2	NH3
2. Ciudad Intermedia 1	10,117,254	1,104	409	2,824	2,553	64,601	258,511	45,961	145	1,099
<i>2.a Iquique</i>	1,769,528	149	76	597	543	11,177	41,946	7,213	25	234
<i>2.b Antofagasta</i>	2,168,743	221	81	515	454	11,494	34,644	4,756	31	169
<i>2.c La Serena-Coquimbo</i>	3,150,435	315	127	748	661	19,250	96,579	11,421	44	358
<i>2.d Rancagua</i>	1,468,953	216	56	423	402	10,595	36,371	9,735	21	175
<i>2.e Temuco -PLC</i>	1,559,595	203	70	541	492	12,085	48,971	12,838	23	162

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Al observar la distribución por zona urbana en Ciudades intermedias 1 (ver Figura N°5), se observa que las emisiones se distribuyen de forma bastante homogénea, aunque la zona urbana correspondiente a la conurbación La Serena-Coquimbo representa la zona urbana de mayor relevancia, representando el 31% de las emisiones de CO2, el 30% de emisiones de NOx y el 37% de emisiones de CO. Mientras que Antofagasta representa la segunda zona urbana alcanzando el 21% de las emisiones de CO2, el 18% de las emisiones de NOx y el 13% de las emisiones de CO. Al respecto cabe destacar que de ambas zonas urbanas son las de mayor población de este grupo (ver Tabla N°6 en Sección 3.2.2). Por su parte, Rancagua, Temuco-PLC e Iquique tienen emisiones de magnitudes similares, lo cual se condice con que las tres ciudades tienen un número similar de habitantes, entre 305 y 325 mil habitantes.

Figura N° 5 Distribución de emisiones entre zonas urbanas, Ciudades intermedias 1 (población mayor a 250 mil habitantes), años 2012 a 2018



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Respecto a la tendencia de las emisiones de las ciudades intermedias 1, las emisiones de CO₂ tienen una tasa de crecimiento anual promedio de 5.4%, siendo el tipo de ciudades con la mayor tasa de crecimiento. Asimismo, tienen una reducción de sus emisiones de NO_x, CO y COV proporcionalmente menor que el promedio nacional, lo que da cuenta de un recambio del parque más lento que en el resto de las ciudades.

Tabla N° 15 Inventario de emisiones [ton] con detalle anual y tasa promedio anual de crecimiento, ciudades intermedias 1 (población mayor a 250 mil habitantes)

	CO2	CH4	N2O	MP10	MP2.5	NOx	CO	COV	SO2	NH3
2. Ciudad Intermedia 1	10,117,254	1,104	409	2,824	2,553	64,601	258,511	45,961	145	1,099
2012	1,246,691	140	53	224	187	10,235	36,518	6,781	18	127
2013	1,266,674	140	54	246	207	9,331	39,706	6,345	18	146
2014	1,344,781	155	58	257	217	9,616	38,728	6,158	21	161
2015	1,435,069	174	61	274	257	10,288	43,576	7,024	22	166
2016	1,536,430	184	58	590	552	9,742	36,137	7,509	24	152
2017	1,577,309	170	58	595	555	8,507	34,802	6,504	24	163
2018	1,710,299	139	68	638	576	6,882	29,044	5,641	19	182
Tasa Crecimiento promedio	5.4%	-0.1%	4.3%	19.1%	20.6%	-6.4%	-3.7%	-3.0%	1.2%	6.1%

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

4.1.3 Inventario ciudades intermedias 2

En la Tabla N°16 se presentan las emisiones inventariadas para las ciudades intermedias 2 (menos de 250 mil habitantes), con el detalle por zona urbana. En este tipo de ciudades las emisiones de CO₂ representan el 95.3% del total de emisiones, siendo el contaminante con mayores emisiones seguido por el CO (3.2%), NO_x (0.8%) y COV (0.7%).

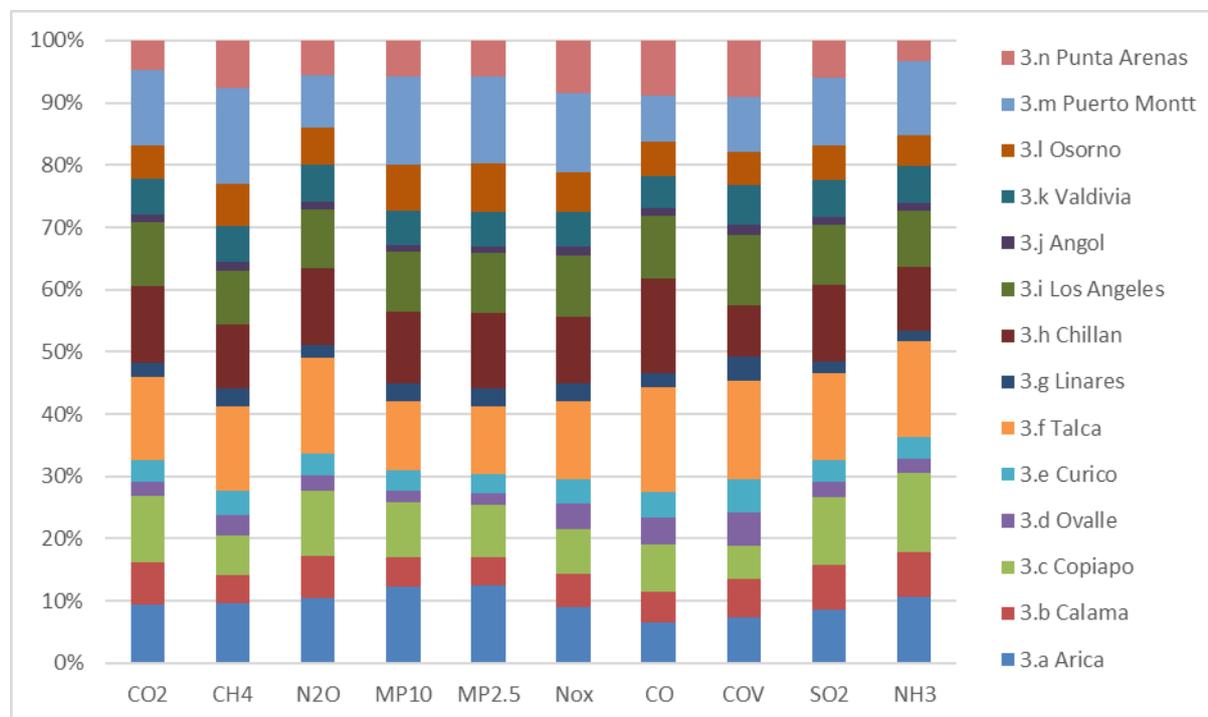
Tabla N° 16 Inventario emisiones [ton] - Ciudades intermedias 2 (población menor a 250 mil habitantes), años 2012 a 2018

	CO2	CH4	N2O	MP10	MP2.5	NOx	CO	COV	SO2	NH3
3. Ciudad Intermedia 2	8,550,753	1,158	487	2,775	2,547	70,863	268,925	60,640	126	915
<i>3.a Arica</i>	799,138	111	51	343	317	6,335	17,781	4,465	11	97
<i>3.b Calama</i>	590,351	52	33	132	115	3,822	12,847	3,678	9	66
<i>3.c Copiapó</i>	912,919	75	51	241	215	5,096	20,681	3,277	14	116
<i>3.d Ovalle</i>	191,610	37	12	52	46	2,886	11,560	3,214	3	21
<i>3.e Curicó</i>	287,338	46	17	90	82	2,837	10,822	3,319	4	32
<i>3.f Talca</i>	1,151,708	156	75	307	276	8,767	45,764	9,530	18	140
<i>3.g Linares</i>	184,216	32	10	79	74	2,047	5,591	2,325	2	15
<i>3.h Chillan</i>	1,068,643	119	59	320	306	7,555	41,208	5,063	16	94
<i>3.i Los Ángeles</i>	862,991	101	47	268	245	7,026	26,885	6,814	12	83
<i>3.j Angol</i>	107,875	15	6	31	28	994	3,466	1,022	2	10
<i>3.k Valdivia</i>	492,471	68	29	153	144	3,942	13,807	3,809	7	55
<i>3.l Osorno</i>	468,423	77	29	204	198	4,536	15,101	3,289	7	46
<i>3.m Puerto Montt</i>	1,032,015	179	41	391	355	9,092	19,517	5,332	14	108
<i>3.n Punta Arenas</i>	401,054	88	27	162	146	5,928	23,895	5,502	8	31

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Al observar la distribución por zona urbana (ver Figura N°6), se observa que 5 zonas urbanas de las 14 ciudades consideradas en bajo esta categorización representan el 60% de las emisiones: Talca, Chillán, Puerto Montt, Copiapó y Los Ángeles. En el otro extremo hay 4 ciudades que de forma conjunta representan menos del 10% de las emisiones de este tipo de ciudades: Angol, Linares, Ovalle y Curicó.

Figura N° 6 Distribución de emisiones entre zonas urbanas, Ciudades intermedias 2 (población menor a 250 mil habitantes), años 2012 a 2018



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Respecto a la tendencia de las emisiones de las zonas intermedias 2, se observa que las emisiones de CO₂ tienen una tasa de crecimiento anual promedio de 3.6%, siendo inferior a la tasa de crecimiento promedio nacional (4.0%). Asimismo, tienen una reducción de sus emisiones de NO_x, CO y COV proporcionalmente mayor que el promedio nacional, lo que da cuenta de un recambio del parque más rápido que en el resto de las ciudades.

Tabla N° 17 Inventario de emisiones [ton] con detalle anual y tasa promedio anual de crecimiento, ciudades intermedias 2 (población menor a 250 mil habitantes)

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	MP ₁₀	MP _{2.5}	NO _x	CO	COV	SO ₂	NH ₃
3. Ciudad Intermedia 2	8,550,753	1,158	487	2,775	2,547	70,863	268,925	60,640	126	915
2012	1,067,564	194	54	285	250	12,526	53,587	10,764	18	113
2013	1,113,305	175	51	282	247	11,363	41,575	9,404	17	122
2014	1,190,643	182	55	295	258	12,058	46,149	9,999	19	134
2015	1,264,528	195	55	308	301	11,725	44,105	10,826	20	128
2016	1,302,134	159	47	492	461	8,820	29,828	8,116	19	110
2017	1,296,344	149	49	498	467	8,401	30,280	7,545	19	118
2018	1,316,235	105	177	615	563	5,970	23,401	3,985	15	191
Tasa Crecimiento promedio	3.6%	-9.8%	22.0%	13.7%	14.5%	-11.6%	-12.9%	-15.3%	-3.3%	9.2%

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

4.2 Contraste con metodología Top-Down

Los resultados del inventario presentado en la sección anterior provienen de la implementación de la metodología MODEM, la cual sigue un enfoque Bottom-Up. En este tipo de enfoque los resultados son estimados con un alto grado de detalle siendo posteriormente agregados, de esta forma MODEM estima las emisiones para cada arco y tipo de vehículo, siendo agregados en el presente inventario a ciudad y categoría vehicular. Dentro de las ventajas de un enfoque Bottom-Up, se destaca el nivel de detalle de la información que permite realizar análisis a un nivel más fino. En contraste, su principal desventaja es que este enfoque es intensivo en el uso de información lo que resulta en que se tengan que recurrir a supuestos o que la información base sea actualizada con menor frecuencia.

Por otro lado, existen metodologías de estimación basadas en enfoques Top-Down, los cuales permiten realizar una estimación a partir de información agregada. Este enfoque tiene la ventaja de que, al ser menos intensivos en información, pueden ser actualizados más frecuentemente permitiendo contar con resultados agregados estimados con mayor frecuencia. Su desventaja es que, de existir mayor desagregación de los resultados, el análisis de estos resultados está limitado por los supuestos de desagregación, los cuales suelen ser de un carácter más grueso que la información utilizada en un enfoque Bottom-Up.

En la presente Sección se presenta una metodología para una estimación Top-Down y su implementación en las zonas urbanas con mayor población: grandes zonas metropolitanas y ciudades intermedias 1 (sobre 250 mil habitantes). Lo anterior con el objetivo de contrastar los resultados obtenidos en el inventario, con el objetivo de comparar el orden de magnitud de ambas estimaciones.

4.2.1 Presentación metodología Top-Down

Tal como se mencionó anteriormente, la metodología Top-Down desarrollada en la presente Subsección será implementada en las zonas urbanas con más de 250 mil habitantes, asimismo sólo se concentrará en las emisiones de CO₂. Este gas, principal emisión atmosférica en términos de masa, es ideal para el contraste con una metodología Top-Down pues su emisión depende únicamente de la cantidad y tipo de combustible, sin verse afectado por efectos como el tipo de vehículo o la tecnología de ellos.

La fuente primaria de información corresponde a los datos de consumo de combustible presentados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) en sus informes estadísticos anuales. Los datos de consumo de combustible vienen desagregados por producto de venta, canal de venta y región. De estos interesan las ventas de gasolina y diésel de los canales minoristas y empresas de transporte para las regiones donde están ubicadas las zonas urbanas de interés.

Este consumo de combustible corresponde al consumo de toda la región, considerando tanto las zonas interurbanas como otras zonas urbanas diferentes a las de interés. Para estimar cuanto corresponde a la zona de interés, primero se estima cuanto es el consumo de combustible regional urbano, y luego que fracción de éste corresponde al consumo de la zona urbana de interés.

Para determinar qué fracción del consumo es urbano se consulta el “estudio de actualización y complementación de herramientas de prospectivas de Largo Plazo asociados a la demanda energética” desarrollado por el Centro de Energía de la Universidad de Chile para la Comisión Nacional de Energía (CNE), que representa la versión más actualizada de la estimación de la

actividad vehicular, medida en término de pasajeros-kilómetros (PKM), con diferenciación entre zona urbana y zona interurbana a nivel regional. La estimación se realiza siguiendo la Ecuación 1:

Ecuación 1 Estimación de consumo combustible urbano

$$ConsComb_r^{urbano} = ConsComb_r^{SEC} * \frac{PKM_r^{urbano}}{PKM_r^{urbano} + PKM_r^{interurbano}}, \text{ para cada } r: \text{ Región}$$

A partir del consumo de combustible urbano se estima el consumo para la zona urbana de interés a partir de un factor de escalamiento estimado considerando para cada comuna el nivel de urbanismo (fracción de la población que vive en zona urbana) y el parque vehicular. El nivel de urbanismo es obtenido a partir del Censo 2017 mientras que el parque vehicular se obtiene de la información que publica anualmente el INE.

Ecuación 2 Estimación de consumo de combustible en zona urbana de interés

$$ConsComb_r^{Z.U.I.} = ConsComb_r^{urbano} * \frac{\sum_{c \in Z.U.I.} Nivel Urbanidad_c * Parque vehicular_c}{\sum_{c \in r} Nivel Urbanidad_c * Parque vehicular_c}$$

Donde,

- $ConsComb_r^{Z.U.I.}$: Consumo de combustible en la Zona Urbana de Interés (Z.U.I.) ubicada en la región “r”
- $ConsComb_r^{urbano}$: Consumo de combustible urbano en la región “r” estimado a partir de la Ecuación 1
- $Nivel Urbanidad_c$: Fracción de la población que vive en zona urbana en la comuna “c”

Una vez estimado el consumo de combustible de la zona urbana, se multiplica por un factor de emisión obtenido desde los lineamientos para la elaboración de inventarios del IPCC (2006) que da cuenta de la cantidad de CO2 liberado por unidad de combustible consumido:

Tabla N° 18 Factor de emisión [tCO2/m³] por combustible

Combustible	Factor de emisión
Gasolinas	2.37
Diésel	2.84

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a (IPCC, 2006)

4.2.2 Resultados Top-Down y comparación con resultados del inventario

Los detalles de los resultados de la implementación de la metodología Top-Down para el periodo 2013 a 2018 se presentan en la Tabla N°19. En líneas generales se estima que las emisiones de

CO2 para las 9 zonas urbanas con más de 250 mil habitantes superan los 58 millones de toneladas en el periodo 2013 a 2018. De este total, un 76% está concentrado en las grandes zonas metropolitanas, siendo el Gran Santiago responsable de un 59% de las emisiones estimadas.

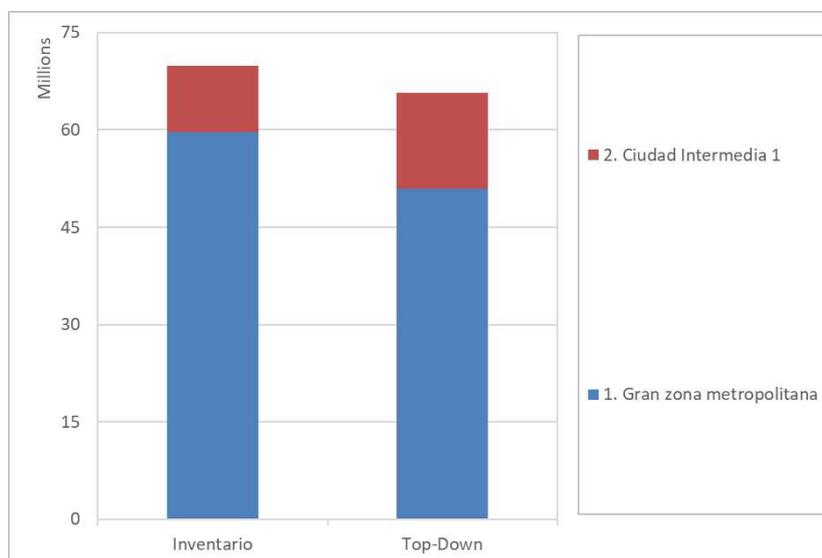
Tabla N° 19 Resultado de emisiones de CO2 [miles de ton] metodología Top-Down

Zona Urbana	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
1. Gran zona metropolitana	6,981	7,151	6,713	6,782	7,131	7,617	8,545	50,920
1.a Gran Santiago	5,257	5,406	5,397	5,436	5,682	6,040	6,444	39,661
1.b Gran Valparaíso	774	785	524	542	581	612	819	4,637
1.c Gran Concepción	950	961	792	804	868	965	1,281	6,622
2. Ciudad Intermedia 1	1,807	1,874	2,043	2,113	2,158	2,289	2,436	14,719
2.a Iquique	352	351	495	524	587	608	510	3,428
2.b Antofagasta	517	539	606	625	567	582	655	4,090
2.c La Serena-Coquimbo	459	476	438	470	488	540	596	3,466
2.d Rancagua	160	174	200	170	184	207	235	1,330
2.e Temuco - PLC	318	335	304	324	332	351	441	2,405
Total	8,787	9,026	8,756	8,894	9,289	9,906	10,981	65,639

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

En la Figura N°7 se presenta la comparación de los resultados entre ambos resultados para las ciudades de interés, se observa que la diferencia total es menor a 4.2 millones de toneladas de emisiones de CO2 (6%), siendo la estimación Top-Down menor que los resultados del inventario.

Figura N° 7 Comparación de estimación de emisiones CO2 entre inventario y metodología Top-Down



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

En la Tabla N°20 se presenta el detalle de los resultados del análisis comparativo entre la metodología Top-Down y el Inventario. En particular, los resultados a través de la metodología Top-Down para las grandes zonas metropolitanas son consistentemente menores que lo reportado en el inventario, resultando en valores un 15% menores. Esto se contrapone con los resultados del

método para las ciudades intermedias, donde se observa una tendencia a tener estimaciones por sobre lo inventariado, exceptuando el caso de Rancagua. De esta forma, la diferencia global de 6% es explicada por el neto de dos diferencias de mayores magnitudes, pero de signo opuesto que se contrarrestan.

Tabla N° 20 Contraste emisiones CO2 metodología Top-Down vs Inventario

Zona Urbana	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
1. Gran zona metropolitana	-9%	-8%	-20%	-21%	-18%	-16%	-11%	-15%
1.a Gran Santiago	-15%	-11%	-19%	-19%	-18%	-14%	-13%	-16%
1.b Gran Valparaíso	27%	13%	-27%	-30%	-32%	-38%	-21%	-18%
1.c Gran Concepción	8%	2%	-18%	-23%	-8%	-10%	11%	-5%
2. Ciudad Intermedia 1	45%	48%	52%	47%	40%	45%	42%	45%
2.a Iquique	57%	73%	103%	108%	135%	121%	59%	94%
2.b Antofagasta	90%	100%	92%	91%	71%	97%	84%	89%
2.c La Serena-Coquimbo	7%	8%	10%	5%	4%	15%	20%	10%
2.d Rancagua	-5%	-9%	0%	-19%	-17%	-8%	-8%	-9%
2.e Temuco - PLC	109%	105%	61%	64%	24%	13%	58%	54%
Total	-1%	0%	-10%	-11%	-9%	-7%	-3%	-6%

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Se observa que, si bien existen diferencias entre los resultados, la principal conclusión es que los resultados están en órdenes de magnitud similares. Lo anterior es especialmente valioso si es que se considera que ninguno de los datos utilizados para la metodología Top-Down es utilizado directamente por MODEM, lo cual resulta en que sean estimaciones completamente independientes.

Las razones que explican las diferencias varían, pero la principal es que la metodología genérica planteada para la estimación Top-Down, por las limitaciones de su enfoque, no considera las características particulares de cada una de las zonas urbanas de interés. Por otra parte, los resultados del inventario dependen de la modelación de MODEM, la cual depende de una multiplicidad de factores que interactúan de forma compleja para resultar en la estimación. De esta forma, es una estimación que salvo datos como la distribución tecnológica del parque tiene una actualización menos frecuente de sus parámetros, trabajando más bien con valores esperados por sobre valores observados.

5. Análisis de emisiones GEI

El presente capítulo analiza la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del inventario, así como su relación con otras variables explicativas. El análisis es realizado en función del dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), considerando el potencial de calentamiento del cuarto informe de evaluación del IPCC (ver Anexo 7.2 para más información).

El capítulo se divide en dos subcapítulos. El primero, corresponde a un análisis histórico de tendencia, en que se analiza la evolución de las emisiones de GEI a través de los años, así como la relación de esta tendencia con la de otras variables relevantes del parque automotriz. El segundo, contiene un análisis que correlaciona variables demográficas y de dinámicas del desarrollo urbano a la evolución y magnitud de las emisiones de cada ciudad.

5.1 Análisis histórico de tendencia

Para realizar un correcto análisis de la evolución de las emisiones de GEI presentadas en el inventario, se debe tener en consideración la metodología que se ha utilizado históricamente para obtener las emisiones de fuentes móviles, la cual está asociada al uso del programa MODEM y considera varios supuestos e información que varían en una menor o mayor magnitud cada cierto periodo de tiempo.

Entre los principales factores exógenos que pueden generar resultados que generen distorsiones en la tendencia de emisiones y complejicen el análisis de estas se encuentran:

- La actualización de factores de emisión.
- Nuevas campañas de conteo vehiculares para una determinada ciudad y por tanto nuevas estimaciones de flujos.
- Nuevos cortes temporales para estimar los flujos de las ciudades.

Además, existen factores endógenos que afectan a los resultados, provenientes principalmente del manejo del programa por parte del modelador, el cual puede ser desde el uso de archivos de entrada con información errónea, o bien de diferencias de interpretación del modelo de un año a otro.

A continuación, se presenta el análisis de tendencia para emisiones de GEI totales y per cápita.

5.1.1 GEI por zona urbana

La Tabla N°21 presenta las emisiones GEI por tipo de ciudad, por ciudad, año de estudio y a su vez agregadas. En ella se observa que las grandes zonas metropolitanas cada año en promedio abarcan un 76% de las emisiones GEI totales, siendo la ciudad de Gran Santiago la principal fuente de emisiones aportando por sí sola el 60% de las emisiones totales. Por otro lado, las ciudades intermedias 1 aportan solo un 14% y las ciudades intermedias tipo 2 el 10% restante.

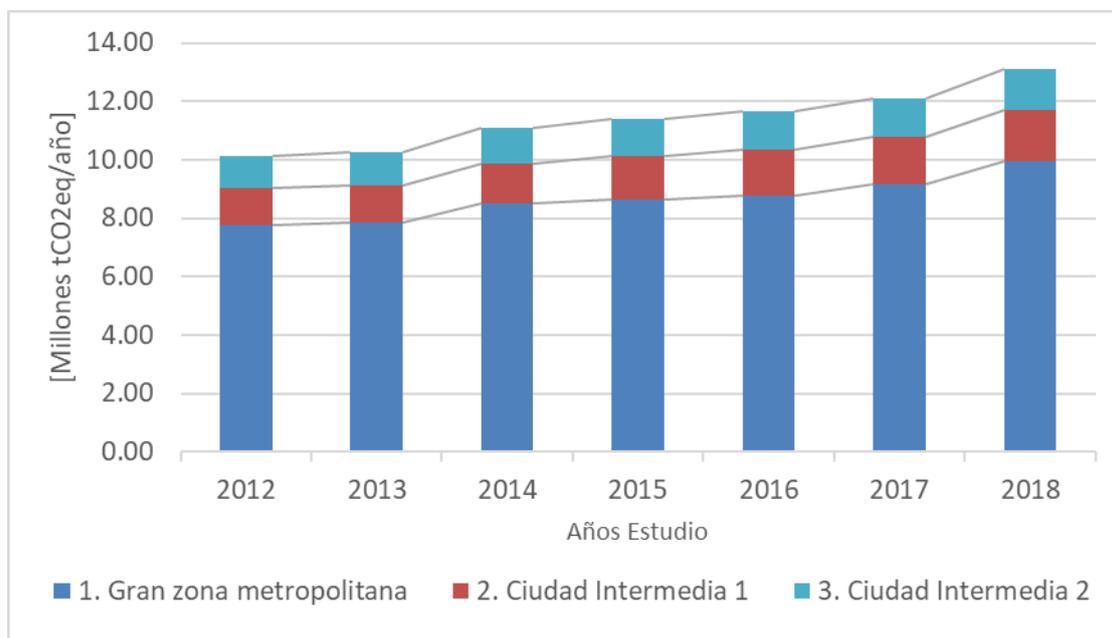
Si bien se observa en algunas ciudades que no hay una tendencia constante a un aumento de las emisiones año a año, al tomar los valores agregados por tipo de ciudad, sí se observa una tendencia al aumento. Es así como la tasa de crecimiento promedio de las grandes zonas metropolitanas es de un 3.70%; para las ciudades intermedias 1 es de un 4.77%; para las ciudades intermedias 2 es de un 4.66%; y a nivel total país la tasa de crecimiento promedio ha sido de 3.95%. Las razones por las cuales no se observa una tendencia constante al crecimiento al analizar cada ciudad por separado puede ser provocado por las razones explicadas al inicio de esta sección.

Tabla N° 21 Emisiones GEI de cada ciudad según año de estudio [tCO₂eq/año]

Zona Urbana	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Nacional	10,127,978	10,272,412	11,077,767	11,398,244	11,666,306	12,099,217	13,105,289
1. Gran zona metropolitana	7,773,611	7,853,055	8,500,083	8,654,927	8,788,131	9,186,203	9,938,626
1.a Gran Santiago	6,261,236	6,189,143	6,787,868	6,819,442	6,967,781	7,111,059	7,653,030
1.b Gran Valparaíso	619,045	707,062	726,694	783,750	863,610	987,738	1,087,001
1.c Gran Concepción	893,329	956,850	985,521	1,051,735	956,740	1,087,405	1,198,595
2. Ciudad Intermedia 1	1,265,968	1,286,420	1,366,026	1,457,592	1,558,195	1,598,400	1,790,156
2.a Iquique	229,258	206,042	247,750	255,113	253,243	279,380	335,334
2.b Antofagasta	276,398	273,611	319,777	332,385	336,795	299,162	372,778
2.c La Serena-Coquimbo	433,251	447,645	404,142	455,766	473,452	476,592	525,127
2.d Rancagua	171,907	193,329	201,977	213,857	223,568	226,843	266,552
2.e Temuco - PLC	155,155	165,793	192,379	200,471	271,136	316,422	290,366
3. Ciudad Intermedia 2	1,088,400	1,132,937	1,211,658	1,285,725	1,319,980	1,314,614	1,376,507
3.a Arica	114,970	101,642	107,675	113,742	120,902	115,896	142,251
3.b Calama	80,841	86,881	89,221	91,445	92,804	82,841	77,305
3.c Copiapó	104,140	125,650	130,324	138,790	151,502	137,987	141,641
3.d Ovalle	26,706	28,414	29,300	29,598	19,015	30,941	32,265
3.e Curicó	40,438	39,518	40,807	42,145	44,775	38,143	47,740
3.f Talca	138,287	167,557	174,346	181,151	173,360	162,799	180,445
3.g Linares	24,896	26,559	27,830	28,803	27,046	26,455	26,431
3.h Chillan	116,794	121,734	149,444	183,838	178,931	163,937	174,632
3.i Los Ángeles	102,240	116,340	136,533	139,089	127,227	127,167	130,827
3.j Angol	12,559	16,874	17,537	18,348	16,402	13,146	15,251
3.k Valdivia	71,057	67,710	72,722	40,939	71,748	96,957	81,709
3.l Osorno	56,604	36,050	37,688	74,619	75,667	90,966	107,377
3.m Puerto Montt	144,881	140,226	139,413	140,486	173,285	178,564	136,737
3.n Punta Arenas	53,989	57,783	58,818	62,731	47,316	48,817	81,896

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Figura N°8 Emisiones GEI según tipo de ciudad y año estudio



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

5.1.2 GEI per cápita

El análisis GEI per cápita permite realizar una comparación efectiva de las emisiones atmosféricas entre ciudades de distinto tamaño poblacional. De esta forma se puede analizar cómo varían las emisiones en cada ciudad año a año, independiente de su crecimiento demográfico y a su vez ver el comportamiento de las emisiones respecto a los tamaños de las zonas urbanas. La Tabla N°22 muestra los resultados para cada una de las ciudades de estudio y los resultados agregados según el tipo de ciudad.

Tabla N° 22 Emisiones GEI per cápita anuales para las ciudades según los años de estudio [tCO₂eq/hab-año]

Zona Urbana	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1. Gran zona metropolitana	0.88	0.89	0.95	0.96	0.96	0.99	1.05
1.a Gran Santiago	0.92	0.90	0.98	0.97	0.98	0.98	1.03
1.b Gran Valparaíso	0.66	0.74	0.76	0.81	0.88	1.00	1.08
1.c Gran Concepción	0.88	0.94	0.96	1.02	0.92	1.04	1.14
2. Ciudad Intermedia 1	0.74	0.74	0.77	0.81	0.85	0.86	0.94
2.a Iquique	0.80	0.71	0.83	0.84	0.82	0.88	1.02
2.b Antofagasta	0.79	0.77	0.88	0.90	0.90	0.78	0.94
2.c La Serena-Coquimbo	1.02	1.03	0.91	1.01	1.02	1.01	1.09
2.d Rancagua	0.59	0.66	0.68	0.71	0.73	0.73	0.84
2.e Temuco - PLC	0.43	0.46	0.53	0.54	0.73	0.84	0.77
3. Ciudad Intermedia 2	0.48	0.49	0.52	0.55	0.56	0.55	0.57
3.a Arica	0.53	0.46	0.48	0.50	0.53	0.50	0.60
3.b Calama	0.50	0.53	0.54	0.55	0.55	0.48	0.44
3.c Copiapó	0.67	0.80	0.81	0.86	0.93	0.84	0.85
3.d Ovalle	0.24	0.25	0.26	0.26	0.16	0.26	0.27
3.e Curicó	0.28	0.27	0.27	0.28	0.29	0.24	0.30
3.f Talca	0.62	0.75	0.77	0.80	0.76	0.71	0.78
3.g Linares	0.27	0.28	0.29	0.30	0.28	0.27	0.27
3.h Chillan	0.54	0.56	0.68	0.83	0.80	0.73	0.77
3.i Los Ángeles	0.51	0.57	0.66	0.67	0.60	0.60	0.61
3.j Angol	0.23	0.31	0.32	0.34	0.30	0.24	0.28
3.k Valdivia	0.43	0.41	0.44	0.24	0.42	0.56	0.47
3.l Osorno	0.34	0.22	0.23	0.44	0.45	0.53	0.63
3.m Puerto Montt	0.61	0.58	0.57	0.56	0.68	0.69	0.52
3.n Punta Arenas	0.41	0.44	0.44	0.47	0.35	0.36	0.59

Nota: Se considera solo la población urbana de cada una de las ciudades, estimada a partir de la tasa de ruralidad comunal del Censo 2017.

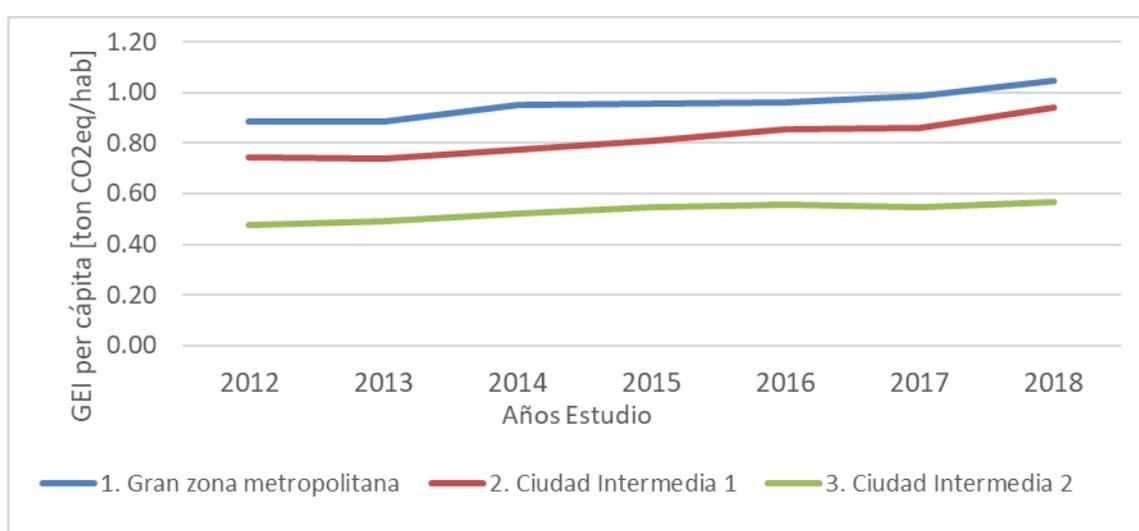
Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

En general, a medida que se avanza en la serie temporal, las emisiones per cápita tienden a aumentar en el tiempo⁹. Esto podría explicarse por el aumento de la tasa de motorización en las ciudades, como consecuencia de la preferencia de las personas por el uso de vehículos particulares por sobre el transporte público. Más adelante se profundiza en este fenómeno en función del parque vehicular.

⁹ Aun así, existen años en que algunas ciudades se presentan disminuciones de este indicador, los cuales pueden ser explicados principalmente por los cambios metodológicos de estimación que se pueden producir año a año.

Además, a medida que el tamaño poblacional de las ciudades aumenta, las emisiones GEI per cápita también aumentan; de esta forma las grandes zonas metropolitanas casi duplican su valor per cápita en comparación con las ciudades intermedias 2. Este fenómeno se ilustra en la Figura N°9 y se estudió más a profundidad en la Sección 5.1.2 a continuación, encontrándose que la diferencia entre tamaños de ciudad es estadísticamente significativa. Esta se podría explicar debido a que las ciudades con mayores poblaciones tienden a tener extensiones territoriales mayores, por tanto, los tramos de desplazamiento entre el hogar y el trabajo tienden a ser mayores. Asimismo, esto también puede ser producto de una mayor congestión en las ciudades, derivadas de un mayor parque vehicular, lo que disminuye las velocidades promedio de los arcos de flujo y por tanto genera que los motores emitan una mayor cantidad de emisiones. O bien,

Figura N°9 Emisiones GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] por tipo de zona y año

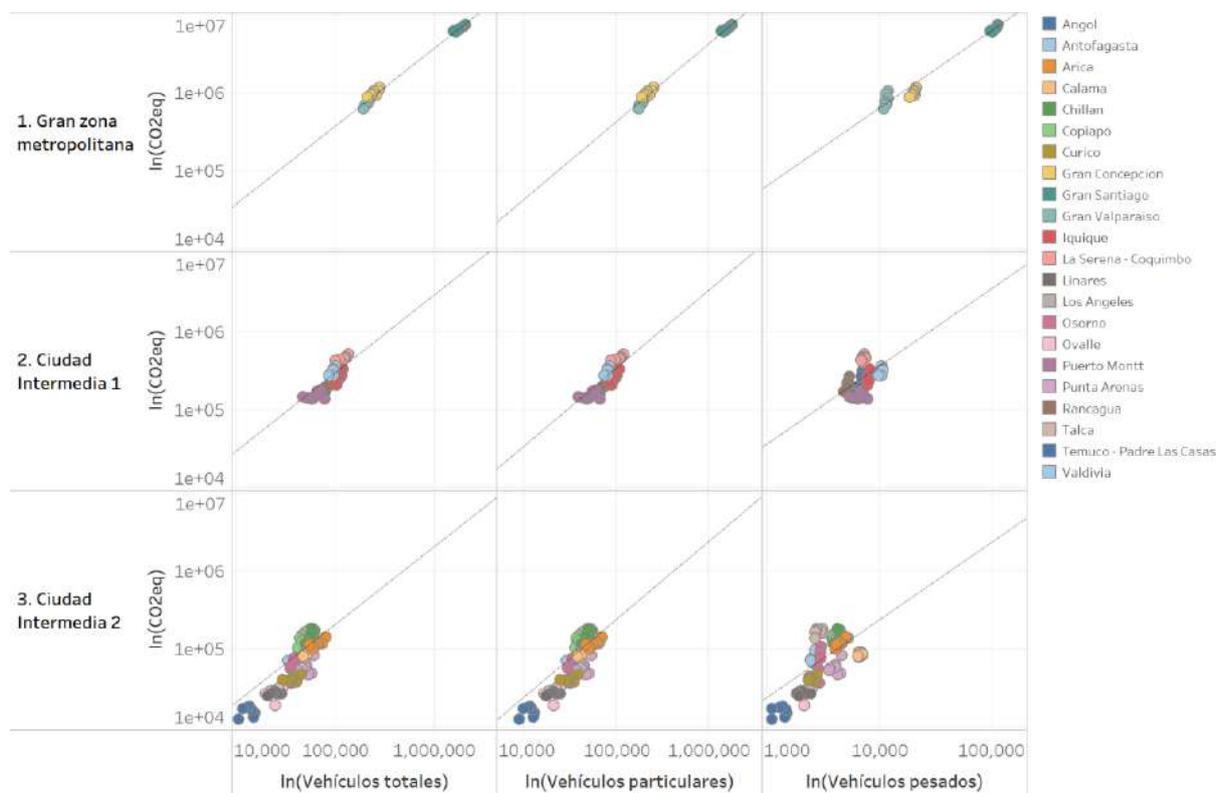


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

GEI per cápita vs. Parque vehicular

La cantidad de vehículos en circulación juega un rol relevante en la cantidad de emisiones de GEI que se generan año a año. La Figura N°10 evidencia esto mostrando la relación entre las emisiones GEI del inventario y los vehículos totales, particulares y pesados para esos mismos años. Los vehículos totales corresponden al parque vehicular total para cada año; los vehículos particulares corresponden a automóviles las categorías INE: automóvil, Station Wagon y todo terreno, minibús particular y camioneta; y los vehículos pesados a la suma entre buses y camiones. En ella, se observa una clara tendencia al aumento en todas las categorías de ciudades y que toma una clara relevancia en el caso de vehículos particulares, que conforman la mayoría del parque vehicular.

Figura N° 10 Relación entre emisiones de GEI [ton CO₂eq] y número de vehículos

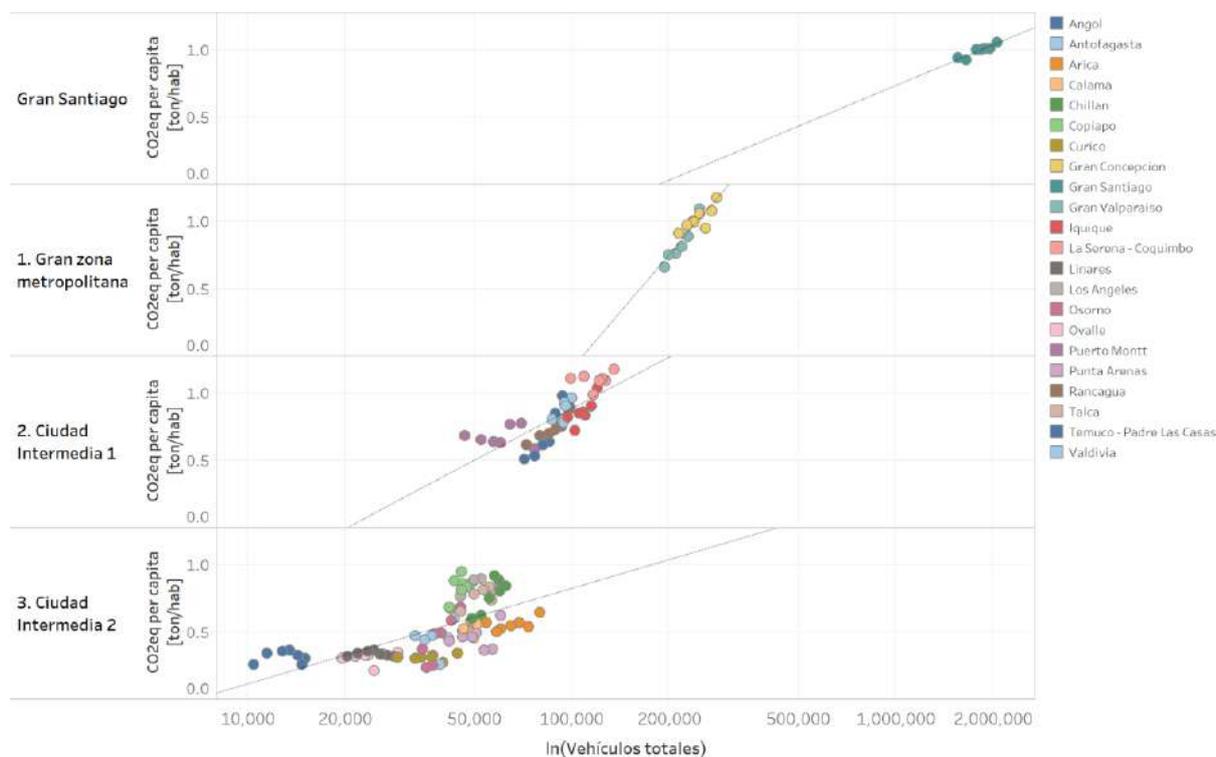


Nota: Las emisiones de GEI y el número de vehículos se presenta en escala logarítmica. Cada punto representa un par ciudad-año. La línea punteada representa la regresión lineal considerando las variables del eje.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020). Datos número de vehículos: parque vehicular INE

Para profundizar en la relación entre el parque vehicular y las emisiones, es interesante estudiar qué ocurre para el caso per cápita, el que permite corregir por el tamaño de la ciudad y con el que se observan relaciones que no son fácilmente observables en el caso agregado. La Figura N°11 muestra relación entre las emisiones de GEI per cápita y el parque vehicular total para cada año y ciudad. En ella se observa que, a medida que disminuye el tamaño poblacional de las ciudades, el aporte marginal del aumento del parque vehicular total a las emisiones de GEI tiende a ser menor. Esto indica que un nuevo vehículo genera menos emisiones per cápita en una ciudad de menor tamaño poblacional que en una de mayor tamaño poblacional. Sin embargo, es interesante notar que el Gran Santiago no se comporta de la misma forma que las otras grandes zonas metropolitanas, razón por la que la ciudad se muestra de forma independiente. Es más, el aumento del parque vehicular en el Gran Santiago genera un aumento de emisiones per cápita similar al de las ciudades intermedias 2, que corresponden a las de menor población.

Figura N° 11 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y parque vehicular total



Nota: La tasa de motorización total se calcula con el parque vehicular total de cada año y ciudad. Cada punto representa un par ciudad-año. La línea punteada representa la regresión lineal considerando las variables del eje.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020). Datos número de vehículos: parque vehicular INE

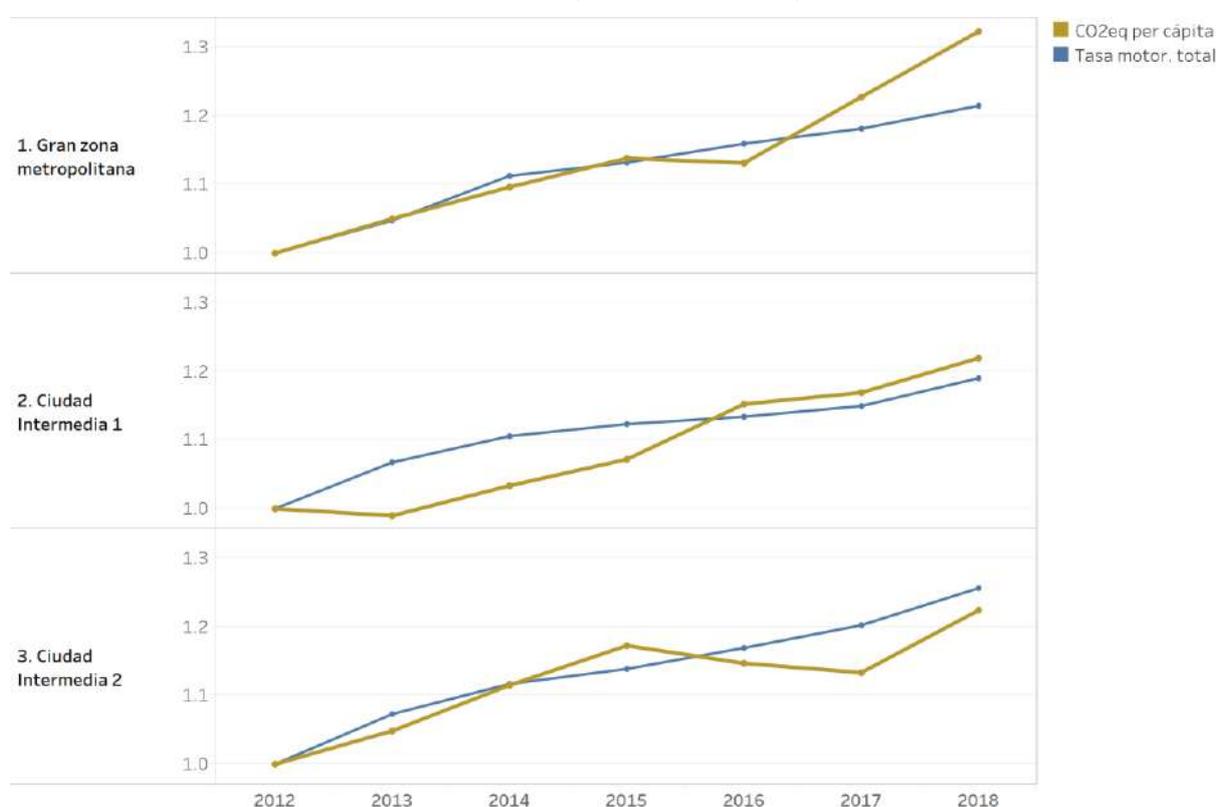
El fenómeno de que las emisiones de GEI per cápita tienden a aumentar a medida que aumenta el parque vehicular podría explicarse por un uso más intensivo del automóvil particular en las zonas de mayor población, por ejemplo, por una menor preferencia o disponibilidad de transporte público. Otra explicación para el fenómeno del aumento marginal de emisiones per cápita en ciudades de mayor población, es que es posible que los vehículos de estas ciudades tiendan a recorrer distancias más largas por la mayor extensión de la ciudad y distancia entre los núcleos de viaje. Así como también al que en las ciudades de mayor población hay una mayor actividad de movilidad asociada a sectores productivos, comerciales y de servicios. Es posible que esto se vea aplacado en el Gran Santiago por un mayor uso del transporte público, derivado posiblemente de un mayor desarrollo del transporte público en la ciudad, evidenciado por la ampliación de red de metro, la incorporación de rutas del Transantiago, y el gran crecimiento de aplicaciones de servicios de transporte.

En particular, el comportamiento del Gran Santiago es interesante porque insinuaría que los vehículos de las ciudades, a partir de un cierto nivel de crecimiento y desarrollo, llegarían a un máximo de emisiones per cápita, disminuyendo a partir de ese punto. O bien, que una vez ultrapasado un nivel de desarrollo integral de la ciudad (transporte público) se tienda desacoplar la expansión del parque y las emisiones.

La Figura N°12 ilustra el cambio de las emisiones de GEI per cápita y tasa de motorización con respecto al año 2012. En ella se observa un aumento considerable de las emisiones a mayor tasa

de motorización en las ciudades. En particular, en las grandes zonas metropolitanas, el aumento de CO₂eq ha sobrepasado el de la tasa de motorización particular, lo que puede ser consecuencia de un mayor uso del vehículo, distancias más largas, o una mayor congestión. Cabe destacar que el observado desacople entre la tasa de motorización y las emisiones en estas grandes ciudades tiene como principal origen el que existe en la ciudad del Gran Valparaíso, donde desde el año 2012 las emisiones de GEI han aumentado en un 65%, mientras que la tasa de motorización ha sufrido un aumento más lento, de alrededor de un 22%. Por otro lado, en las ciudades intermedias 2, se observa un desacople opuesto entre la tasa de motorización y emisiones de GEI desde el 2015 hasta el año 2017, producto de un crecimiento menos marcado de las emisiones a través de los años en estas ciudades.

Figura N° 12 Emisiones de GEI per cápita [tCO₂eq/hab.] y tasa de motorización particular respecto al año 2012 (año base 2012 = 1)



Fuente: Datos número de vehículos: parque vehicular INE

5.2 Análisis multivariable

El presente capítulo contiene un análisis que permite comprender y cuantificar la relevancia de diferentes variables que explican las emisiones de GEI del transporte urbano. El análisis estudia la tendencia de las emisiones en función de modelos que representan cuatro temáticas de análisis, cada una con sus propias variables:

- Análisis demográfico
- Análisis de territorio
- Análisis de transporte

- Análisis económico

El conjunto de variables fue conformado a partir de la recomendación de expertos y un análisis exploratorio preliminar de la relevancia de cada una de estas variables. Ellas permiten explicar las emisiones desde dos miradas:

- La primera, corresponde a un análisis en función de la **serie de tiempo**. Que permite relacionar los niveles anuales de las emisiones a la evolución de otras variables.
- La segunda, corresponde a un análisis **transversal**, que estudia las emisiones para un año en particular y que permite analizar los niveles de emisiones entre ciudades en función de variables que caracterizan y destacan las diferencias de cada una.

La Tabla N°23 presenta el conjunto de variables seleccionadas para el análisis de cada una de las temáticas, indicando el tipo de análisis que cada cual permite.

Tabla N° 23 Variables seleccionadas para el análisis multivariable

Tema	Tipo de análisis	Variable	Detalle geográfico	Forma de cálculo	Fuente
Demográfico	Serie de tiempo	Población	Ciudad	No aplica	Censo 2017, proyecciones INE
	Transversal	Tasa de urbanización	Ciudad	Porcentaje de población urbana sobre población total	Censo 2017
	Transversal	Tipo de ciudad	Ciudad	Tipo de ciudad considerado en inventario.	Elaboración propia
Territorio	Transversal	Área ciudad	Ciudad	Análisis espacial	Elaboración propia
	Transversal	Forma de la ciudad	Ciudad	Análisis espacial	Elaboración propia
	Transversal	Densidad por largo	Ciudad	Largo de los arcos sobre el área ciudad	Red transporte input Modem, 2017
	Transversal	Densidad por número arcos	Ciudad	Número de arcos sobre el área ciudad	Red transporte input Modem, 2017
Económico	Serie de tiempo	PIB regional	Regional	Volumen a precios del año anterior encadenado, series empalmadas, año 2013	(Banco Central, 2020)
	Serie de tiempo	PIB regional por actividad	Regional	Volumen a precios del año anterior encadenado, series empalmadas, año 2013	(Banco Central, 2020)
	Serie de tiempo	PIB regional ajustado al transporte	Regional	Volumen a precios del año anterior encadenado, series empalmadas, año 2013	Elaboración propia a partir de Banco Central

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estas variables se contrastan en cada temática con las emisiones de GEI totales y per cápita.

A continuación, se presentan los principales resultados por tipo de análisis. Mayor detalle se presenta en el Anexo 7.4.

5.2.1 Análisis de serie de tiempo

El análisis de serie de tiempo permite comprender de mejor manera las dinámicas existentes entre la evolución de las emisiones año a año con otras variables explicativas. Para esto, es necesario

estudiar variables que cambien de manera significativa en el tiempo. Las variables seleccionadas son cuatro en total y corresponden a los temas de análisis demográfico y económico:

Demográfico

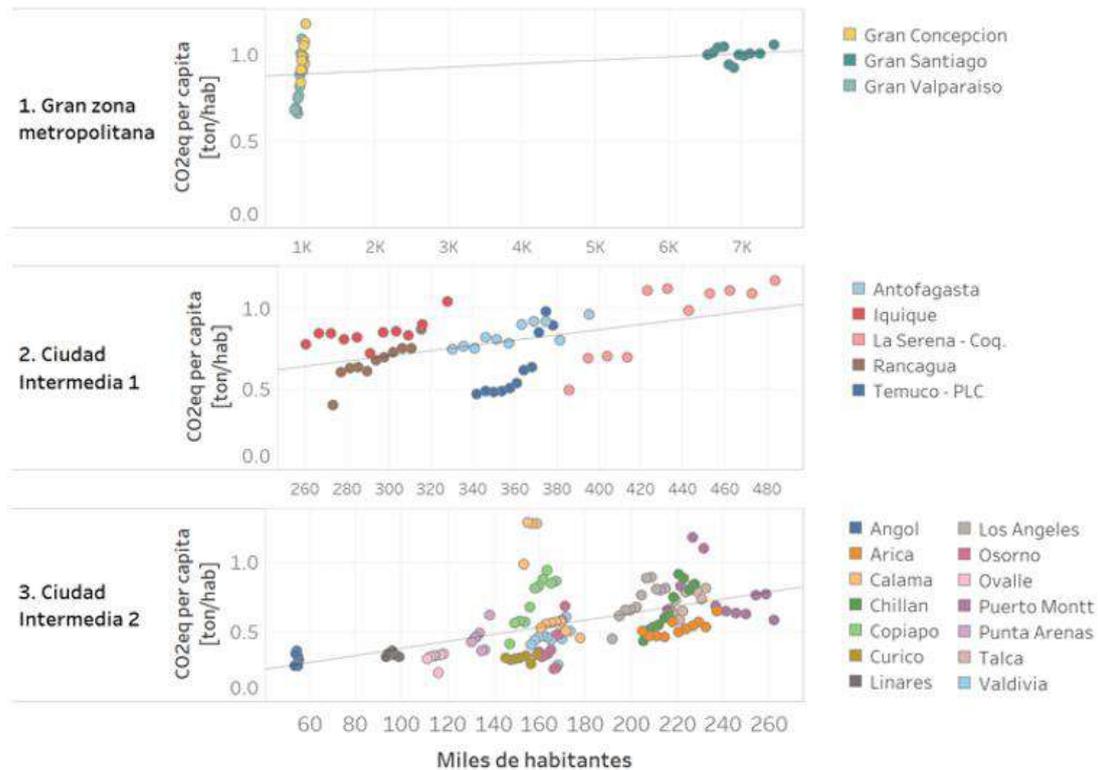
- Población

Económico

- PIB regional total
- PIB por actividad económica
- PIB ajustado al transporte

El análisis demográfico tiene por objetivo estudiar cómo el tamaño poblacional de las distintas ciudades incide en las emisiones de estas. En la Sección Figura N°9 se observa a grandes rasgos el efecto de la población, en que aparentemente una mayor población genera mayores emisiones per cápita. La Figura N°13 a continuación, muestra la relación entre la cantidad de habitantes en cada ciudad y las emisiones de GEI para los distintos tipos de ciudad. En ella nuevamente se observa una relación creciente entre la población y las emisiones per cápita de gases de efecto invernadero, en general consistente entre y a través de las ciudades.

Figura N° 13 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO2eq/hab] y población



Nota: Cada punto representa un par ciudad-año. La línea punteada representa la regresión lineal considerando las variables del eje.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020). Datos de población de proyección INE a partir de Censo 2017

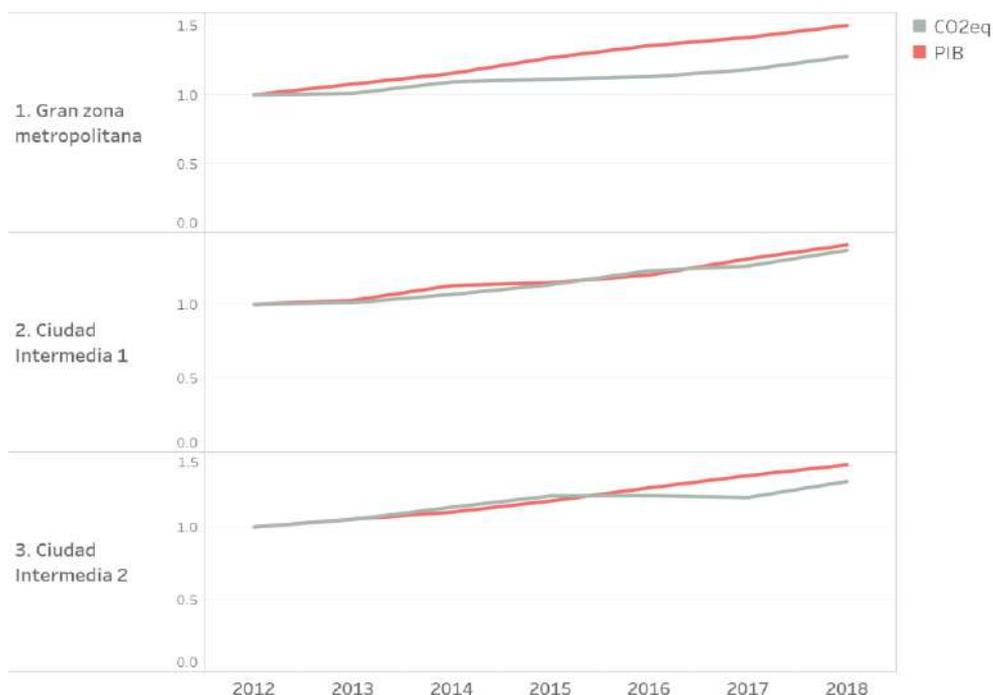
Un análisis más profundo mirando, en primera instancia, la población versus las emisiones de GEI totales en cada ciudad, indica que, para todos los tipos de ciudades, la población es influyente sobre el valor de las emisiones con una alta significancia estadística (valor-p < 0.001 y R^2 de 0.99), correlacionando de forma positiva con las emisiones de GEI totales en las ciudades. Sin embargo, al estudiar el efecto de la población considerando solo ciudades intermedias, la población pierde relevancia y no permite explicar de forma completa la variabilidad de las emisiones de GEI totales (R^2 de 0.58). Esto indica que, si bien la población continúa siendo una variable relevante (valor-p < 0.001) existen otras variables (por ejemplo, asociadas al parque vehicular, a la estructura de la red vial, a la estructura de viajes de la ciudad, etc.) que podrían tener una incidencia relevante.

Asimismo, al analizar el caso que se muestra en la Figura N°13 se obtiene que la población también es relevante para explicar la evolución de las emisiones de GEI per cápita (valor-p < 0.05). Esto indica que la relación observada en la Figura N°13, en que las emisiones per cápita aumentan a medida que aumenta la población, es estadísticamente significativa y pueden generarse conclusiones a partir de ella. Como se mencionó anteriormente, este fenómeno podría ser producto de una mayor congestión en las ciudades, derivadas de un mayor parque vehicular, lo que disminuye las velocidades promedio de los arcos de flujo y por tanto genera que los motores emitan una mayor cantidad de emisiones. O bien debido a que las ciudades con mayores poblaciones tienden a tener extensiones territoriales mayores, por tanto, los tramos de desplazamiento entre el hogar y el trabajo tienden a ser mayores. Esta última hipótesis será estudiada en el análisis transversal.

Por su parte, la relación entre el producto interno bruto (PIB) y el transporte ha sido definida como una de las mayores razones para el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, con pocos indicios de desacople¹⁰ entre ambos (Sims & Schaeffer, 2014). Esta realidad se repite en el país, donde el aumento del PIB también ha estado relacionado al aumento de gases de efecto invernadero. La Figura N°14 muestra la evolución respecto al año 2012 de las emisiones de GEI y del PIB regional para cada categoría de ciudad en forma agregada. Si bien en las grandes zonas metropolitanas es posible ver indicios de desacople, estos, aunque sostenidos, son bastante incipientes aún. Como tendencia se observa que, en general, el PIB aumenta a un mayor ritmo que el CO₂eq.

¹⁰ El concepto 'desacople' se refiere al quiebre entre la correlación directa entre el perjuicio ambiental y el crecimiento económico.

Figura N° 14 Evolución de las emisiones de GEI y del PIB



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020). Las emisiones de GEI usadas son la suma de las emisiones de cada ciudad en estudio, para cada grupo. El PIB corresponde al producto interno bruto regional a precios corrientes y series empalmadas, con referencia año 2013 del Banco Central

La Figura N°15 muestra una matriz de correlación entre las emisiones de GEI en cada ciudad y las tres variables relevantes: el PIB regional por actividad económica, el PIB regional total, y el PIB regional ajustado al transporte.

Figura N° 15 Correlación entre las emisiones de GEI y el PIB regional

	1. Gran zona metro.				2. Ciudad Intermedia 1					3. Ciudad Intermedia 2														
	Gran Concepción	Gran Santiago	Gran Valparaíso	Antofagasta	Iquique	La Serena - Coquimbo	Rancagua	Temuco - Padre Las Ca.	Angol	Arica	Calama	Chillán	Copiapó	Curicó	Linares	Los Ángeles	Osorno	Ovalle	Puerto Montt	Punta Arenas	Talca	Valdivia		
Administración pública	0.82	0.93		0.79	0.78		0.95	-0.02	0.70		0.83		0.49	0.39	0.61	0.85	0.13	0.48	0.30	0.68	0.37			
Agroindustria	0.22			0.83	0.89	-0.67	-0.32	0.62		0.12		0.65	0.14	-0.29	-0.04	0.03	0.37		0.49	-0.91				
Comercio	0.88	0.94	0.95		0.39	0.74	0.88	0.95	-0.04	0.46		0.81		0.60	0.22	0.63	0.80	0.34	0.28	0.26	0.67	0.42		
Construcción	0.17	0.84	0.87	0.16	-0.09	0.72	0.52	0.92	-0.13	0.65	0.75	0.06	0.75	0.47	-0.46	-0.45	0.82	0.01	0.41	-0.30	-0.17	0.09		
Finanzas y empresas	0.84	0.89	0.95	-0.47	-0.28	-0.63	0.54	0.94	-0.09	0.66	0.27	0.74	-0.39	0.67	0.35	0.46	0.81	-0.08	0.17	-0.31	0.72	0.47		
Manufactura	0.80	0.53	-0.33	-0.11	-0.24		0.54	0.88	0.02	-0.41	0.01	0.66		0.61	-0.01	0.60	0.42		-0.30	0.45	0.12	0.02		
Minería			0.83	0.84	0.58	0.68	0.61				0.18		0.82					-0.03		0.02				
Pesca																	0.72		0.14					
Servicios básicos	0.39											-0.13	0.85	0.28	0.53	0.33						0.42		
Servicios personales	0.81	0.95	0.99		0.90	0.86	0.97	0.96	-0.23	0.81		0.68	0.55	0.57	-0.12	0.36	0.89	0.29	0.41	0.46	0.37	0.52		
Transporte, inf y com	0.83	0.93	0.88		0.95	0.84		0.94	-0.02	0.62		0.88		0.65	0.41	0.60	0.81	0.16	0.29	0.35	0.71	0.38		
Vivienda e inmobiliarias	0.91	0.96	0.97			0.83	0.97	0.91	-0.01	0.78		0.78		0.53	0.10	0.61	0.87	0.20	0.27	0.39	0.52	0.46		
PIB regional total	0.88	0.95	0.92	0.86	0.66	0.87	0.93	0.94	-0.14	0.66	0.12	0.74	-0.09	0.73	0.13	0.49	0.79	0.33	0.19	0.40	0.53	0.34		
PIB ajustado	0.84	0.95	0.96	0.63	0.67	0.19	0.90	0.95	-0.13	0.68	0.24	0.74	-0.07	0.71	0.03	0.44	0.82	0.33	0.26	0.37	0.45	0.39		

Nota: Se destaca en grados de azul el nivel de correlación entre el PIB regional relacionado a cada actividad económica y las emisiones en cada ciudad. Solo se consideraron las actividades más relevantes para el PIB de cada región ($PIB_{actividad}/PIB_{regional} > 5\%$).

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

En general, el PIB regional total tiene una alta correlación con las emisiones de GEI de las ciudades de mayor población. En su mayoría, las grandes zonas metropolitanas y las ciudades intermedias

presentan una alta correlación (mayor a 0.85) con el PIB regional total, con solo Iquique y Puerto Montt como excepciones. Las ciudades intermedias 2, de menor tamaño, tienden a presentar una baja correlación con las emisiones. Esto principalmente debido a que, si bien han experimentado un aumento en las emisiones a través de los años, el aumento del PIB ha sido menos estable, ocurriendo incluso disminuciones del PIB en años en que las emisiones aumentan. Como excepción, se destacan las ciudades de Arica, Chillán, Curicó y Osorno, en que se observa una correlación positiva mayor a 0.66 entre las emisiones de GEI y el PIB regional total. No obstante, la correlación es menor a la observada en aquellas ciudades de mayor tamaño.

La inclusión del PIB por actividad económica al análisis tuvo por objetivo dilucidar si existe algún patrón relevante entre las emisiones y el desarrollo económico de alguna actividad en específico. En particular, el análisis se enfocó en dos relaciones principales:

- La relación entre las emisiones de GEI y las actividades económicas que mayor relación debiesen tener con el transporte urbano¹¹
- La relación entre la actividad más relevante del PIB en cada ciudad y las emisiones de GEI.

En primera instancia, se destaca que no necesariamente las actividades que mayor relación debiesen tener con el transporte urbano (minería, comercio, transporte y construcción) son las que mejor explican las emisiones. Por ejemplo, el PIB asociado a 'servicios personales' (que agrupa a actividades de educación, salud, actividades de asistencial social, recreación, entre otros) posee una alta correlación con las emisiones de GEI en todas las grandes zonas metropolitanas y ciudades intermedias 1 (con excepción de Puerto Montt), Arica y Osorno. En algunos casos (Gran Santiago, Gran Valparaíso, Rancagua, Temuco – Padre Las Casas, Arica y Osorno) el nivel de correlación supera el observado con las actividades que se esperaría tuviesen la más alta correlación con las emisiones de transporte (minería, comercio, transporte y construcción).

Además, de la Figura N°15 se desprende que no necesariamente la actividad más relevante para el PIB es la que mejor permite explicar la evolución de las emisiones. Por ejemplo, en el caso de Calama (ciudad situada en la región de Antofagasta donde el PIB responde principalmente a la actividad minera) la correlación más alta se observa con el PIB asociado a la actividad de construcción.

De la diversidad formas en que las emisiones de correlacionan con el PIB de los distintos sectores productivos, se desprende que, por su simpleza, es preferible el uso del PIB regional total que algún PIB por actividad específico. Un análisis más detallado de la relevancia del PIB regional confirma que esta es una variable estadísticamente significativa y que además explica en gran parte la variabilidad de las emisiones sobre todo en las grandes zonas metropolitanas (R^2 de 0.9 y un valor-p < 0.001). La relación ya no es tan evidente en el caso de las ciudades intermedias 1, en que la significancia estadística es bastante menor (valor-p < 0.05) y el R-cuadrado es bastante bajo (0.06). La baja significancia estadística de las ciudades intermedias 1 es interesante porque implica que el PIB regional no es una variable muy relevante a la hora de analizar las ciudades de tamaño medio. No así, a la hora de analizar ciudades de menor tamaño, ya que la significancia estadística vuelve a ser estadísticamente relevante en el caso de ciudades intermedias 2 (valor-p < 0.05), aunque explicando un porcentaje muy bajo de la variabilidad de las emisiones (R^2 de 0.13). Con esto, la principal conclusión del análisis es que el PIB regional es relevante a la hora de explicar las

¹¹ Las actividades económicas que mayor relación debiesen tener con el transporte urbano fueron determinadas a partir de un análisis exhaustivo de las subactividades que las componen. Para mayor información, ver el Anexo 7.4.

emisiones de las ciudades, pero es especialmente relevante en el caso de grandes zonas metropolitanas.

En síntesis, los resultados del análisis de serie de tiempo indican que la población es una variable estadísticamente significativa que permite explicar de forma importante la evolución de las emisiones de GEI a través de los años, tanto de forma total como per cápita. Esta relación es especialmente interesante en el caso per cápita, ya que indica que, a mayor población, mayores son las emisiones generadas por cada una de las personas que viven en las ciudades. Fenómeno que puede ser explicado por un aumento del parque vehicular y por ende una mayor congestión y menores velocidades, o bien, porque a mayor población las ciudades tienden a tener una mayor área lo que potencialmente generaría viajes más largos. Otro fenómeno observado es que el valor del R-cuadrado de los modelos que solo incluyen a las ciudades intermedias alcanza un valor cercano al 60%, el que, si bien no es especialmente bajo, indica que la población por sí sola no permite determinar de forma completa la variabilidad de la evolución de emisiones de GEI, requiriéndose de otras variables que complementen el análisis.

Por otro lado, del análisis económico se concluye que la variable más interesante a estudiar es el PIB regional ya que las desagregaciones del PIB estudiadas no revelaron una conclusión generalizable que indicase que cierta componente del PIB es más relevante para el estudio económico. El PIB regional es relevante a la hora de explicar las emisiones de las ciudades, pero es especialmente relevante en el caso de grandes zonas metropolitanas. Para ciudades de menor tamaño, si bien el indicador no deja de ser relevante, se obtienen valores del R-cuadrado bajos (menor a 14%) y valores-p altos en el caso de ciudades intermedias 1, que indican que en varios años la evolución del PIB regional no coincidió con la evolución de las emisiones de las ciudades.

5.2.2 Análisis transversal

El análisis transversal permite relacionar las emisiones a las distintas características de las ciudades que no sufren cambios drásticos en el tiempo. Las variables estudiadas corresponden a los temas de análisis demográfico y de territorio:

Demográfico

- Tasa de urbanización¹²
- Tipo de ciudad

Territorio

- Área de la ciudad
- Forma de la ciudad
- Densidad por largo de arcos
- Densidad por número de arcos

El análisis demográfico estudia dos preguntas relevantes: por un lado, si acaso la tasa (o nivel) de urbanización de cada ciudad tiene alguna incidencia en la magnitud de las emisiones; y por otro lado si la magnitud de las emisiones per cápita puede ser simplificada solo considerando la

¹² La tasa de urbanización se calcula como el porcentaje de población urbana sobre población total, usando la población del Censo 2017 (ver Tabla N°23)

clasificación de ciudad considerada en el inventario (gran zona metropolitana, ciudad intermedia 1 y ciudad intermedia 2).

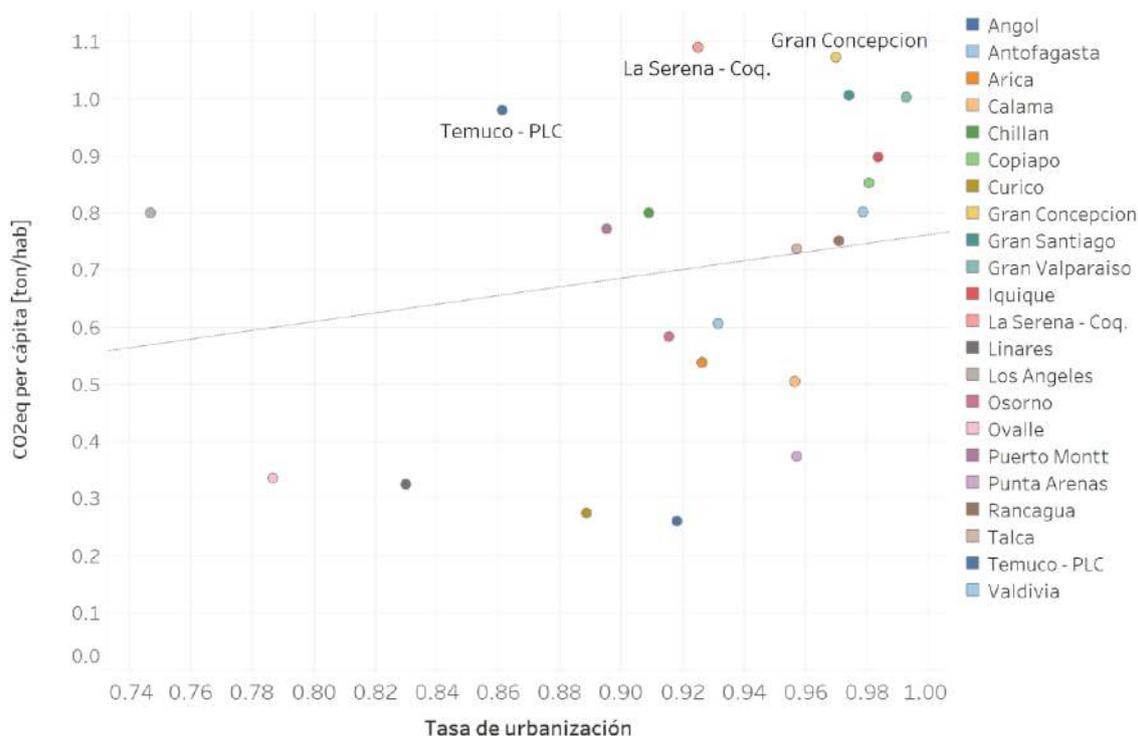
La Figura N°16 a continuación muestra la relación entre el CO₂eq per cápita para el año 2017 y la tasa de urbanización para el mismo año. Dicha relación, permite estudiar la influencia de posibles zonas de influencia (*hinterland*) que se encuentren en la periferia de la ciudad en las emisiones de las ciudades, corrigiendo por tamaño poblacional. De la figura inmediatamente se desprende que no se observa una tendencia clara que indique que una ciudad de menor urbanización genere mayores emisiones. Es más, la línea de tendencia indica una relación inversa. Es interesante observar que hasta un nivel de urbanización de un 96% aproximadamente hay una gran dispersión de las emisiones per cápita y pasado este nivel las estas comienzan a ser significativamente mayores. Indicando que ciudades de mayor urbanización tienden a generar mayores emisiones per cápita que aquellas ciudades más rurales.

Un análisis en detalle confirma que, con un nivel medio de significancia (valor-p < 0.05), a mayor nivel de urbanización, mayores son las emisiones per cápita de gases de efecto invernadero generadas. Sin embargo, si uno observa solo las grandes zonas metropolitanas¹³ en la Figura N°16, se ve que la ciudad con menor tasa de urbanización (Gran Concepción) es la que alcanza mayores emisiones per cápita el año 2017. Asimismo, si solo se observan las ciudades intermedias¹⁴, las dos ciudades de menor tasa de urbanización (Temuco – Padre Las Casas y La Serena – Coquimbo) son las que mayor nivel de emisiones per cápita alcanzan el año 2017. Esto implica que, si bien es posible estimar las emisiones a partir de la tasa de urbanización, la relación no parece ser tan clara.

¹³ Gran Santiago, Gran Valparaíso y Gran Concepción

¹⁴ Arica, Calama, Copiapó, Ovalle, Curicó, Talca, Linares, Chillan, Los Ángeles, Angol, Valdivia, Osorno, Puerto Montt, Punta Arenas

Figura N° 16 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y tasa de urbanización, 2017

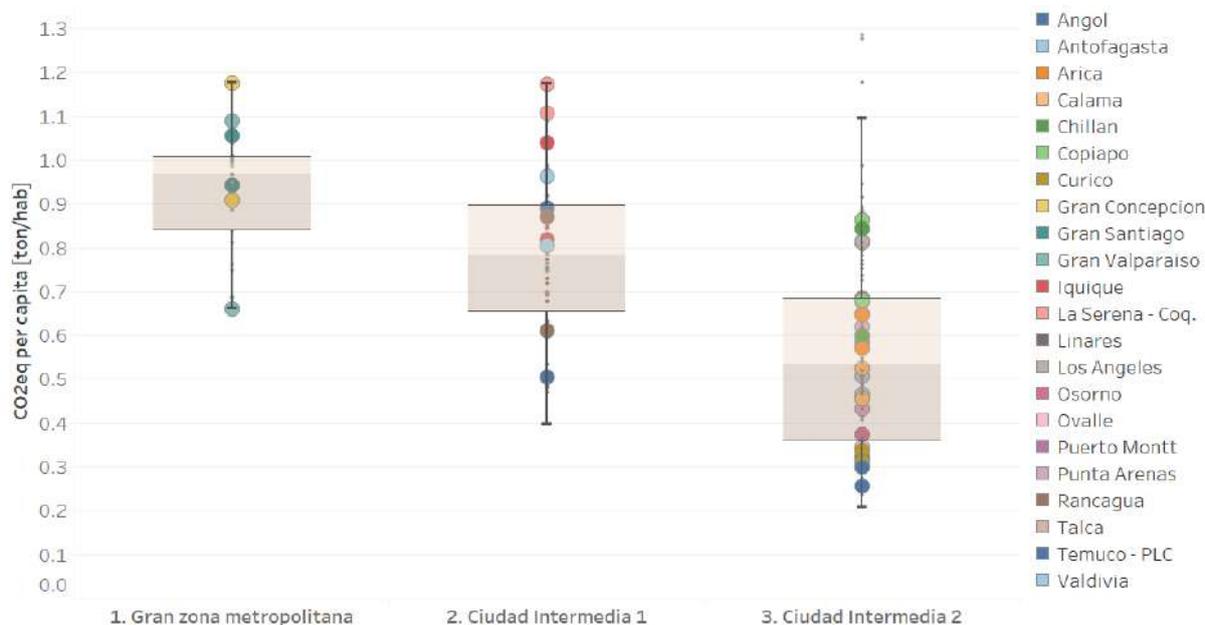


Nota: Cada punto representa una ciudad. La línea punteada representa la regresión lineal considerando las variables del eje.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020). Datos de población a partir de Censo 2017

Por otro lado, a continuación, se analiza si la magnitud de las emisiones per cápita puede ser simplificada solo considerando la clasificación de ciudad considerada en el inventario. La Figura N°17 muestra las emisiones de GEI per cápita para cada ciudad categorizada por tipo de ciudad. En ella se observa que, en promedio, las grandes zonas metropolitanas son las que más emisiones de GEI per cápita generan, seguidas de las ciudades intermedias 1 e intermedias 2. Un análisis en detalle indica que esta relación es estadísticamente significativa para el caso en que se comparan las grandes zonas metropolitanas con las ciudades intermedias 2 (valor-p <0.001) pero no así al comparar las grandes zonas metropolitanas con las ciudades intermedias 1 (valor-p >0.05). Esto indicando que el vivir en una gran ciudad implica una mayor cantidad de emisiones per cápita de CO₂eq provenientes del transporte que al vivir en ciudades de menor de 250 mil habitantes, pero la relación es menos clara en el caso en que la ciudad no sea una gran metrópolis, pero sí tenga más de 250 mil habitantes.

Figura N° 17 Emisiones de CO₂eq per cápita por tipo de ciudad



Nota: Para efectos de la visualización, solo se destacan los datos de emisión del año 2012 y 2018 para cada ciudad

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

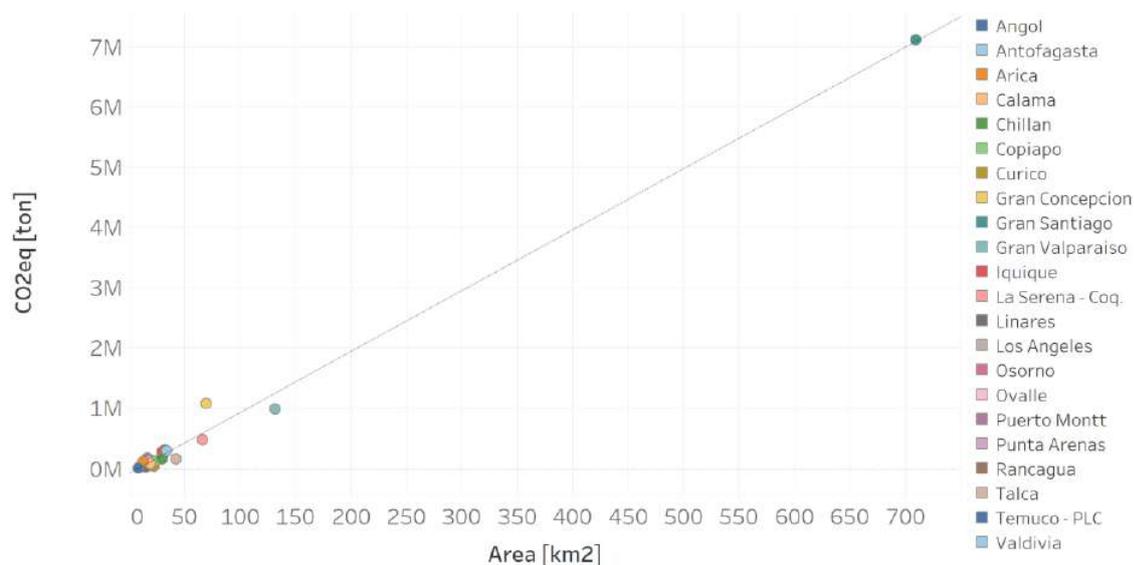
El análisis con variables territoriales estudia el efecto de las características intrínsecas de cada ciudad sobre el nivel de emisiones de GEI en cada una. Por un lado, es de esperar que, a un mismo nivel poblacional, una ciudad de mayor área tenga una mayor extensión de la red vial y, además, potencialmente genere viajes más largos, que una más pequeña tenga una menor extensión vial y potencialmente genere viajes más cortos y con ello menores emisiones¹⁵. No obstante, existen otro tipo de tendencias que afectan las características de los viajes, como, por ejemplo, la distancia entre los núcleos de atracción de viajes, que no necesariamente derivan del área de la ciudad. De modo de explorar estas complejidades en las ciudades, se estudia la densidad de la ciudad, el área por habitante, y la forma de la ciudad (alargada, circular, triangular, binuclear)

En particular, el área de la ciudad es una de las variables que mejor puede relacionarse a las emisiones, con un valor-p menor a 0.001. La Figura N°18 muestra la relación entre las emisiones de GEI totales de la ciudad y el área de cada una. En ella se observa una correlación positiva entre el área y las emisiones, pero fuertemente influenciadas por el Gran Santiago dada su gran población y extensión. (lo que genera un R² resultante de 0.9). Para suavizar la influencia del Gran Santiago, la Figura N°19 muestra el área en escala logarítmica. Ello permite dilucidar mejor la relación entre el área la diferencia entre las emisiones de las ciudades, encontrándose que hay cierta variabilidad que no puede ser explicada solo por el área (R² de 0.47). No obstante, la influencia del área continúa siendo significativa incluso con esta escala (valor-p <0.001), desprendiéndose que, a mayor área, mayor tienden a ser las emisiones per cápita. Esta relación coincide con la ya

¹⁵ No debe asumirse que siempre se cumple que una ciudad de gran área tiene una extensión vial necesariamente mayor a una de menor tamaño, y por lo tanto mayores emisiones. Podría existir, por ejemplo, una mayor cantidad de edificación en altura que implique una alta densidad poblacional y que por lo tanto incentive la construcción de calles para su transporte. También, podría ocurrir que las grandes ciudades tengan un mejor sistema de transporte público (metro, tranvía, u otros), que incentiven un menor uso del transporte privado, o bien políticas de densificación de zonas laborales, que disminuyan el largo de los viajes esperados.

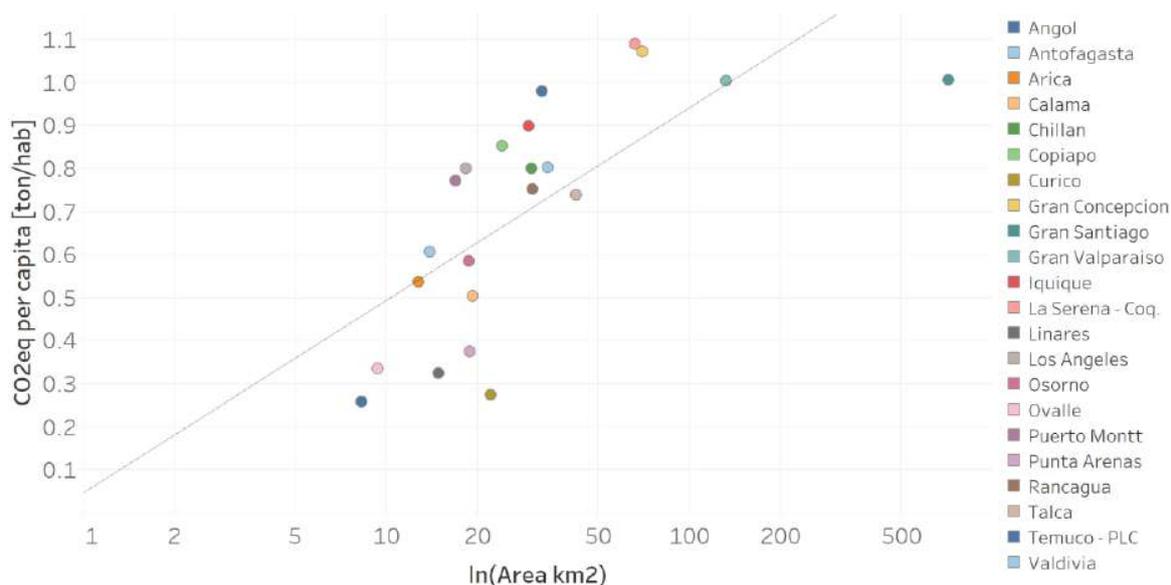
anteriormente destacada en el análisis de serie de tiempo, en que se encontró que las ciudades de mayor población tienden a tener mayores emisiones de GEI per cápita y puede tener su origen en una mayor extensión de viajes o bien, simplemente en un mayor parque vehicular.

Figura N° 18 Relación entre emisiones de GEI [ton CO₂eq] y el área de cada ciudad, año 2017



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020). Datos población de Censo 2017. Datos de área de análisis espacial.

Figura N° 19 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y el área de cada ciudad, año 2017

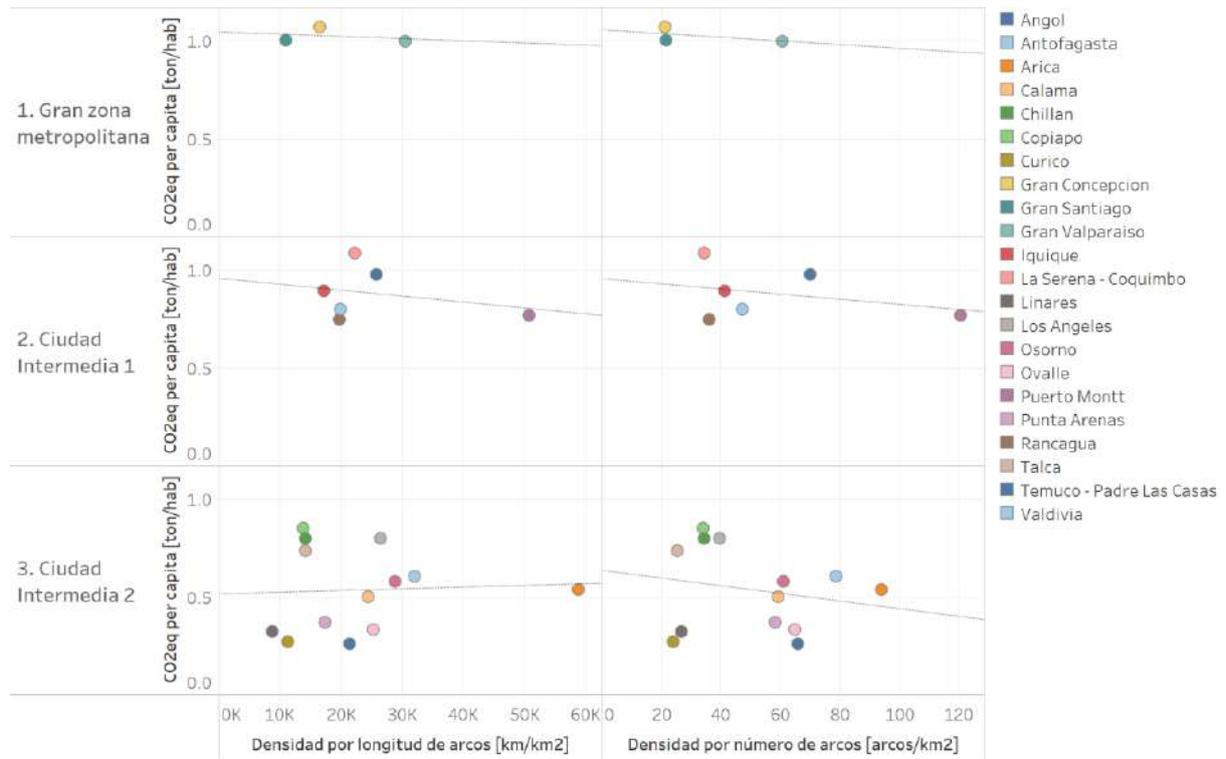


Nota: Área de la ciudad se muestra en escala logarítmica.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020). Datos población de Censo 2017. Datos de área de análisis espacial.

Por su parte, las variables de densidad permiten determinar de qué forma la estructura de la red vial se relaciona con las emisiones. La Figura N°20 muestra la relación entre las emisiones y la densidad de la red vial calculada como la longitud de arcos sobre el área total de las ciudades y como el número de arcos sobre el área total de las ciudades. En ella se observa que, en general, las ciudades con mayor densidad no son las que emiten la mayor cantidad de emisiones per cápita, sino que la relación es inversamente proporcional. La única excepción es la observada en la densidad por longitud de arcos para las Ciudades intermedias 2. Sin embargo, cabe destacar que, en esta categoría de ciudades, al igual que en el resto, las ciudades con mayores emisiones per cápita tienen una baja densidad. Sin embargo, de la figura se desprende que no es posible llegar a conclusiones robustas ya que no se observa un patrón claro entre las dinámicas observadas en cada ciudad. Es más, un análisis detallado indica que las variables de densidad no son estadísticamente significativas ($\text{valor-p} > 0.05$), por lo que no es posible derivar conclusiones de las emisiones a partir de ellas.

Figura N° 20 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y variables de densidad



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020). Datos población de Censo 2017. Datos de longitud y número de arcos de archivos Modem.

Por otro lado, es de esperar que la forma de la ciudad tenga una incidencia en el largo de los viajes y por ende en las emisiones. Para estudiar esto cada ciudad fue categorizada en un grupo que indica la forma de su contorno: alargada, circular, triangular, binuclear (dos núcleos) y cuyo detalle está disponible en el Anexo 7.4.2.

Como se observa en la Figura N°21, no parece posible generar conclusiones robustas de la categorización de las ciudades según su forma. En promedio, las ciudades de forma binuclear y alargadas generan más emisiones que una ciudad circular y triangular. No obstante, existen excepciones en cada grupo de ciudades cuyas emisiones se escapan del promedio esperado y que indican que hay otros factores que inciden en las emisiones de manera más determinante que la forma. Así como en el caso de la densidad, un análisis detallado indica que las variables de forma de la ciudad no son estadísticamente significativas (valor-p > 0.05), por lo que no es posible derivar conclusiones de las emisiones a partir de ellas.

Figura N° 21 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y la forma de cada ciudad



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020). Datos población de Censo 2017. Forma de ciudad a partir de análisis espacial

5.2.3 Conclusiones del análisis transversal

A modo de conclusión, el análisis transversal permite estudiar el efecto de las distintas características asociadas a las ciudades con los niveles de emisiones de cada una para el año 2017. La variable demográfica transversal más relevante corresponde al tipo de ciudad (gran zona metropolitana, ciudad intermedia 1 y ciudad intermedia 2), que a la vez depende de la población de la ciudad. El análisis indica que el grupo de ciudades de mayor tamaño (gran zona metropolitana) genera una mayor cantidad de emisiones per cápita que las ciudades intermedias 1 y que estas a la vez emiten menos que las ciudades intermedias 2. Este modelo profundiza la relación ya anteriormente observada en la Figura N°9 de la Sección 5.1.2, y que podría explicarse debido a que las ciudades con mayor población tienden a tener extensiones territoriales mayores, por tanto, los tramos de desplazamiento entre el hogar y el trabajo tienden a ser mayores. O bien, podría ser producto de una mayor congestión en las ciudades, derivadas de un mayor parque vehicular, lo que disminuye las velocidades promedio de los arcos de flujo y por tanto genera que los motores emitan una mayor cantidad de emisiones.

Por otro lado, también encontrar una relación entre las emisiones de GEI y el nivel de urbanización, que indica que comunas de mayor urbanización tienden a generar mayores emisiones per cápita que aquellas comunas más rurales.

El efecto de las características territoriales fue analizado en función del área de la ciudad, de su forma y de dos parámetros de densidad vial (densidad por largo de arcos y por número de arcos). El área de la ciudad resultó ser la única variable estadísticamente significativa que permite explicar la variabilidad de las emisiones a través de las ciudades. Este resultado profundiza en la teoría de que posiblemente la mayor generación de emisiones per cápita se debe a una mayor extensión de la ciudad.

6. Conclusiones

El presente estudio corresponde a la sistematización de un inventario de las emisiones atmosféricas asociadas al transporte motorizado para las zonas urbanas con modelación en Chile. Estas corresponden a 22 zonas urbanas en donde reside cerca del 70% de la población del país. A partir de un análisis preliminar de la información disponible se definió un alcance temporal del inventario que cubre la serie temporal 2012 a 2018.

Las emisiones de GEI inventariadas alcanzan las 79.4 millones de toneladas de CO₂eq en todo el periodo del inventario, observándose un crecimiento constante desde una magnitud inicial de 10.1 millones de toneladas el 2012, hasta las 12.8 millones de toneladas el 2018, equivalente a un crecimiento anual promedio de 3.9%. Esta tasa de crecimiento es mayor al crecimiento poblacional promedio en dicho periodo (1.2%) y al aumento del PIB (1.9%), pero menor al crecimiento del parque vehicular nacional en el mismo periodo (5.2%).

Respecto a la distribución por tipo de ciudades, las grandes zonas metropolitanas – las 3 zonas urbanas con una población superior al millón de habitantes – representan un 76.1% del total de emisiones GEI en el total del periodo, mientras que las ciudades intermedias – las 5 zonas urbanas con población entre 250 mil y 1 millón de habitantes – representan un 13.6% de las emisiones GEI. La fracción restante (10.7%) proviene de las ciudades intermedias 2, conformado por las 14 zonas urbanas con población menor a 250 mil habitantes.

La diferencia en la participación de las emisiones GEI por tipo de ciudad es un fenómeno que no solo se explicaría por la mayor población, sino también por otras variables relevantes. Esto se pone en evidencia al analizar las emisiones per cápita, donde se observan diferencias significativas entre tipos de ciudades. Así, las grandes zonas urbanas generan más emisiones per cápita que las ciudades intermedias 1, y estas a la vez emiten más que las ciudades intermedias 2 (1.05 tCO₂eq/hab. al año, 0.94 tCO₂eq /hab., y 0.57 tCO₂eq /hab. al año 2018, respectivamente). Estas diferencias podrían explicarse puesto que en las ciudades con mayor población las distancias de viajes son mayores, como consecuencia de una mayor extensión de la ciudad, una preferencia por el transporte privado en desmedro del público, así como a que también hay una mayor actividad de movilidad asociada a sectores productivos, comerciales y de servicios.

Para estudiar más a fondo qué variables tienen relación con la evolución de las emisiones de GEI a través del tiempo y entre ciudades, se usaron modelos lineales. Del análisis se desprende que además de la población, el PIB regional, el área y la tasa de urbanización, son variables que pueden ayudar a explicar la evolución y magnitud de las emisiones. En particular, a medida que estas variables aumentan en magnitud, las emisiones tienden a ser mayores.

Respecto al crecimiento de las emisiones, si bien la tasa nacional de crecimiento anual promedio es de 3.9%, esta se distribuye de forma diferente según los tipos de zonas urbanas. En particular, las ciudades con el crecimiento más acelerado corresponden a las ciudades intermedias tipo 1, donde las emisiones de GEI han aumentado con una tasa de crecimiento anual promedio de 5.4%, en contraste las grandes zonas metropolitanas han aumentado sus emisiones con una tasa promedio de 3.7%. Este efecto, ha resultado en un aumento del peso específico de las emisiones GEI de las ciudades intermedias tipo 1 respecto del total estimado, pasando desde un 12.5% para el año 2012 a un 13.6% al año 2018. Este crecimiento relativo ha sido en desmedro de las grandes zonas metropolitanas que han pasado de un 76.8% del total de emisiones para el año 2012 a un 75.7% al año 2018.

Al analizar los números recién presentados, es importante considerar las limitaciones del inventario y de los datos a partir de los cuales se construyó. Un análisis de los datos originales permitió

observar una serie de datos anómalos en las estimaciones de las emisiones, observándose variaciones relevantes en la serie temporal, cuya explicación se escapaba de las variaciones del sistema de transporte urbano modelado. Al respecto, los datos originales fueron estimados en una serie de consultorías en MODEM. Este modelo requiere una serie de insumos, donde se destacan los resultados de las modelaciones de transporte realizadas en ESTR AUS y VIVALDI, cuyas interacciones son complejas, y que en buena medida dependen de las imputaciones realizadas por el consultor a cargo de las corridas MODEM cada año. En este sentido, existen múltiples variables de modelación que podrían explicar el origen de dichos datos anómalos.

Frente a estas situaciones anómalas se decidió corregir de forma precisa aquellos datos que evidentemente representaban una situación anómala y cuyo impacto en el inventario era significativo. De esta forma, los datos presentados en el inventario corresponden a los resultados originales de las corridas MODEM salvo en ocasiones particulares donde se corrigieron datos anómalos evidentes y significativos. En particular, estas correcciones representaron un aumento de la estimación de GEI de un 5.6% en todo el período.

De esta forma, las estimaciones presentadas corresponden a las mejores estimaciones de emisiones que se tiene actualmente, pero están sujetas a posibles mejoras en base a nuevas metodologías o corridas que uniformen los supuestos necesarios para ejecutar el modelo MODEM. Frente a la incertidumbre respecto de qué tan buena es la estimación respecto de las emisiones verdaderas, se realizó una estimación siguiendo un enfoque Top-Down de las emisiones para las ciudades con más de 250 mil habitantes. Esta segunda estimación se realizó con supuestos completamente independientes de los insumos utilizados en las corridas MODEM, resultando en diferencias de emisiones de CO₂ de un 6%. Si bien este valor representa una diferencia baja, el modelo Top-Down tiende a contar con una estimación menor para las emisiones de las grandes zonas urbanas, y una estimación mayor para las ciudades intermedias¹, efectos que se compensan para alcanzar una diferencia promedio de 6%.

Otro punto de comparación es la estimación de emisiones realizadas por el Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernaderos de Chile (SNICHILE). Su último inventario oficial corresponde al incluido en el “Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático” (MMA, 2018), que presenta las emisiones GEI para la serie temporal 1990-2016. Estas estimaciones se realizan a partir del consumo de combustibles del sector transporte reportados en el Balance Nacional de Energía, desarrollado anualmente por el Ministerio de Energía. La comparación entre los resultados de ese inventario y del presentado en este estudio se presenta en la Tabla N°24, donde se observa que las estimaciones del actual inventario representan cerca de la mitad de las emisiones estimadas en el INGEI asociadas al transporte terrestre. Esta diferencia se podría explicar por la exclusión de otras zonas urbanas en la estimación actual, así como también por la exclusión del transporte interurbano.

Tabla N° 24 Comparación estimación emisiones GEI [millones tCO₂eq] sector transporte

Origen	2012	2013	2014	2015	2016
INGEI – Transporte Terrestre	20.1	21.8	20.5	22.3	23.6
Inventario Actual – 22 zonas urbanas	10.1	10.3	11.1	11.4	11.7
Ratio	50.4%	47.1%	54.0%	51.1%	49.4%

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Referencias

- Banco Central. (2020). Base de Datos Estadísticos - Cuentas Nacionales.
- INE. (2018). Entrega Final Censo 2017.
- IPCC. (2006). Volume 2, Chapter 3: Mobile Combustion. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 1–78.
- MMA. (2018). *Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre el Cambio Climático*.
- MMA. (2019). *Quinto reporte del Estado del Medio Ambiente*. Santiago, Chile.
- Sims, R., & Schaeffer, R. (2014). Chapter 8: Transport. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

7. Anexos

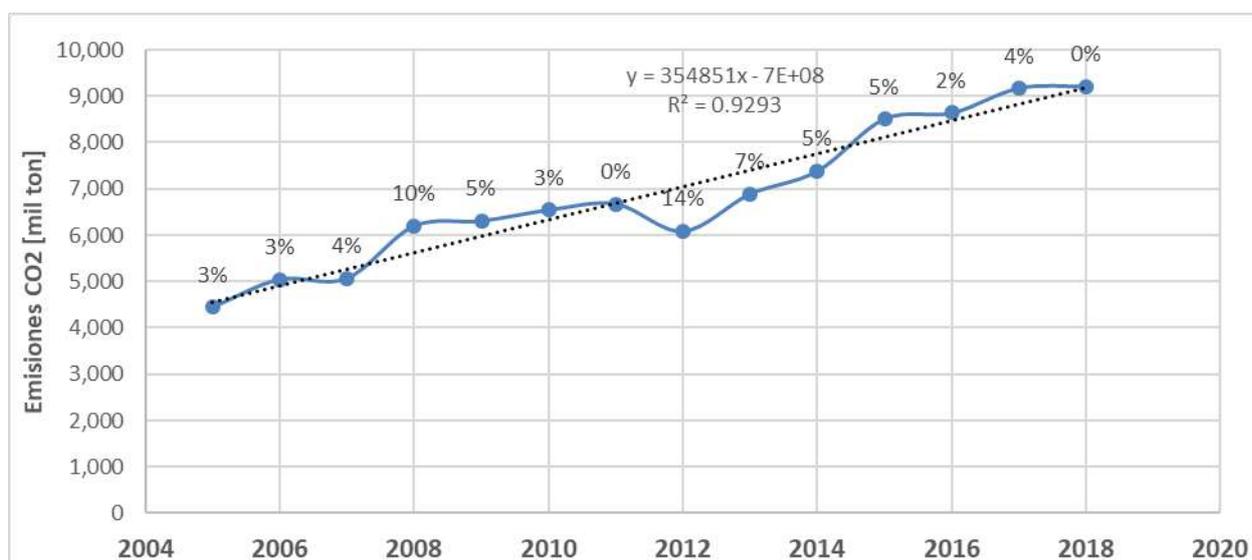
7.1 Detalle de análisis de tendencia preliminar por ciudad

En la presente sección se muestra el análisis de tendencia por medio del método de regresión lineal para cada una de las ciudades estudiadas. Las observaciones para cada una se encuentran en su sección respectiva.

7.1.1 1.a Gran Santiago

Las emisiones de CO2 del Gran Santiago siguen, en general, una tendencia creciente y lineal, con un R^2 de aproximadamente 0.9. La tendencia solo se quiebra por una disminución de un 9% con respecto al año anterior durante el año 2012.

Figura N° 22 Ajuste emisiones CO2 - Gran Santiago

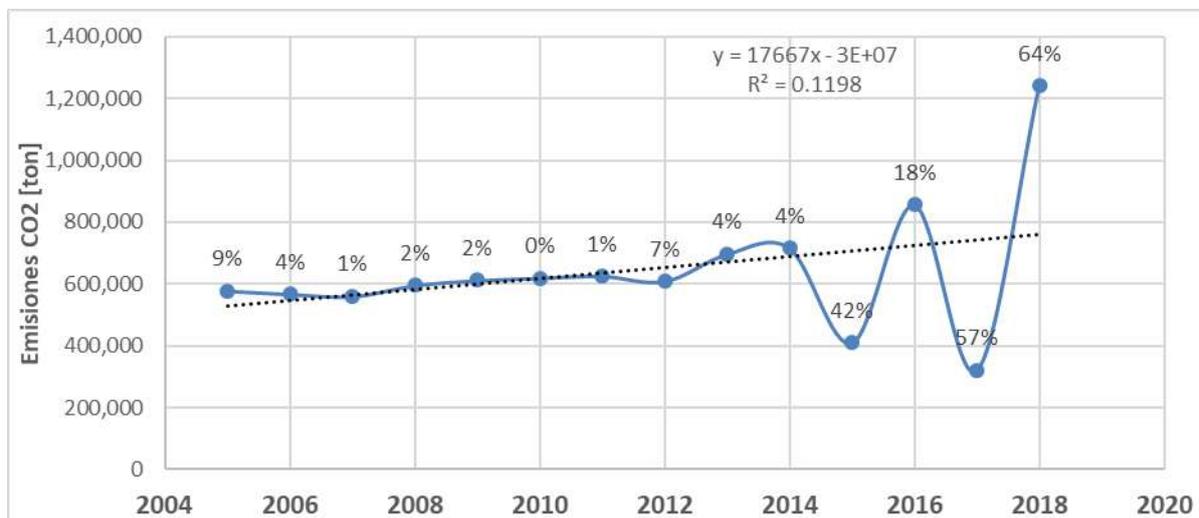


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.2 1.b Gran Valparaíso

Las emisiones del Gran Valparaíso, tal como muestra la Figura N°23, sufre unas variaciones relevantes desde el año 2015, luego de mantenerse relativamente estables todo el periodo 2005–2014. Las disminuciones de emisiones durante los años 2015 y 2017 (de un 43% y 62% con respecto al año anterior, respectivamente) parecen ser compensadas con aumentos de más del doble los años 2016 y 2018. Adicionalmente, se observa una especie de quiebre en la serie a partir del año 2012, en que las emisiones comienzan a aumentar de forma más consistente hasta el año 2014, cuando ocurre la primera depresión. Sin embargo, si no se consideran los valores de los años 2015 y 2017, el aumento de emisiones de la ciudad parece seguir una tendencia casi exponencial.

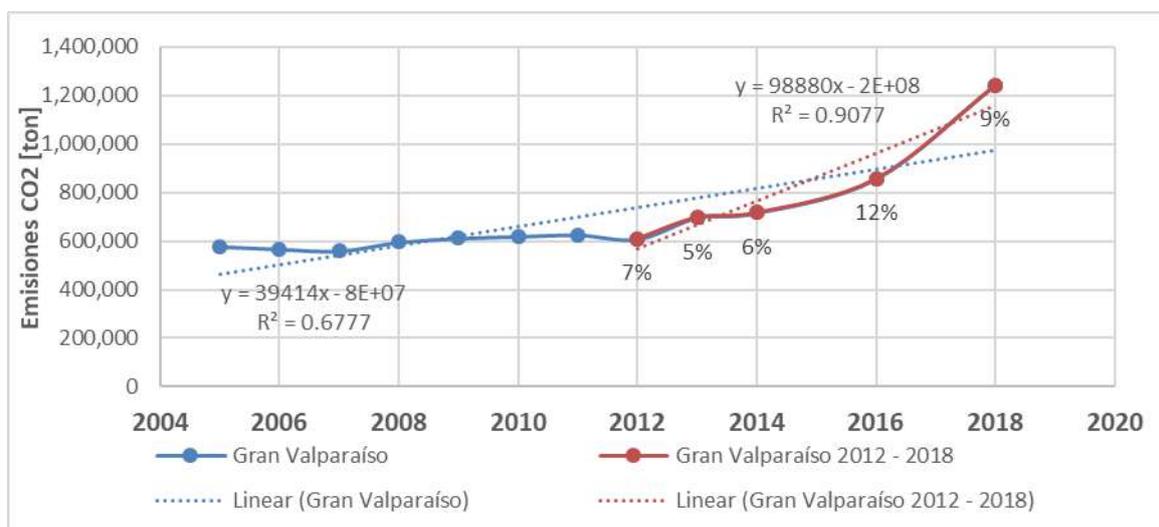
Figura N° 23 Ajuste emisiones CO2 - Gran Valparaíso



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

La Figura N°24 destaca en rojo la serie desde el año 2012 al año 2018. Es interesante notar que es a partir de este año que el crecimiento de emisiones parece ser mucho más marcado, dando la sensación de un crecimiento exponencial, como fue mencionado anteriormente. Dentro de este set, las emisiones estimadas para el 2018 no parecen estar fuera de norma, es más, tal como se muestra en el gráfico, se tiene un error de un 9% con respecto a la mejor estimación lineal para ese set de años (línea roja punteada).

Figura N° 24 Ajuste emisiones CO2 - Gran Valparaíso, sin outliers



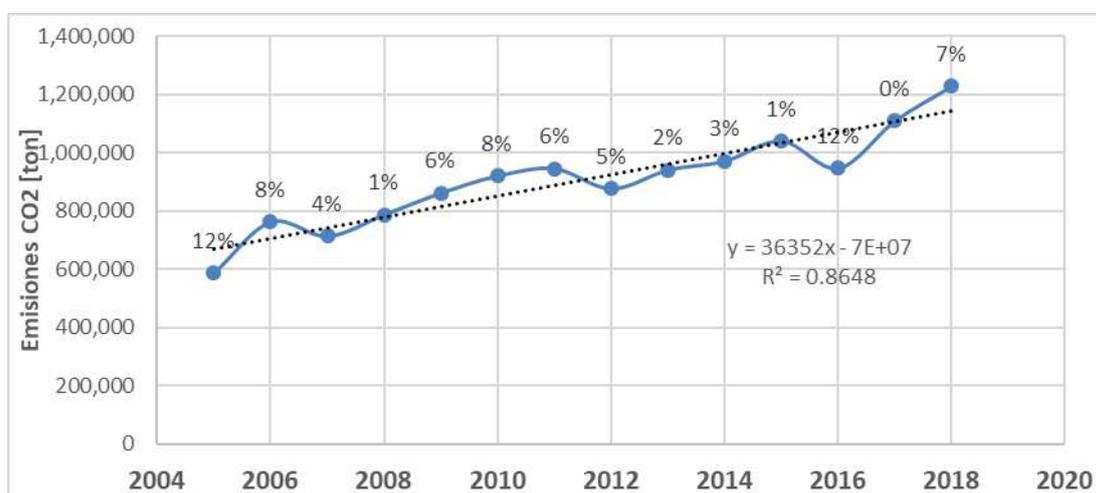
Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.3 1.c Gran Concepción

Tal como muestra la Figura N°25, las emisiones de CO2 del Gran Concepción siguen, en general, una tendencia creciente y lineal, con un R^2 de aproximadamente 0.9. La tendencia creciente sufre algunos quiebres en que las emisiones son menores a las del año anterior (específicamente los años 2007, 2012, y 2016), pero ninguno supera una disminución de más de un 9% con respecto al año anterior.

Dada la linealidad en el crecimiento de los datos y un error que está dentro del límite esperado (7%), se considera que el año 2018 es una buena estimación de las emisiones de la ciudad y se puede utilizar como año base.

Figura N° 25 Ajuste emisiones CO2 - Gran Concepción

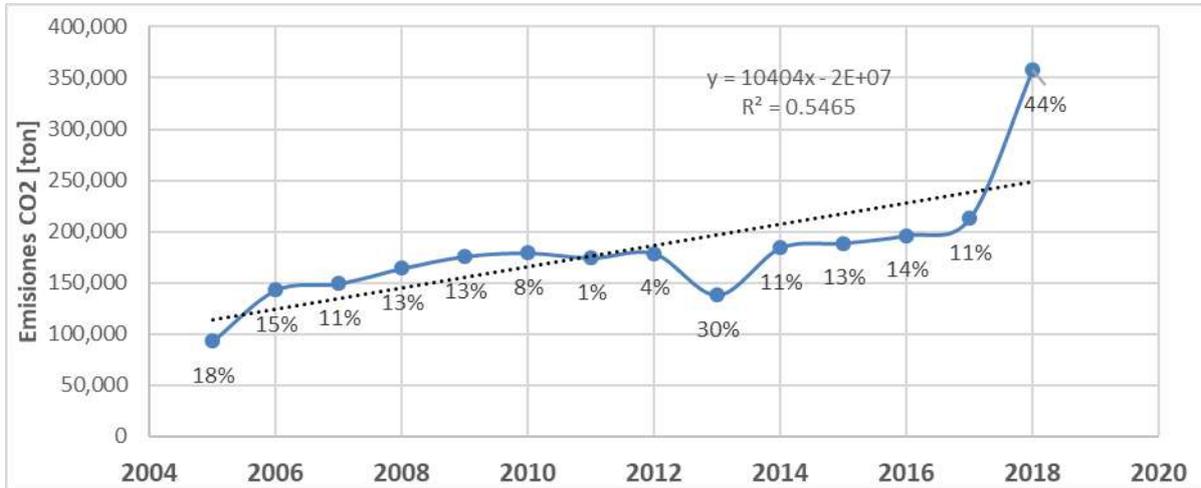


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.4 2.a Iquique

La Figura N°26 muestra la serie de emisiones de CO2 para la ciudad de Iquique. Inmediatamente llama la atención un aumento de un 68% el año 2018 con respecto al nivel de emisiones del 2017. Con excepción del año 2015, las emisiones parecen mantenerse relativamente estables durante todo el periodo 2005-2017.

Figura N° 26 Ajuste emisiones CO2 - Iquique

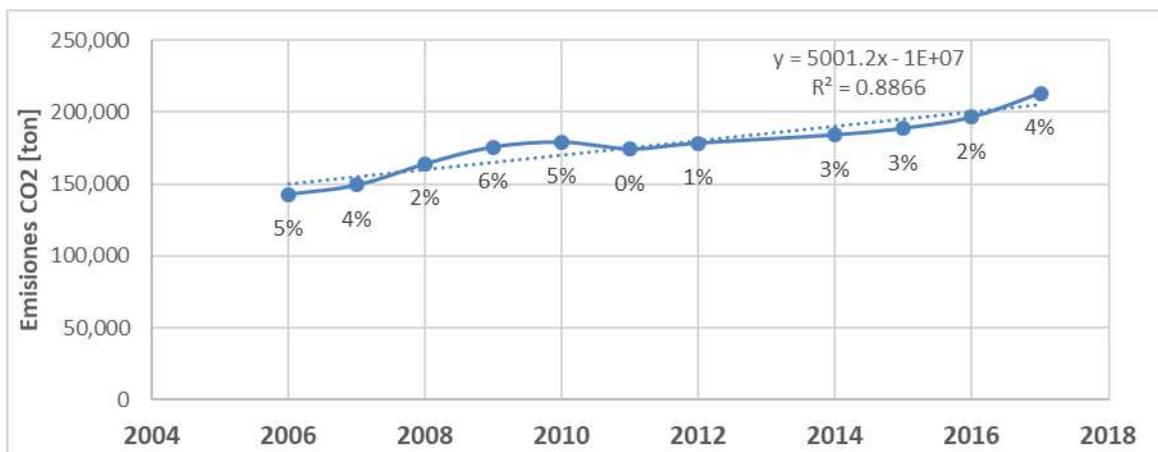


Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

La Figura N°27 muestra la serie sin considerar los años 2005, 2013 y 2018, que, de acuerdo al análisis de la serie completa y como se desprende de la Figura N°26, son estimaciones que se salen del orden esperado. Cabe destacar que, si bien el año 2005 no cumple con el criterio para considerarse *outlier* con respecto a la serie completa, sí distorsiona de forma significativa la serie que no considera los años 2013 y 2018, con un error de un 29% con respecto al mejor ajuste lineal. Dado esto, la serie final de análisis no lo considera.

Con este nuevo set de años, el ajuste lineal de la serie que permanece es más exacto, con un R² de aproximadamente 0.9 versus 0.5 cuando se considera la serie completa (2005 a 2018).

Figura N° 27 Ajuste emisiones CO2 - Iquique, sin outliers

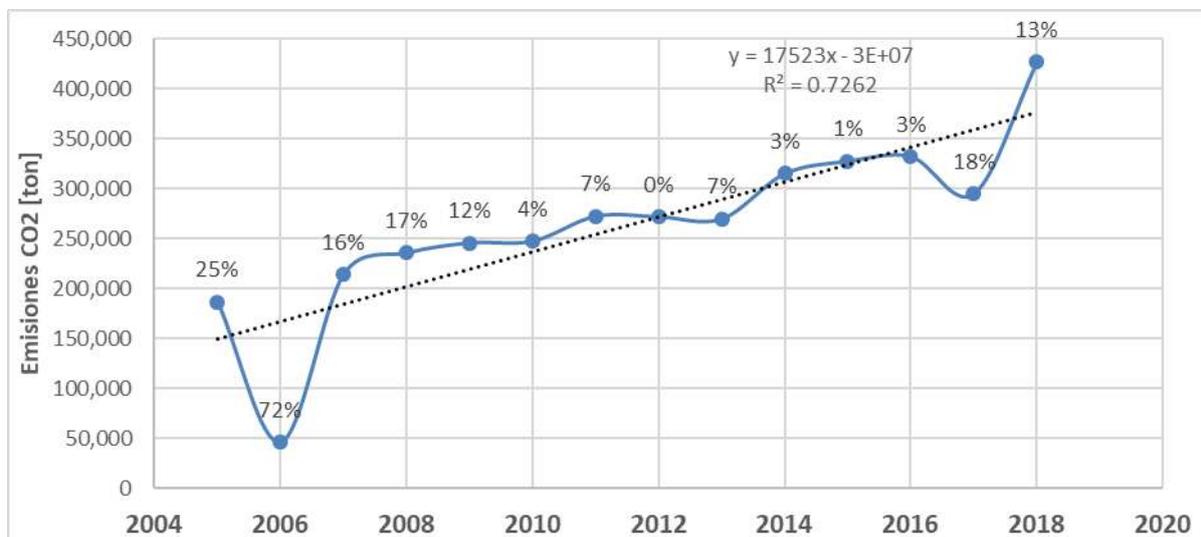


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.5 2.b Antofagasta

Las emisiones de Antofagasta siguen una tendencia relativamente lineal con algunas excepciones. En particular los años 2006, 2017 y 2018 se escapan de la tendencia que se mantiene el resto de los años. El ajuste lineal alcanza un R^2 de aproximadamente 0.73, por lo que se considera que es necesario limpiar la serie para evaluar de mejor forma el ajuste. No obstante, *a priori* se observa que el error mínimo entre el ajuste y la serie de emisiones se encuentra el año 2012, sin embargo, el considerar este año no mostraría de forma certera el aumento de emisiones que se ha observado hacia los últimos años, por lo que en principio se considera preferible utilizar el año 2016 como año base para esta ciudad.

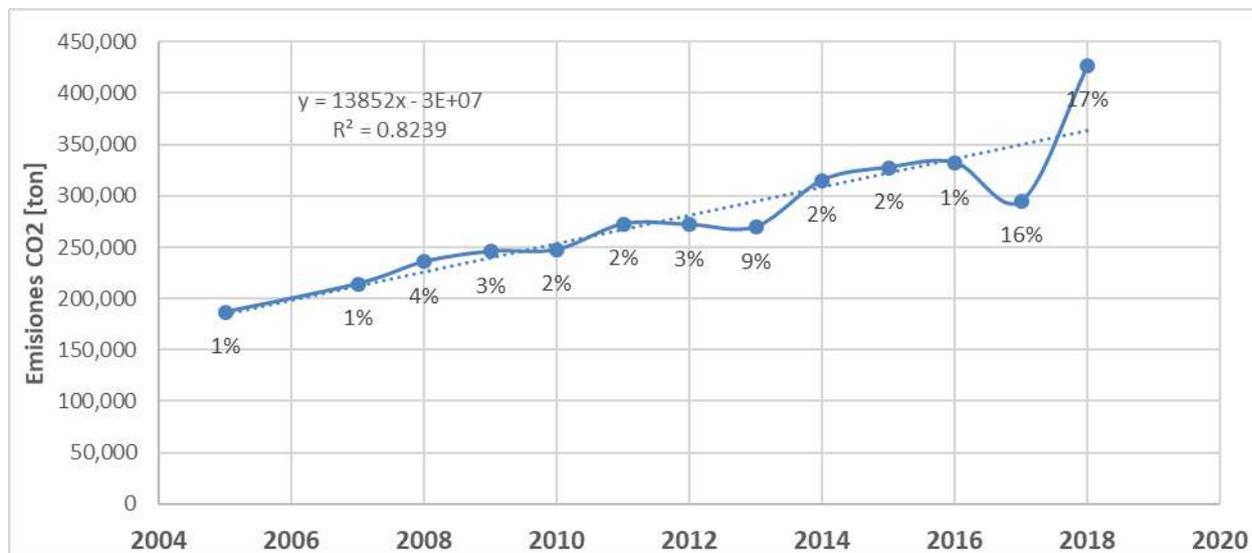
Figura N° 28 Ajuste emisiones CO2 - Antofagasta



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

La Figura N°29 muestra una nueva serie para Antofagasta que no considera el valor del año 2006. Se eliminó solo este valor debido a que tiene un error con respecto a la tendencia de la serie original de más de un 20%. Esta nueva serie se ajusta de forma lineal con un R^2 de 0.8.

Figura N°29 Ajuste emisiones CO2 – Antofagasta, sin outliers

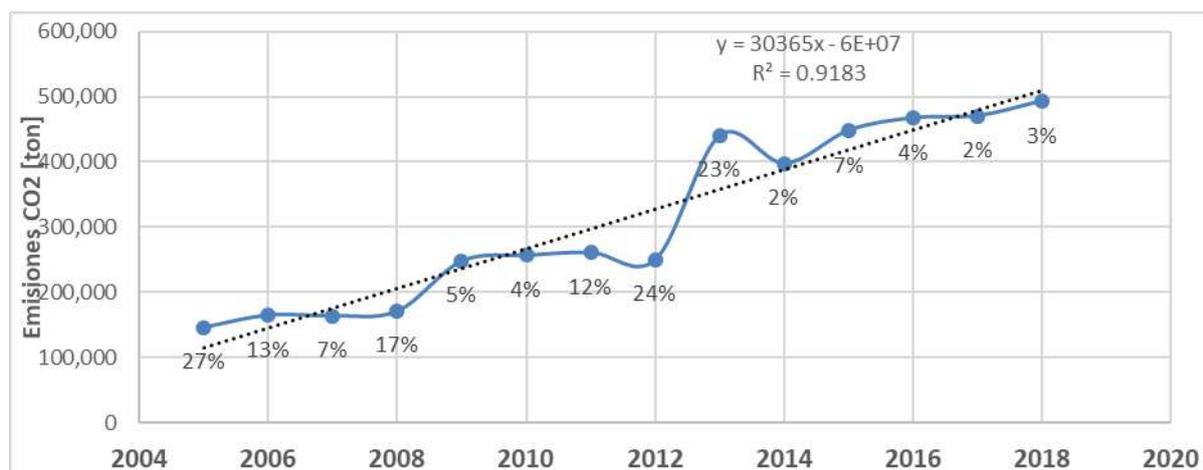


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.6 2.c La Serena - Coquimbo

Las emisiones de La Serena-Coquimbo, tal como se muestra en la Figura N°30, siguen una tendencia predominantemente lineal con excepción de una disminución seguida de un importante aumento de emisiones durante los años 2012 y 2013. No obstante, esta fluctuación, es posible ajustar una recta con un R² de aproximadamente 0.9.

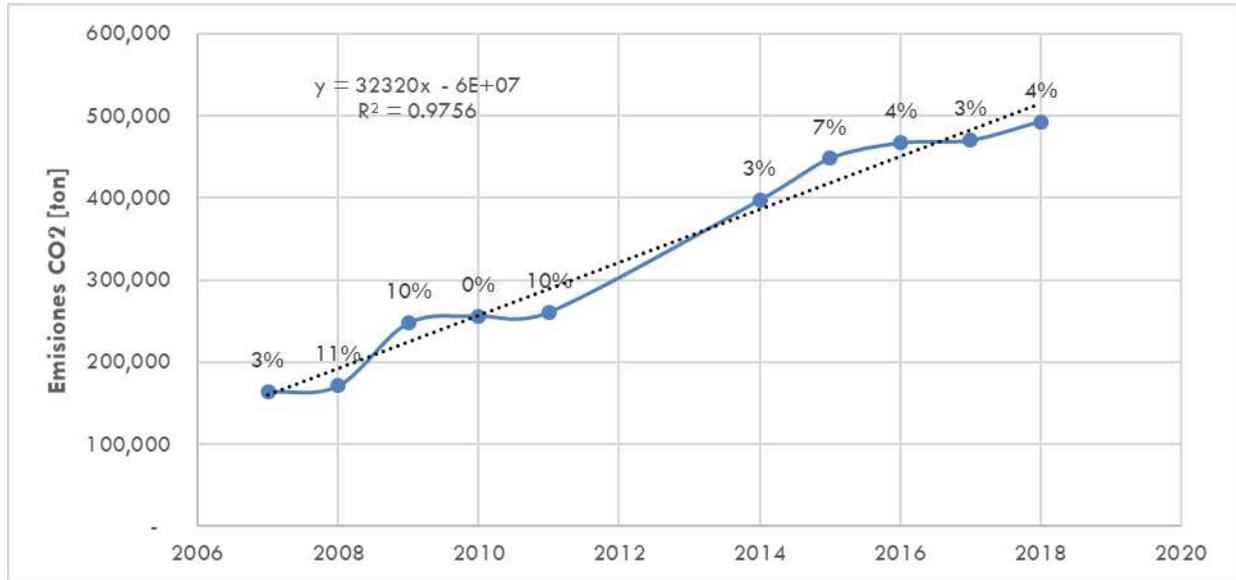
Figura N° 30 Ajuste emisiones CO2 - La Serena-Coquimbo



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

El proceso de retiro de *outliers* resulta en los resultados observados en la Figura N°31, donde se observa que los años 2005, 2006, 2012 y 2013 serían *outliers*, de acuerdo a la definición utilizada.

Figura N° 31 Ajuste emisiones CO2 - La Serena - Coquimbo, sin outliers

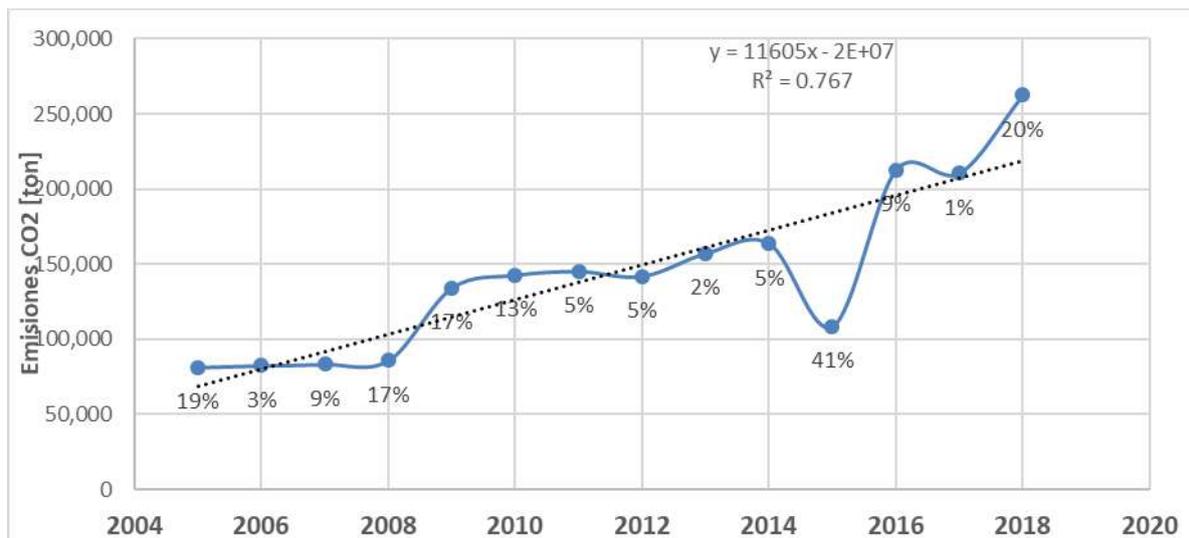


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.7 2.d Rancagua

La Figura N°32 muestra la serie de emisiones de CO2 para la ciudad de Rancagua desde el año 2005 al 2018. Inicialmente, llama la atención el valor del año 2015, el cual se aleja de la norma con una disminución de un 34% con respecto al año anterior, disminución que luego es recuperada en la estimación de emisiones del año 2016.

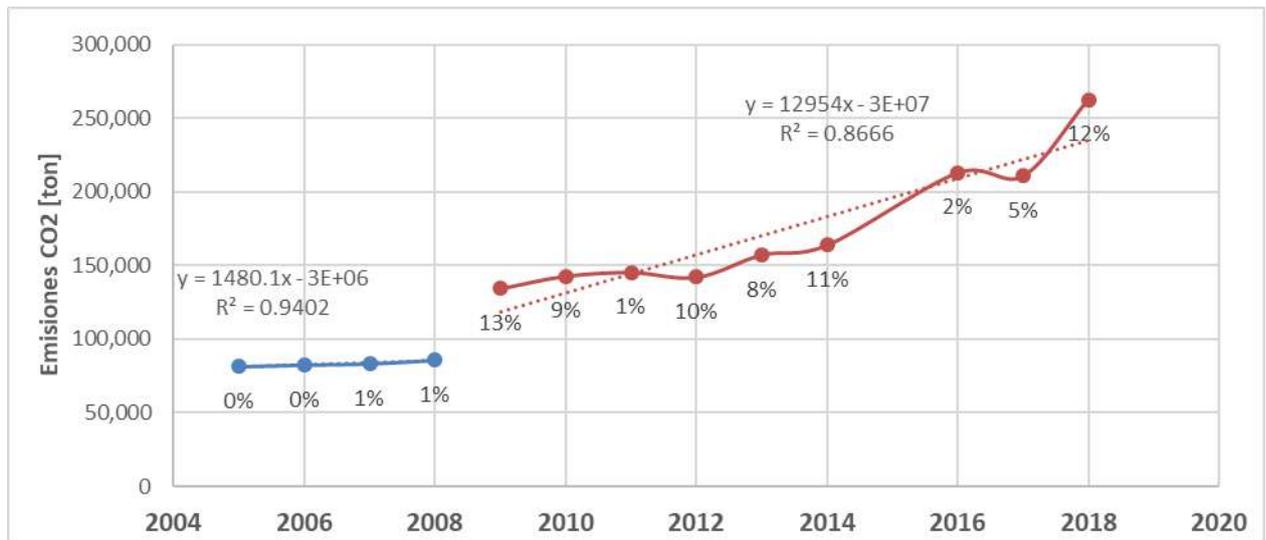
Figura N° 32 Ajuste emisiones CO2 - Rancagua



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

La Figura N°33 muestra las emisiones de CO2 de Rancagua divididas en dos series independientes. La serie del 2009 al 2018 muestra una tendencia relativamente lineal, con un ajuste R^2 de 0.87. Se observa que esto en conjunto con la exclusión del año 2015, resulta en unas tendencias con mejor ajuste.

Figura N° 33 Ajuste emisiones CO2 - Rancagua, sin outliers

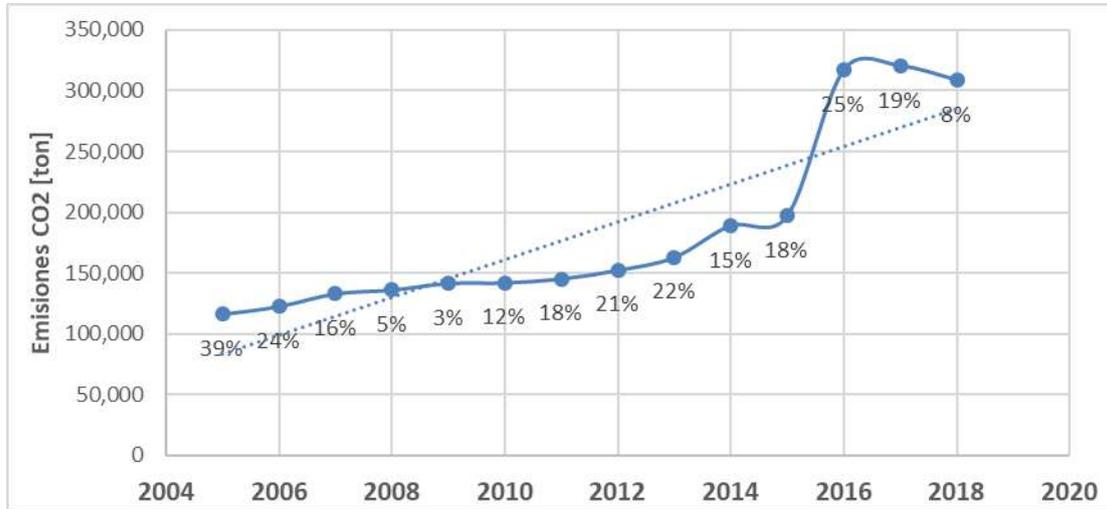


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.8 2.e Temuco - Padre Las Casas

Las emisiones de Temuco y Padre Las Casas sufren un aumento de 61% el año 2016, con respecto a los valores del año anterior, valores que se mantienen, aunque tienen a disminuir hacia el año 2018. Se observa que las principales diferencias respecto de la predicción se dan en los primeros años.

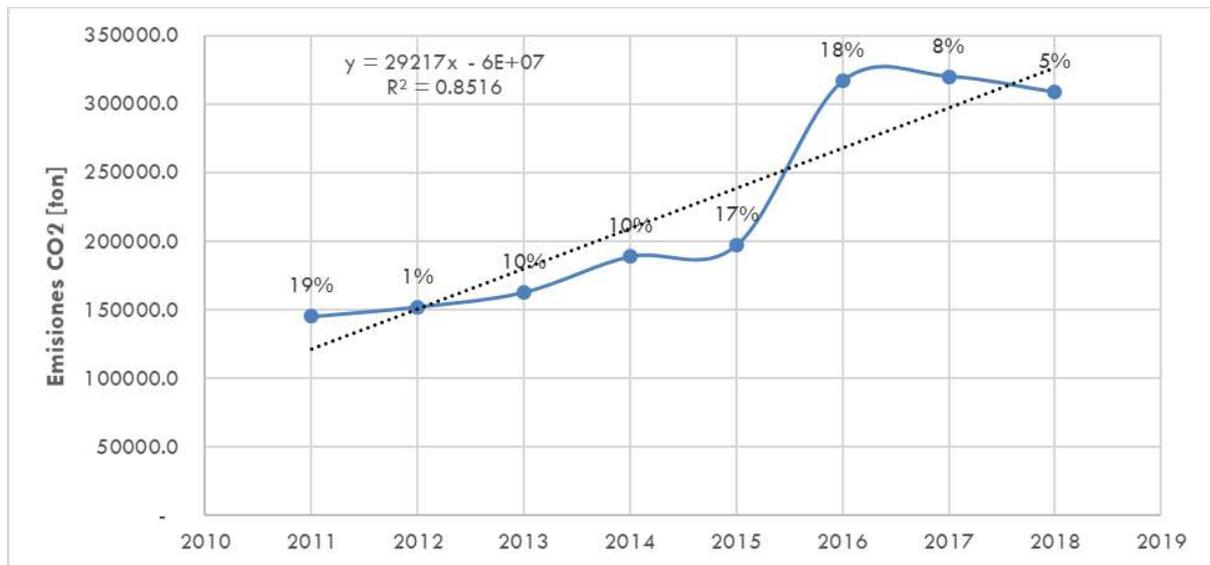
Figura N° 34 Ajuste emisiones CO2 - Temuco-Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

Al realizar el proceso de identificación de *outliers* y exclusión del modelo de forma consecutiva, se excluyen del modelo los primeros años. El modelo resultante se observa en la siguiente figura.

Figura N° 35 Ajuste emisiones CO2 - Temuco-Padre Las Casas, sin outliers



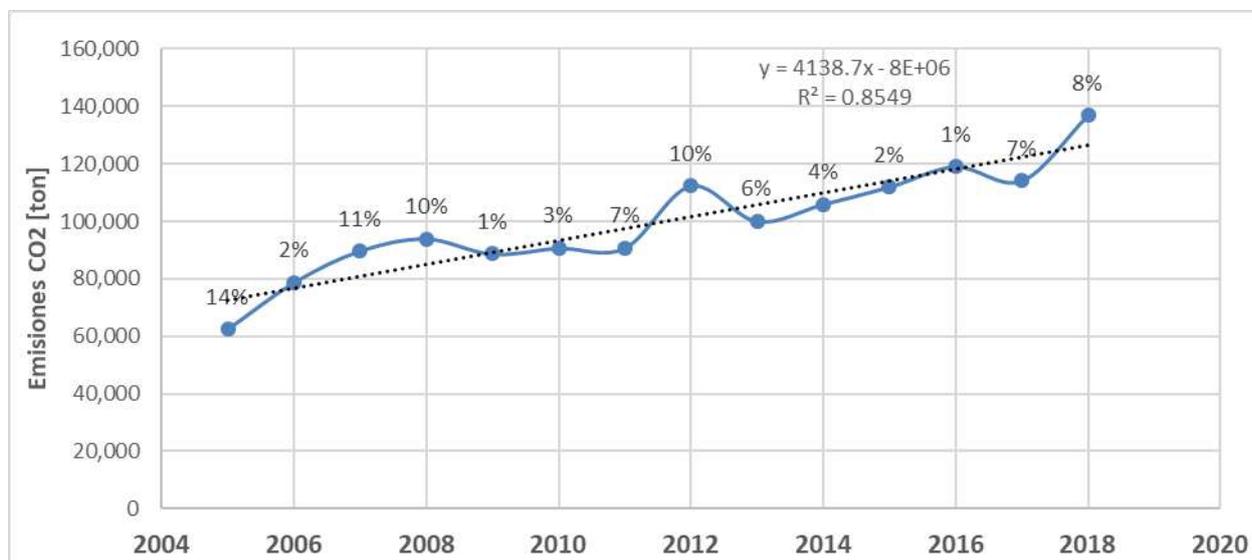
Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.9 3.a Arica

De forma similar a Antofagasta, Arica mantiene un patrón de emisiones relativamente lineal (R^2 de aproximadamente 0.85 para la serie completa del 2005 al 2018) con excepción de un aumento de estas durante el año 2012 y el año 2018. Estos aumentos, sin embargo, se hacen más notorios debido a una disminución de las emisiones durante los años anteriores. En particular, las emisiones de los años 2009 a 2011 disminuyen considerablemente con respecto a la tendencia mantenida hasta el año 2008. Asimismo, el año 2017 se observa una disminución importante que quiebra la tendencia que se había mantenido desde el año 2013 al año 2016.

Es interesante notar que las emisiones del año 2018 parecen continuar con la tendencia observada hasta el año 2016.

Figura N°36 Ajuste emisiones CO2 – Arica

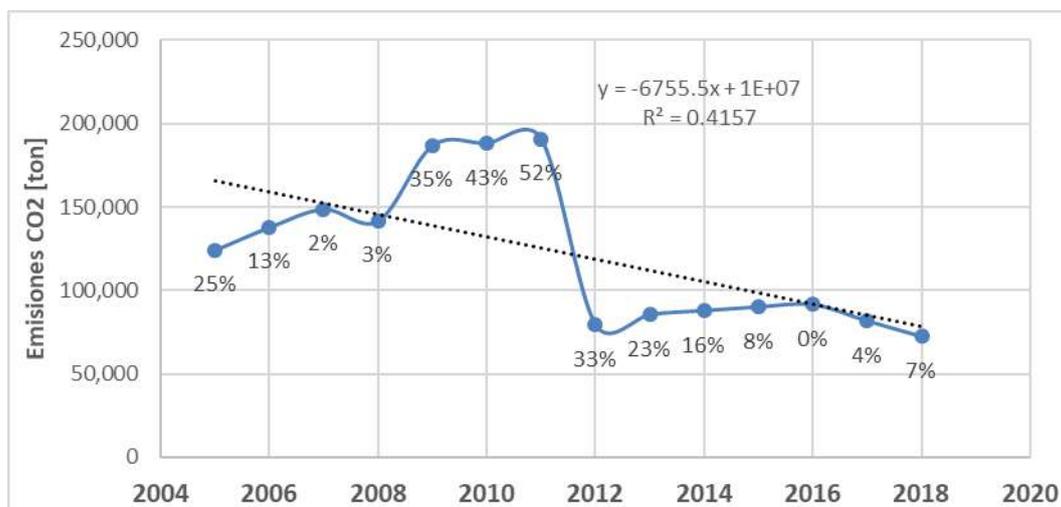


Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.10 3.b Calama

La Figura N°37 muestra la serie de emisiones de CO2 para la ciudad de Calama. Las emisiones de Calama muestran una tendencia interesante. Primero, la marcada disminución desde el año 2011 al 2012 genera un nuevo set de emisiones que se mantiene hasta el 2018. Segundo, durante los años 2017 y 2018 se observa una disminución marcada de las emisiones, que rompe la cierta estabilidad que se observa entre los años 2012 y 2016.

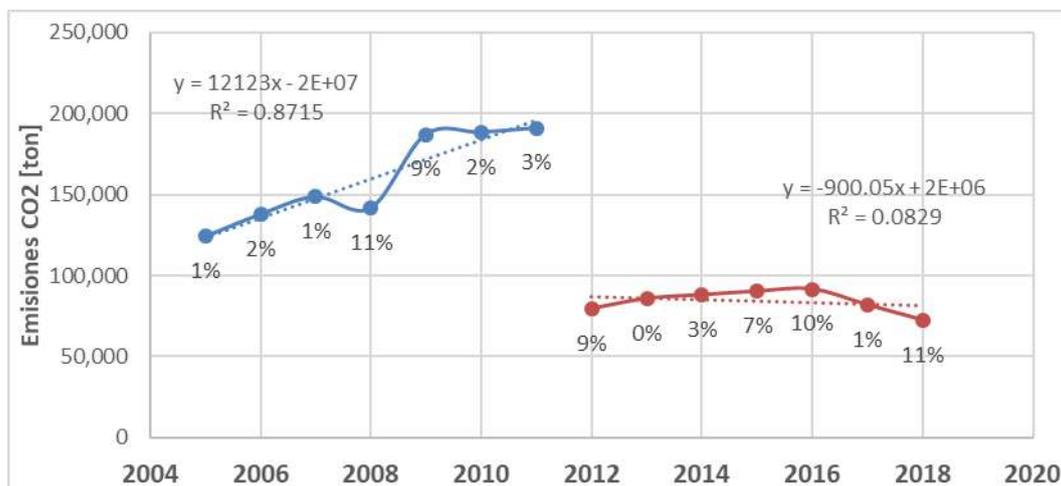
Figura N° 37 Ajuste emisiones CO2 - Calama



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

La Figura N°38 muestra la serie completa de emisiones de CO2 para Calama, dividida en dos sets de años con características aparentemente independientes. Debido a que el año base debiese ser el año más actual posible, el análisis se concentrará en el set de años desde el 2012 al 2018. Durante estos años el aumento de emisiones es prácticamente, manteniéndose un nivel de emisión relativamente estable, lo que además se ve reflejado en el pequeño valor de R² (0.08).

Figura N° 38 Ajuste emisiones CO2 - Calama, sin outliers



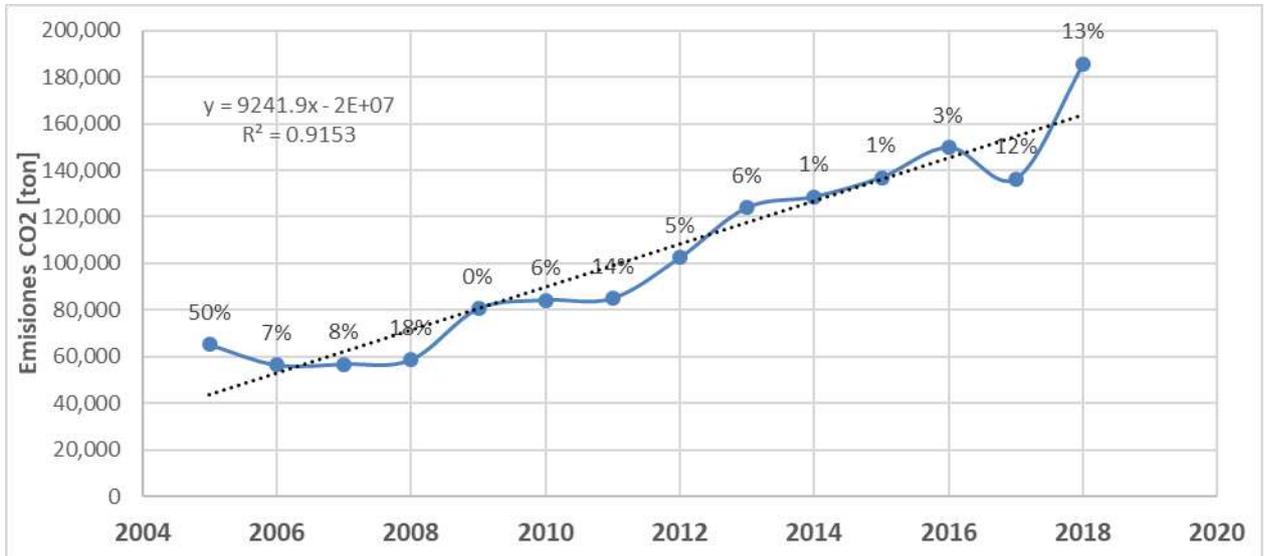
Fuente: Elaboración propia/ Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.11 3.c Copiapó

Las emisiones de Copiapó, tal como muestra la Figura N°39, siguen una tendencia lineal (R² de 0.9) que se quiebra durante los últimos dos años de emisiones (2017 y 2018). Durante el año 2017 se observa una disminución de un 9% con respecto a las emisiones estimadas el año 2016. Luego, durante el año 2018 estas aumentan en un 36% con respecto al año 2017. Esta alta variabilidad en

el crecimiento contrasta con un crecimiento que, con excepción de los años 2009, 2012, y 2013, no superaba el 9 % anual.

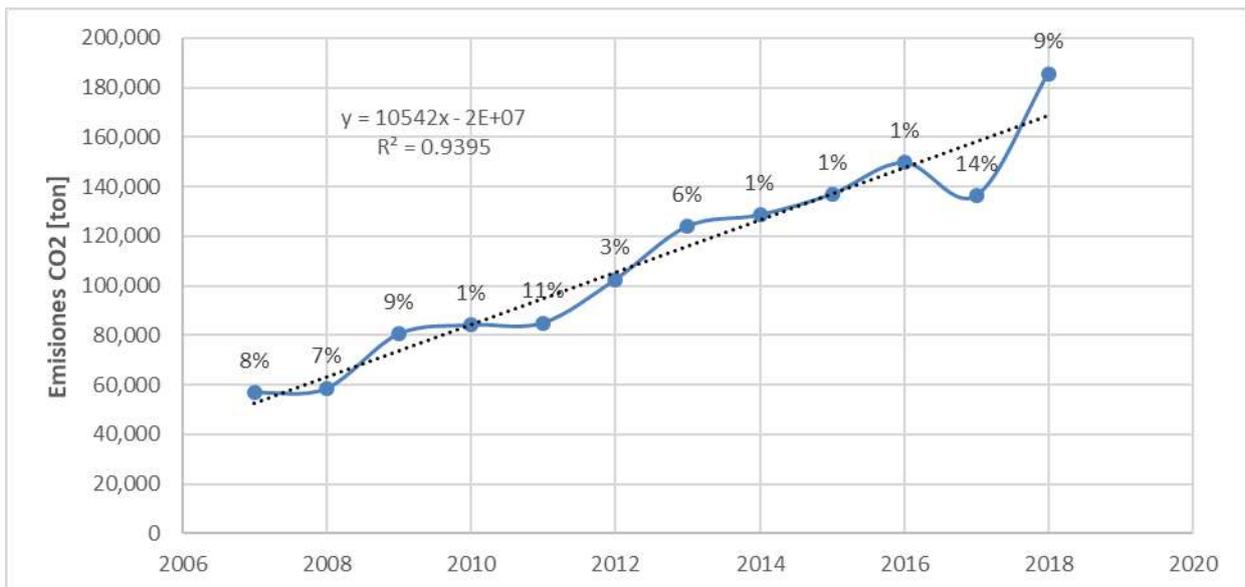
Figura N° 39 Ajuste emisiones CO2 - Copiapó



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

Se realiza una nueva estimación sin incluir el año 2005, calificado como *outlier*, el resultado de esta nueva estimación resulta en un nuevo modelo del cual resulta el año 2006 como *outlier* también. Por esta razón, se elimina también resultando el modelo observable en la Figura N°40.

Figura N° 40 Ajuste emisiones CO2 - Copiapó, sin outliers

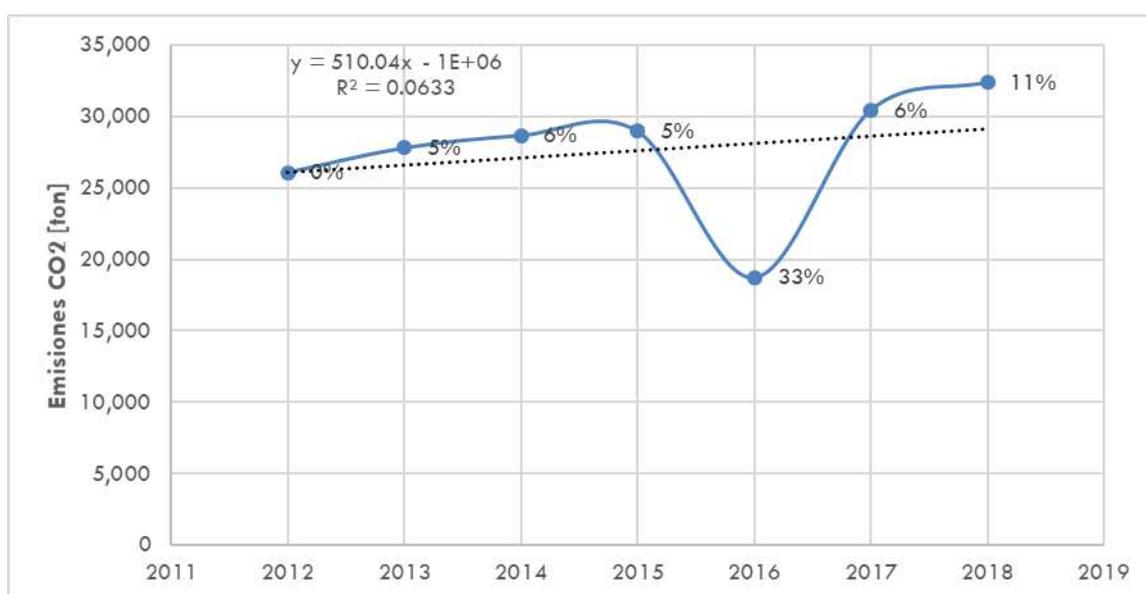


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.123.d Ovalle

Ovalle sólo cuenta con estimaciones MODEM para la serie 2012-2018. Se observa un crecimiento constante interrumpido el año 2016, cuya estimación se sale de la norma esperada, con una disminución de un 35% con respecto al año anterior.

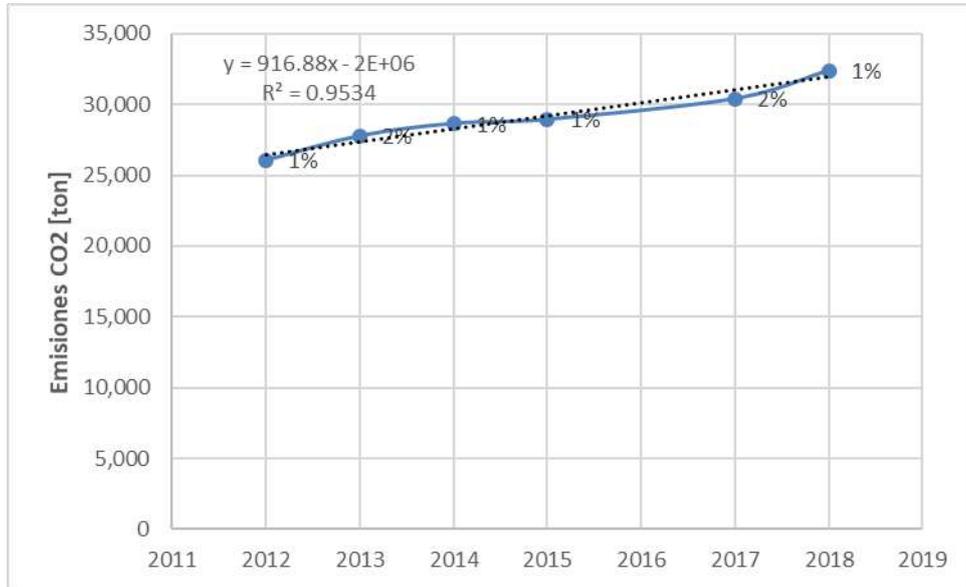
Figura N° 41 Ajuste emisiones CO2 - Ovalle



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

La Figura N°42 muestra la serie de emisiones, sin considerar el *outlier* del año 2016. Se observa que el modelo resultante es sustancialmente mejor.

Figura N° 42 Ajuste emisiones CO2 - Ovalle, sin outliers

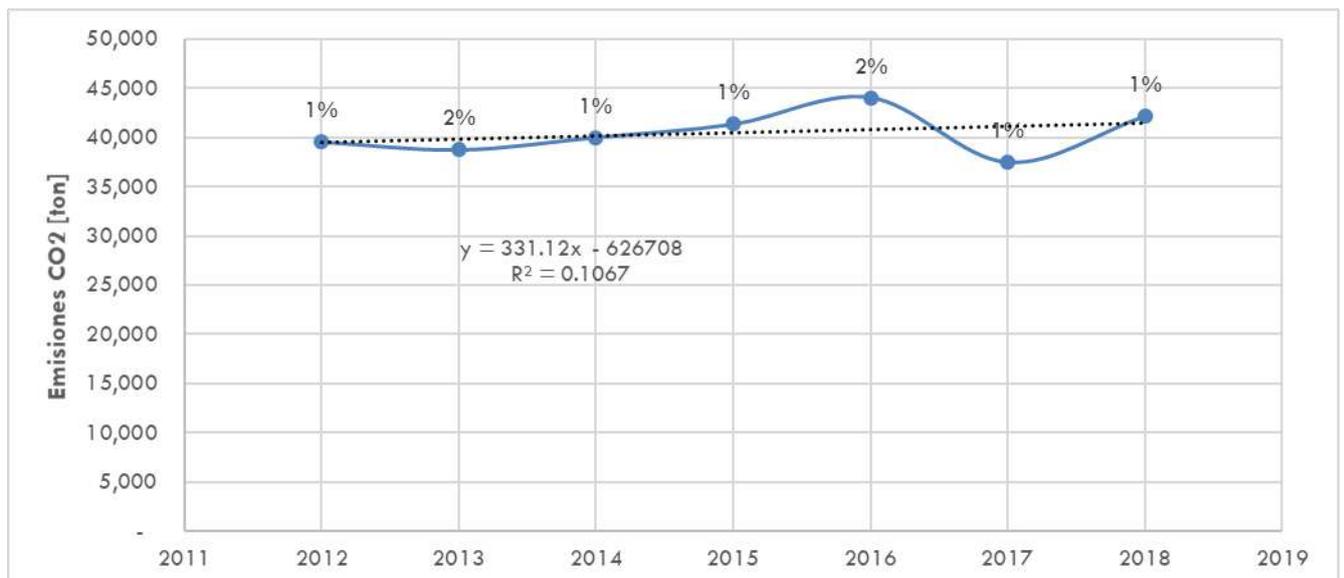


Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

7.1.13 3.e Curicó

Curicó cuenta con estimación desde el año 2012. En la Figura N°43 se observa que las emisiones de CO2 se han mantenido en torno a las 40 mil toneladas durante toda la serie de tiempo. El efecto de esto es un buen nivel de predicción (ninguna estimación MODEM se aleja más allá de 2% de la predicción del modelo lineal, pero con un R² muy bajo).

Figura N° 43 Ajuste emisiones CO2 - Curicó

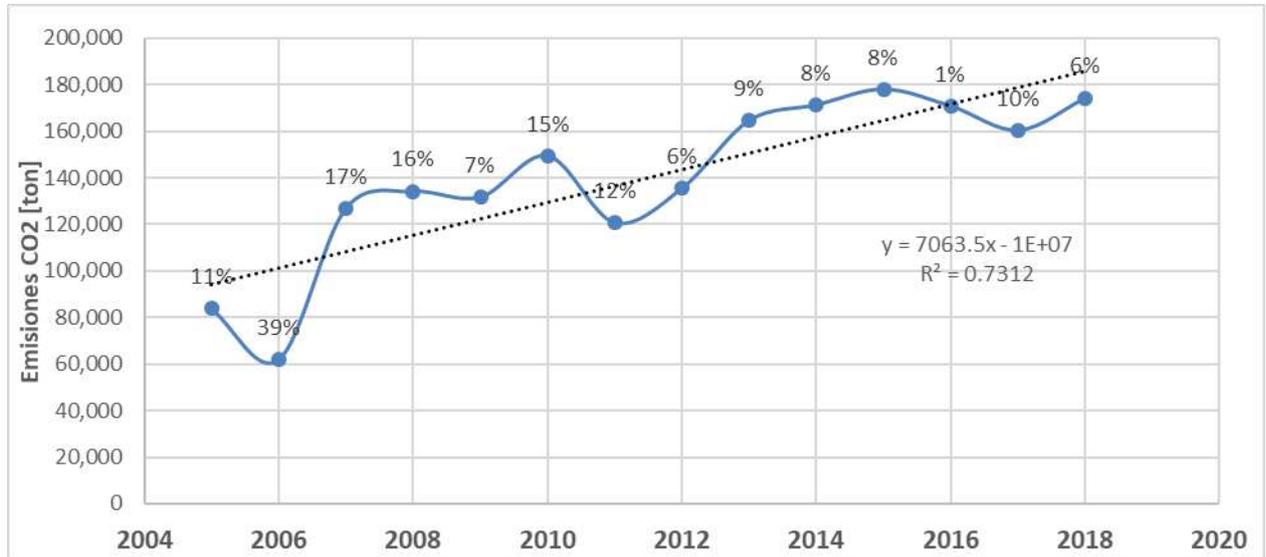


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.143.f Talca

La Figura N°44 muestra la serie de emisiones de CO2 para la ciudad de Talca. Se observa que existen ciertas oscilaciones que resultan en aumentos y reducciones en las emisiones de CO2.

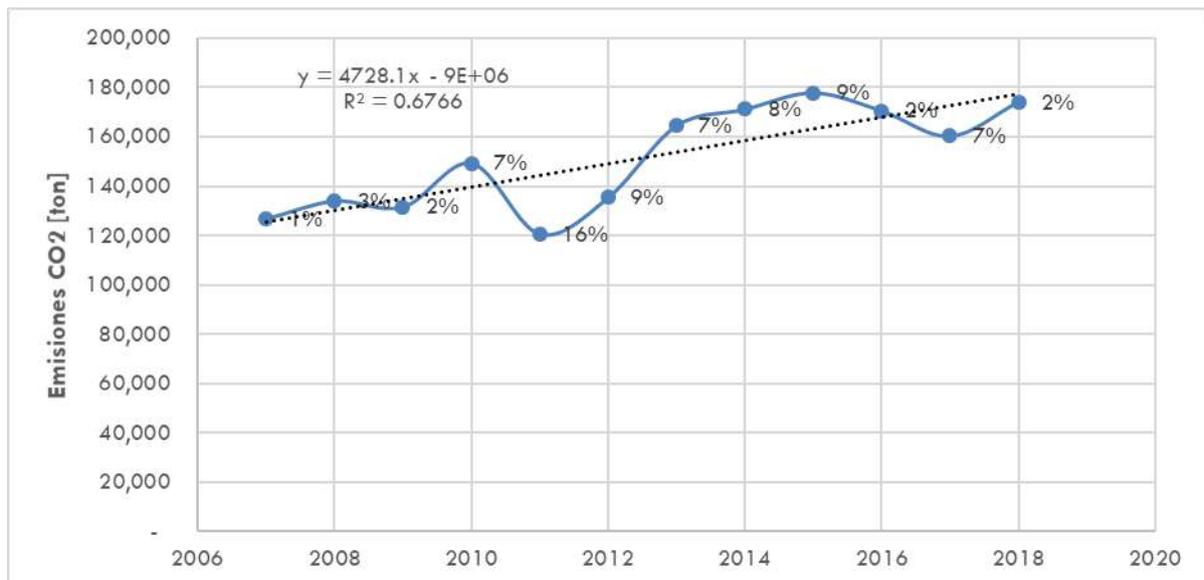
Figura N° 44 Ajuste emisiones CO2 - Talca



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

Al realizar el análisis de *outliers* se observa que el año 2006 resulta en un *outlier*. Al excluir dicho año, el modelo resultante resulta con el año 2005 como *outlier*. El modelo final se presenta en la Figura N°45.

Figura N° 45 Ajuste emisiones CO2 - Talca, sin outliers

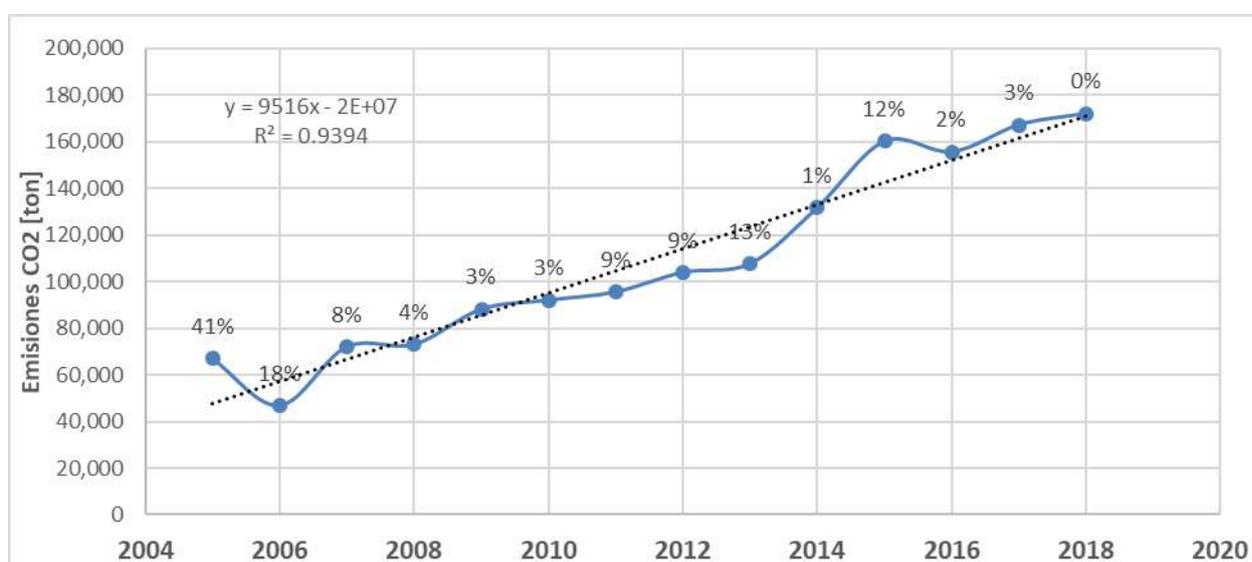


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.15 3.g Chillán

Las emisiones de Chillán siguen una tendencia lineal, con un R^2 aproximado de 0.9. El aumento de emisiones ha sido prácticamente constante desde el año 2005, con una disminución de un 30% con respecto al año anterior el año 2006, que luego se recupera volviendo a los niveles anteriores durante el 2007. También durante los años 2014 y 2015 se observa un aumento de un 22% con respecto al año anterior en ambos años, que luego el año 2016 disminuyen a valores que mantienen una tendencia lineal con respecto a años anteriores.

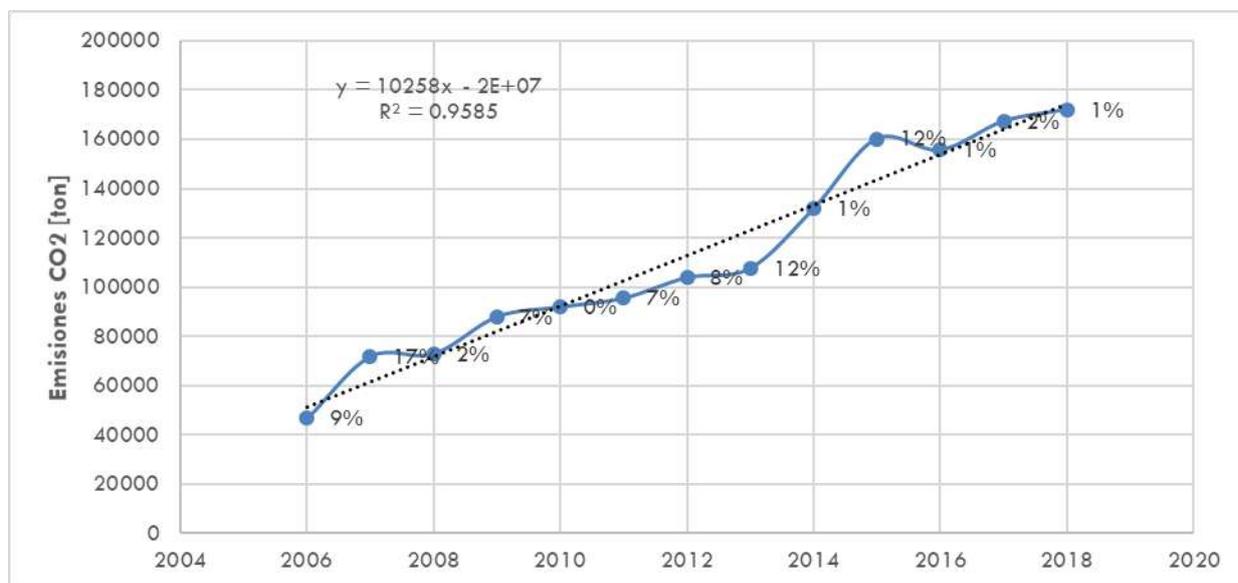
Figura N° 46 Ajuste emisiones CO2 - Chillán



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

En la Figura N°47 se observa el resultado sin el año 2005, que califica como *outlier*. Se observa que su exclusión resulta en un modelo con mejor nivel de predicción.

Figura N° 47 Ajuste emisiones CO2 - Chillán, sin outliers

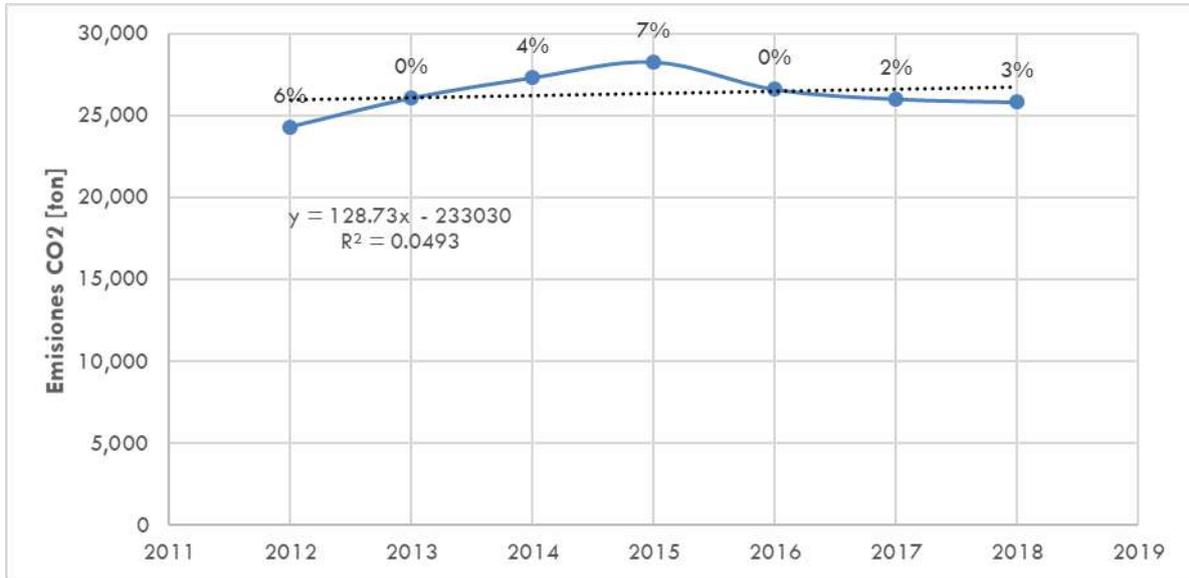


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.16 3.h Linares

Las emisiones de CO2 en Linares muestran que independiente del año las emisiones están en torno a las 26 mil toneladas de CO2. Lo anterior resulta en un modelo con alta capacidad predictiva (la diferencia entre predicción y observación es menor a 7%), pero con un bajo R².

Figura N° 48 Ajuste emisiones CO2 - Linares

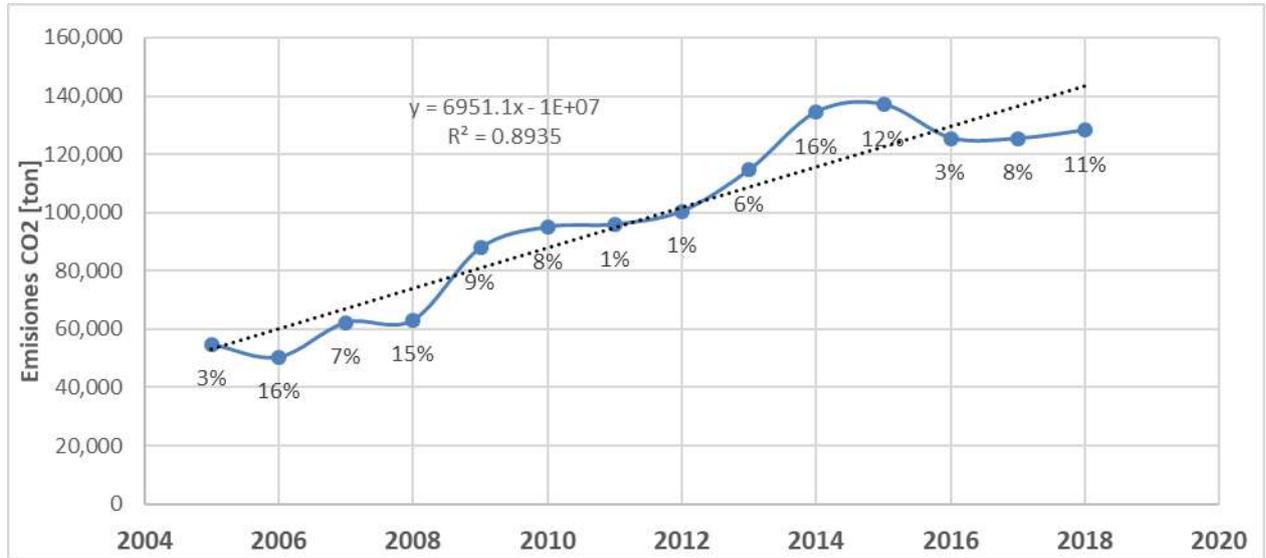


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.173.i Los Ángeles

Las emisiones de la ciudad de Los Ángeles han mantenido un crecimiento relativamente constante a través de los años, con unas ciertas depresiones que se sostienen por un par de años y que se ven seguidas de aumentos sostenidos. El ajuste lineal arroja un R^2 de aproximadamente 0.9, indicando que los datos efectivamente siguen una tendencia principalmente lineal. Las fluctuaciones sostenidas parecen indicar que el que el año 2018 se aleje en un 11% de la estimación lineal, posiblemente no signifique que la estimación de dicho año salga del orden esperado. En ese sentido, seleccionar como año base el 2017 o 2016, ambos años con menor desviación con respecto al mejor ajuste lineal, significaría omitir un pequeño, pero de todas maneras relevante, aumento de emisiones durante el periodo 2016-2018. Por lo tanto, se considera el año 2018 como año base para esta ciudad.

Figura N° 49 Ajuste emisiones CO2 - Los Ángeles

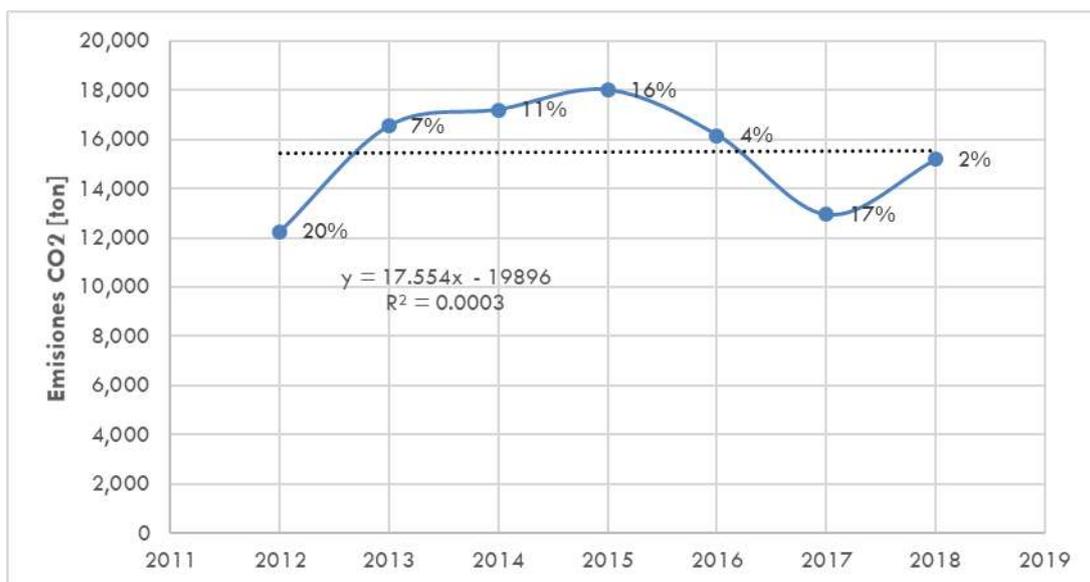


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.18 3.i Angol

La Figura N°50 presenta las emisiones de CO2 de Angol. Se observa que no existe una tendencia clara, pero a diferencias de ciudades como Linares o Curicó se observa que existe una oscilación bastante mayor de las emisiones de CO2

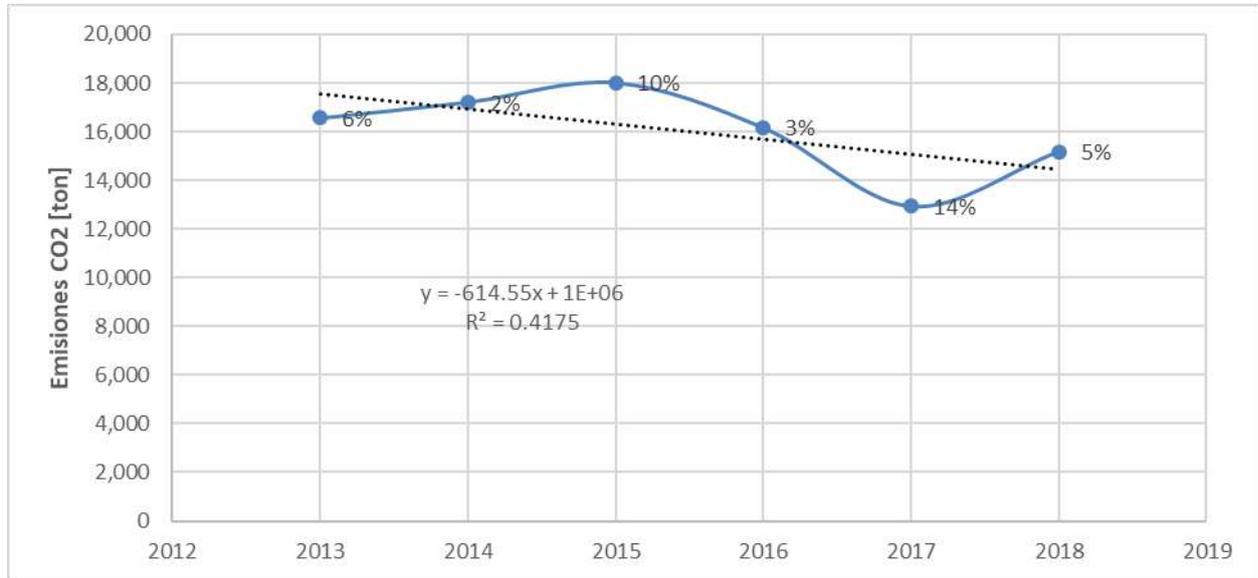
Figura N° 50 Ajuste emisiones CO2 - Angol



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

Al realizar el análisis de tendencia excluyendo el año 2005, por ser calificado como *outlier*, se obtiene la curva observable en la Figura N°51. Se observa que habría una tendencia a la reducción de emisiones, relativamente suave.

Figura N° 51 Ajuste emisiones CO2 - Angol, sin *outlier*

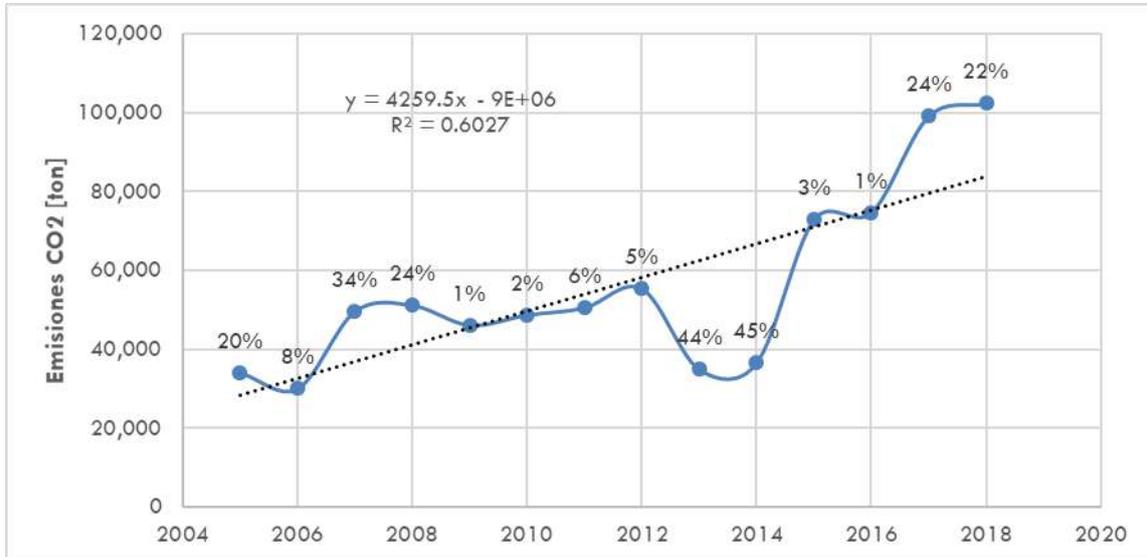


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.19 3.k Osorno

Tal como se muestra en la Figura N°52, las estimaciones de las emisiones de CO2 de Osorno sufrieron una disminución de un 37% el año 2013 con respecto al año anterior, nivel que, si bien aumentó, a grandes rasgos se mantuvo durante el año 2014. Luego, el año 2015 dicha disminución se recuperó siguiendo con niveles similares a los observados hasta el año 2012, para luego aumentar en un 33% el año 2017 con respecto al año 2016.

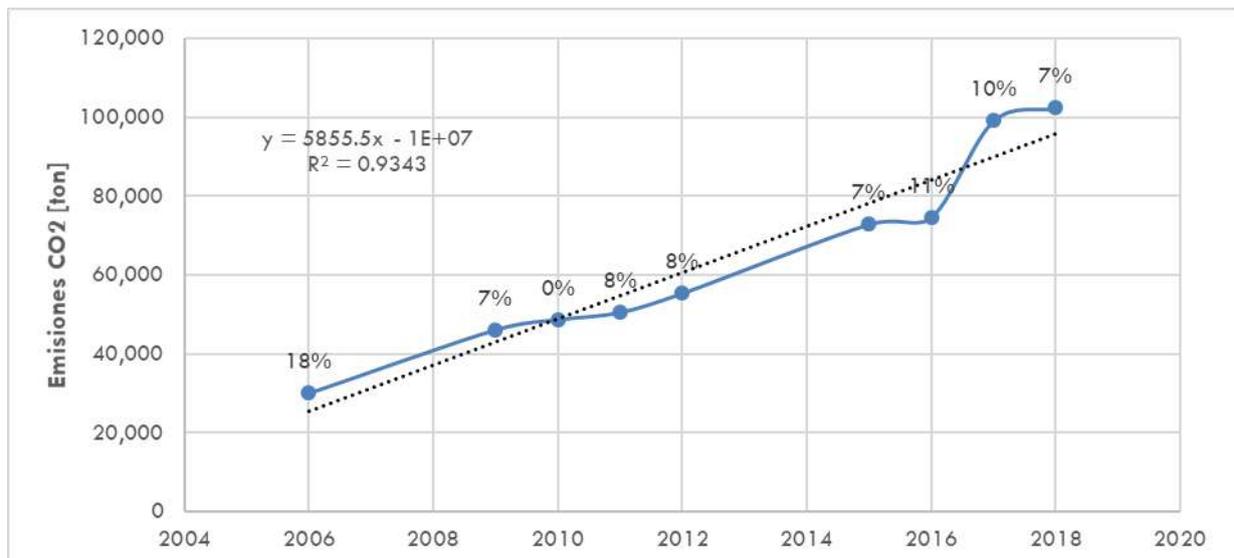
Figura N° 52 Ajuste emisiones CO2 - Osorno



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

Se observa que existe importantes fluctuaciones que resultan en la generación de una serie de datos que sucesivamente califican como *outlier*. La versión final se presenta en la siguiente Figura.

Figura N° 53 Ajuste emisiones CO2 - Osorno, sin outliers

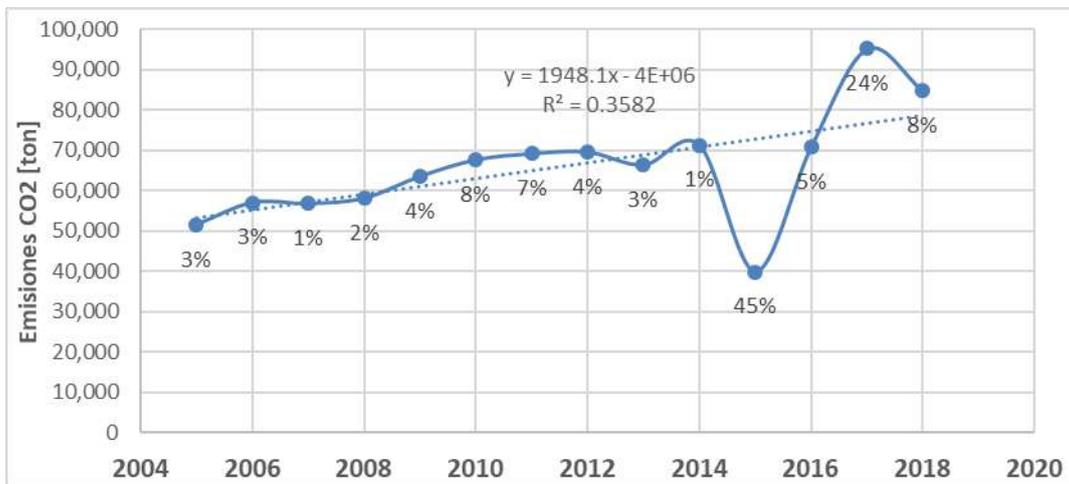


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.20 3.l Valdivia

La Figura N°54 muestra la serie de emisiones de CO2 para la ciudad de Valdivia. Inmediatamente llama la atención la gran disminución que se observa para el año 2015, de un 44% con respecto al año anterior, disminución que luego se revierte hacia el año 2016. El aumento del año 2017 de un 34% con respecto al 2016 también parece estar fuera de orden, en especial debido a la disminución el año siguiente.

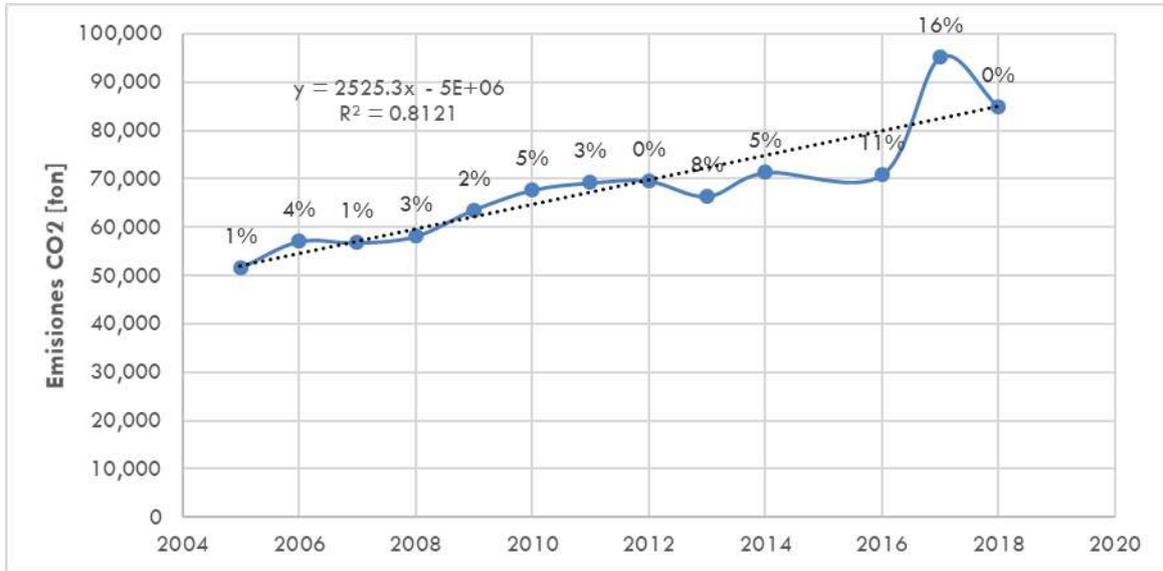
Figura N° 54 Ajuste emisiones CO2 - Valdivia



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

La Figura N°55 muestra la serie para Valdivia sin los valores *outliers* detectados (años 2015). Se observa que con la exclusión del primer *outlier* el resto de los valores están dentro de margen de tolerancia aceptado.

Figura N° 55 Ajuste emisiones CO2 - Valdivia, sin outliers

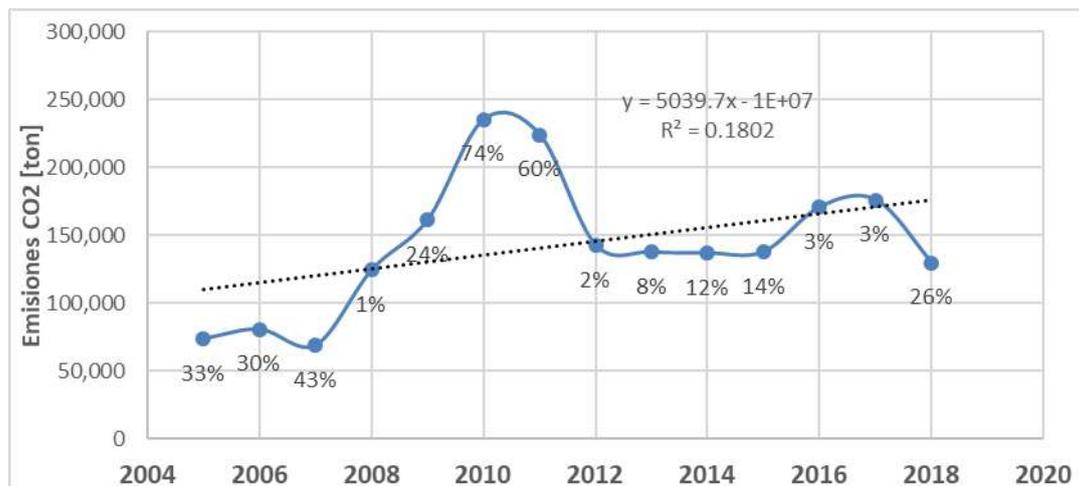


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.21 3.m Puerto Montt

Las emisiones de Puerto Montt siguen un patrón interesante. Tal como se observa en la Figura N°56, parece ser posible dividir la tendencia en dos series independientes. Una que incluye los años 2005, 2006 y desde el 2012 al 2017, y otra que incluye el resto de los años. En particular, el año 2018 parece salirse de toda norma, con una disminución de un 26% con respecto al año anterior, se considera que es un valor *outlier*.

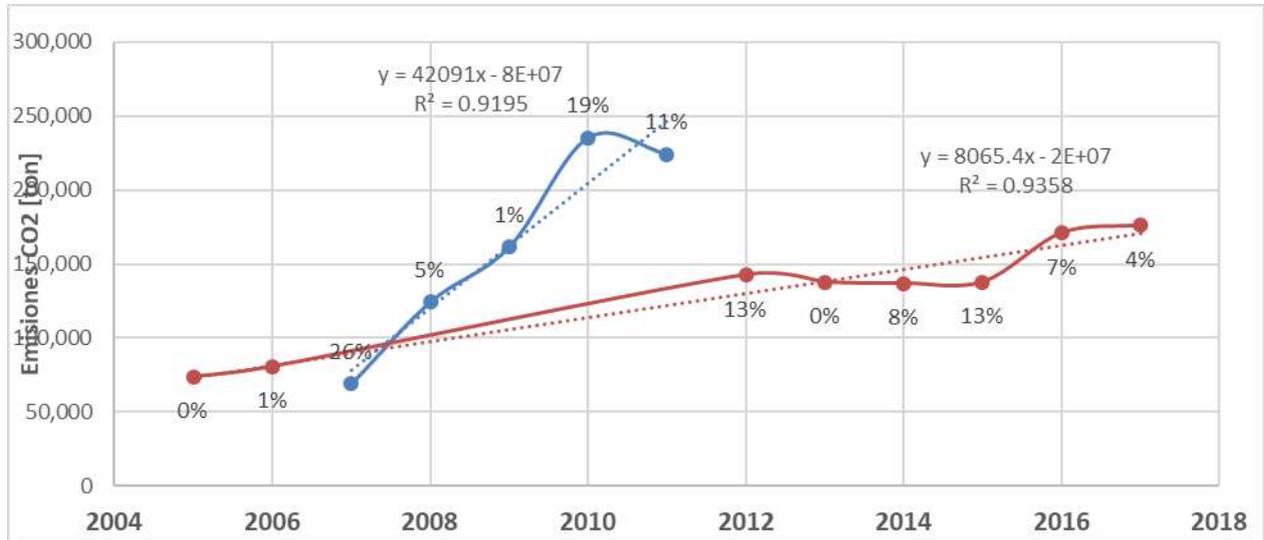
Figura N° 56 Ajuste emisiones CO2 - Puerto Montt



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

La Figura N°57 divide la serie en las dos anteriormente mencionadas y omite el valor del año 2018. De esta forma, se generan dos curvas, ambas con un ajuste lineal adecuado (R^2 de aproximadamente 0.9).

Figura N° 57 Ajuste emisiones CO2 - Puerto Montt, sin outliers

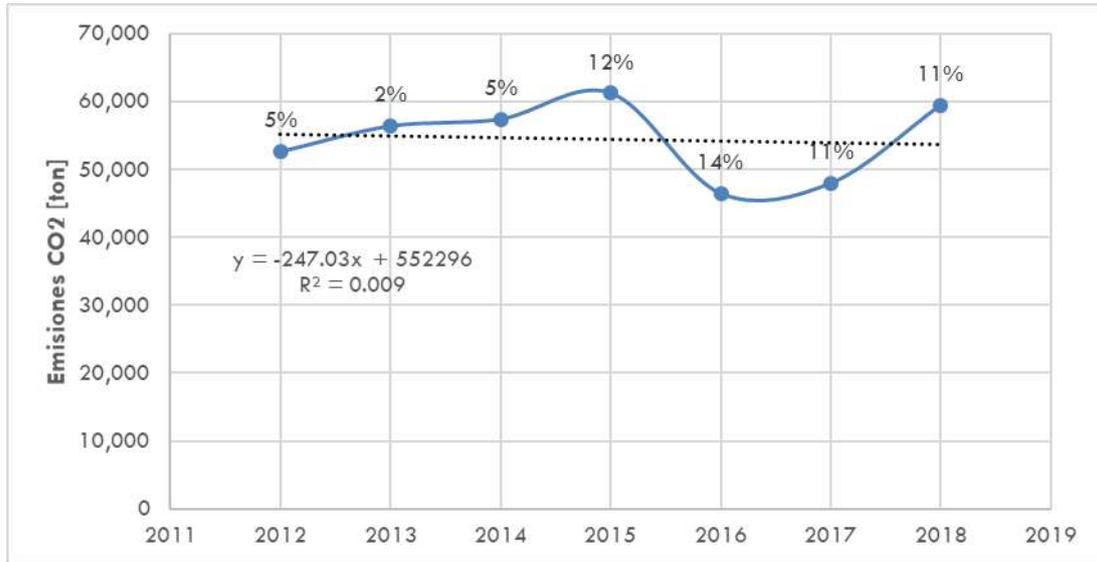


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.1.22 3.n Punta Arenas

La Figura N°58 muestra la serie de emisiones de CO2 para la ciudad de Punta Arenas. Se observa que los valores están en torno a las 55 mil tCO2 independiente del año. Al igual que en otras ciudades con MODEM a partir del 2012, se observa que, si bien se cuenta con un nivel de ajuste alto, la independencia entre el valor independiente (año) y dependiente (emisión CO2) resulta en un R2 bastante bajo.

Figura N° 58 Ajuste emisiones CO2 - Punta Arenas



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) / Fuente datos: Emisiones móviles RETC

7.2 Inventario GEI por extensión de ciudades

7.2.1 1.a Gran Santiago

La ciudad de Gran Santiago abarca las principales comunas de la región Metropolitana, en la zona centro del país. La ciudad se destaca por ser la capital del país; cuenta aproximadamente con el 35% de la población total del país y a su vez el 40% del parque vehicular. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 25 Indicadores GEI Gran Santiago

Nombre Indicador	Valor
Región	Metropolitana (RM)
Mapa ubicación	
Comunas	Santiago, Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Joaquín, San Miguel, San Ramon, Vitacura, Puente Alto, Pirque, Colina, Lampa, Tiltil, San Bernardo, Buin, Calera de Tango, Paine, Talagante, Isla de Maipo, Padre Hurtado, Peñaflo
Población urbana (2017)	7,064,859
Parque vehicular (2018)	2,049,731
Viajes por hora	s/i
Principales particiones modales (Situación base 2025)	Transporte Público: 58% 55% Transporte Privado: 42% 45%
Tiempo de viaje (2011)	Punta Mañana: 47.6 40.9 min
Participación en grandes zonas metropolitanas	78.8% de las emisiones de las grandes zonas metropolitanas
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	59.9% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información Plan Maestro de transporte 2025 de la Ciudad de Gran Santiago (SECTRA, 2013), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 26 Inventario de emisiones [ton/año] para Gran Santiago según año

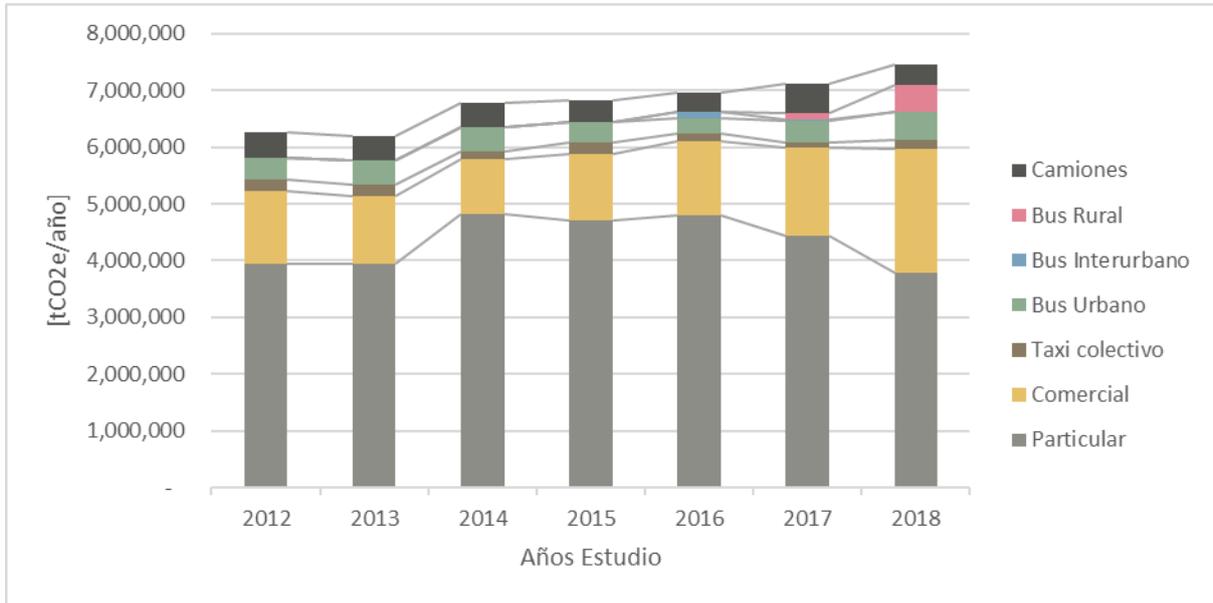
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	6,158,970	6,093,966	6,691,753	6,750,752	6,899,555	7,049,579	7,384,372
CH4	645	761	642	356	355	371	498
N2O	289	256	269	201	199	175	201
MP2.5	730.6	724.7	822.0	1,287.9	1,043.6	823.2	846.4
MP10	919.4	928.1	1,087.7	1,314.5	1,812.1	965.3	1,105.6
CO	201,425.1	176,631.6	146,084.7	97,447.7	105,382.9	93,261.6	83,140.1
NOx	37,087.3	33,511.1	36,829.8	23,282.3	21,544.2	20,356.1	18,373.7
COV	14,564.4	15,856.0	16,731.4	13,234.6	12,512.8	10,844.0	10,699.8
NH3	890.0	815.5	708.6	649.4	661.8	660.2	698.3
SO2	106.1	108.0	117.3	111.4	111.8	100.1	111.6

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI de la zona metropolitana de Gran Santiago para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 6.2 MtCO₂eq del año 2012 a un 7.5 MtCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 2.95%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose el año 2013 donde el resultado apunta a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 59 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Gran Santiago

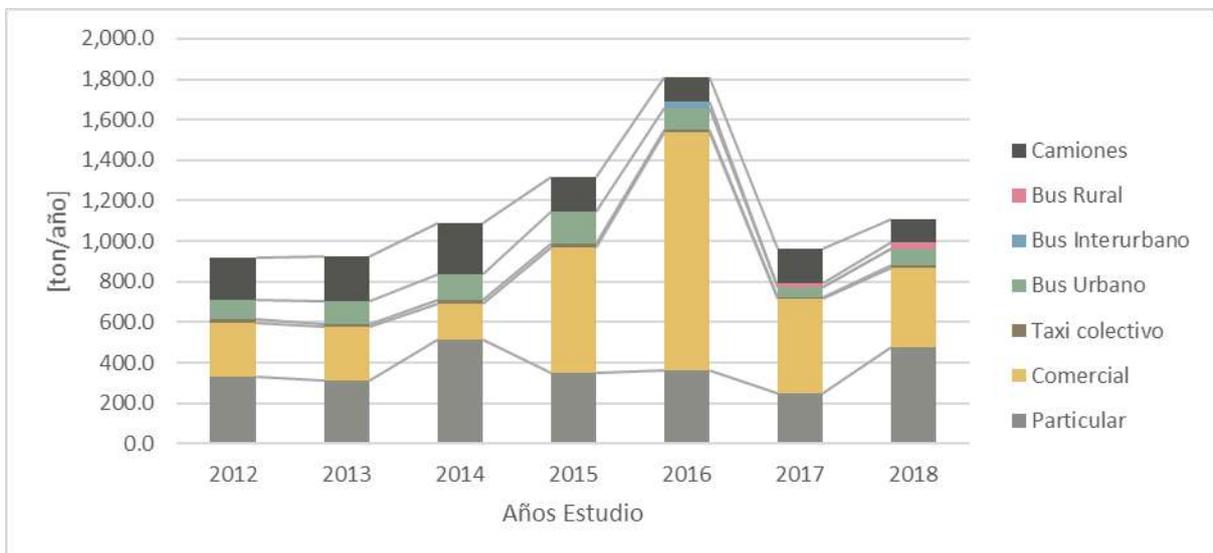


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones material particulado

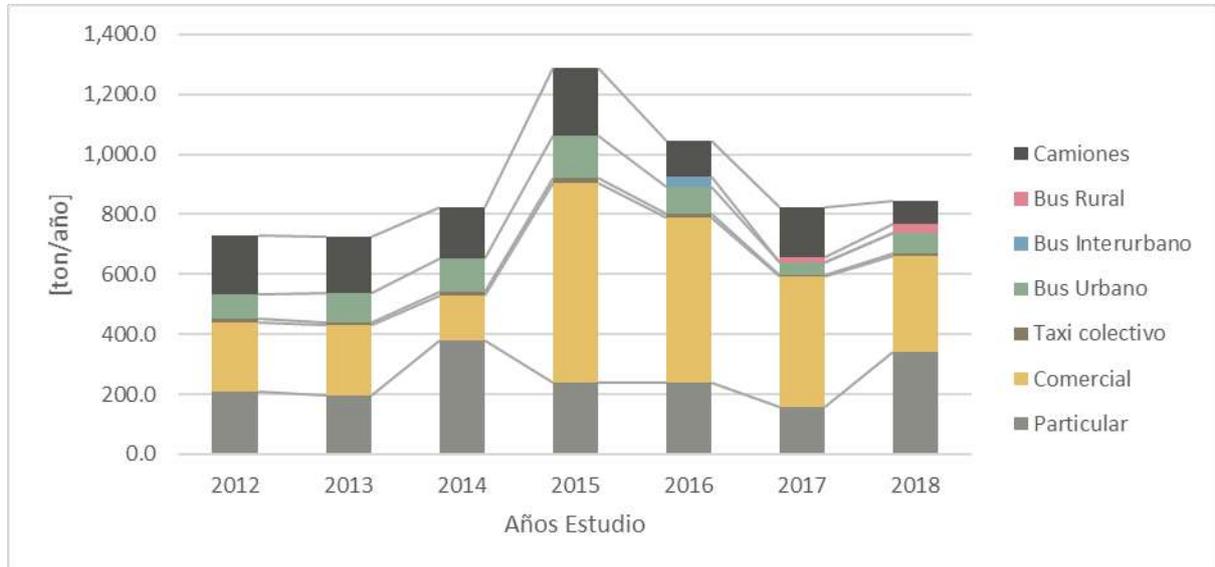
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 60 Resultado estimación MP10 [ton/año] Gran Santiago



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 61 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Gran Santiago

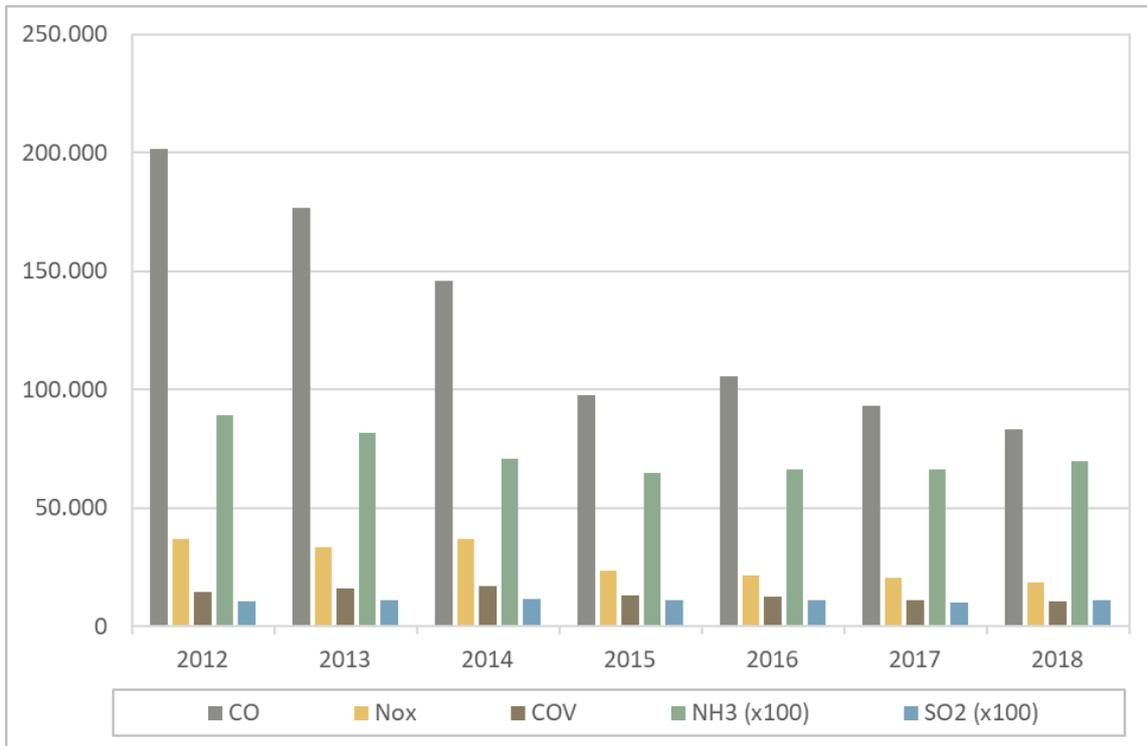


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existe una tendencia a la disminución de un año a otro, siendo los años 205-2016 los únicos que rompen esta tendencia con un incremento entre estos años. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 62 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Gran Santiago



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.2 1.b Gran Valparaíso

La ciudad de Gran Valparaíso abarca las principales comunas de la región del mismo nombre, en la zona centro del país. La ciudad se destaca por su alto turismo proveniente de la capital y por contar con un puerto con alta intensidad de operación asociado a las exportaciones agrícolas y comerciales. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 27 Indicadores GEI Gran Valparaíso

Nombre Indicador	Valor
Región	Valparaíso (V)
Mapa ubicación	
Comunas	Valparaíso, Viña del Mar, Concón, Quilpué, Villa Alemana
Población urbana (2017)	985,198
Parque vehicular (2018)	247,114
Viajes por hora	Punta Mañana: 365,189; Fuera de Punta:128,143
Principales particiones modales (2018)	Transporte Público: 48% Transporte Privado: 40%
Tiempo de viaje (2020)	Punta Mañana: 60.4 minutos (Bus)
Participación en grandes zonas metropolitanas	9.5% de las emisiones de las grandes zonas metropolitanas
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	7.2% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) propia con información de actualización diagnóstico del STU del Gran Valparaíso (SECTRA, 2018), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N°28 Inventario de emisiones [ton/año] para Gran Valparaíso según año

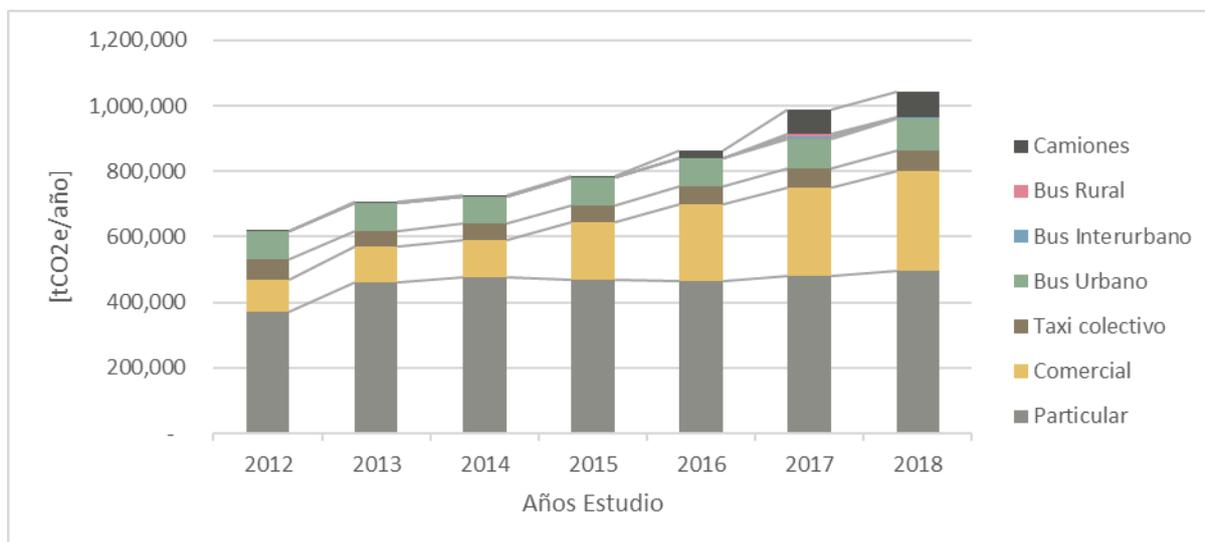
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	608,960	696,948	716,251	775,588	856,305	983,206	1,040,235
CH4	81	84	86	88	92	103	94
N2O	27	27	28	23	20	12	8
MP2.5	69.0	91.8	94.2	144.8	123.9	98.9	93.4
MP10	90.5	114.0	117.0	172.8	146.4	109.1	166.4
CO	25,896.6	22,834.7	20,738.6	18,717.8	16,711.8	15,509.9	14,561.3
NOx	5,829.9	5,572.0	5,749.6	5,514.4	5,272.1	4,818.1	5,054.0
COV	2,773.8	2,610.2	2,751.5	1,507.1	1,338.7	1,139.5	1,213.2
NH3	118.5	121.6	124.8	96.7	84.3	42.4	151.9
SO2	10.5	11.4	11.8	12.9	12.9	11.7	11.9

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Gran Valparaíso para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 619 ktCO₂eq del año 2012 a un 1.04 MtCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 9.12%

Figura N° 63 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Gran Valparaíso

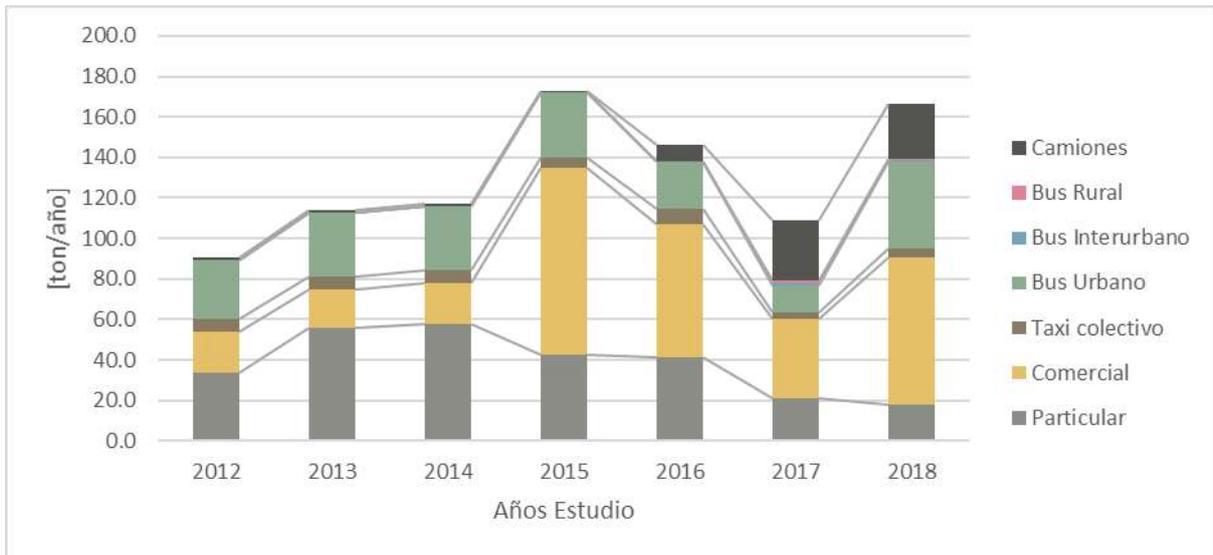


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones material particulado

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 64 Resultado estimación MP10 [ton/año] Gran Valparaíso



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 65 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Gran Valparaíso

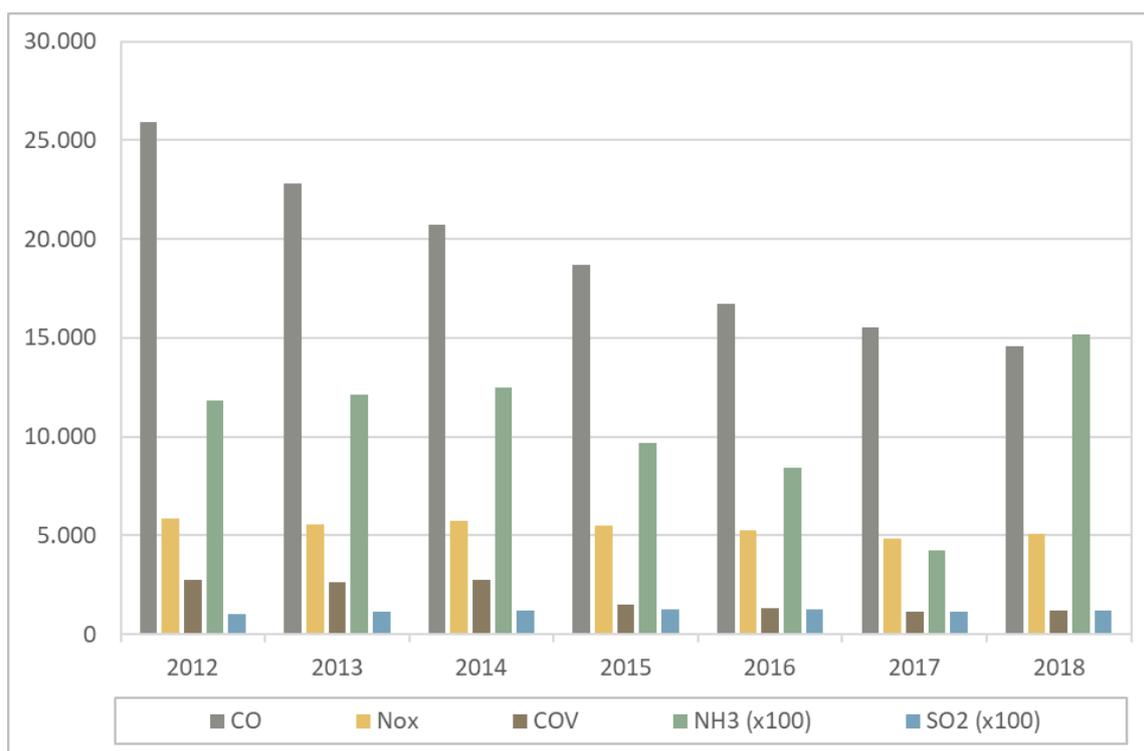


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existe una tendencia a la disminución a través de los años. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión, lo que podría explicar este fenómeno de disminución.

Figura N° 66 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Gran Valparaíso

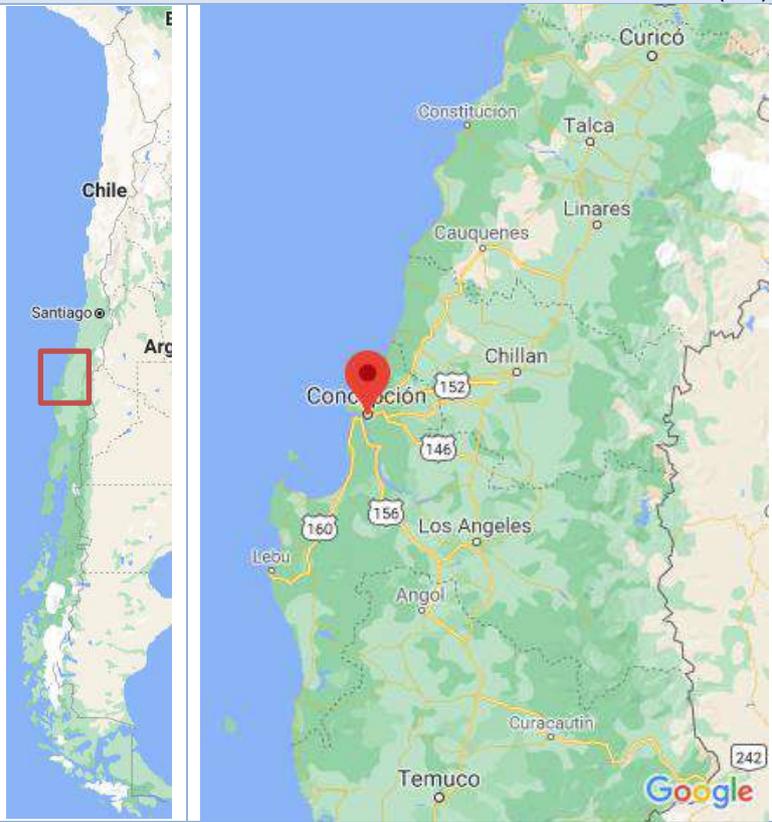


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.3 1.c Gran Concepción

La ciudad de Gran Concepción abarca las principales comunas de la región del Biobío, en la zona centro sur del país. La ciudad se destaca por contar con un puerto con alta intensidad de operación en la comuna de Talcahuano y tener una fuerte presencia de industrias manufactureras. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 29 Indicadores GEI Gran Concepción

Nombre Indicador	Valor
Región	Biobío (VIII)
Mapa ubicación	
Comunas	Concepción, Talcahuano, Chiguayante, San Pedro de la Paz, Hualpén, Penco, Tomé, Coronel, Lota, Hualqui, Santa Juana, Florida
Población urbana (2017)	1,014,058
Parque vehicular (2018)	280,175
Viajes por hora	Punta Mañana: 194.976. Fuera de Punta: 52.420
Principales particiones modales (2015)	Transporte Público: 57.4% Transporte Privado: 22.7% Otros: 19.8%
Tiempo de viaje	37 min
Participación en grandes zonas metropolitanas	11.7% de las emisiones de las grandes zonas metropolitanas
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	8.9% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de actualización diagnóstico del STU de la Ciudad de Gran Concepción (SECTRA, 2015), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por

categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 30 Inventario de emisiones [ton/año] para Gran Concepción según año

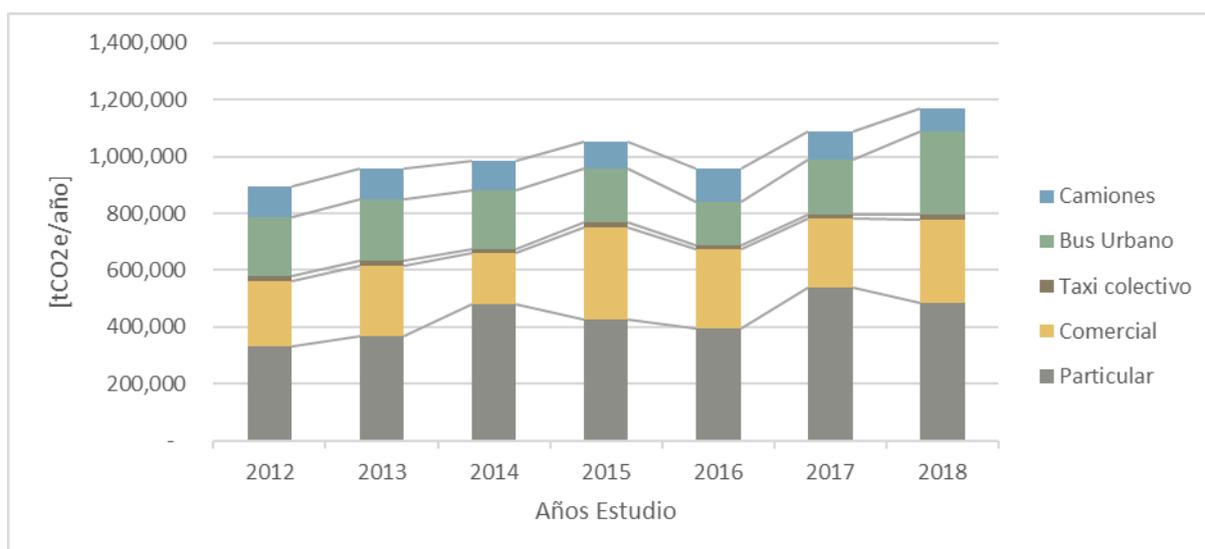
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	876,700	940,771	971,173	1,040.203	946,642	1,074,847	1,155,191
CH4	158	166	138	110	95	102	89
N2O	43	39	37	29	26	32	36
MP2.5	209.3	216.0	194.5	322.0	286.1	277.4	293.9
MP10	237.4	244.9	223.7	221.5	305.4	301.1	536.9
CO	41,889.0	44,617.2	33,722.0	14,252.2	13,554.1	17,393.0	20,335.4
NOx	10,228.7	10,635.2	8,580.9	5,625.8	5,355.3	5,932.6	6,029.1
COV	4,564.9	4,847.0	3,176.5	1,828.0	1,753.2	2,107.1	2,073.1
NH3	106.9	110.6	107.8	83.9	73.7	96.5	94.3
SO2	13.3	13.9	14.1	14.7	13.3	15.3	12.6

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Gran Concepción para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 893.3 ktCO₂eq del año 2012 a un 1.2 MtCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 4.57%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose que el año 2016 los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 67 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Gran Concepción

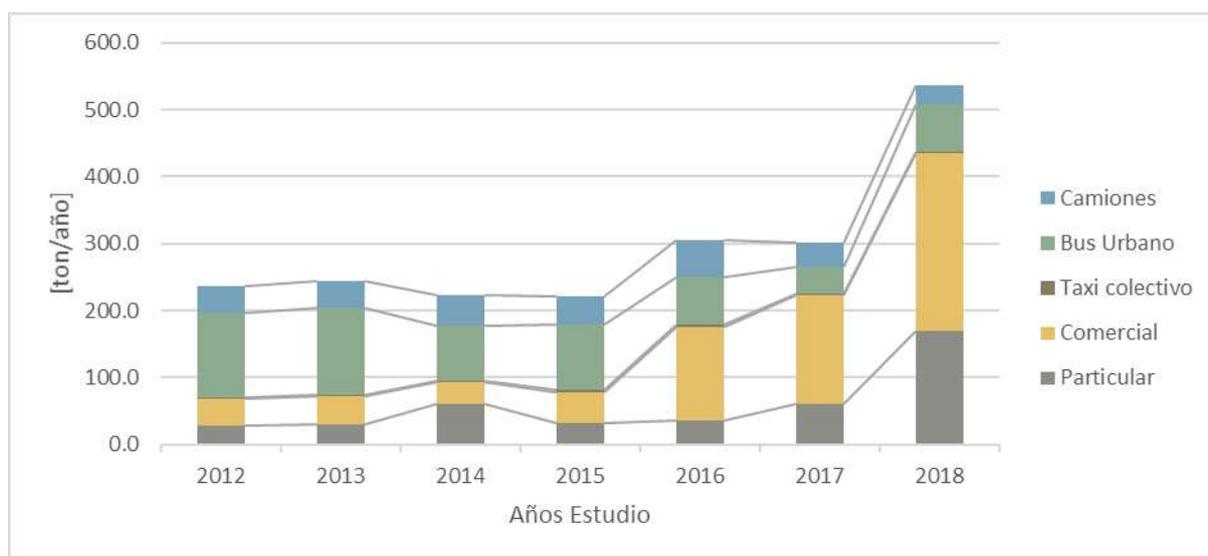


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones material particulado

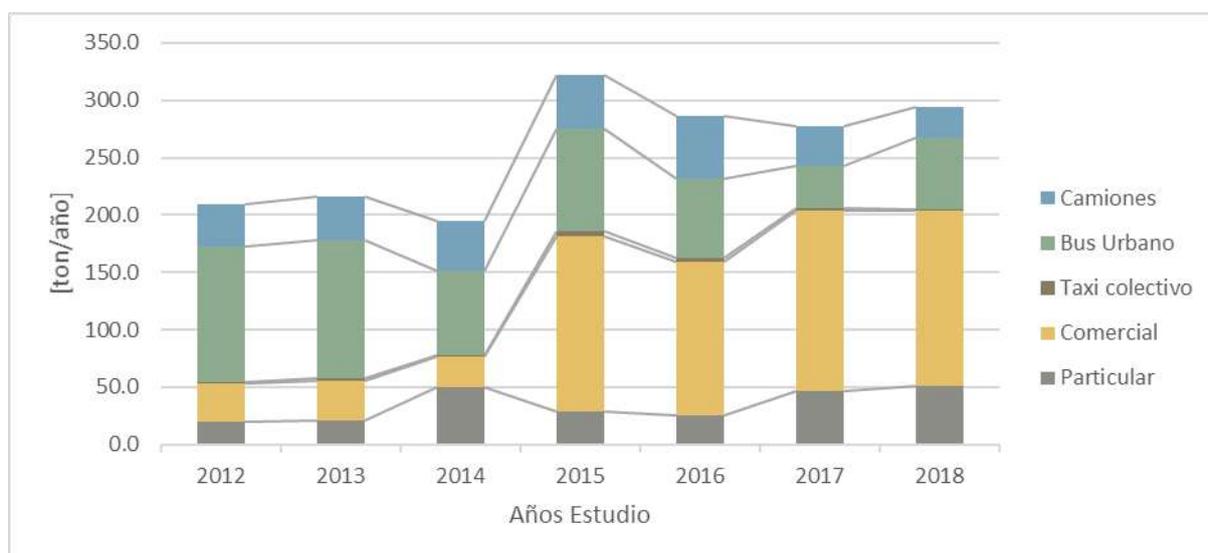
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 68 Resultado estimación MP10 [ton/año] Gran Concepción



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 69 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Gran Concepción

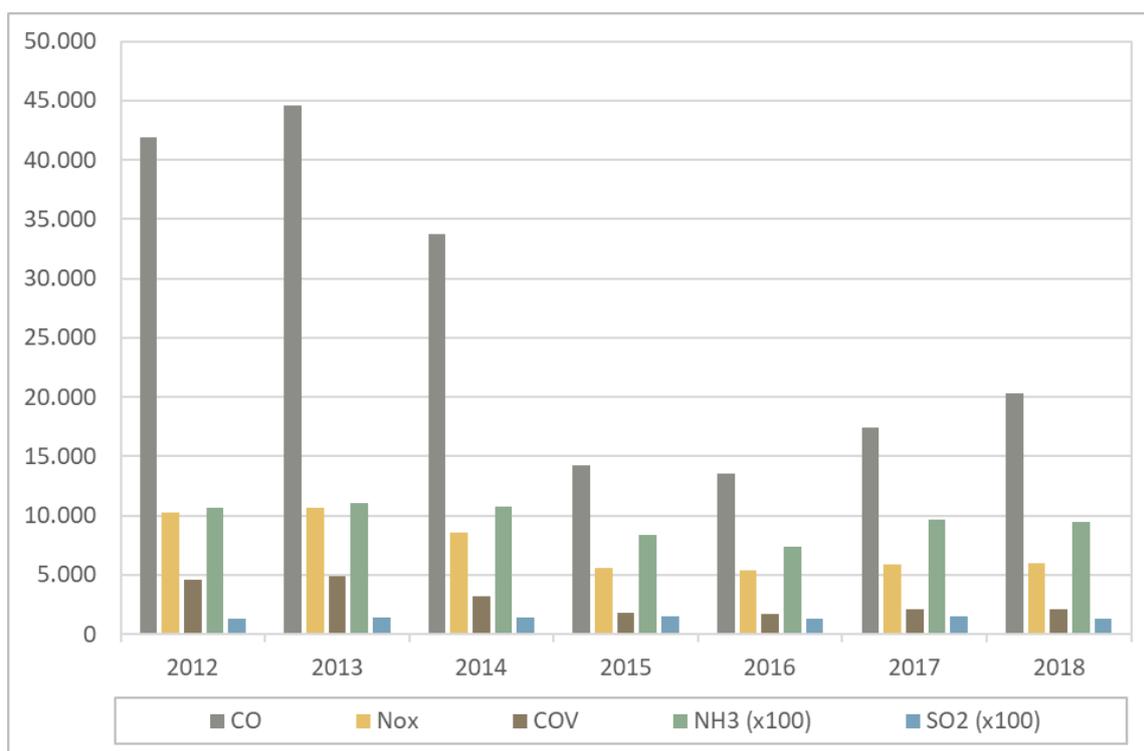


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 70 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Gran Concepción



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.4 2.a Iquique

La ciudad de Iquique se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona norte del país. La ciudad se destaca por contar con fuerte comercio internacional a través de la zona franca y por contar con un puerto con alta intensidad de operación asociado a la minería. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 31 Indicadores GEI Iquique

Nombre Indicador	Valor
Región	Tarapacá (I)
Mapa ubicación	
Comunas	Iquique, Alto Hospicio
Población urbana (2017)	310,843
Parque vehicular (2018)	120,104
Viajes por hora (2010)	Punta Mañana: 90,663. Fuera de punta: 48,734
Principales particiones modales (situación base 2025)	Caminata: 24.7% Auto-Chofer: 24.4% Auto Acompañante: 22.9% Bus: 11.1% Taxi Colectivo: 16.8%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 1	17.5 de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 1 (más de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	2.3% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de actualización diagnóstico del STU de la Ciudad de Iquique (SECTRA, 2010), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 32 Inventario de emisiones [ton/año] para Iquique según año

Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	224,585	202,942	244,157	251,387	249,684	275,617	321,156
CH4	29	17	20	21	22	23	18
N2O	13	9	10	11	10	11	12
MP2.5	45.2	36.5	39.3	40.7	132.4	141.6	107.3
MP10	53.3	43.2	46.9	48.5	138.9	148.9	117.2
CO	7,030.0	4,784.9	5,084.6	5,363.9	5,976.9	6,957.6	6,747.8
NOx	2,026.2	1,437.1	1,534.1	1,588.2	1,613.3	1,745.9	1,232.7
COV	1,085.7	819.3	841.4	872.5	1,145.3	1,243.3	1,205.1
NH3	17.9	23.3	37.9	38.7	34.2	36.1	46.3
SO2	4.0	3.0	3.6	3.8	3.5	4.0	3.5

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Iquique para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 229.3 ktCO₂eq del año 2012 a un 325.1 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 5.99%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose dos años 2013 y 2016 donde los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior

Figura N° 71 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año] Iquique

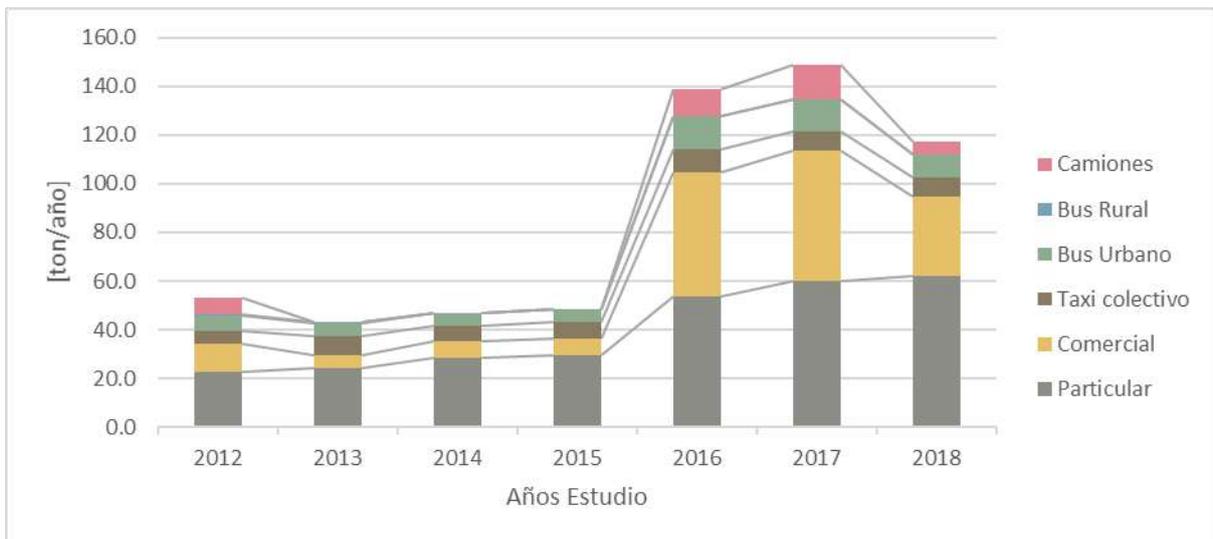


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

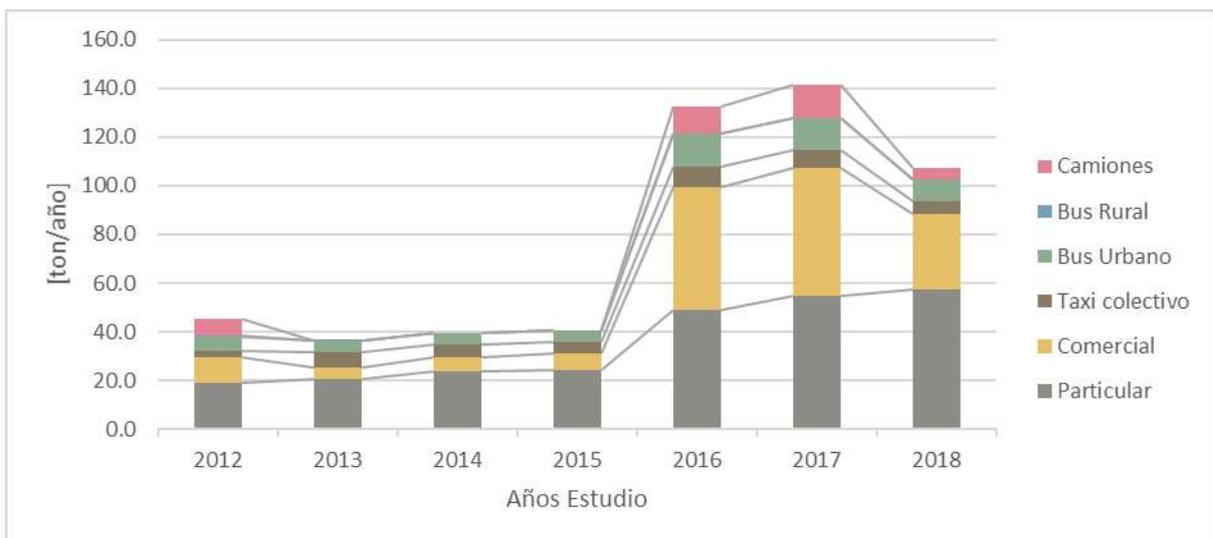
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 72 Resultado estimación MP10 [ton/año] Iquique



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Figura N° 73 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Iquique

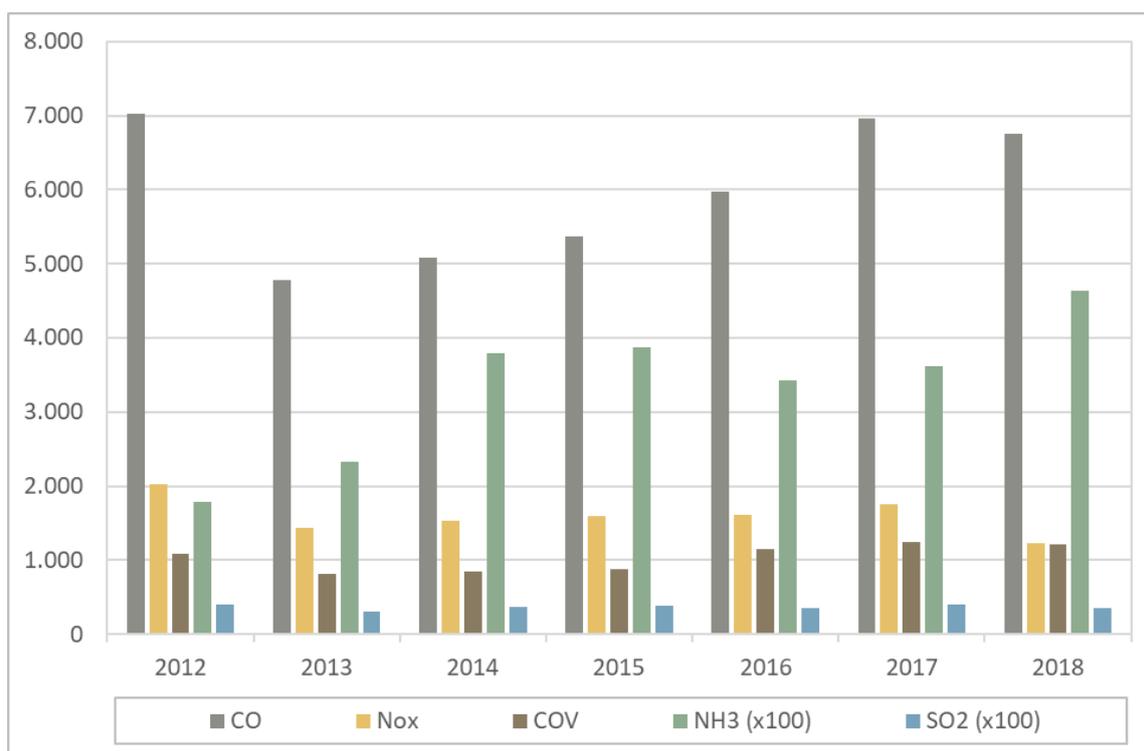


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 74 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Iquique



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.5 2.b Antofagasta

La ciudad de Antofagasta se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona norte del país. La ciudad se destaca por contar con un puerto con alta intensidad de operación asociado a la operación de las minas de la zona norte del país. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 33 Descripción general de Antofagasta

Nombre Indicador	Valor
Región	Antofagasta (II Región)
Mapa ubicación	
Comuna	Antofagasta
Población urbana (2017)	373,442
Parque vehicular (2018)	99,805
Viajes por hora	Punta Mañana: 44,932; Fuera de Punta: 23,518
Principales particiones modales (2014)	Caminata: 28.3% Taxibus: 24.2% Auto-Chofer: 18.7%
Tiempo de viaje	Punta Mañana: 15 minutos
Participación en ciudades intermedias tipo 1	21.4% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 1 (más de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	2.8% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de actualización diagnóstico del STU de la Ciudad de Antofagasta (SECTRA, 2014), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 34 Total emisiones [ton/año] para Antofagasta, según año

Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	271,973	269,952	315,254	327,691	332,215	295,083	356,575
CH4	31	28	32	33	37	34	26
N2O	12	10	12	13	12	11	10
MP2.5	45	51	59	61	106	88	105
MP10	37	44	50	52	98	81	93
CO	1,775	1,524	1,694	1,754	1,757	1,444	1,545
NOx	6,610	3,940	5,104	5,325	5,464	4,688	3,514
COV	783	559	652	668	866	716	511
NH3	4	4	5	5	5	4	4
SO2	30	25	26	27	23	21	18

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Antofagasta para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 276.4 ktCO₂eq del año 2012 a un 360.2 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 4.51%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose dos años 2013 y 2017 donde los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 75 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año]

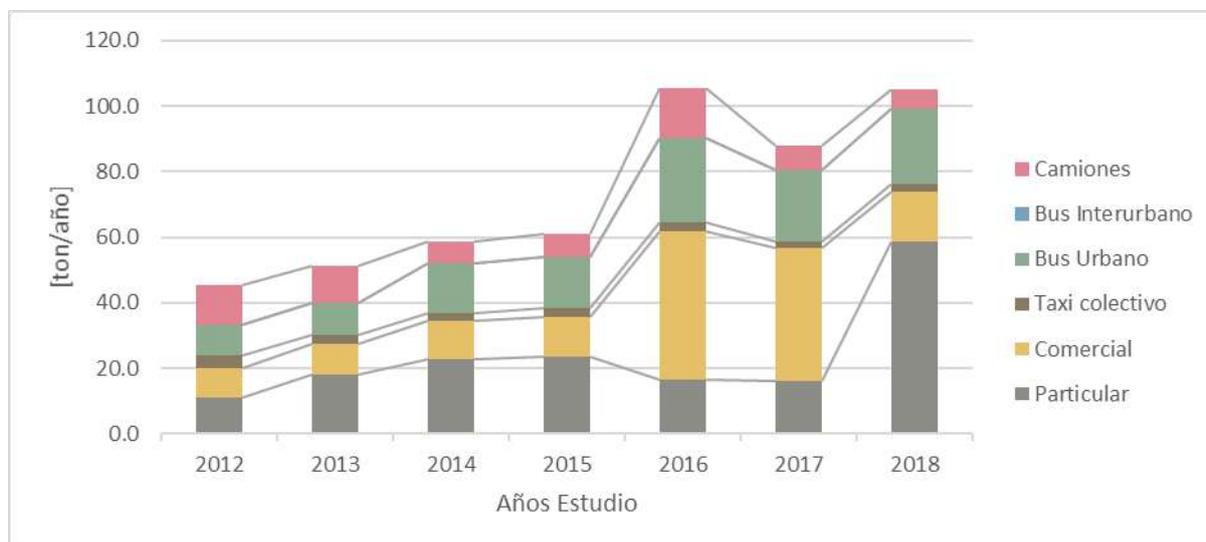


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

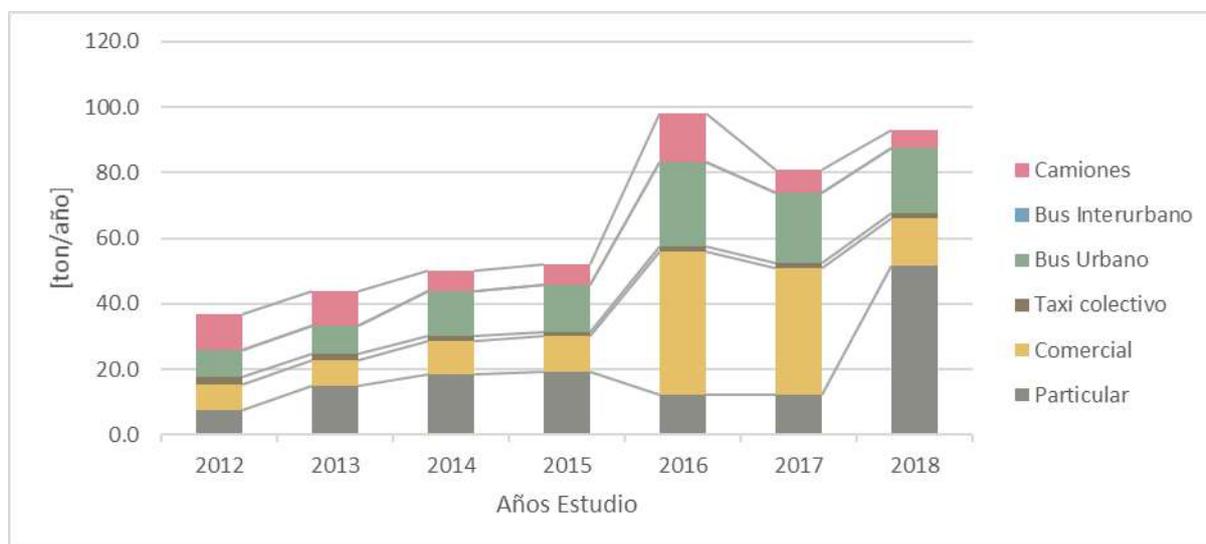
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 76 Resultado estimación MP10 [ton/año]



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 77 Resultado estimación MP2.5 [ton/año]

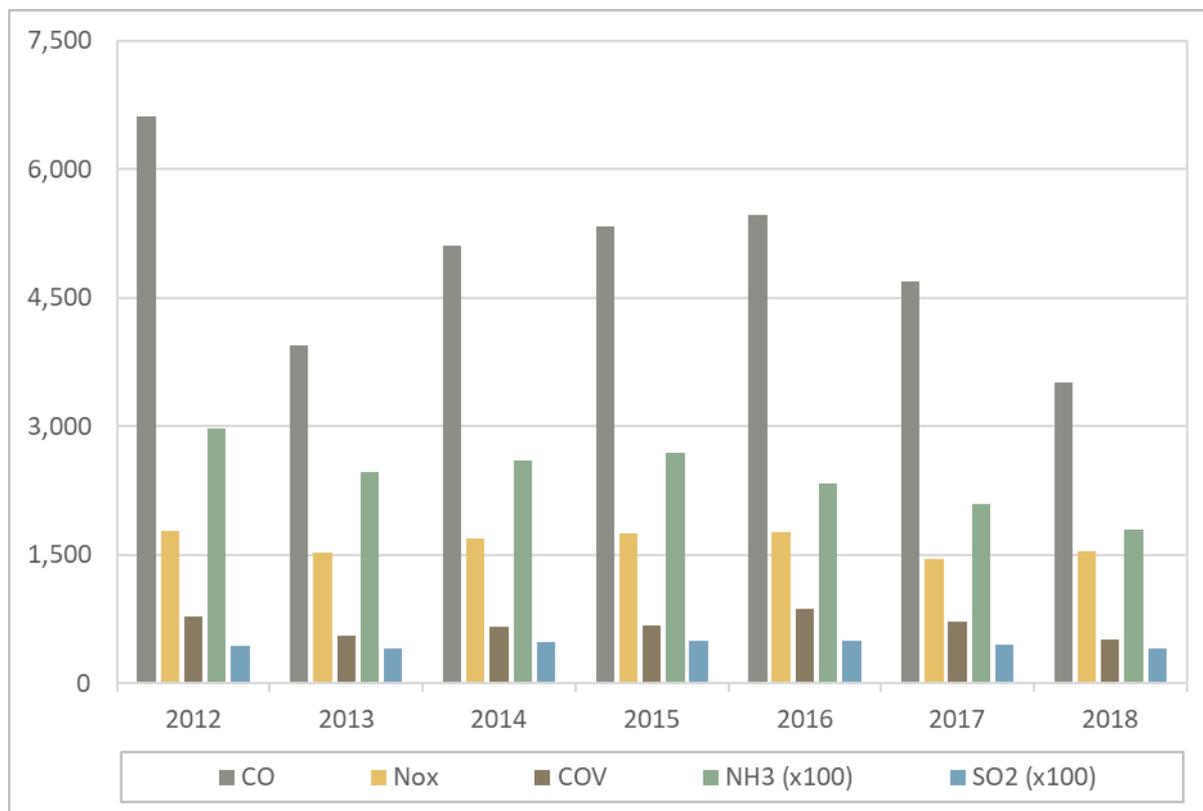


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 78 Resultado estimación gases de combustión [ton/año]



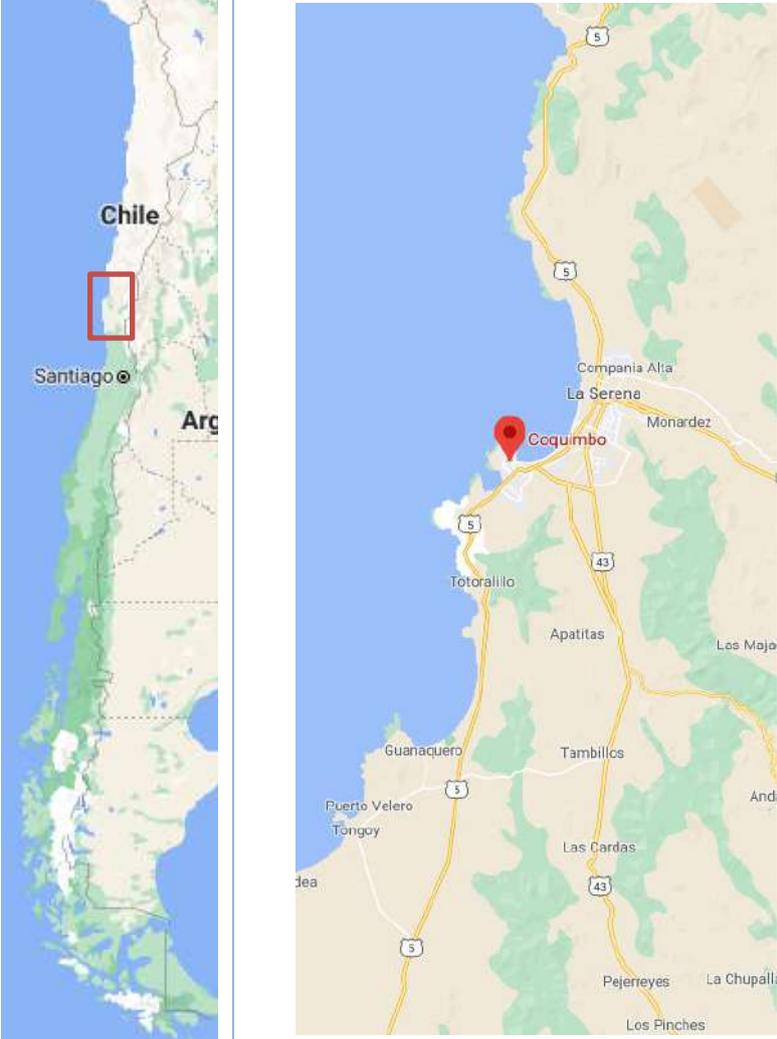
Nota: Emisiones de NH3 y SO2 están amplificadas por 100 para que sean observables en el gráfico

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

7.2.6 2.c La Serena-Coquimbo

La ciudad de La Serena-Coquimbo se ubica en la Región de Coquimbo, en la zona norte chico del país. La ciudad se destaca por su sector de servicios y el turismo en los meses estivales. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 35 Descripción general de La Serena-Coquimbo

Nombre Indicador	Valor
Región	Coquimbo (IV Región)
Mapa ubicación	
Comunas	La Serena, Coquimbo
Población urbana (2017)	437,336
Parque vehicular	134,691
Viajes por hora (2010)	Punta Mañana: 111,364; Fuera de Punta: 59,436
Principales particiones modales (2015)	Caminata: 35.5% Auto chofer: 17.3% Taxi Colectivos: 13.6%
Participación en ciudades intermedias tipo 1	31.1% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 1 (más de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	4% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de actualización diagnóstico del STU de la conurbación Coquimbo - La Serena (SECTRA, 2015), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 36 Inventario de emisiones [ton/año] para La Serena-Coquimbo según año

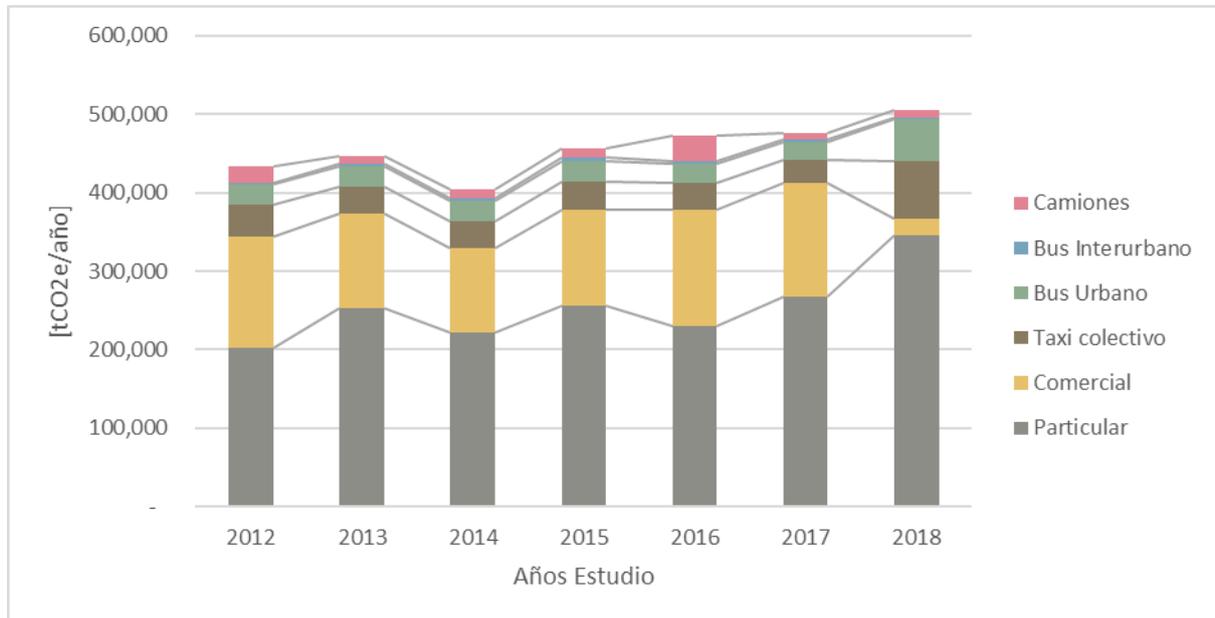
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	428,877	440,448	397,409	448,140	467,040	470,331	498,149
CH4	32	45	52	58	46	44	39
NO2	12	19	18	21	18	17	21
MP2.5	43.8	57.8	53.9	59.5	151.2	132.8	162.0
MP10	52.3	70.3	65.6	72.6	162.4	144.5	180.3
CO	8,638.6	20,042.4	16,962.4	19,489.1	10,447.8	10,725.5	10,273.1
NOx	3,249.9	3,332.8	3,112.2	3,500.6	2,320.9	2,028.4	1,705.4
COV	1,766.6	1,884.2	1,739.9	1,933.8	1,545.4	1,392.2	1,158.7
NH3	37.9	56.2	51.6	58.7	50.7	52.4	50.5
SO2	4.0	5.8	6.5	7.4	7.1	7.3	5.5

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de La Serena-Coquimbo para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 433.3 ktCO₂eq del año 2012 a un 505.5 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 2.6%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose en el 2014 que los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 79 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año] La Serena-Coquimbo

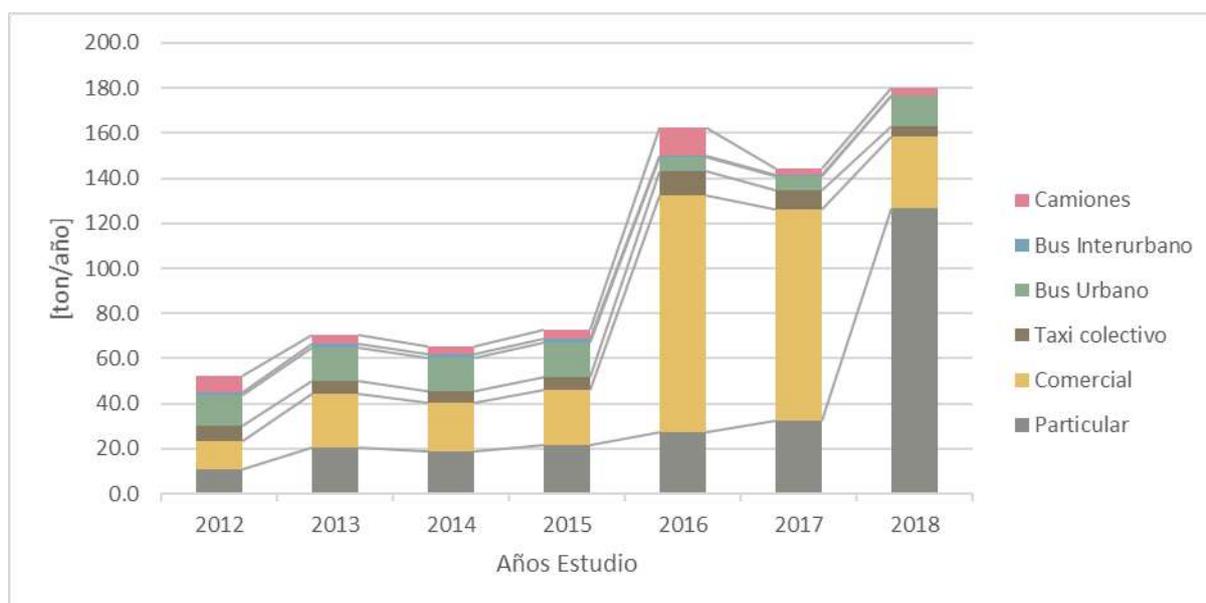


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones material particulado

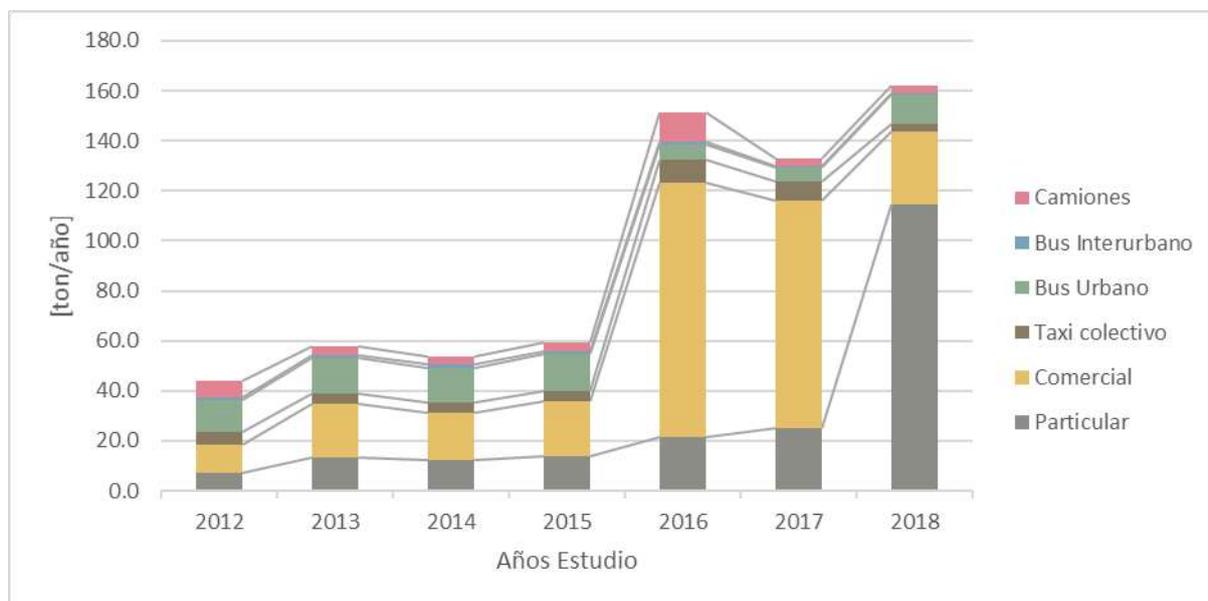
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 80 Resultado estimación MP10 [ton/año] La Serena-Coquimbo



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 81 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] La Serena-Coquimbo

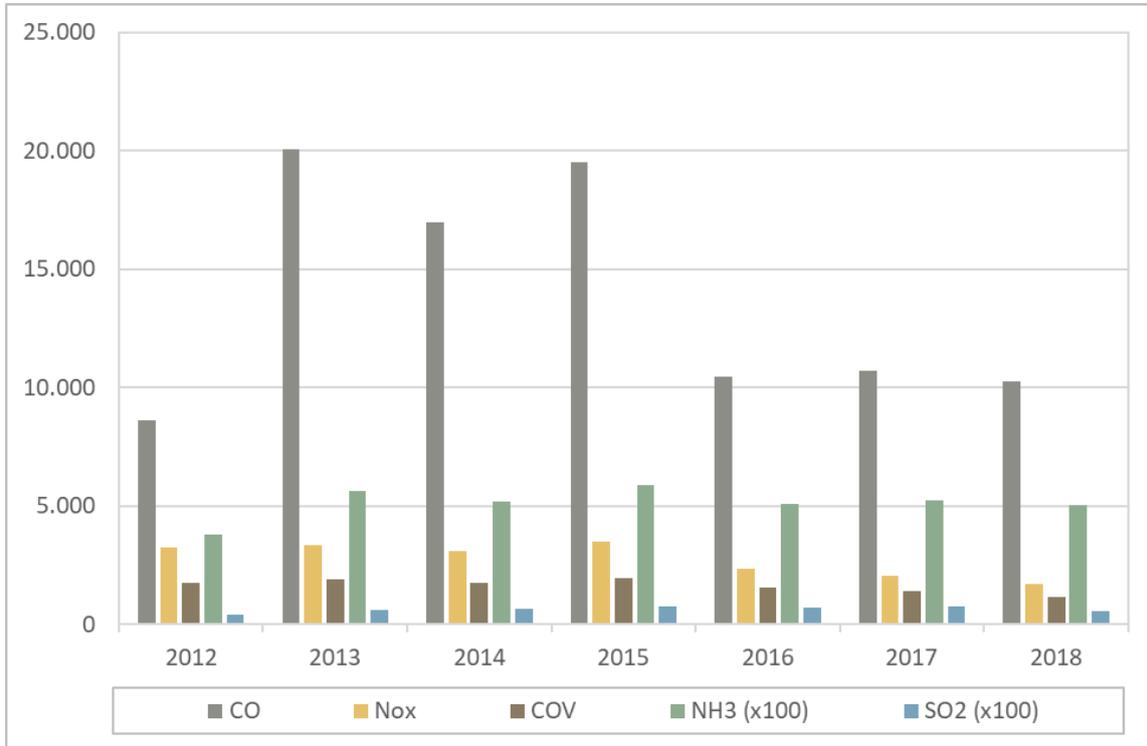


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 82 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] La Serena-Coquimbo



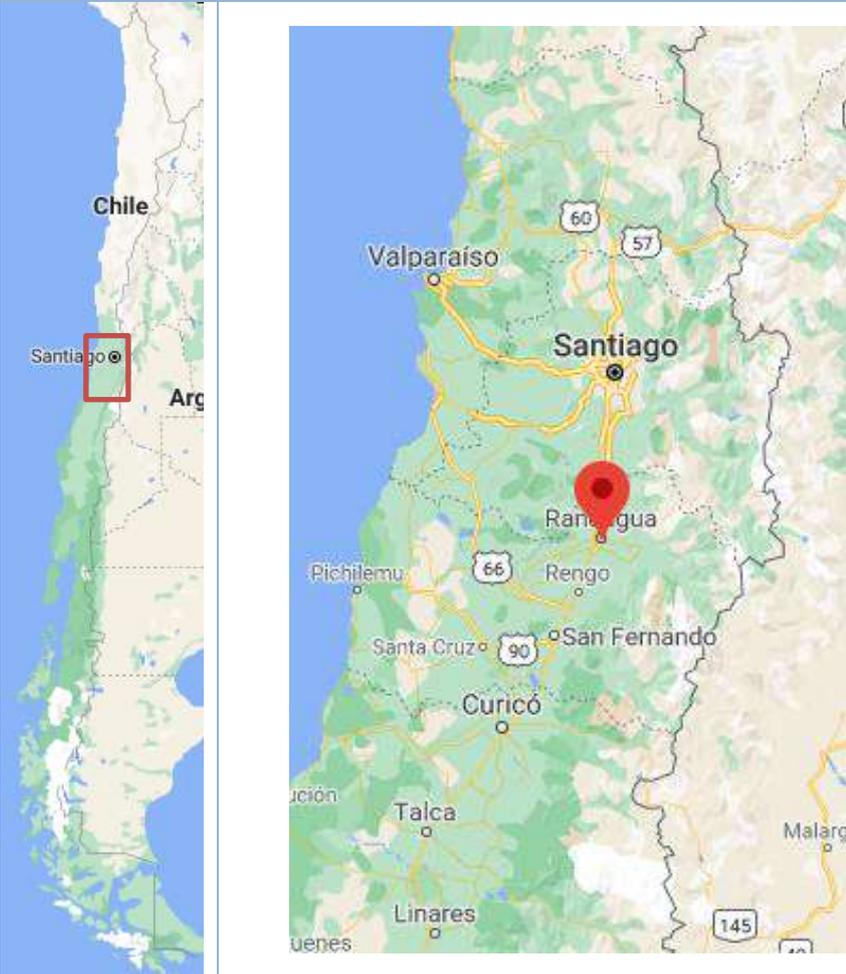
Nota: Emisiones de NH3 y SO2 están amplificadas por 100 para que sean observables en el gráfico

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

7.2.7 2.d Rancagua

La ciudad de Rancagua se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona centro del país. La ciudad se destaca por ser el centro donde se reúnen la mayoría de los productos agrícolas de la región antes de ser llevados a los puertos de la región de Valparaíso y por su alta actividad minera hacia la cordillera. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 37 Descripción general de Rancagua

Nombre Indicador	Valor
Región	Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (VI Región)
Mapa ubicación	
Comunas	Rancagua, Machalí
Población urbana (2017)	301,731
Parque vehicular (2018)	97,444
Viajes por hora	Punta Mañana: 82,816; Fuera de Punta: 26,744
Principales particiones modales (2011)	Caminata: 28% Bus/Taxibus Urbano: 18% Auto chofer: 18%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 1	14.5% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 1 (más de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	1.9% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Actualización y Seguimiento de Planes Estratégicos del STU diagnóstico del STU, Rancagua (SECTRA, 2011), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 38 Inventario de emisiones [ton/año] para Rancagua según año

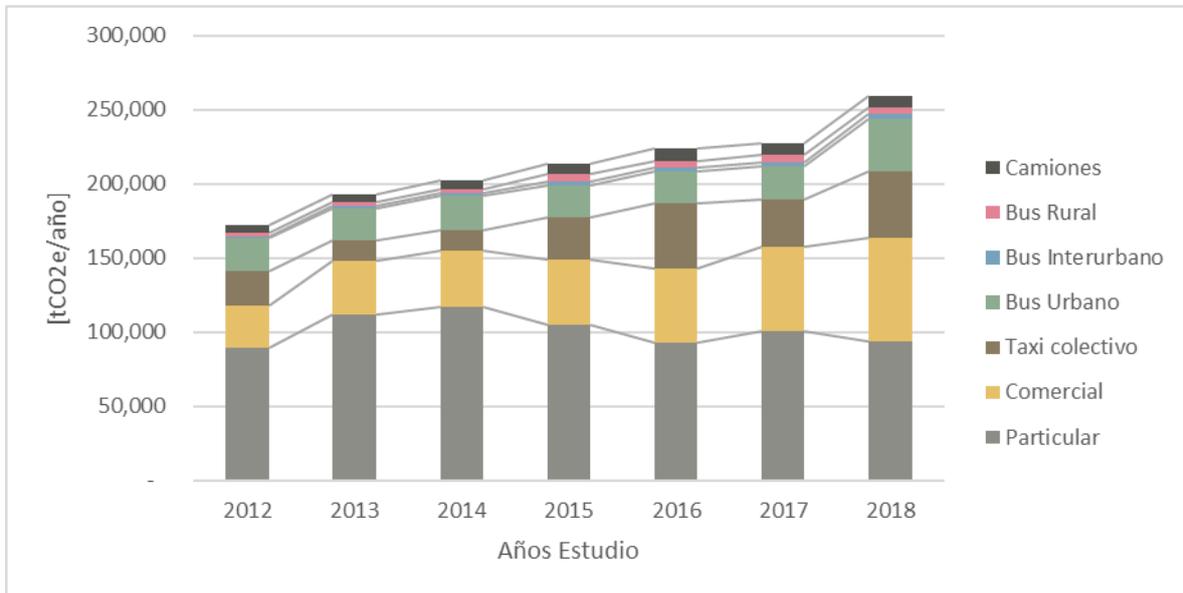
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	168,932	190,369	198,889	210,823	220,260	224,370	255,308
CH4	24	24	25	35	37	35	35
NO2	8	8	8	7	8	7	10
MP2.5	27.5	33.9	35.4	64.8	70.7	58.9	110.9
MP10	33.3	39.6	41.4	46.0	76.9	64.3	121.6
CO	6,710.8	4,780.5	5,022.3	6,478.1	6,795.7	3,510.6	3,073.0
NOx	1,581.7	1,524.0	1,597.3	1,687.6	1,860.6	1,223.5	1,120.3
COV	1,377.8	1,280.6	1,359.1	1,893.0	1,933.8	975.8	914.6
NH3	25.4	24.9	25.9	21.3	22.1	23.2	32.5
SO2	2.8	3.0	3.1	2.5	4.0	3.3	2.7

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Rancagua para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 171.9 ktCO₂eq del año 2012 a un 259.3 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 7.09%.

Figura N° 83 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Rancagua

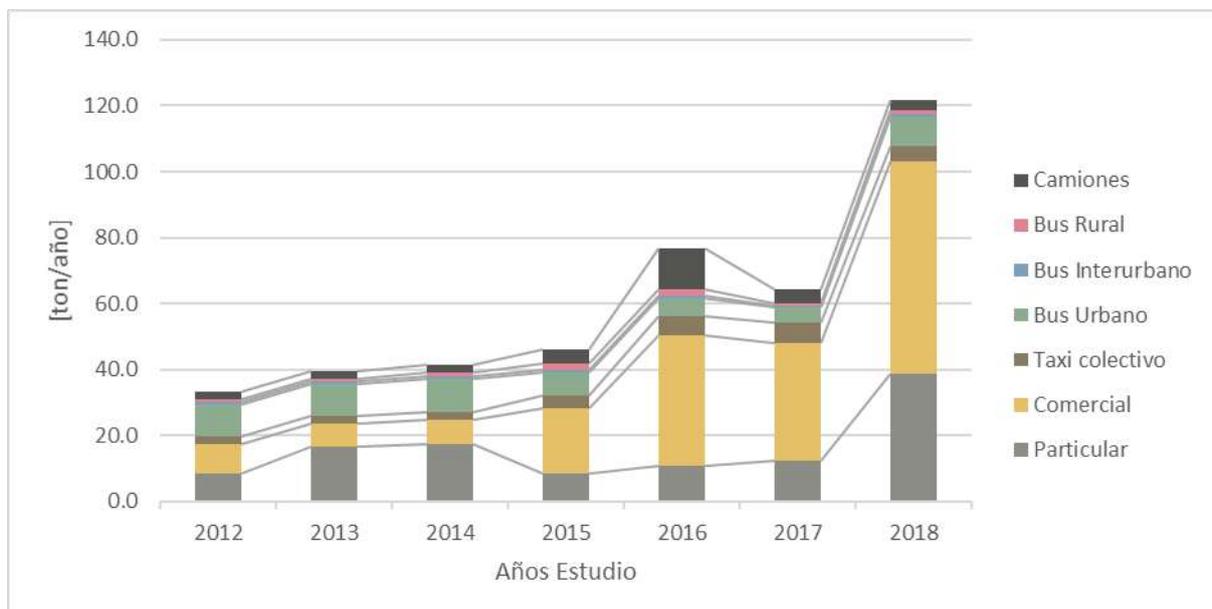


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones material particulado

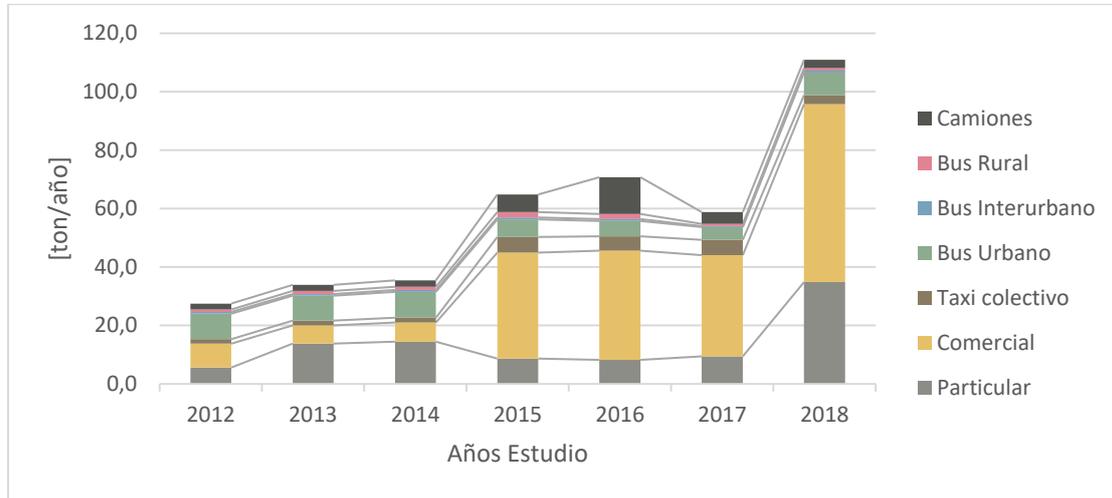
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 84 Resultado estimación MP10 [ton/año] Rancagua



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados
Corridos MODEM

Figura N° 85 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Rancagua

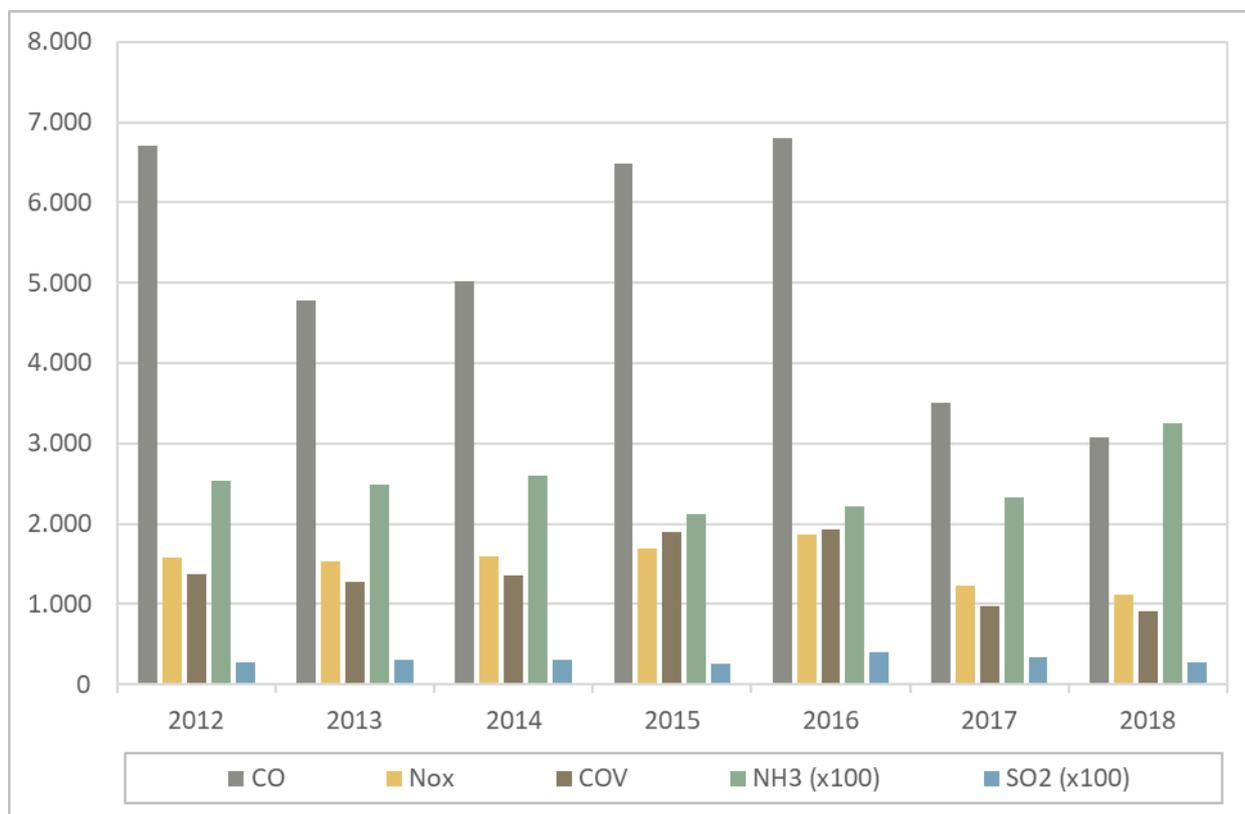


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados
Corridos MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 86 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Rancagua



Nota: Emisiones de NH3 y SO2 están amplificadas por 100 para que sean observables en el gráfico

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.8 2.e Temuco-Padre Las Casas

La ciudad de Temuco-Padre Las Casas se ubican en la región de La Araucanía, en la zona sur del país. La ciudad es la capital de la región, y se encuentra ubicada sobre la ruta 5 que une al país de norte a sur. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 39 Descripción general de Temuco-Padre Las Casas

Nombre Indicador	Valor
Región	Araucanía (VIII Región)
Mapa ubicación	
Comunas	Temuco, Padre Las Casas
Población urbana (2017)	322,844
Parque vehicular (2018)	98,708
Viajes por hora (2020)	Punta Mañana: 104,527; Fuera de Punta: 45,893
Principales particiones modales (2013)	Transporte Público: 36% Transporte Privado: 35% Caminata: 25%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 1	15.4% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 1 (más de 250k habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	2% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Actualización Diagnóstico del STU de la Ciudad de Temuco (SECTRA, 2017), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 40 Inventario de emisiones [ton/año] para Temuco-Padre Las Casas según año

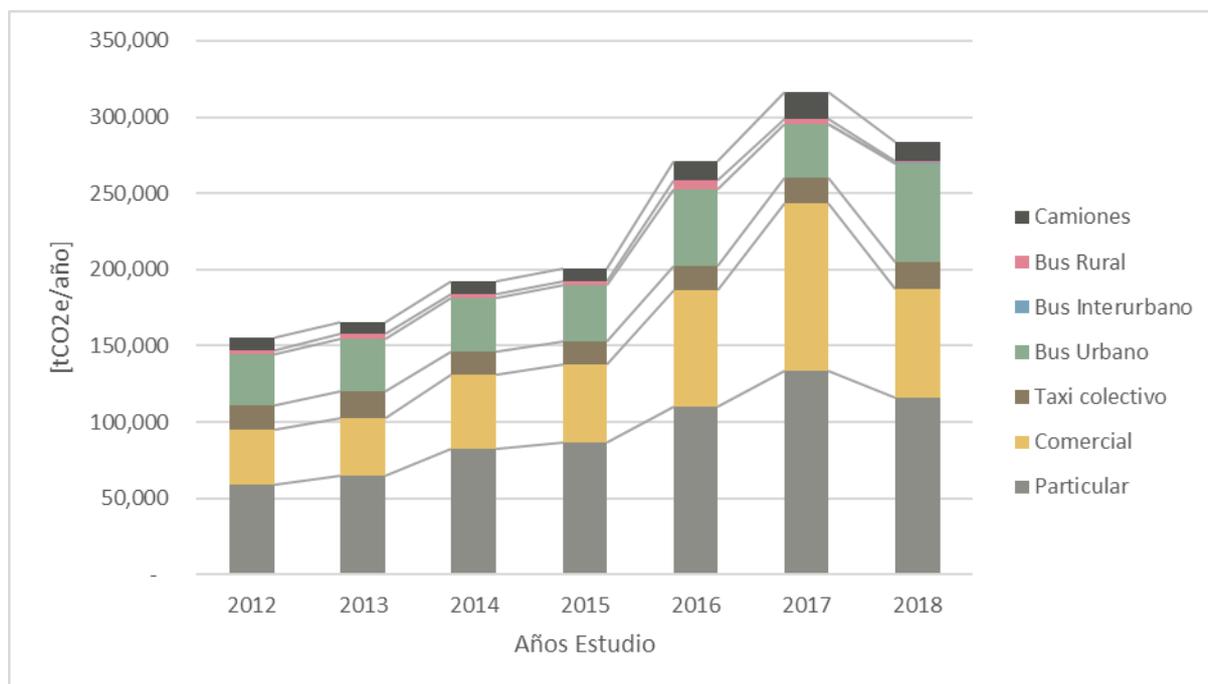
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	152,325	162,922	189,072	197,027	267,231	311,908	279,110
CH4	24	27	27	28	42	34	21
NO2	7	7	9	9	10	12	15
MP2.5	34.1	35.5	38.8	40.4	99.3	140.7	103.2
MP10	39.6	41.2	44.4	46.3	106.5	149.2	113.9
CO	7,528.5	6,158.6	6,555.0	6,920.0	7,451.8	8,920.9	5,436.2
NOx	1,601.7	1,513.3	1,678.3	1,757.3	2,190.4	2,065.4	1,278.5
COV	1,767.6	1,802.0	1,566.0	1,656.1	2,018.1	2,177.0	1,851.0
NH3	16.6	17.3	19.9	20.7	22.2	30.8	34.8
SO2	2.3	2.5	2.9	3.0	4.6	4.5	3.0

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Temuco-Padre Las Casas para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 155.2 ktCO₂eq del año 2012 a un 284 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 10.6%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose el año 2018 en que los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 87 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Temuco-Padre Las Casas

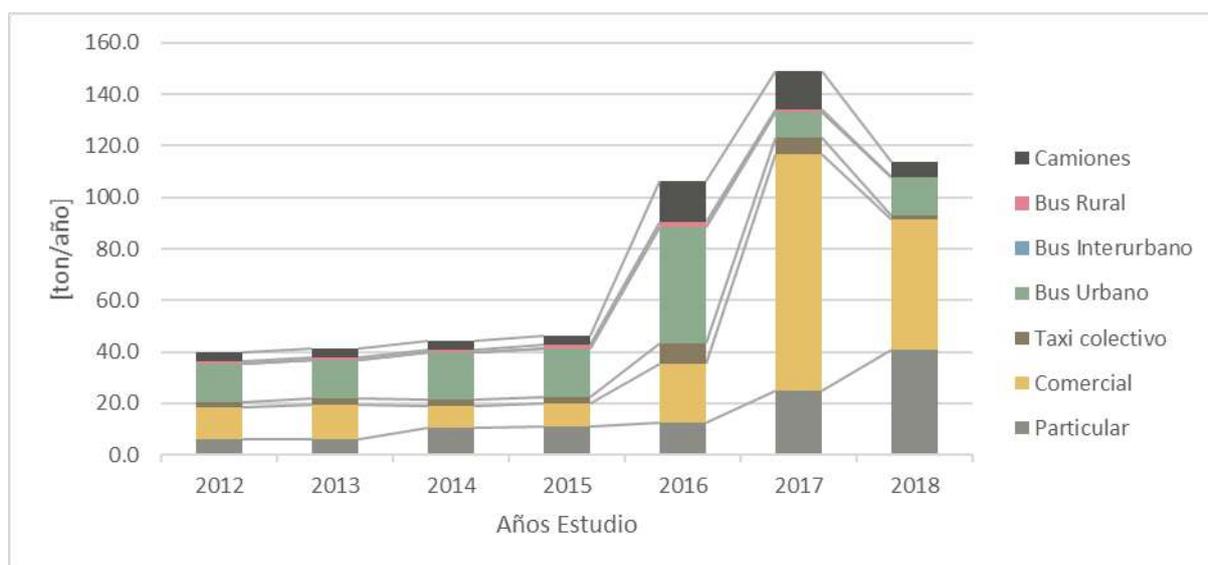


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

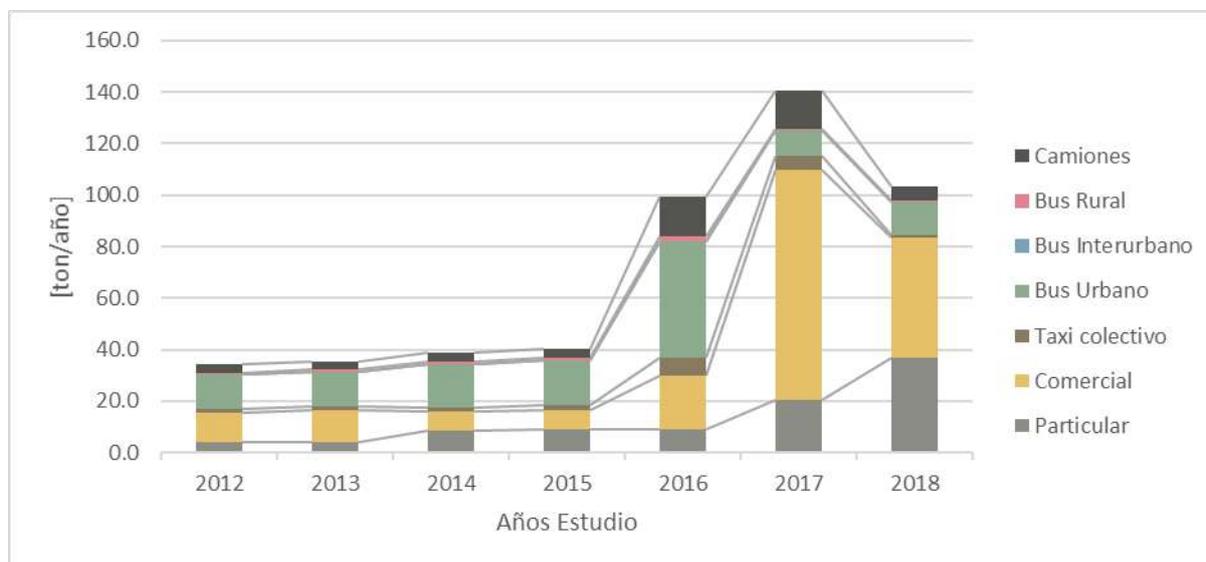
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 88 Resultado estimación MP10 [ton/año] Temuco-Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 89 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Temuco-Padre Las Casas

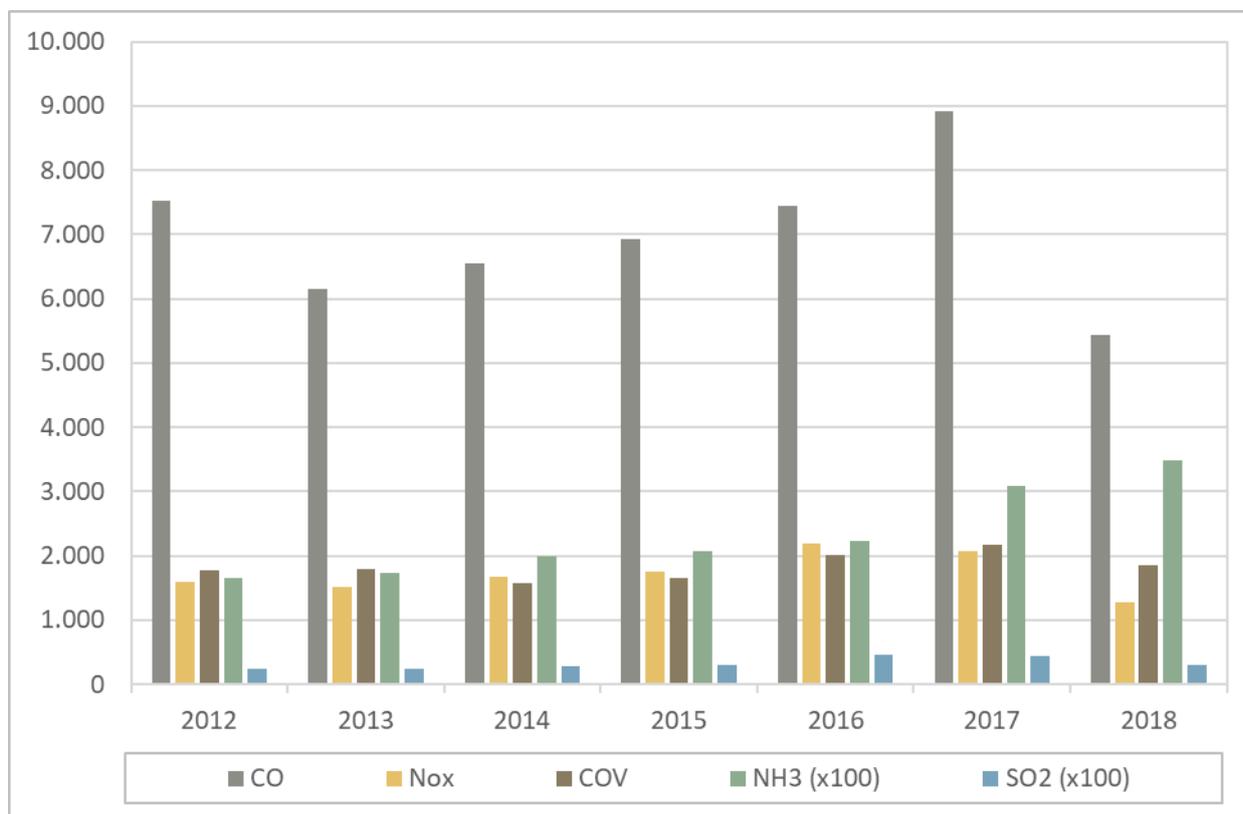


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 90 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Temuco-Padre Las Casas



Nota: Emisiones de NH3 y SO2 están amplificadas por 100 para que sean observables en el gráfico

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.9 3.a Arica

La ciudad de Arica se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona norte del país. La ciudad se destaca por contar con un puerto y una alta frecuencia de turismo durante la época estival. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 41 Descripción general de Arica

Nombre Indicador	Valor
Región	Región de Arica y Parinacota (XV)
Mapa ubicación	
Comunas	Arica
Población urbana (2017)	215,514
Parque vehicular (2018)	79,591
Viajes por hora (2015)	Punta Mañana: 58,108; Fuera de Punta: 37,407
Principales particiones modales (2015)	Caminata: 36.42% Auto chofer: 19.03% Auto acompañante: 12.86%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 2	9.4% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	1% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Actualización Diagnóstico del STU de la Ciudad de Arica, Etapa II - Modelación (SECTRA, 2015), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 42 Inventario de emisiones [ton/año] para Arica según año

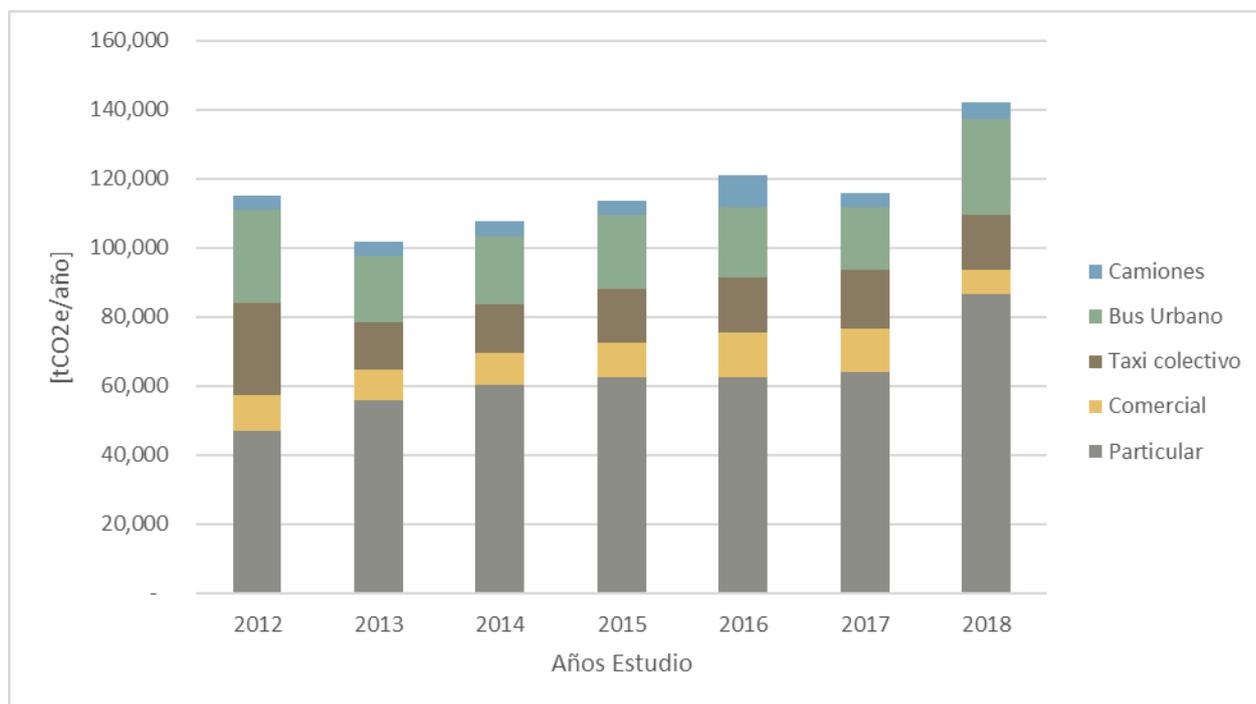
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	112,356	100,034	105,977	111,961	119,027	114,134	135,650
CH4	24	14	15	15	15	14	14
NO2	7	4	4	5	5	5	21
MP2.5	32.3	30.5	32.0	34.4	64.0	54.0	70.1
MP10	36.4	33.8	35.5	38.1	67.0	57.0	74.9
CO	4,819.7	1,873.7	1,978.9	2,083.7	2,327.9	2,261.7	2,435.4
NOx	1,264.9	827.0	873.1	933.9	906.8	783.0	746.5
COV	1,020.0	554.6	577.6	616.5	640.8	603.8	452.1
NH3	12.4	11.8	13.0	13.6	14.1	14.7	17.8
SO2	2.1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.5

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Arica para el periodo presentan en general un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 114.9 ktCO₂eq del año 2012 a un 142.3 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 3.61%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose dos años 2013 y 2017 donde los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior, estas diferencias se explicarían

Figura N° 91 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Arica

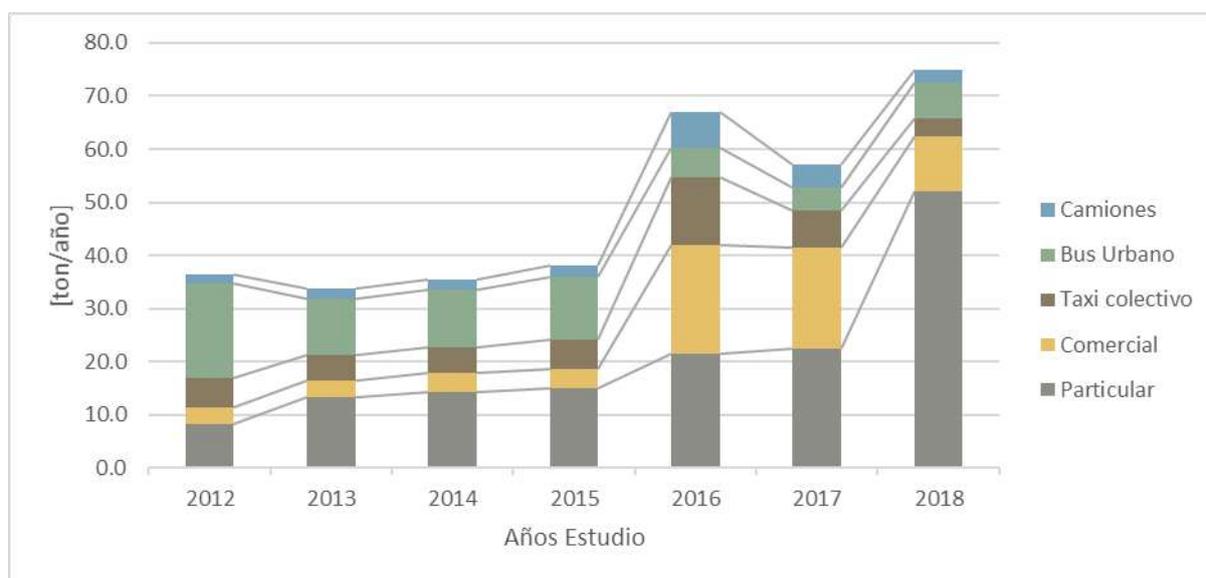


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones material particulado

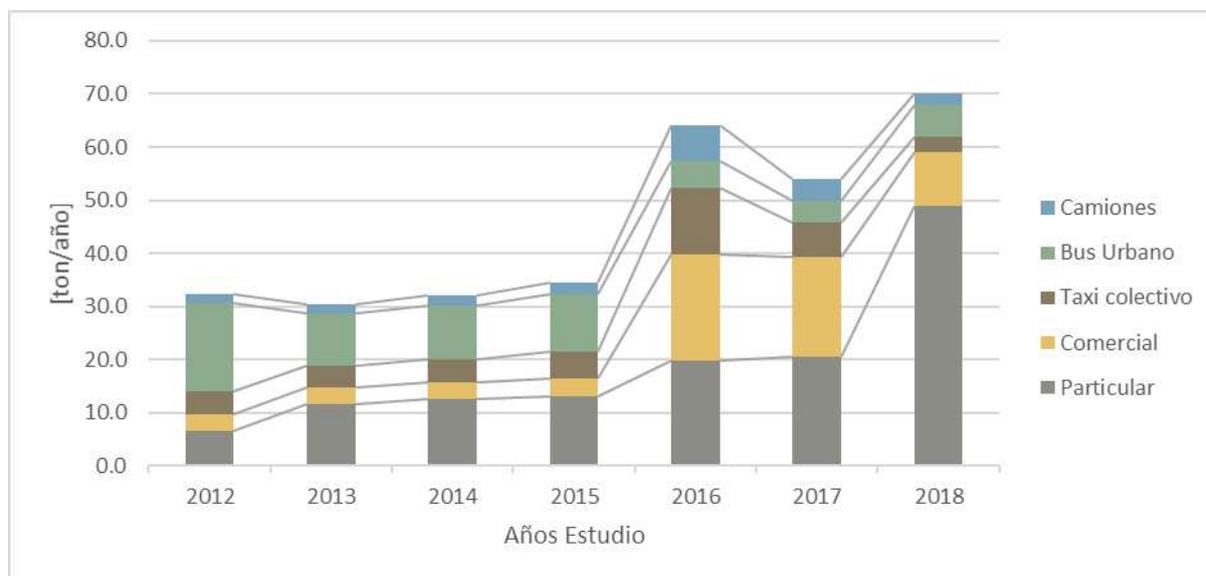
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 92 Resultado estimación MP10 [ton/año] Arica



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Figura N° 93 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Arica

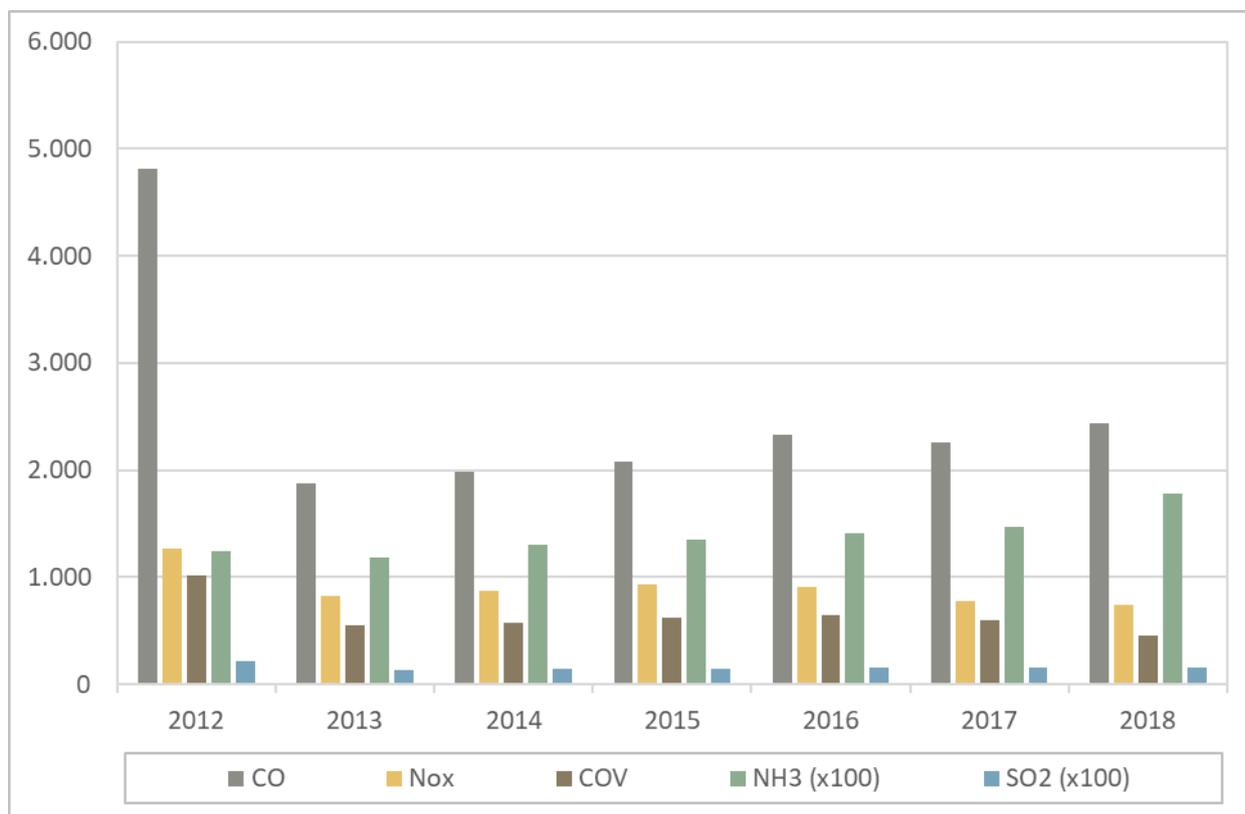


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 94 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Arica



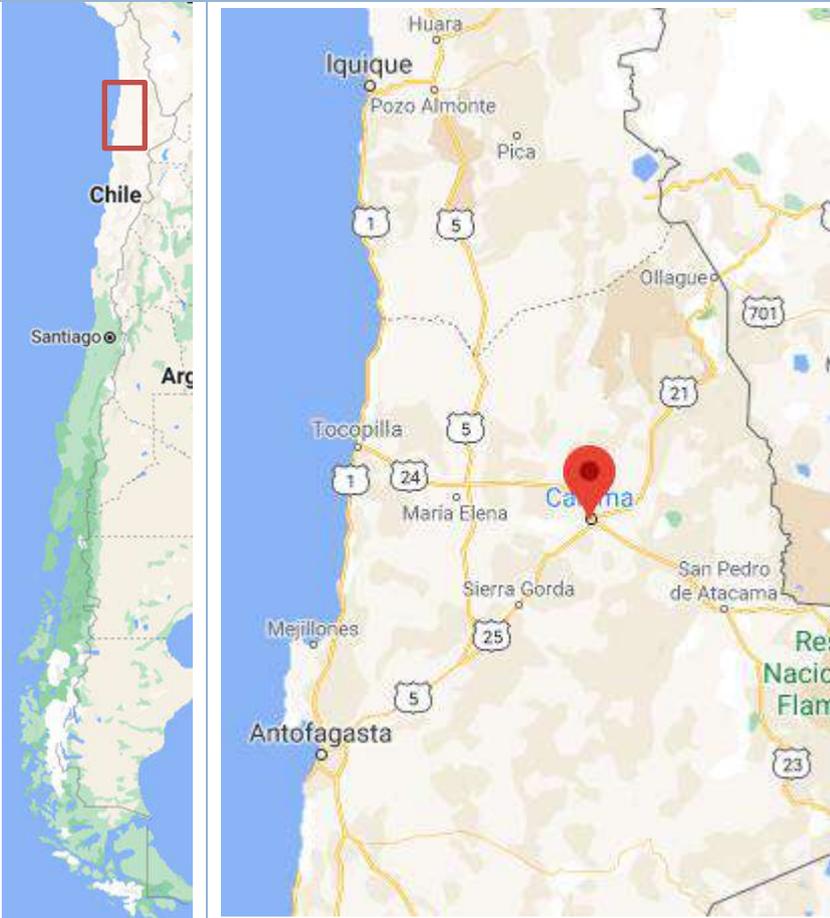
Nota: Emisiones de NH3 y SO2 están amplificadas por 100 para que sean observables en el gráfico

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

7.2.10 3.b Calama

La ciudad de Calama se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona norte del país. La ciudad se destaca por contar con una alta operación minera, siendo la comuna más importante en esta industria. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 43 Descripción general de Calama

Nombre Indicador	Valor
Región	Antofagasta (II)
Mapa ubicación	
Comuna	Calama
Población urbana (2017)	164,362
Parque vehicular (2018)	49,965
Viajes por hora (2010)	Punta Mañana: 47,693; Fuera de Punta: 39,403
Principales particiones modales (2014)	Caminata: 32% Auto chofer: 19,9% Auto acompañante: 19%
Tiempo de viaje	Punta Mañana: 7 minutos
Participación en ciudades intermedias tipo 2	6.9% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	0.8% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Actualización Diagnóstico del STU de la Ciudad de Calama, Etapa II: Plan (SECTRA, 2014), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 44 Inventario de emisiones [ton/año] para Calama según año

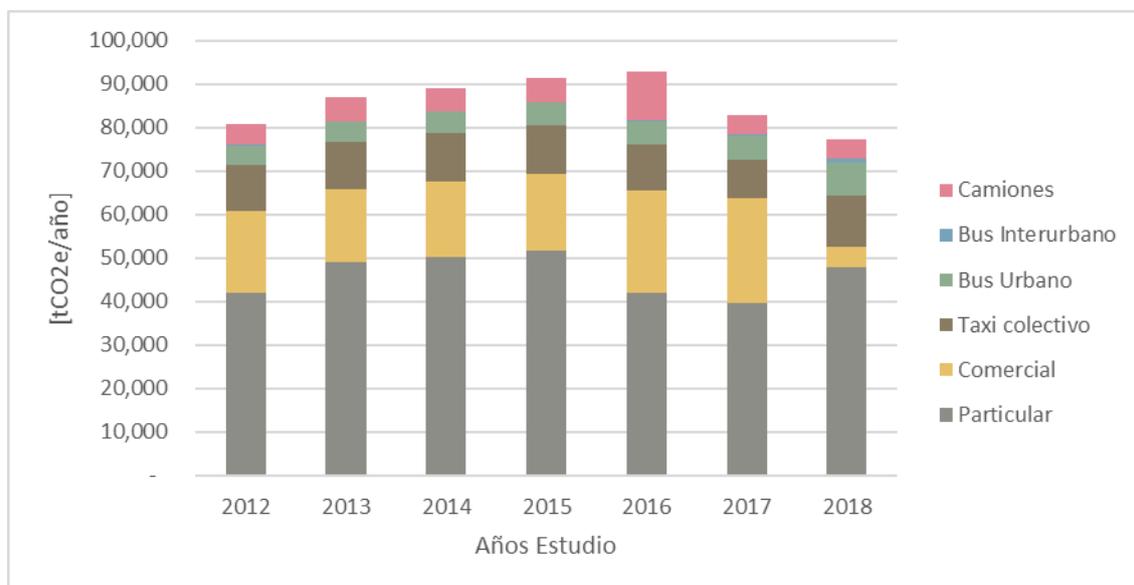
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	79,484	85,721	88,032	90,228	91,620	81,823	73,443
CH4	8	7	8	8	8	7	6
NO2	4	3	3	3	3	3	13
MP2.5	13.5	12.4	12.7	13.0	25.1	19.8	18.6
MP10	16.2	14.7	15.0	15.5	27.4	21.9	21.2
CO	3,323.5	1,786.2	1,791.3	1,830.5	1,828.2	1,322.7	964.9
NOx	837.7	578.8	590.0	601.7	551.5	422.4	240.0
COV	1,142.6	505.6	505.5	509.6	517.3	317.0	180.8
NH3	10.8	8.4	8.6	8.8	8.5	7.6	13.4
SO2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	0.8

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Calama para el periodo presentan un crecimiento constante durante el periodo 2012 a 2016, mientras que para el periodo 2016-2018 se presenta un decrecimiento. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 80.8 ktCO₂eq del año 2012 a un 77.3 ktCO₂eq del año 2018. La tasa de crecimiento promedio fue de 3.51% mientras la tasa promedio de decrecimiento fue de -8.73%.

Figura N° 95 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año] Calama

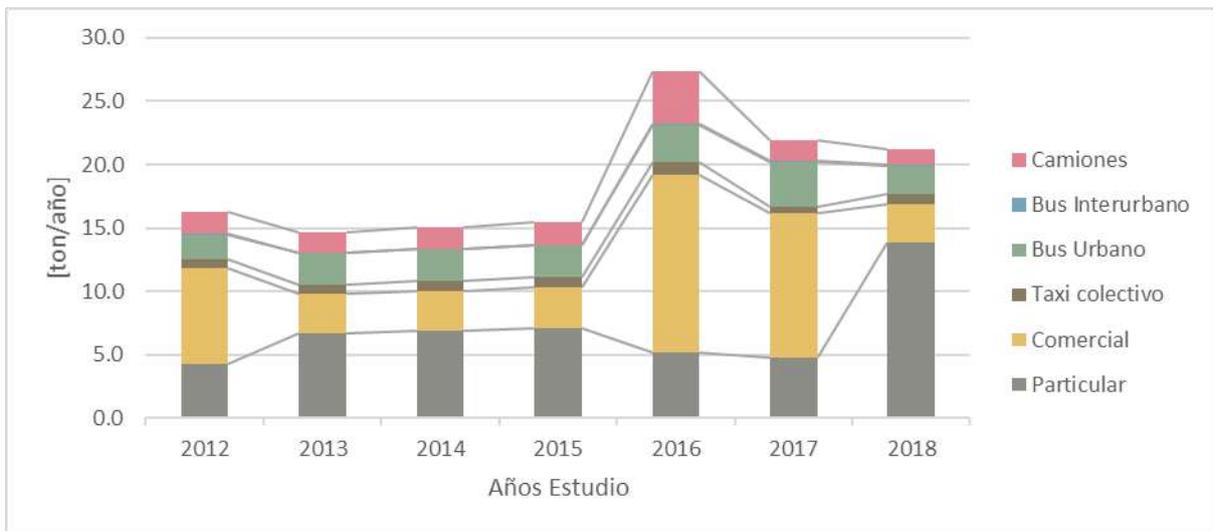


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 96 Resultado estimación MP10 [ton/año] Calama



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 97 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Calama

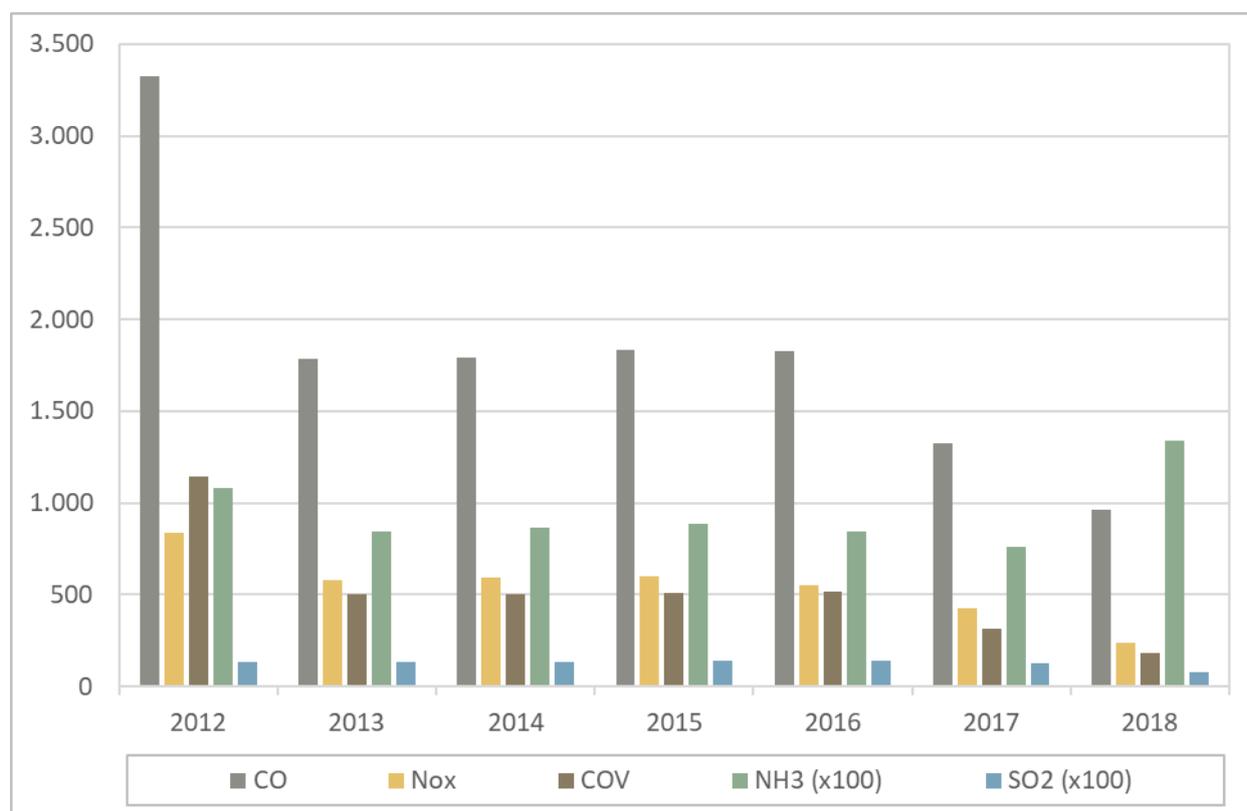


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 98 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Calama



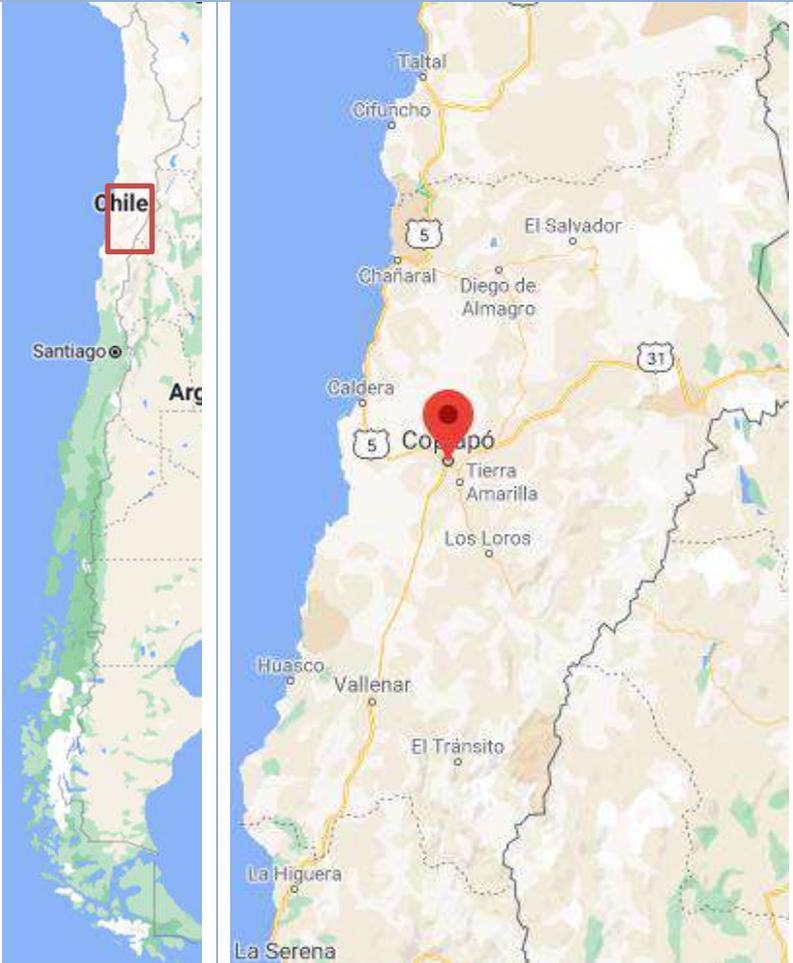
Nota: Emisiones de NH3 y SO2 están amplificadas por 100 para que sean observables en el gráfico

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.11 3.c Copiapó

La ciudad de Copiapó se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona del norte chico del país. La ciudad se destaca por tener como principal (y mayor) actividad económica la minera, seguido después por la agricultura. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 45 Descripción general de Copiapó

Nombre Indicador	Valor
Región	Atacama (III)
Mapa ubicación	
Comuna	Copiapó
Población urbana (2017)	161,876
Parque vehicular (2018)	49,217
Viajes por hora (2010)	Punta Mañana: 57,204; Fuera de Punta: 32,572
Principales particiones modales (2014)	Transporte Privado: 39% Caminata: 30% Transporte Público: 29%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 2	10.7 de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	1.2% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Actualización diagnóstico del S.T.U. de la ciudad de Copiapó, II Etapa: Plan. (SECTRA, 2014), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 46 Inventario de emisiones [ton/año] para Copiapó según año

Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	102,484	123,976	128,567	136,940	149,655	136,345	134,952
CH4	11	10	11	11	13	10	9
NO2	5	5	5	5	5	5	22
MP2.5	13.8	18.1	19.0	20.3	55.0	46.1	42.5
MP10	17.0	21.6	22.6	24.3	58.8	49.6	47.4
CO	4,472.2	2,635.7	2,781.9	3,002.1	3,309.6	2,843.8	1,636.1
NOx	866.5	725.5	760.7	794.2	833.7	639.9	475.5
COV	705.3	409.6	429.5	427.5	565.6	483.8	256.1
NH3	13.4	16.0	16.4	17.3	15.6	14.7	22.9
SO2	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3	2.1	1.5

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Copiapó para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 104.1 ktCO₂eq del año 2012 a un 141.6 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 5.26%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose que el año 2017 los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 99 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año] Copiapó

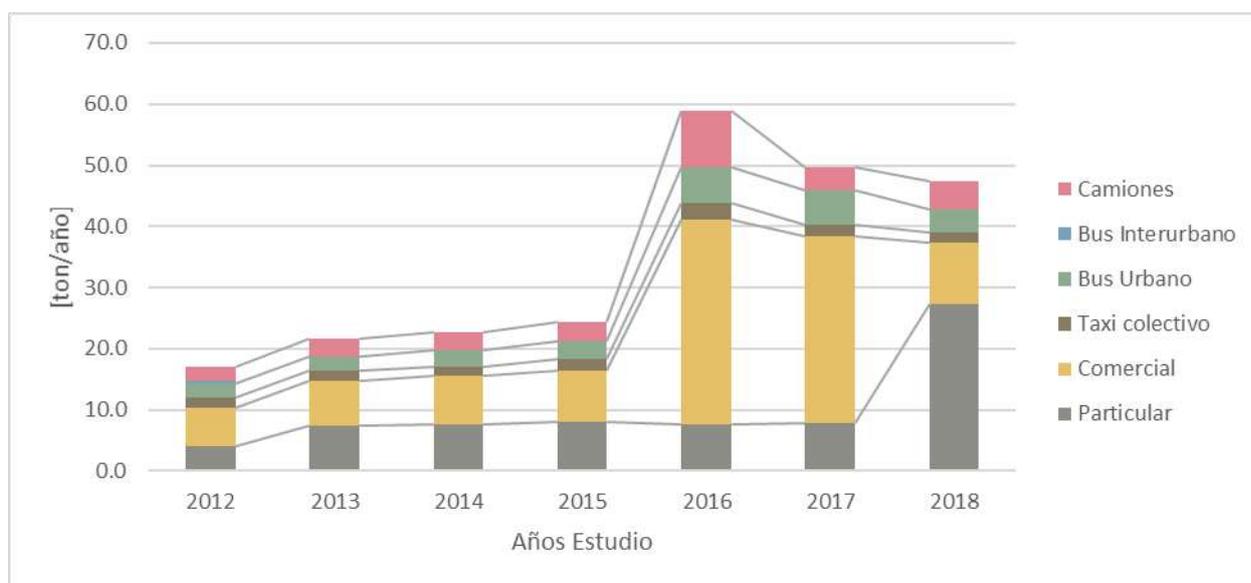


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

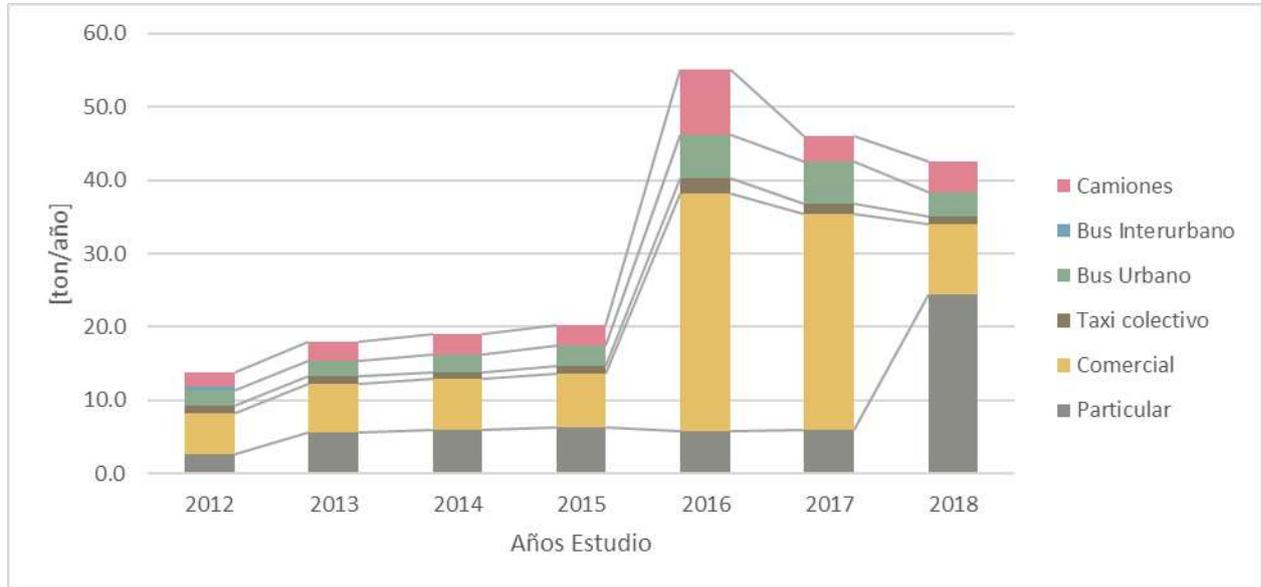
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 100 Resultado estimación MP10 [ton/año] Copiapó



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Figura N° 101 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Copiapó

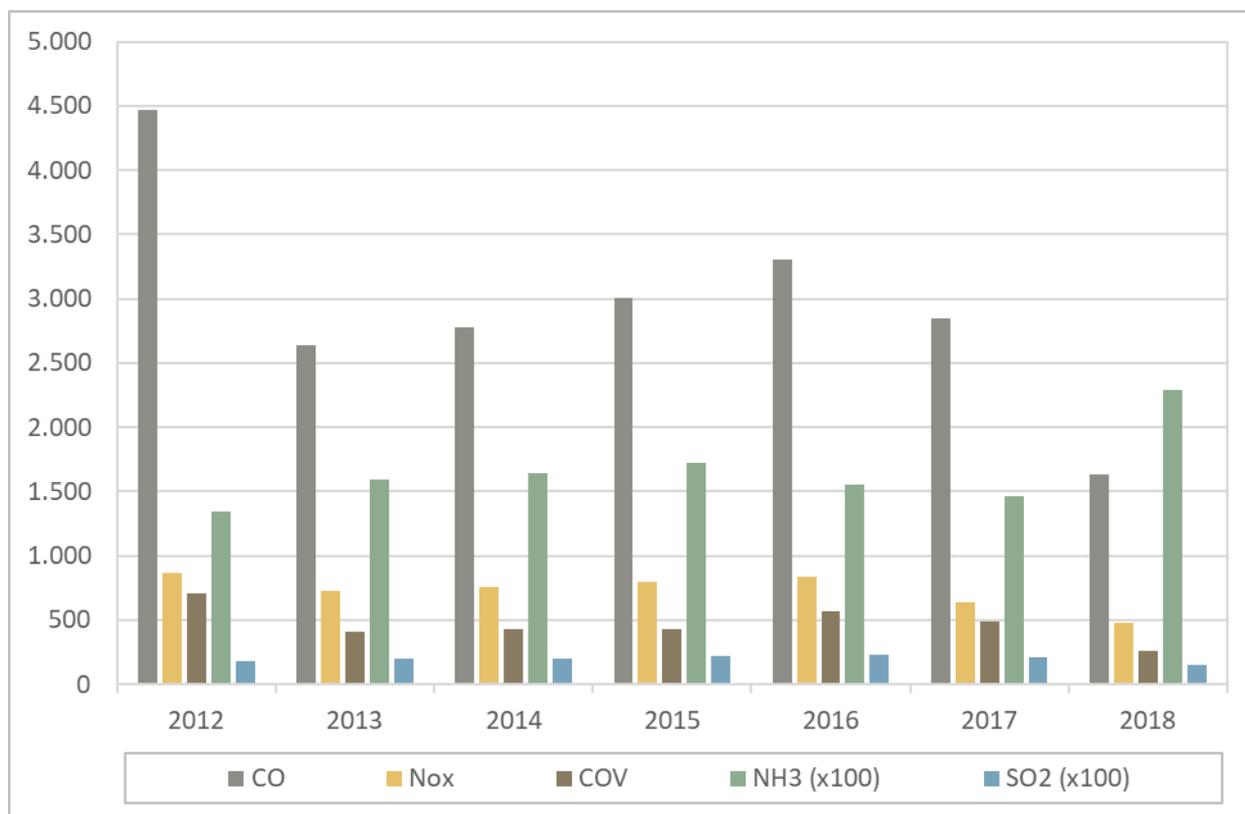


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 102 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Copiapó



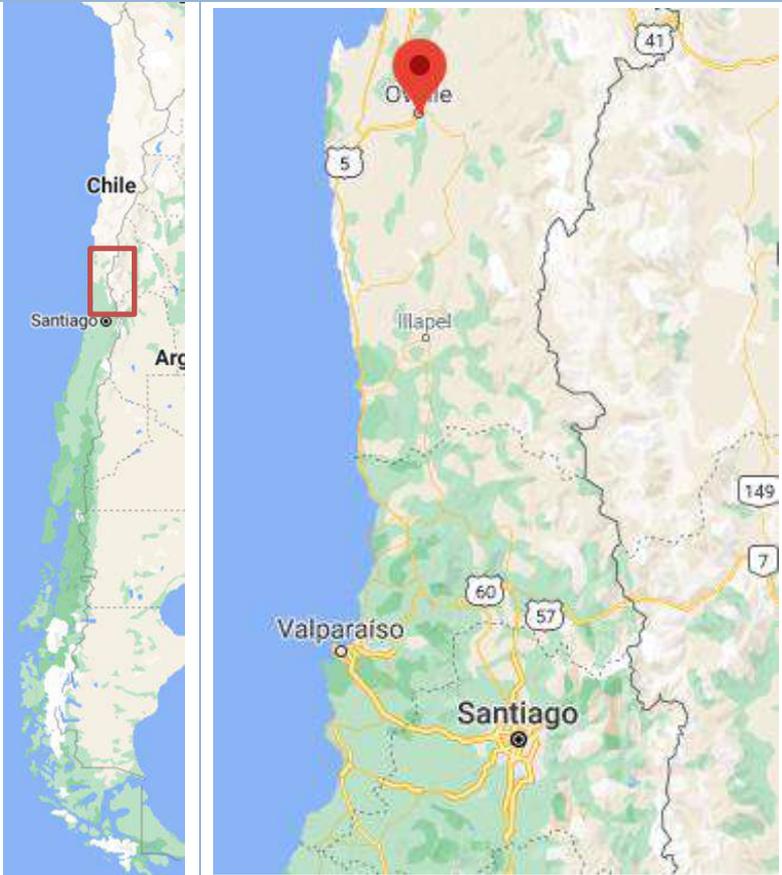
Nota: Emisiones de NH3 y SO2 están amplificadas por 100 para que sean observables en el gráfico

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.12 3.d Ovalle

La ciudad de Ovalle se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona del norte chico del país. La ciudad se destaca por ser una zona de alta producción agrícola y en conjunto a la crianza de ganado. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 47 Descripción general de Ovalle

Nombre Indicador	Valor
Región	Coquimbo (IV)
Mapa ubicación	
Comuna	Ovalle
Población urbana (2017)	92,219
Parque vehicular (2018)	29,057
Viajes por hora	s/i
Principales particiones modales	s/i
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 2	2.3% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	0.2% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información del Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 48 Inventario de emisiones [ton/año] para Ovalle según año

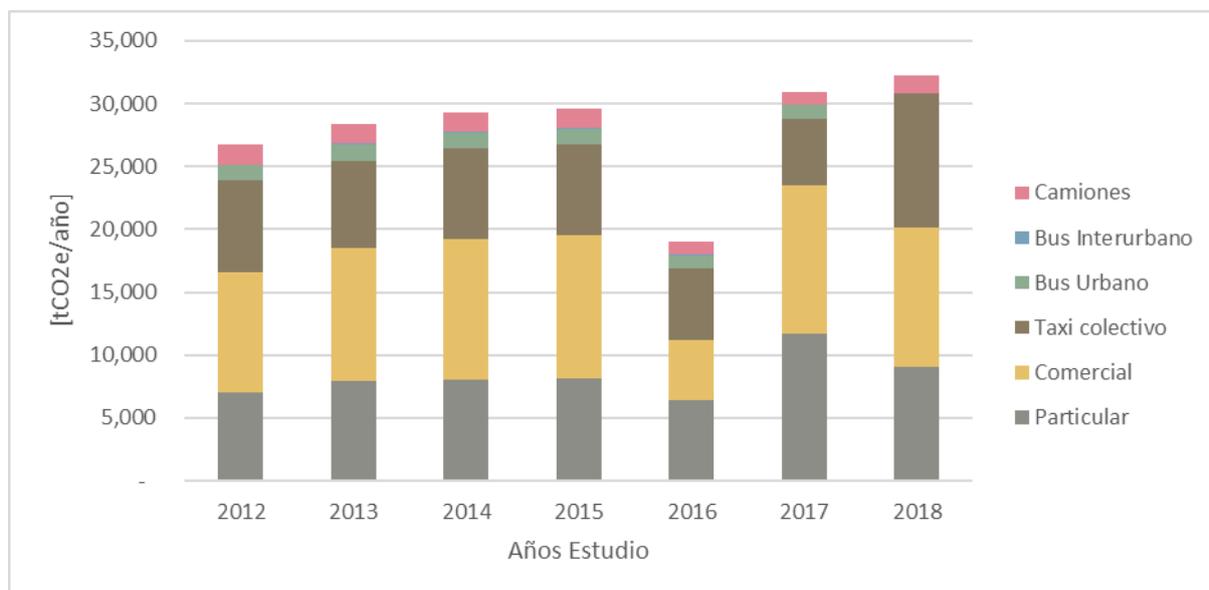
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	26,082	27,799	28,699	28,961	18,735	30,426	30,936
CH4	7	8	8	9	2	3	2
NO2	1	1	1	1	1	1	4
MP2.5	4.2	4.6	4.7	4.7	5.9	8.4	13.4
MP10	5.1	5.5	5.6	5.7	6.4	9.2	15.1
CO	1,441.5	2,653.3	2,794.5	2,830.9	438.0	889.9	511.3
NOx	468.2	645.0	671.6	682.5	127.8	187.3	103.8
COV	342.7	730.4	772.1	789.3	193.8	290.1	95.0
NH3	2.8	2.8	2.9	2.9	1.5	3.1	4.5
SO2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Ovalle para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 26.7 ktCO₂eq del año 2012 a un 32.3 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 3.2%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose que el año los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 103 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año] Ovalle

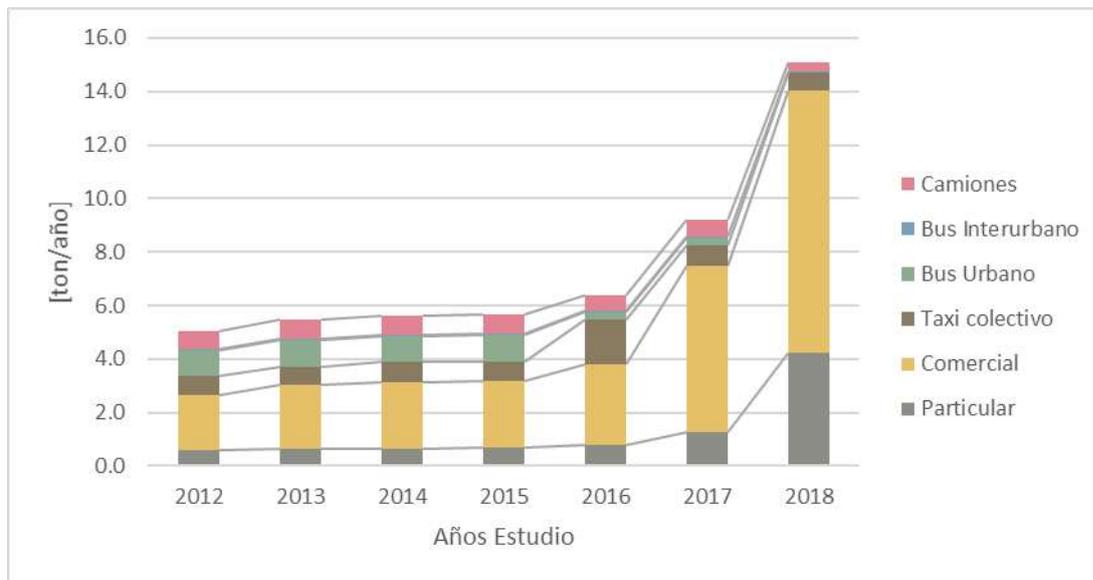


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

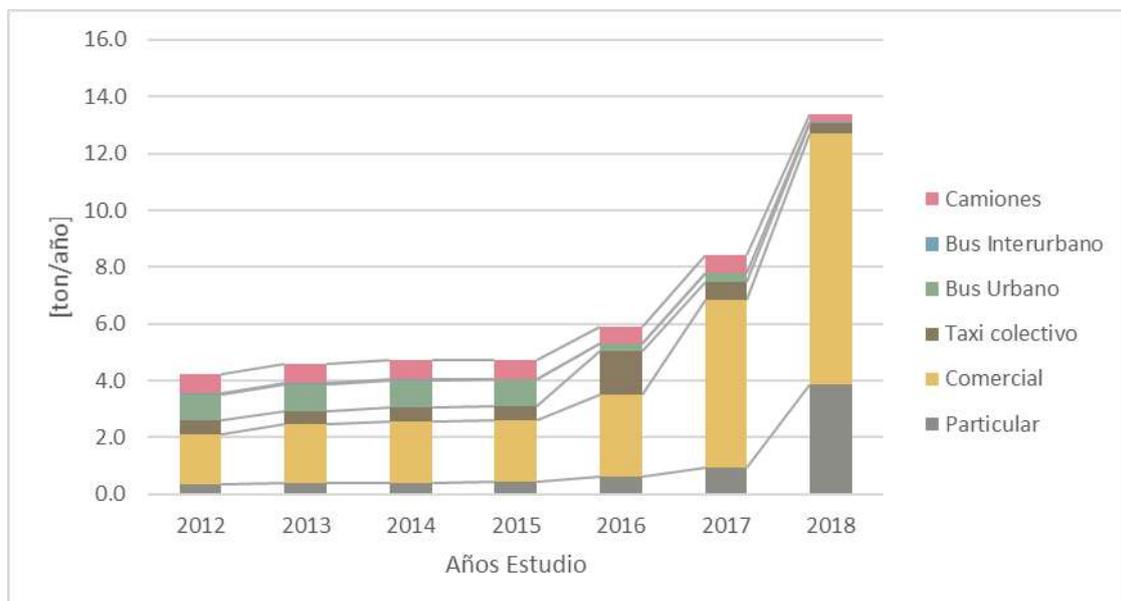
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 104 Resultado estimación MP10 [ton/año] Ovalle



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 105 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Ovalle

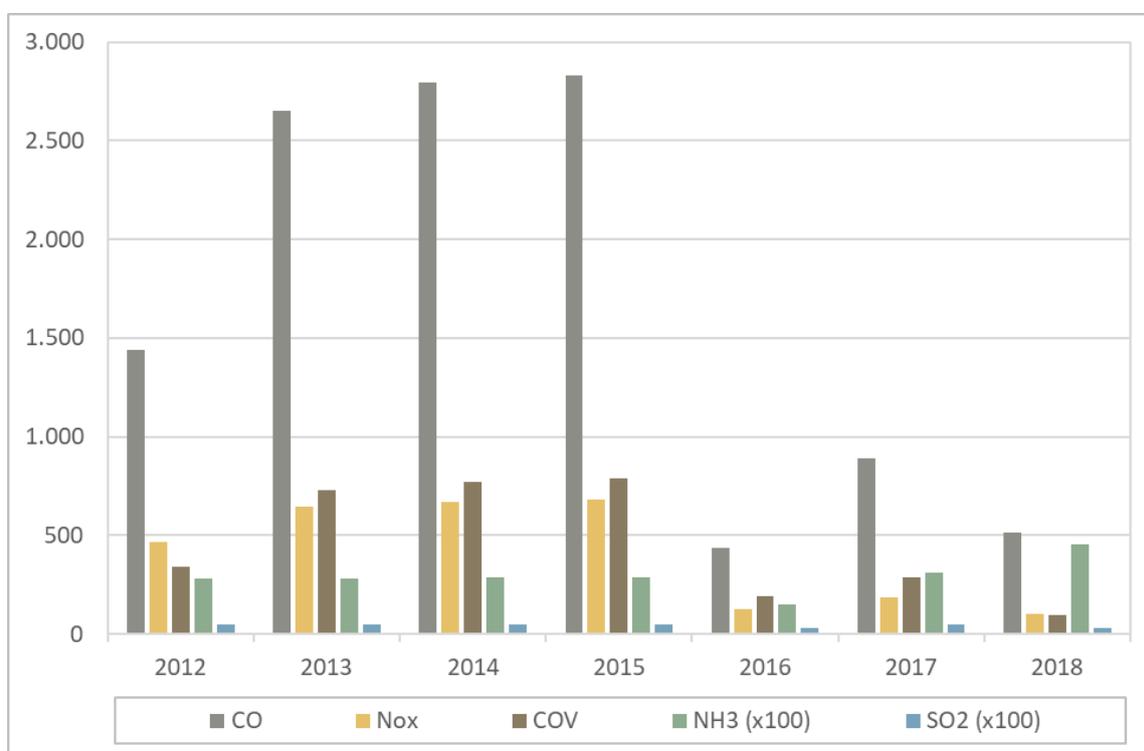


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 106 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Ovalle



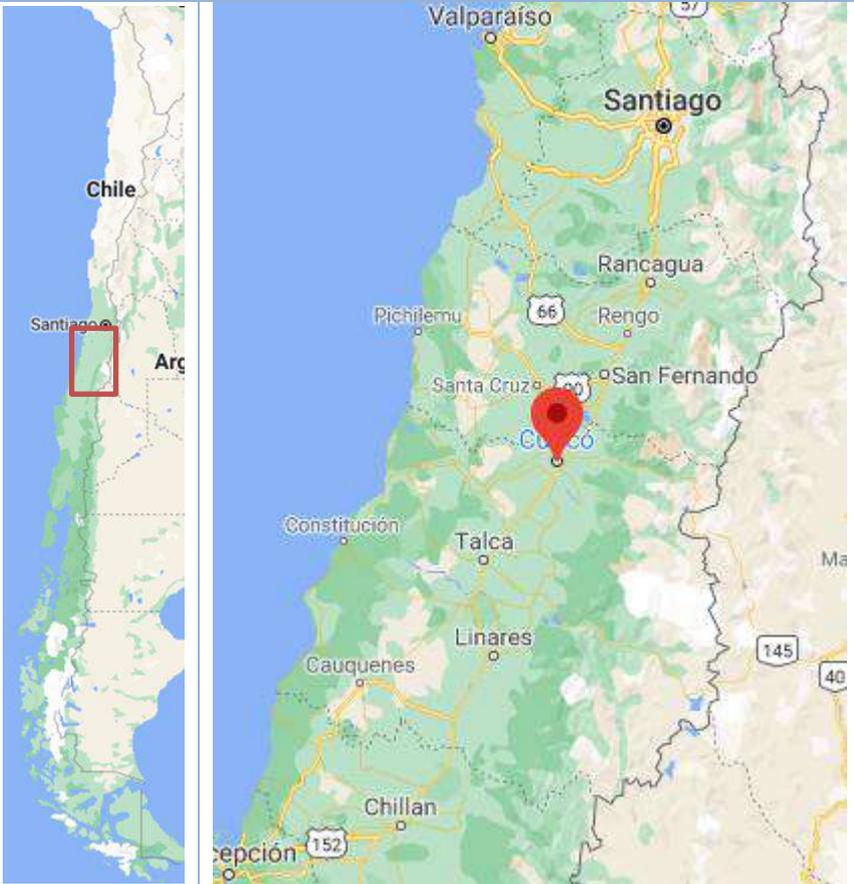
Nota: Emisiones de NH3 y SO2 están amplificadas por 100 para que sean observables en el gráfico

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

7.2.13 3.e Curicó

La ciudad de Curicó se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona centro-sur del país. La ciudad se destaca principalmente por economía basada en el sector primario como es la explotación agropecuaria, con grandes extensiones de plantaciones frutales. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 49 Descripción general de Curicó

Nombre Indicador	Valor
Región	Maule (VII)
Mapa ubicación	
Comuna	Curicó
Población urbana (2017)	156,377
Parque vehicular (2018)	44,206
Viajes por hora	s/i
Principales particiones modales	s/i
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 2	3.4% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	0.4% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con datos del Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 50 Inventario de emisiones [ton/año] para Curicó según año

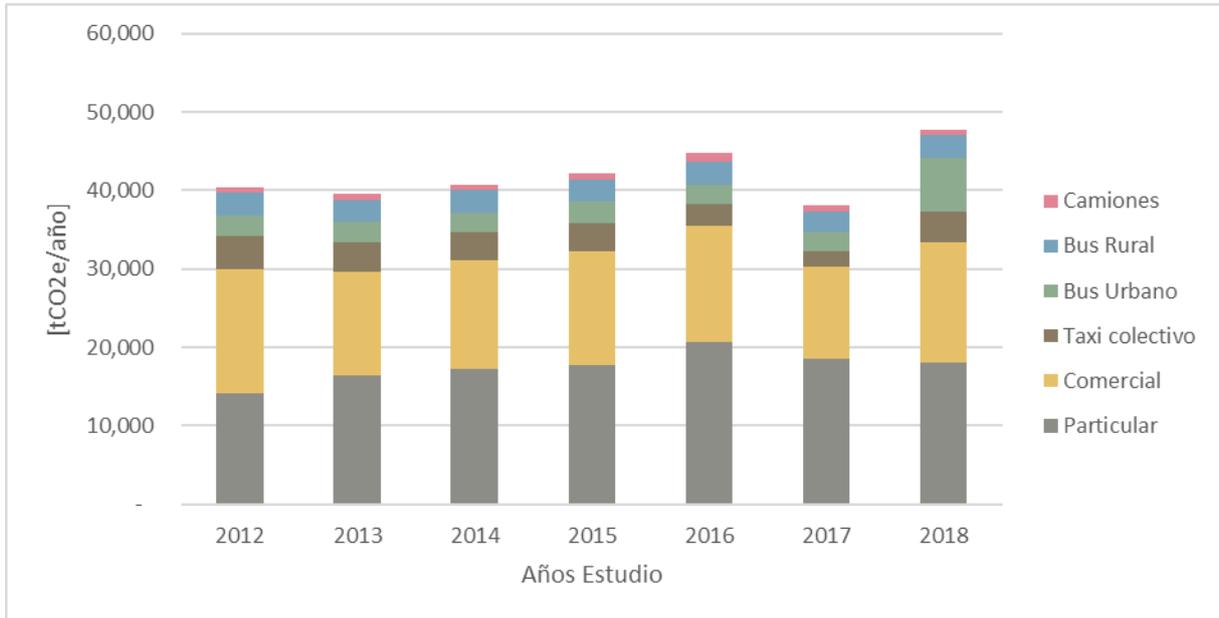
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	39,581	38,773	40,035	41,350	44,043	37,547	46,008
CH4	12	6	6	6	7	6	3
NO2	2	2	2	2	2	2	6
MP2.5	7.6	7.0	7.1	7.3	15.5	13.1	24.2
MP10	8.8	8.1	8.3	8.5	16.6	14.0	26.2
CO	2,839.8	1,501.1	1,572.3	1,640.7	1,413.7	998.9	855.5
NOx	737.7	398.9	415.4	433.1	338.6	280.5	232.4
COV	550.0	527.9	559.1	600.4	526.2	393.0	162.3
NH3	3.4	4.8	5.0	5.2	5.0	3.6	4.7
SO2	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Curicó para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 40.4 ktCO₂eq del año 2012 a un 47.7 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 2.81%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose dos años 2013 y 2017 donde los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior, estas diferencias se explicarían

Figura N° 107 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año] Curicó

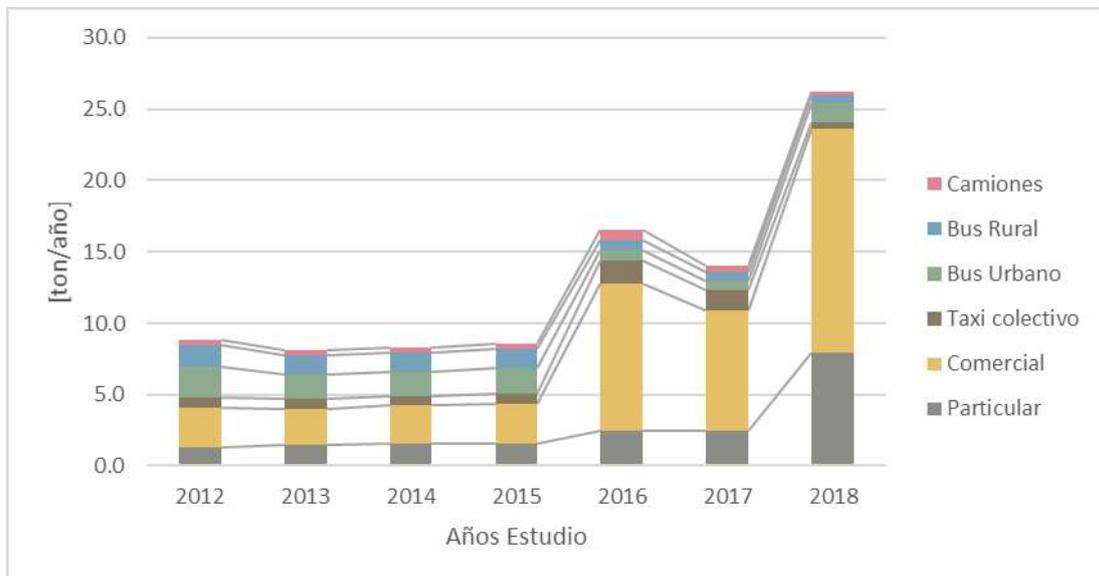


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

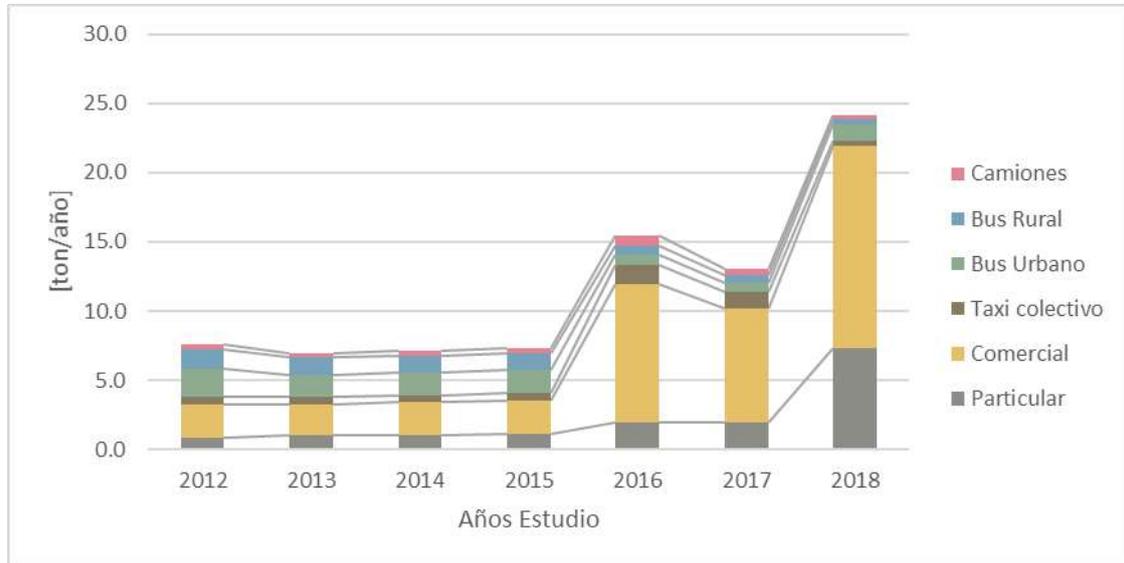
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 108 Resultado estimación MP10 [ton/año] Curicó



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 109 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Curicó

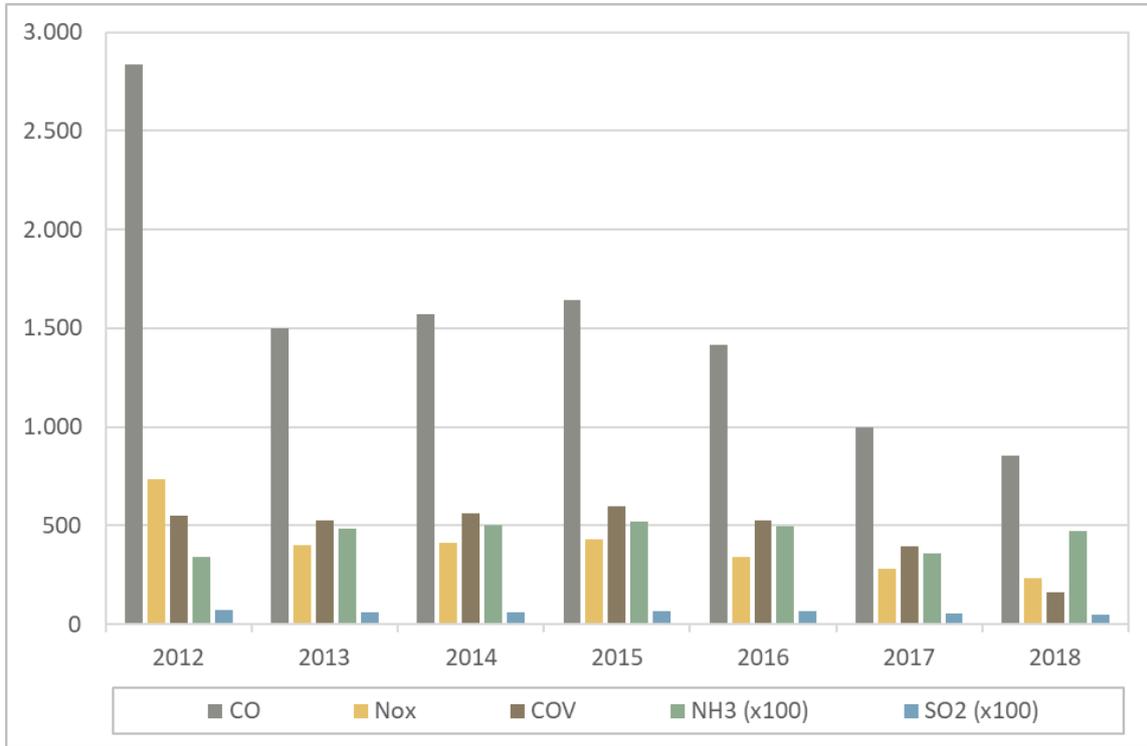


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 110 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Curicó



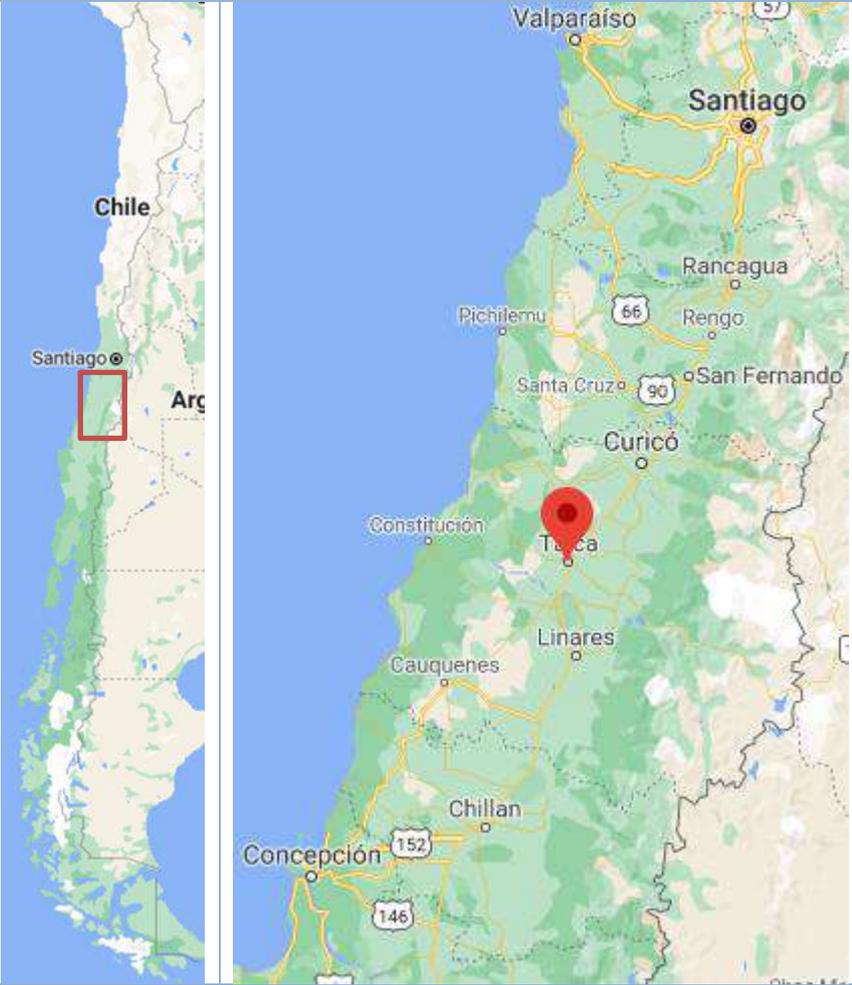
Nota: Emisiones de NH3 y SO2 están amplificadas por 100 para que sean observables en el gráfico

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

7.2.14 3.f Talca

La ciudad de Talca se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona centro-sur del país. La ciudad se destaca por ser una zona de alta producción agrícola, en los cuales los cultivos habituales son hortalizas, frutales y cereales. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 51 Indicadores GEI Talca

Nombre Indicador	Valor
Región	Maule (VII)
Mapa ubicación	
Comuna	Talca
Población urbana (2017)	220,762
Parque vehicular (2018)	59,126
Viajes por hora	s/i
Principales particiones modales (2012)	Caminata: 30% Bus: 30% Bicicleta: 8%
Tiempo de viaje	11.98 min (bus)
Participación en ciudades intermedias tipo 2	13.5% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	1.5% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Actualización del Plan de Transporte de Talca y Desarrollo de Anteproyecto (2012), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 52 Inventario de emisiones [ton/año] para Talca según año

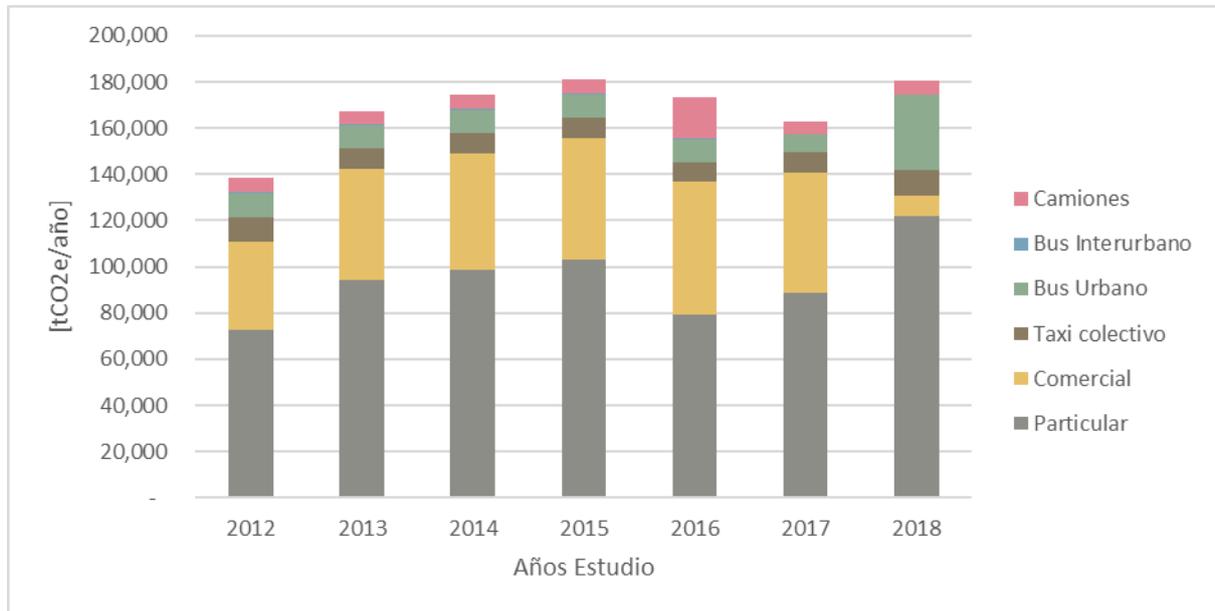
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	135.445	164.519	171.184	177.855	170.576	160.292	171.837
CH4	24	24	25	26	23	19	16
N2O	8	8	9	9	7	7	28
MP2.5	22.0	24.0	24.9	25.6	64.9	51.6	62.6
MP10	26.0	28.2	29.2	30.1	68.7	55.3	69.3
CO	9,915.5	7,024.5	7,415.8	7,790.1	5,387.0	4,655.4	3,575.4
NOx	1,560.6	1,406.4	1,473.0	1,532.8	1,154.6	901.3	738.1
COV	1,744.3	1,518.0	1,621.1	1,698.0	1,378.0	1,115.9	454.5
NH3	17.9	19.7	20.6	21.3	16.2	15.8	29.0
SO2	2.3	2.7	2.8	2.9	2.6	2.5	2.0

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Talca para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 138.3 ktCO₂eq del año 2012 a un 180.4 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 4.53%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose dos años 2016 y 2017 donde los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior, estas diferencias se explicarían

Figura N° 111 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Talca

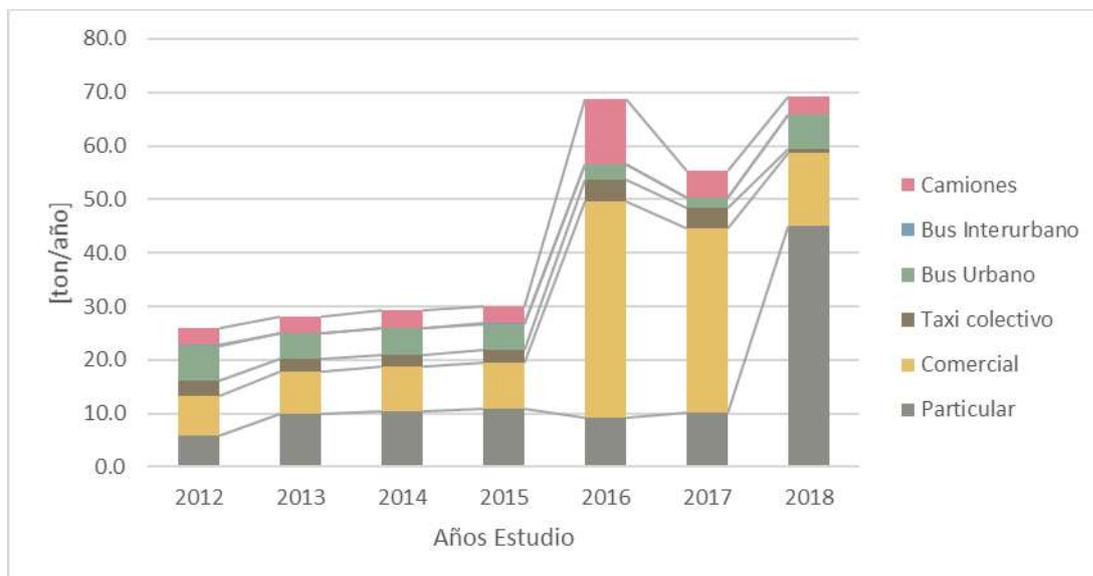


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

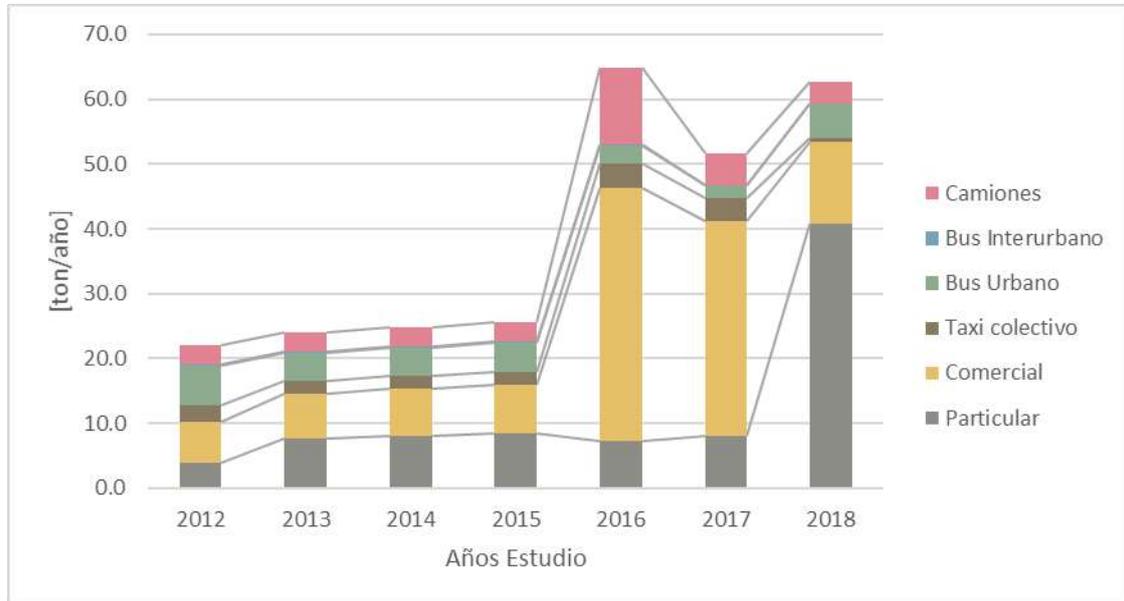
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 112 Resultado estimación MP10 [ton/año] Talca



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 113 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Talca

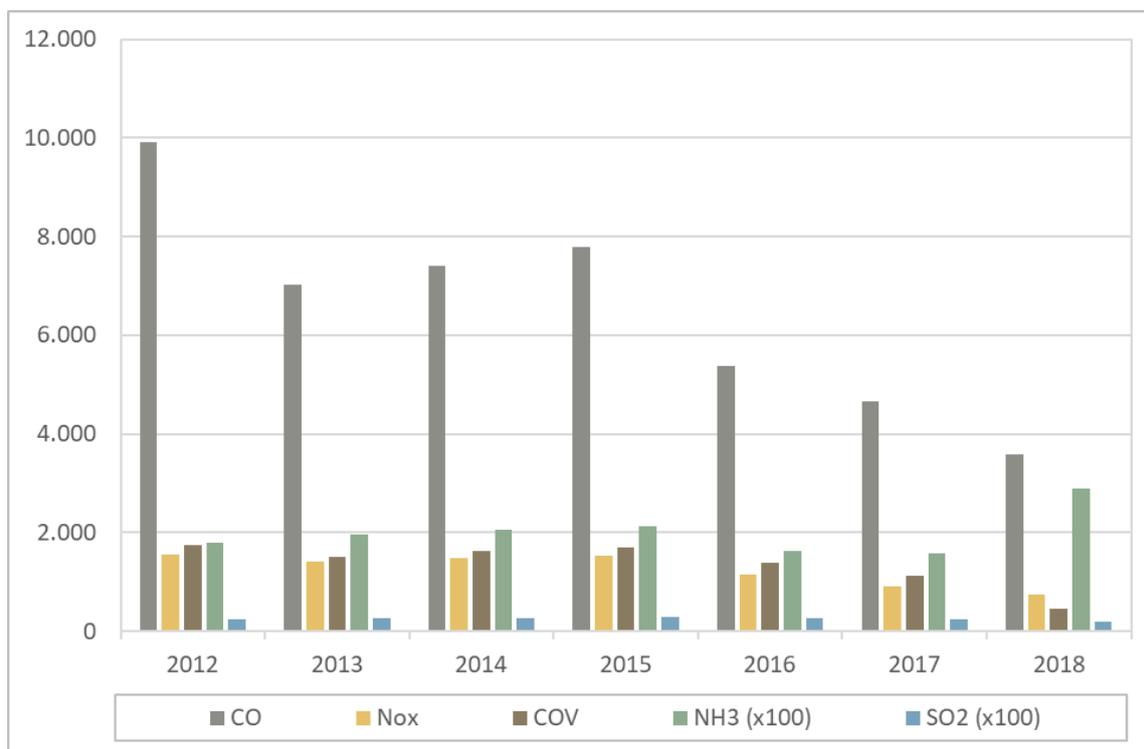


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 114 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Talca

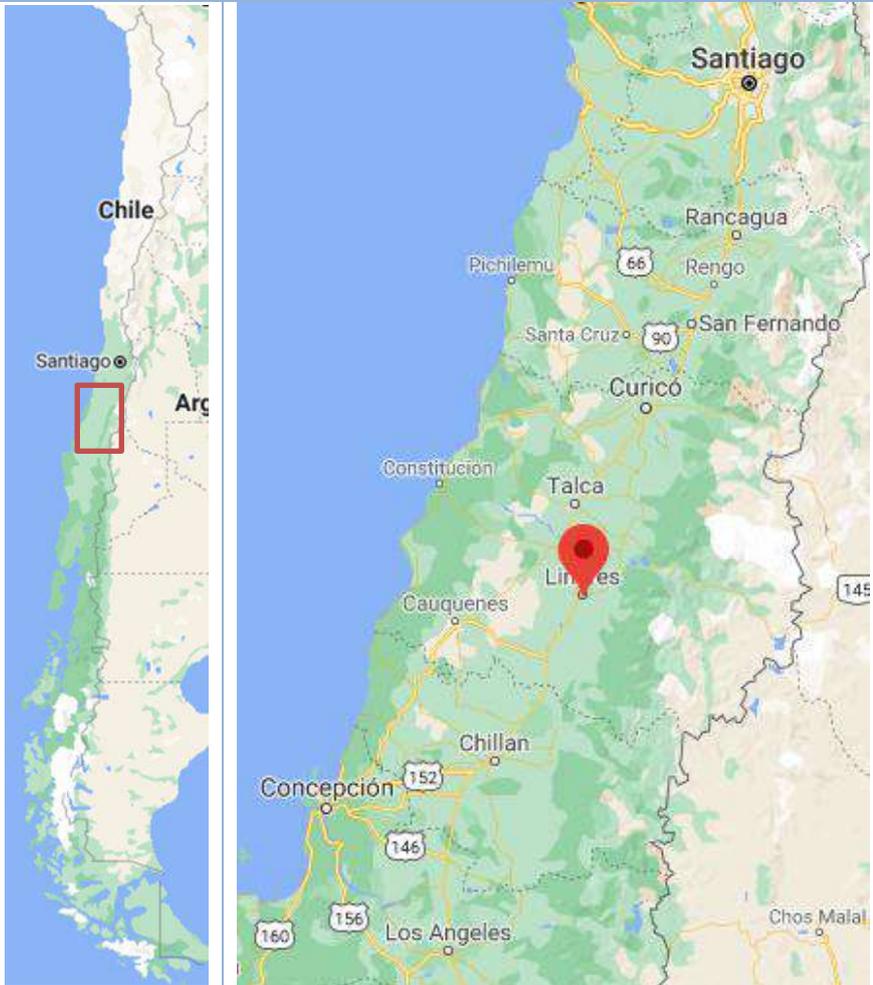


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.15 3.g Linares

La ciudad de Linares se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona centro-sur del país. La ciudad se destaca por su producción agrícola destacando los cultivos de cereales y hortalizas. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 53 Indicadores GEI Linares

Nombre Indicador	Valor
Región	Maule (VII)
Mapa ubicación	
Comuna	Linares
Población urbana (2017)	81,359
Parque vehicular (2018)	28,165
Viajes por hora	s/i
Principales particiones modales (2003)	Caminata: 34.72% Auto chofer: 17.35% Auto acompañante: 10.02%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 2	2.1% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	0.2% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Diagnóstico del sistema de transporte urbano de la ciudad de Linares, II etapa. (SECTRA, 2003), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 54 Inventario de emisiones [ton/año] para Linares según año

Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	24,329	26,093	27,346	28,304	26,608	26,017	25,520
CH4	7	4	5	5	4	4	3
N2O	1	1	1	1	1	1	3
MP2.5	8.7	7.6	8.1	8.3	12.2	12.2	17.3
MP10	9.4	8.3	8.8	9.1	12.8	12.7	18.4
CO	1,210.4	843.0	882.6	914.2	602.0	549.2	589.9
NOx	435.3	291.1	308.6	320.1	254.3	243.9	193.7
COV	376.7	391.4	419.9	439.8	310.5	271.6	115.5
NH3	1.6	2.4	2.5	2.6	1.9	1.9	2.4
SO2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Linares para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 24.9 ktCO₂eq del año 2012 a un 26.4 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio de 1%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose dos años 2016 y 2017 donde los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior, estas diferencias se explicarían

Figura N° 115 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año] Linares

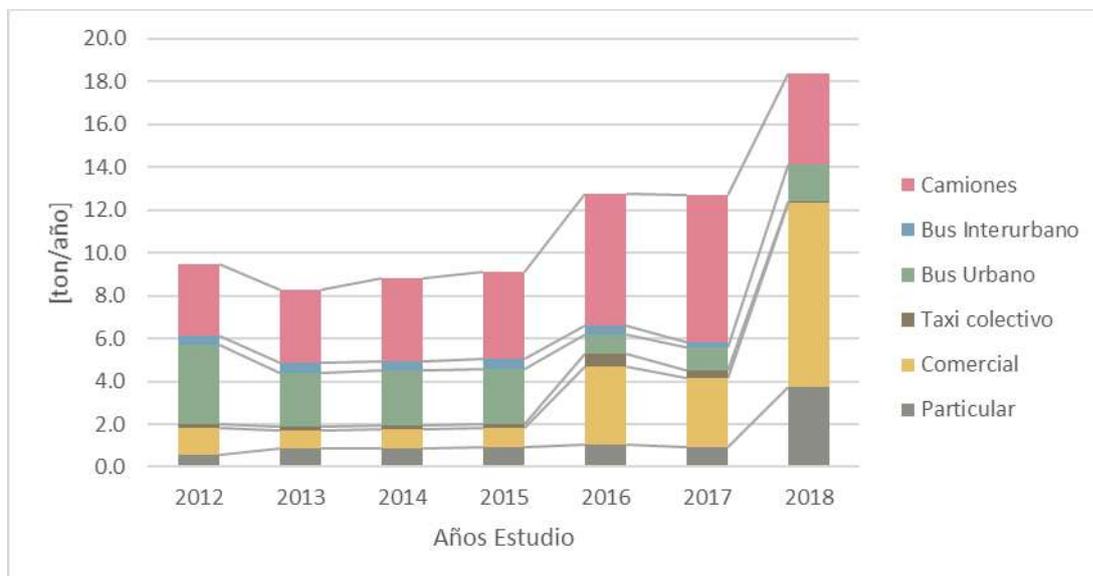


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 116 Resultado estimación MP10 [ton/año] Linares



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 117 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Linares

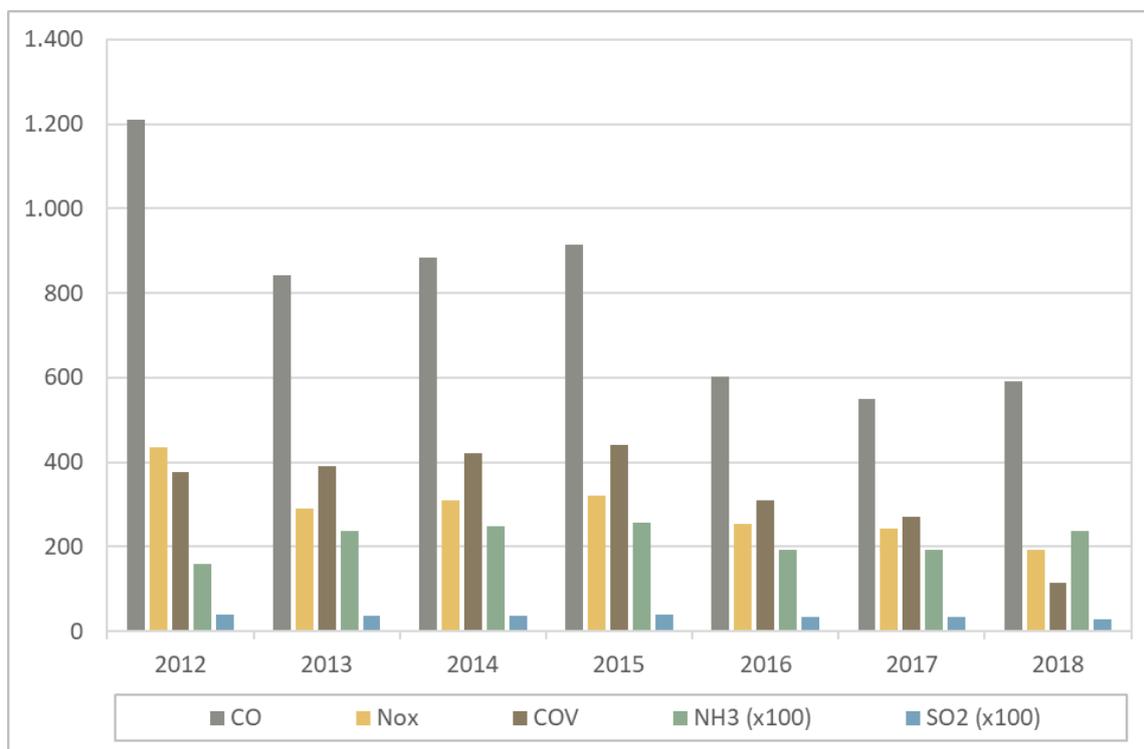


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 118 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Linares



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.16 3.h Chillán

La ciudad de Chillán se ubica en la región den Ñuble, en la zona centro-sur del país. La ciudad ubicada en el valle central sobre la ruta 5 que une al país de norte a sur, se destaca por su industria agropecuaria. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 55 Indicadores GEI Chillán

Nombre Indicador	Valor
Región	Biobío (VIII)
Mapa ubicación	
Comunas	Chillán, Chillán Viejo
Población urbana (2017)	204,920
Parque vehicular (2018)	62,421
Viajes por hora (1996)	Punta Mañana: 38,875; Fuera de Punta: 8,923
Principales particiones modales (1998)	Bus: 30% Caminata: 28% Automóvil: 19%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 2	12.5% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	1.4% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Diagnóstico del sistema de transporte urbano de la ciudad de Chillán. (SECTRA, 1998), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 56 Inventario de emisiones [ton/año] para Chillán según año

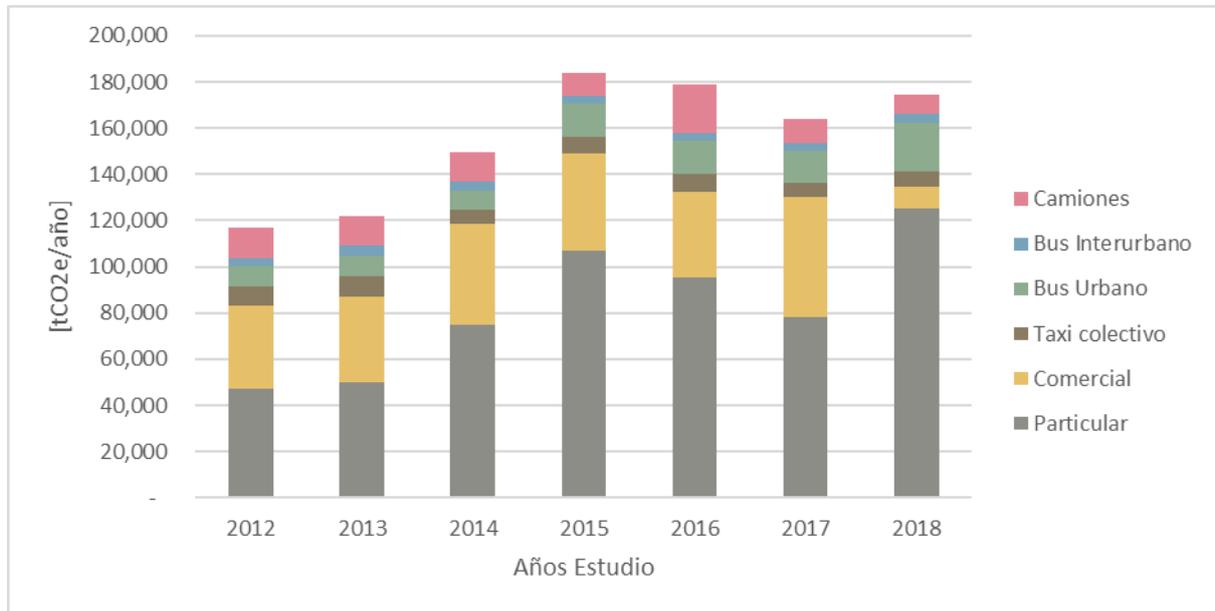
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	114,656	119,678	146,934	181,959	177,136	161,663	166,617
CH4	19	19	20	14	14	19	14
N2O	6	5	7	5	5	6	26
MP2.5	25.4	25.6	28.3	39.3	40.0	64.9	82.8
MP10	28.5	28.7	32.0	28.1	43.7	68.5	90.2
CO	7,720.4	7,848.7	10,118.8	3,120.4	2,932.6	5,098.9	4,368.5
NOx	1,305.0	1,340.2	1,543.4	708.0	849.9	989.8	818.4
COV	850.5	872.0	914.0	435.6	560.9	809.4	620.3
NH3	10.8	10.7	14.5	9.7	8.8	12.5	27.5
SO2	1.8	1.8	2.3	2.7	2.6	2.4	1.9

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Chillán para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 116.8 ktCO₂eq del año 2012 a un 174.6 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 6.93%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose dos años 2016 y 2017 donde los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior, estas diferencias se explicarían

Figura N° 119 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año] Chillán

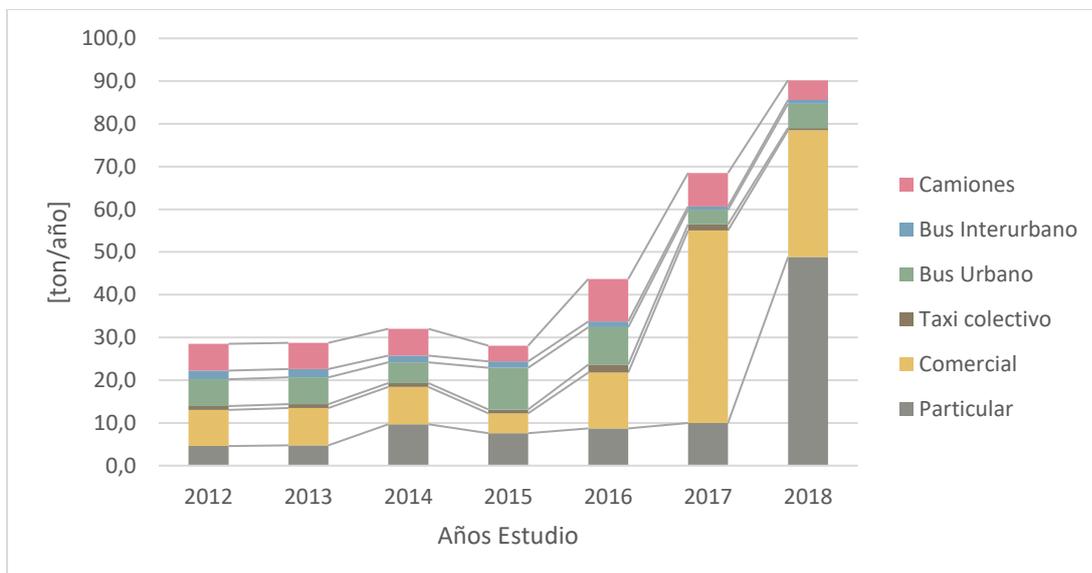


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

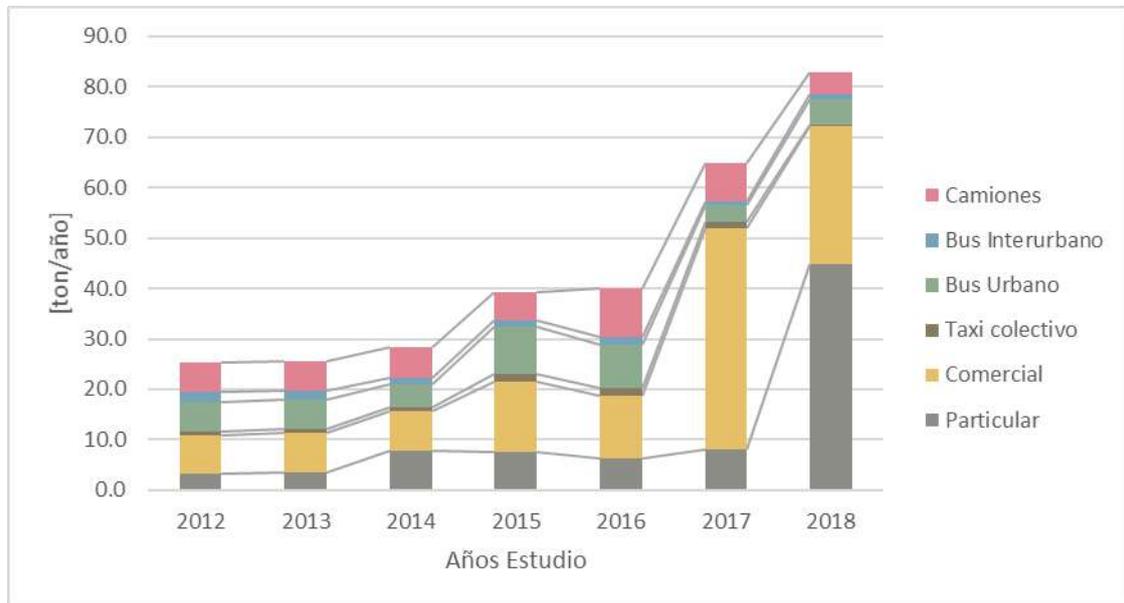
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 120 Resultado estimación MP10 [ton/año] Chillán



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 121 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Chillán

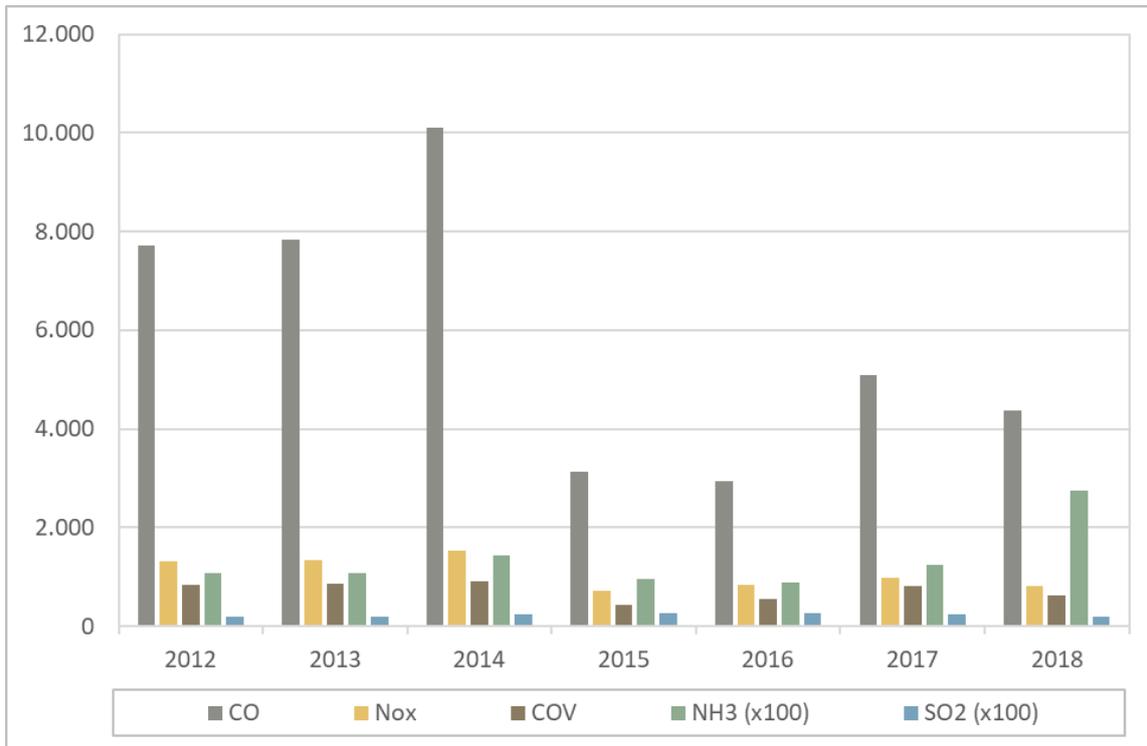


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 122 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Chillán

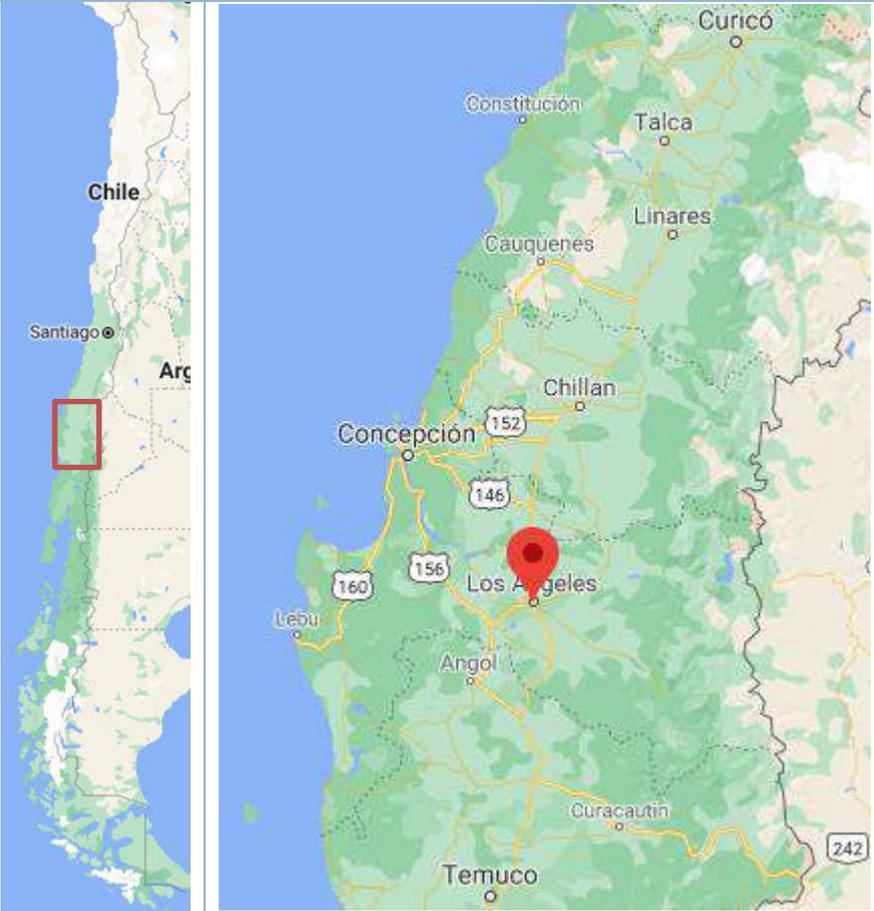


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

7.2.17 3.i Los Ángeles

La ciudad de Los Ángeles se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona centro-sur del país. La ciudad ubicada en el valle central del país se destaca por su actividad silvoagropecuaria. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 57 Descripción general de Los Ángeles

Nombre Indicador	Valor
Región	Biobío (VIII)
Mapa ubicación	
Comuna	Los Ángeles
Población urbana (2017)	158,961
Parque vehicular (2018)	59,203
Viajes por hora (2010-2011)	Punta Mañana: 56,502; Fuera de Punta: 36;534
Principales particiones modales (2012)	Caminata: 32,88% Bus: 19,8% Auto acompañante: 15,74%
Tiempo de viaje	Punta Mañana: 12,23 minutos
Participación en ciudades intermedias tipo 2	10.1% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	1.1% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Actualización Plan de Transporte Los Ángeles y desarrollo de anteproyecto. (SECTRA, 2012), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 58 Inventario de emisiones [ton/año] para Los Ángeles según año

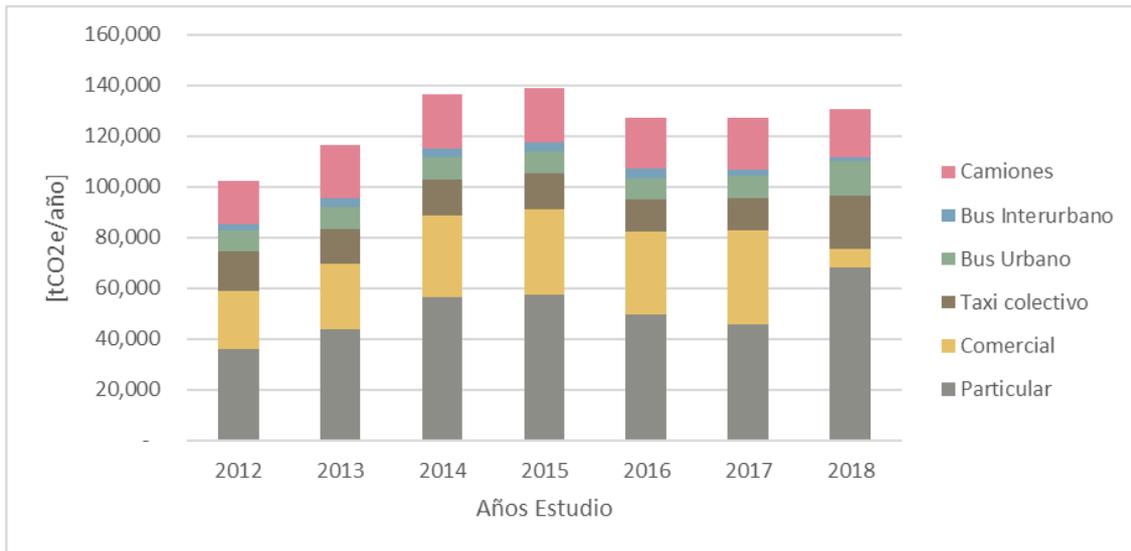
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	100,498	114,657	134,520	137,037	125,523	125,397	125,360
CH4	13	14	17	17	14	15	12
N2O	5	4	5	5	5	5	17
MP2.5	25.6	24.4	27.4	27.9	42.8	43.9	52.6
MP10	28.9	27.4	30.8	31.3	45.6	46.6	57.6
CO	4,688.5	3,776.6	4,620.4	4,783.3	3,093.4	3,187.8	2,735.1
NOx	1,054.4	1,058.5	1,223.8	1,261.1	876.8	906.7	644.8
COV	1,074.4	1,062.8	1,202.8	1,285.5	879.1	924.6	384.9
NH3	9.7	9.9	12.6	12.8	10.9	10.8	16.6
SO2	1.5	1.6	2.0	2.0	1.8	1.8	1.4

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Los Ángeles para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 102.2 ktCO₂eq del año 2012 a un 130.8.2 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 4.19%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose dos años 2016 y 2017 donde los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 123 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Los Ángeles

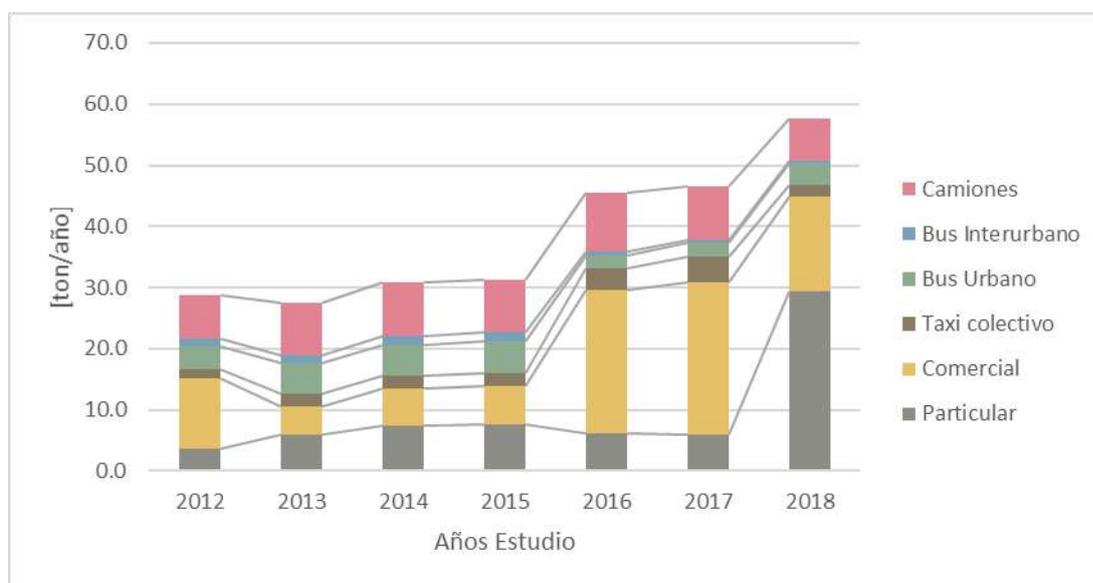


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

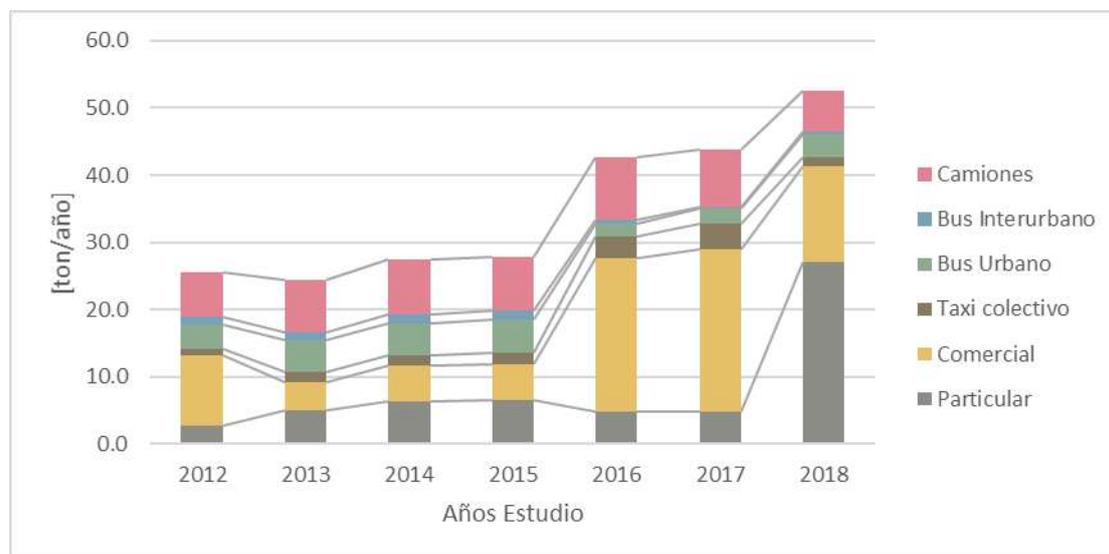
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 124 Resultado estimación MP10 [ton/año] Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 125 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Los Ángeles

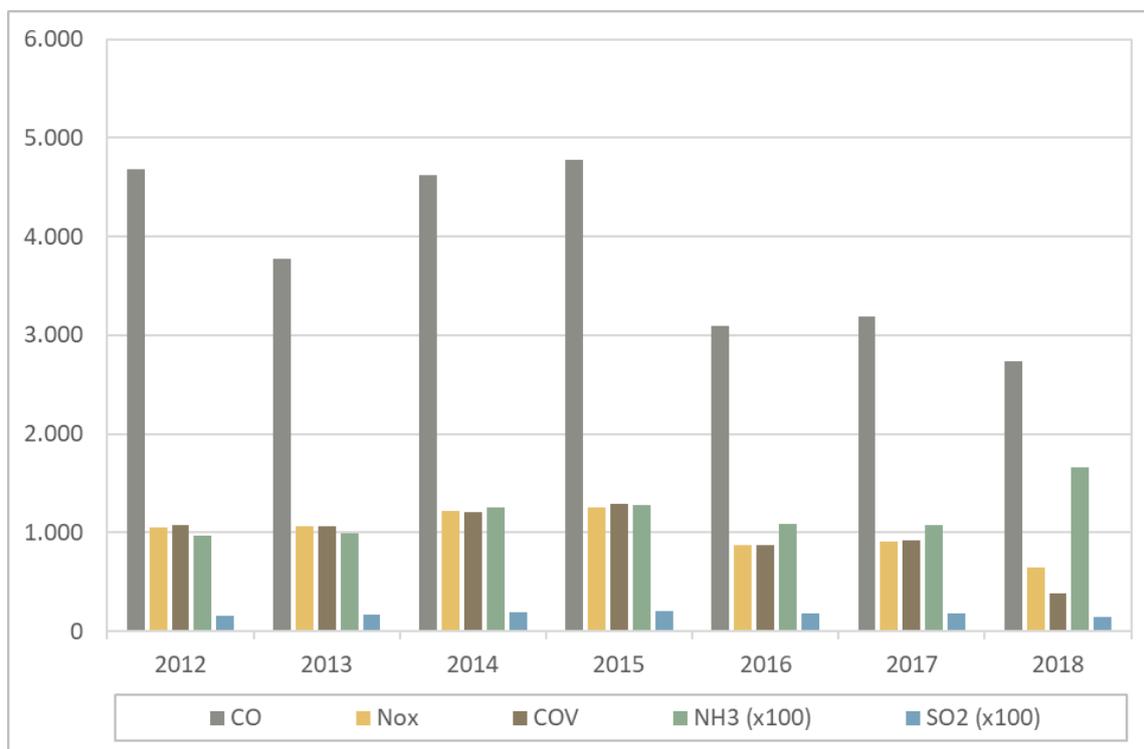


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 126 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Los Ángeles

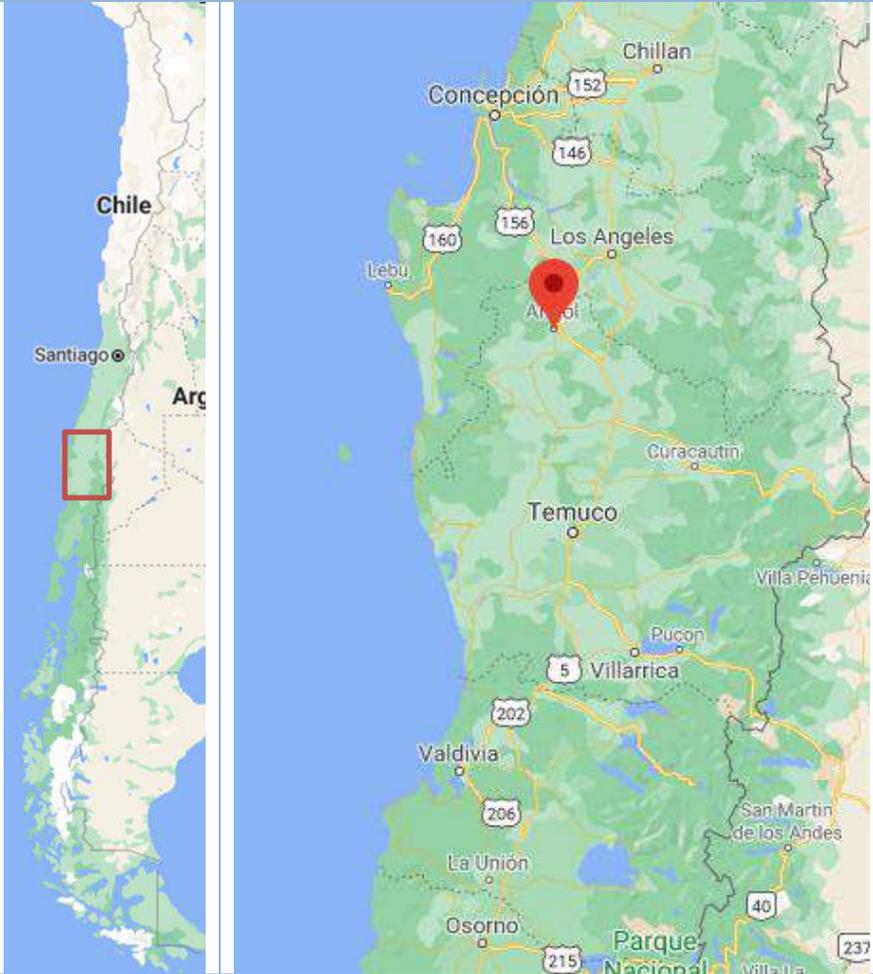


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.18 3.j Angol

La ciudad de Angol se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona sur del país. La ciudad ubicada en el valle central se destaca por su actividad silvoagropecuaria. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 59 Descripción general de Angol

Nombre Indicador	Valor
Región	La Araucanía (IX)
Mapa ubicación	
Comuna	Angol
Población urbana (2017)	50,636
Parque vehicular (2018)	15,058
Viajes por hora	s/i
Principales particiones modales (2006)	Caminata: 51.42% Bicicleta: 10.99% Auto chofer: 10.76%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 2	1.3% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	0.1% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información del Análisis del sistema de transporte urbano de la ciudad de Angol. (SECTRA, 2006), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 60 Inventario de emisiones [ton/año] para Angol según año

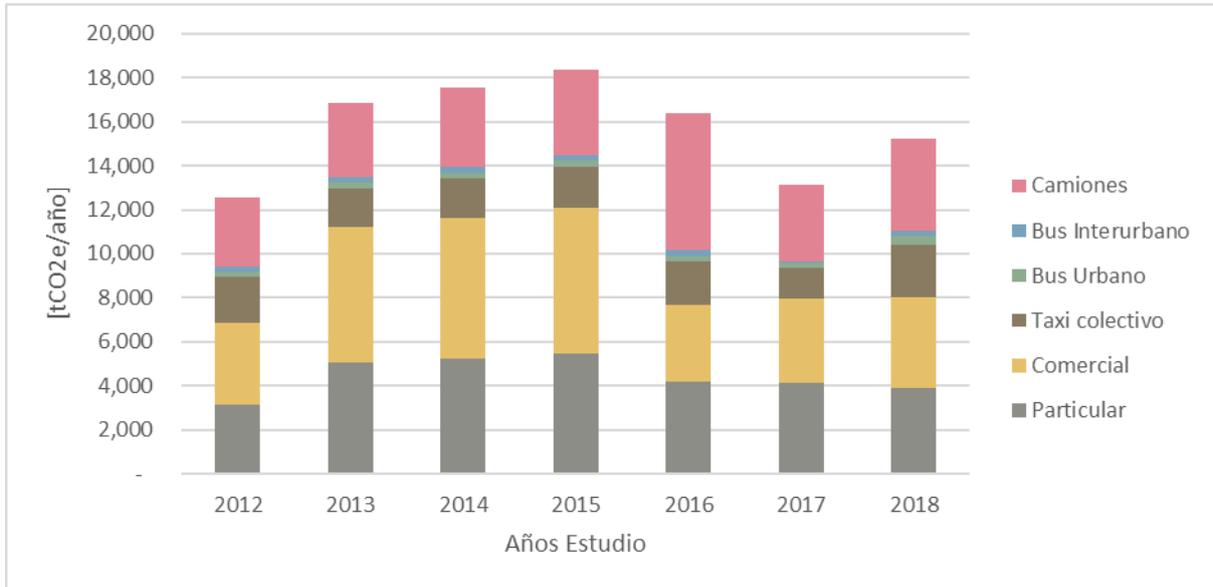
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	12,262	16,558	17,209	18,007	16,165	12,945	14,729
CH4	3	2	2	3	2	2	1
N2O	1	1	1	1	1	1	2
MP2.5	2.3	2.7	2.8	3.0	6.1	4.4	6.9
MP10	2.7	3.2	3.3	3.5	6.5	4.7	7.6
CO	688.9	603.1	641.6	672.8	358.5	268.2	233.1
NOx	209.6	148.4	156.9	165.0	142.0	96.7	75.9
COV	178.7	173.0	190.6	201.2	143.6	101.6	33.4
NH3	1.1	1.8	1.9	1.9	1.0	1.0	1.4
SO2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Angol para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 12.6 ktCO₂eq del año 2012 a un 15.3 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 3.29%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose dos años 2016 y 2017 donde los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior, estas diferencias se explicarían

Figura N° 127 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Angol

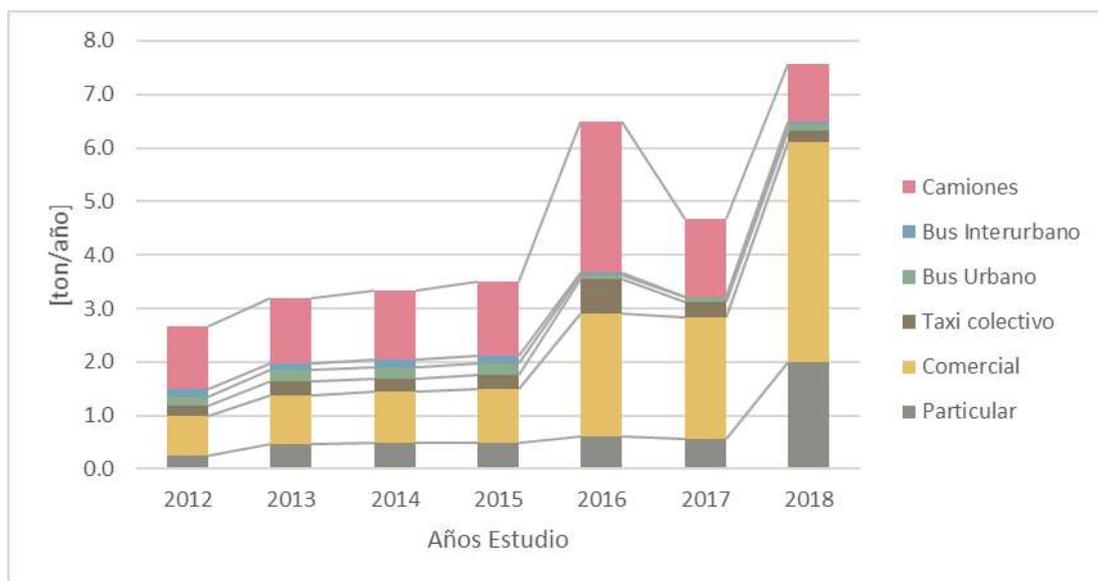


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

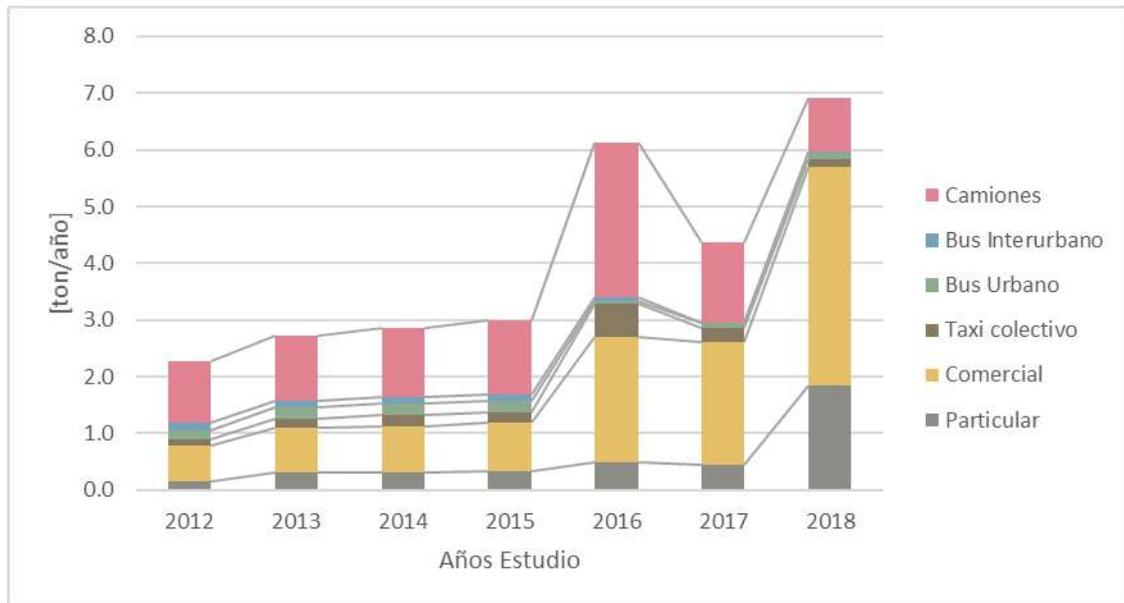
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 128 Resultado estimación MP10 [ton/año] Angol



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 129 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Angol

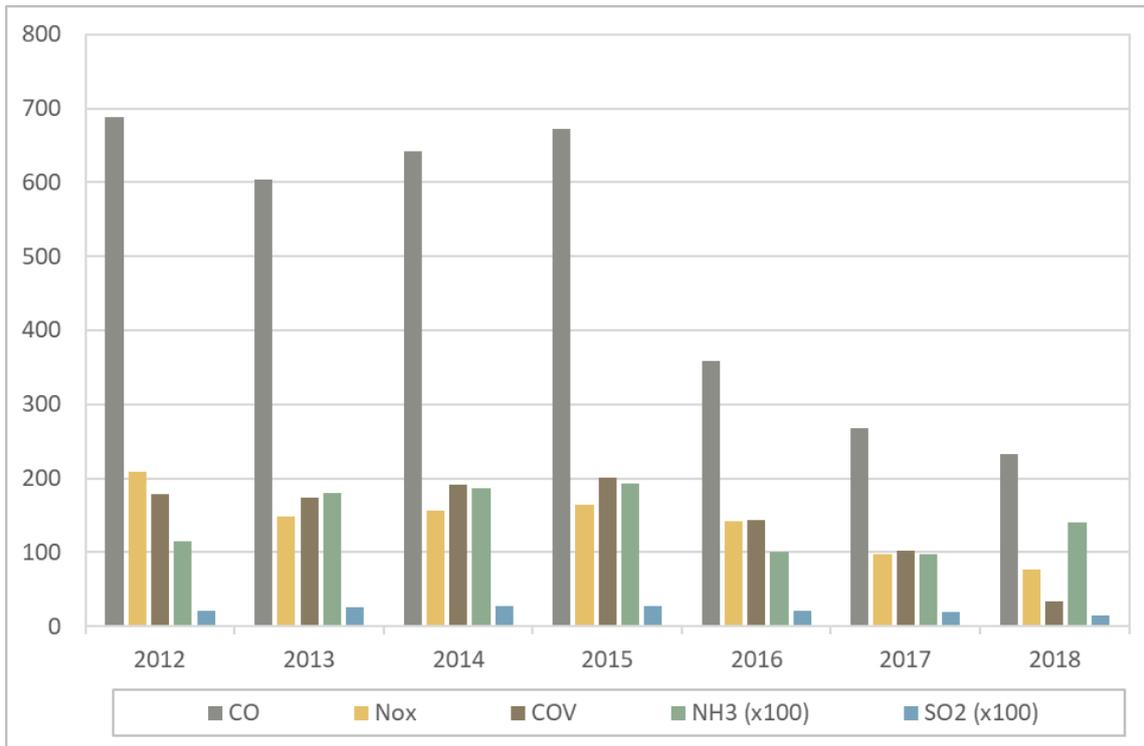


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 130 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Angol

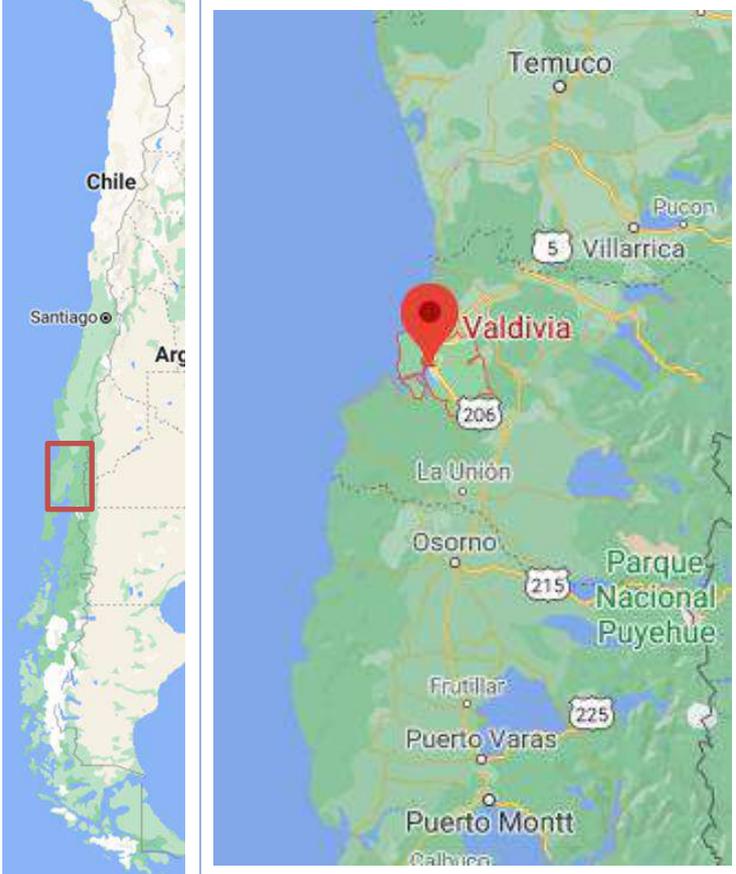


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

7.2.19 3.k Valdivia

La ciudad de Valdivia se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona sur del país. La ciudad se destaca por contar dentro de sus principales actividades económicas, las industrias maderera, papelera, cervecera, molinera, y una planta de celulosa. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 61 Indicadores GEI Valdivia

Nombre Indicador	Valor
Región	Los Ríos (XIV)
Mapa ubicación	
Comuna	Valdivia
Población urbana (2017)	159,975
Parque vehicular (2018)	45,946
Viajes por hora (2015)	Punta Mañana: 47,119; Fuera de Punta: 29,076
Principales particiones modales (2017)	Auto chofer: 22% Bus: 19.7%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 2	5.8% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	0.6% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Actualización Plan de Transporte de Valdivia y Desarrollo de Anteproyecto, Etapa II. (SECTRA, 2017), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 62 Inventario de emisiones [ton/año] para Valdivia según año

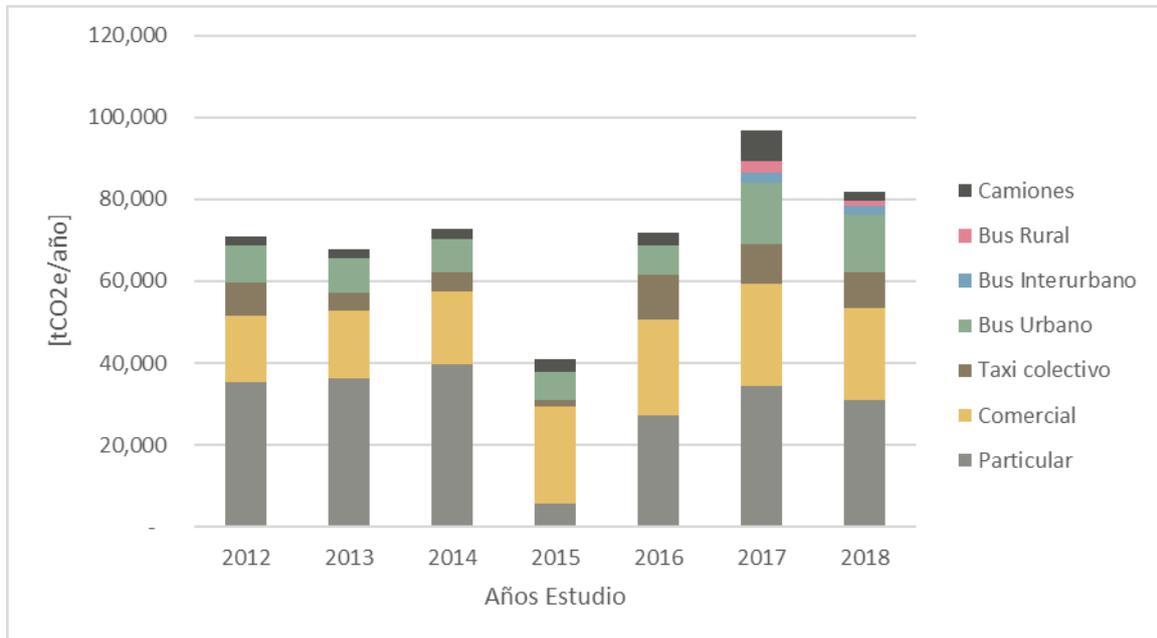
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	69,609	66,405	71,322	39,874	70,856	95,743	78,663
CH4	10	9	9	13	9	11	6
N2O	4	4	4	2	2	3	10
MP2.5	14.3	11.8	12.5	20.5	22.3	29.9	32.7
MP10	16.8	13.9	14.7	16.3	23.8	32.0	35.8
CO	3,442.7	1,628.8	1,793.5	2,564.4	1,469.4	1,969.5	938.9
NOx	716.3	558.9	596.8	557.7	408.9	736.7	366.7
COV	760.8	507.7	543.6	843.6	346.3	645.8	161.5
NH3	9.8	9.0	9.7	5.5	4.4	7.4	9.0
SO2	1.2	1.1	1.2	0.8	1.0	1.3	0.8

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Valdivia para el periodo presentan un comportamiento variable durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 71.1 ktCO₂eq del año 2012 a un 81.7 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 2.36%.

Figura N° 131 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂e/año] Valdivia

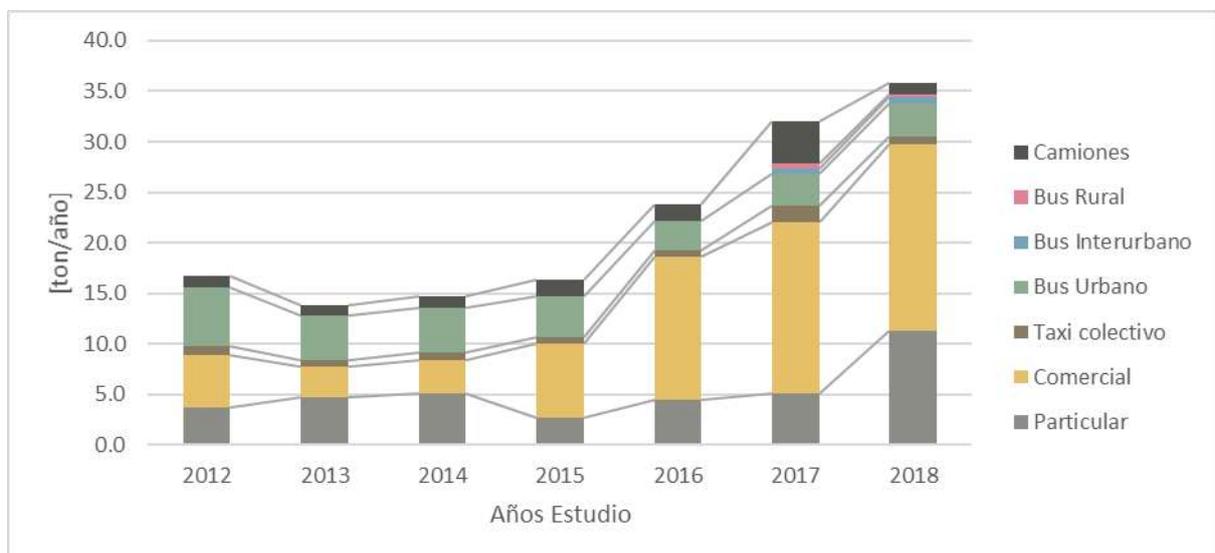


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

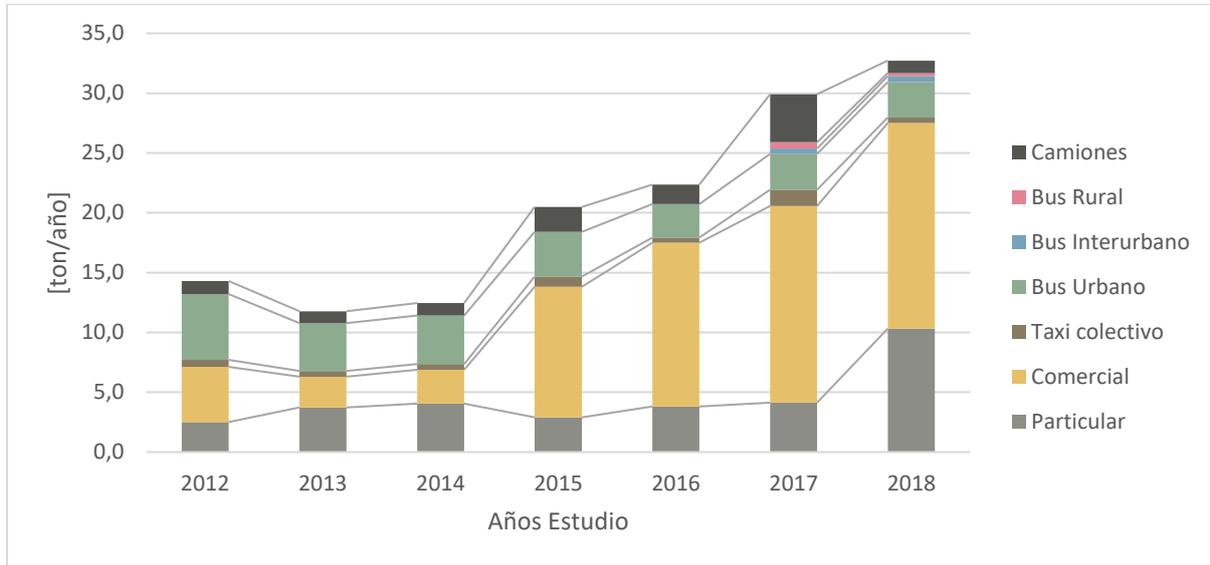
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 132 Resultado estimación MP10 [ton/año] Valdivia



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 133 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Valdivia

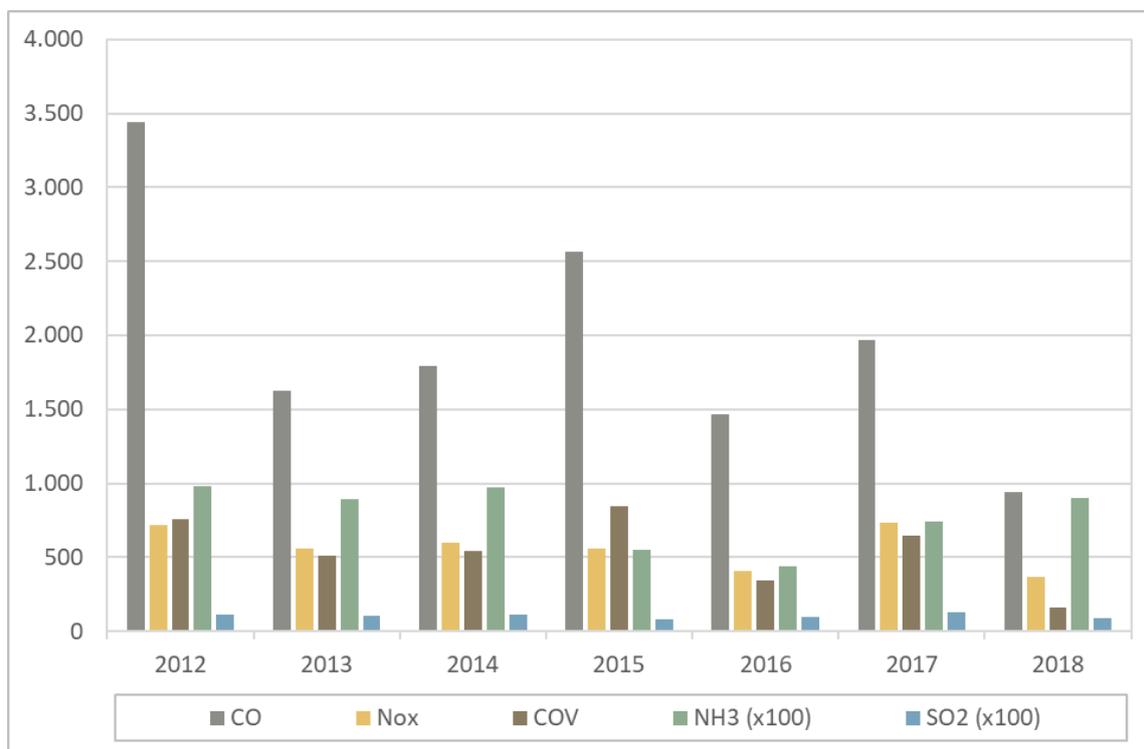


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 134 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Valdivia

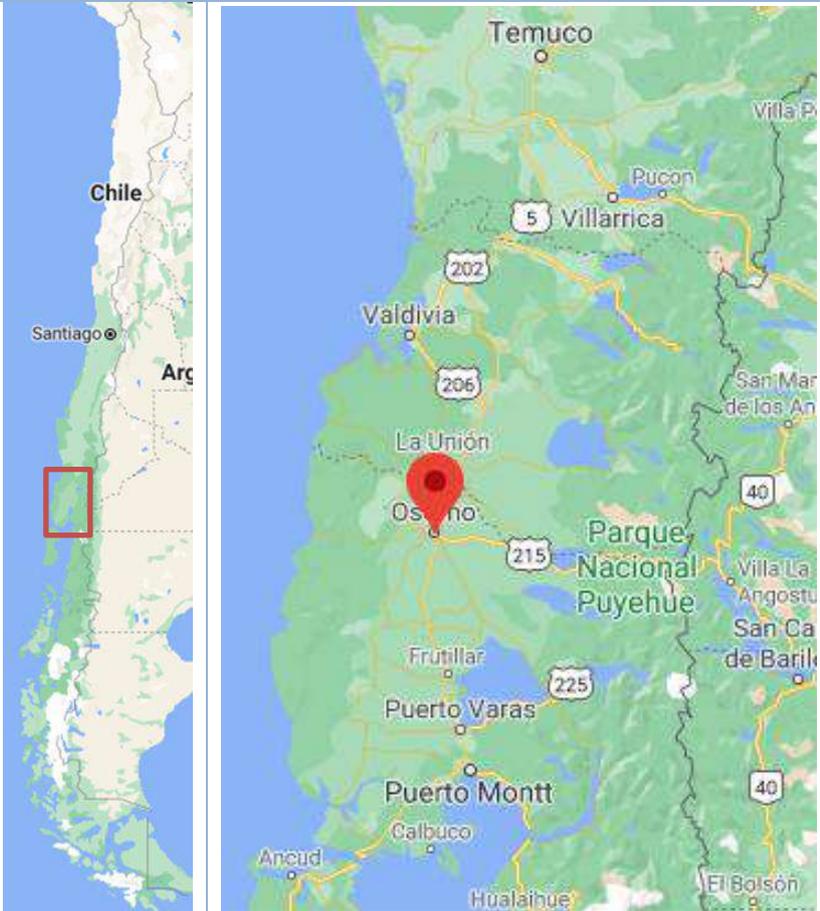


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.20 3.l Osorno

La ciudad de Osorno se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona sur del país. La ciudad se destaca por ser un importante centro agropecuario, destacando su producción ganadera bovina. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 63 Indicadores GEI Osorno

Nombre Indicador	Valor
Región	Los Lagos (X)
Mapa ubicación	
Comuna	Osorno
Población urbana (2017)	155,763
Parque vehicular (2018)	45,315
Viajes por hora	Punta Mañana: 28,157; Fuera de Punta: 10,328
Principales particiones modales (2016)	Auto chofer: 27% Bus-Taxibus: 20.4% Caminata: 20.13%
Tiempo de viaje	s/i
Participación en ciudades intermedias tipo 2	5.5% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	0.6% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de actualización diagnóstico del STU de la Ciudad de Osorno (SECTRA, 2016), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 64 Inventario de emisiones [ton/año] para Osorno según año

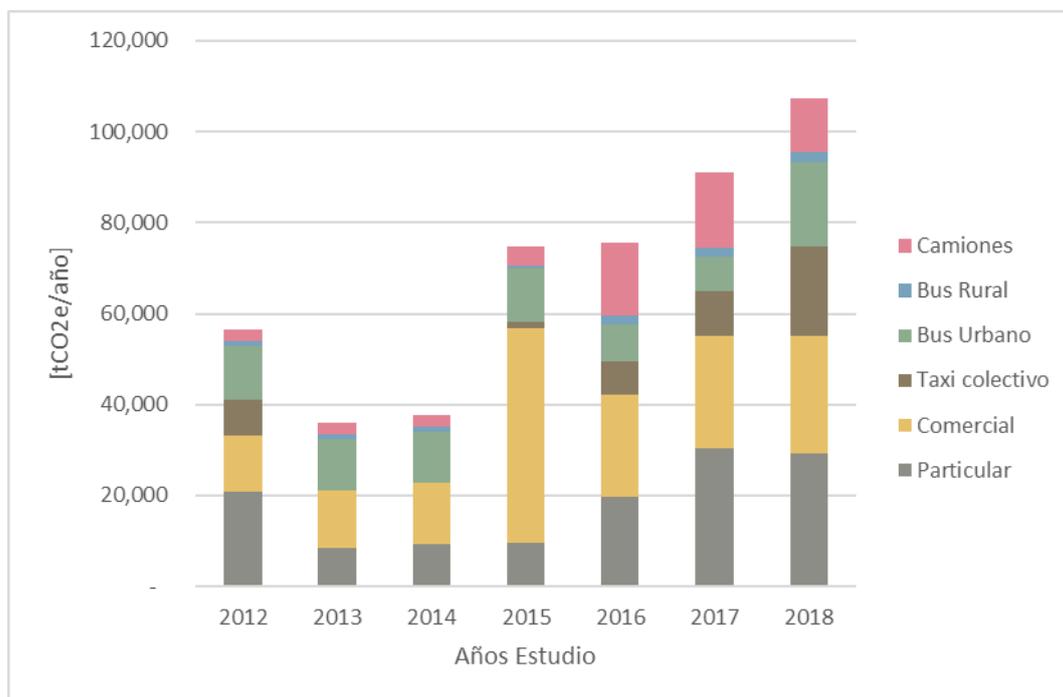
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	55,437	34,975	36,549	72,903	74,683	89,857	104,019
CH4	10	9	9	21	13	9	6
N2O	3	3	3	4	2	3	11
MP2.5	20.7	16.5	17.0	33.9	28.1	33.8	48.0
MP10	22.9	18.5	19.1	26.6	29.6	35.7	52.0
CO	2,677.7	1,385.7	1,486.9	4,066.3	2,491.1	1,691.2	1,301.6
NOx	733.1	590.8	615.4	793.8	646.3	597.1	559.4
COV	439.6	269.9	285.4	906.3	763.9	409.8	214.6
NH3	6.7	6.3	6.8	7.1	3.9	6.2	9.2
SO2	0.9	0.7	0.7	1.4	1.1	1.2	1.1

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Osorno para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 56.6 ktCO₂eq del año 2012 a un 107.4 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 11.26%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose que el año 2013 los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 135 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Osorno

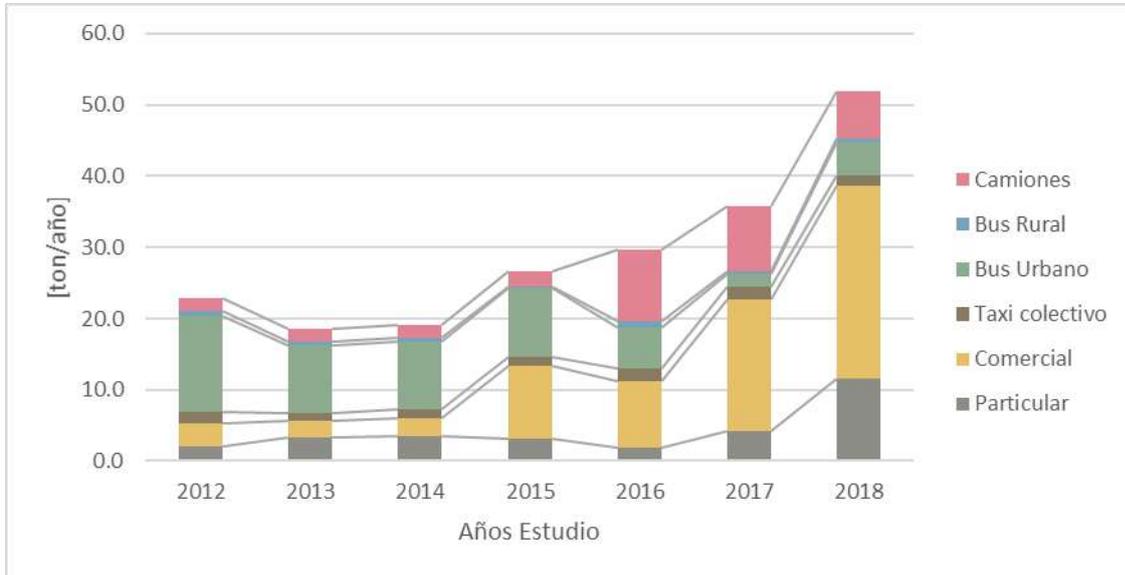


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

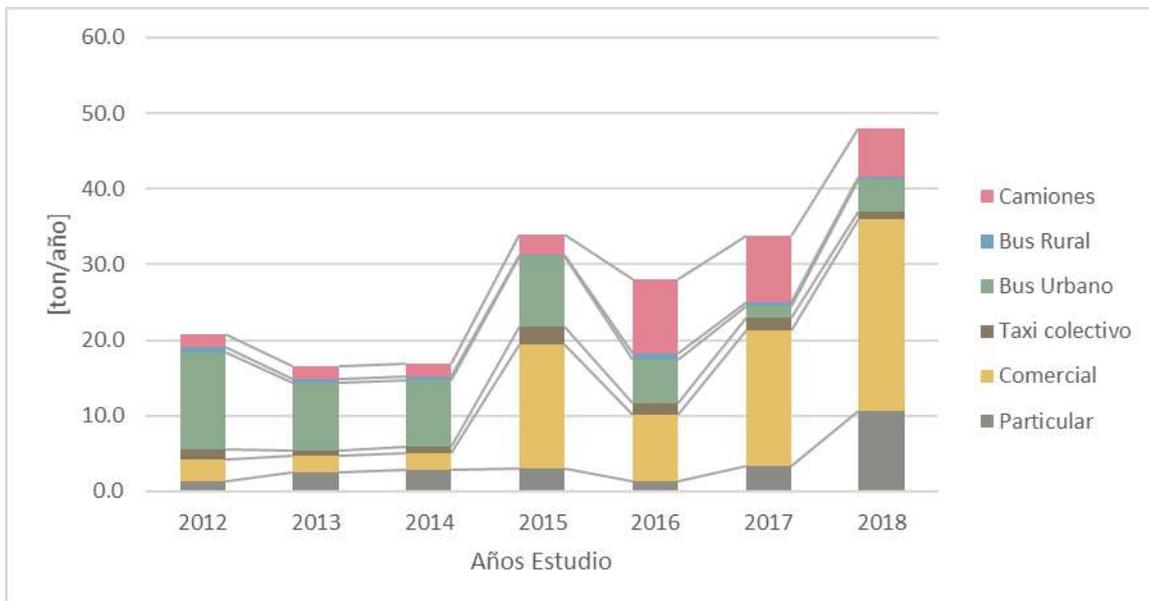
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 136 Resultado estimación MP10 [ton/año] Osorno



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 137 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Osorno



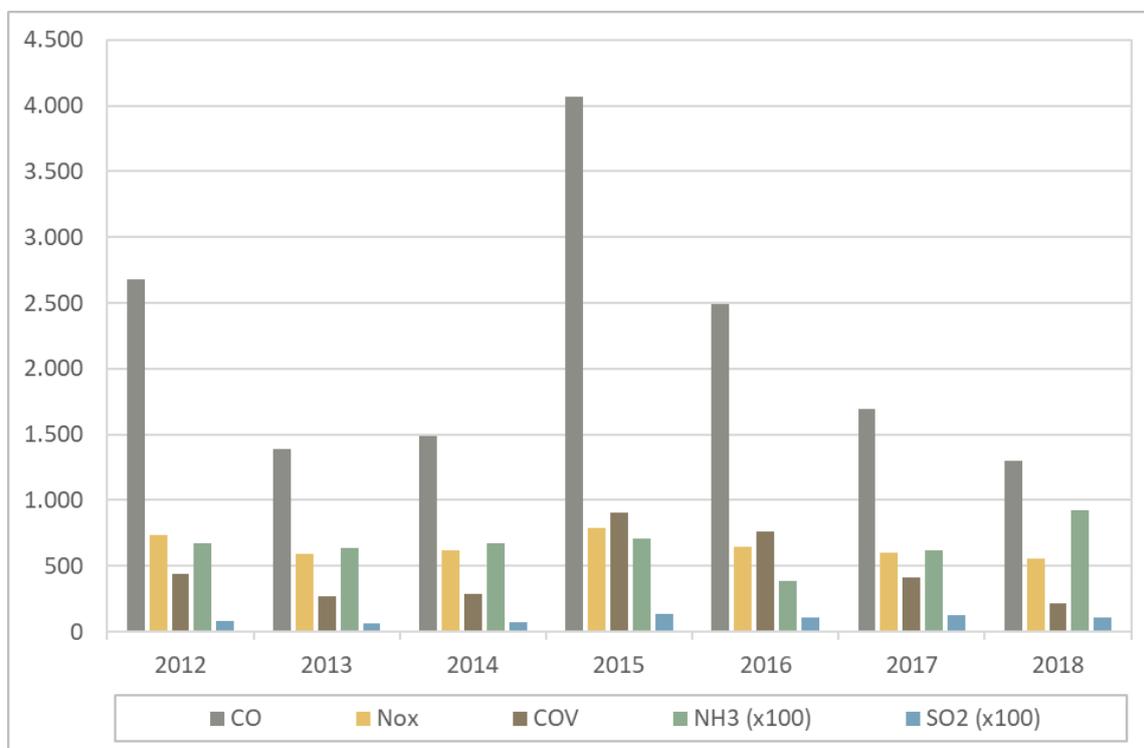
Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no

necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 138 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Osorno

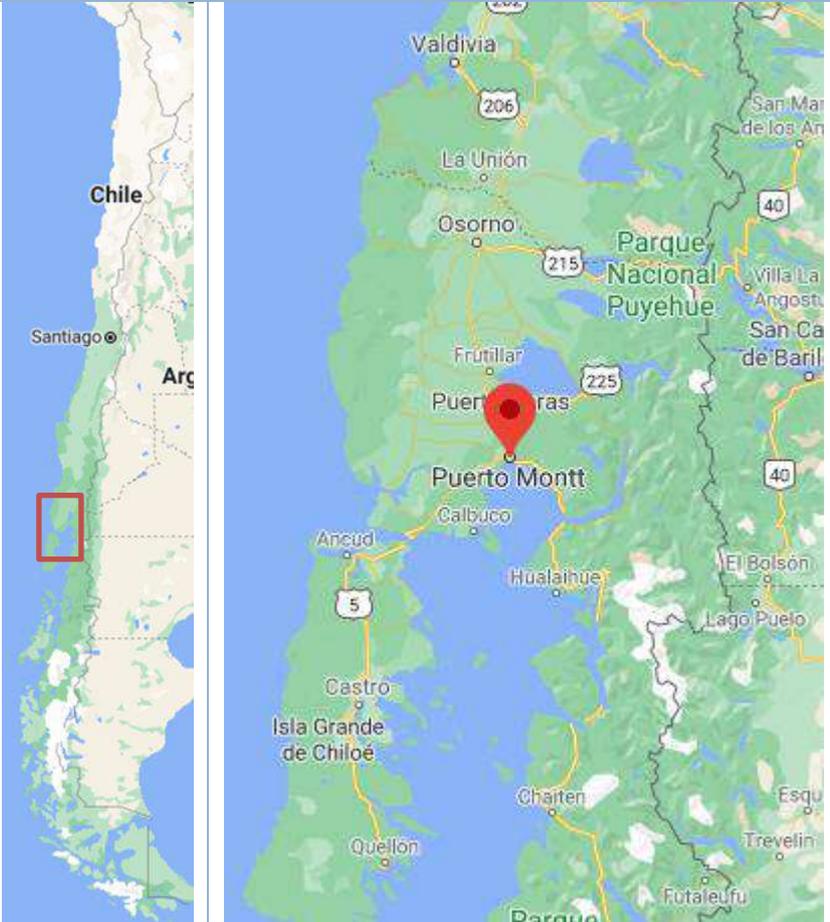


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.21 3.m Puerto Montt

La ciudad de Puerto Montt se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona sur del país. La ciudad se destaca por contar con un puerto con alta intensidad de operación y ser una zona de alta industria salmonera. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 65 Descripción general de Puerto Montt

Nombre Indicador	Valor
Región	Región de los Lagos (X)
Mapa ubicación	
Comuna	Puerto Montt
Población urbana (2017)	231,492
Parque vehicular (2018)	76,958
Viajes por hora (2014)	Punta Mañana:69,866; Fuera de Punta: 27,798
Principales particiones modales (2018)	Auto chofer: 26.34% Caminata: 18.74% Taxi colectivo: 15.55%
Tiempo de viaje	Promedio: 28 minutos
Participación en ciudades intermedias tipo 2	12.1% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2, (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	1.3% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de Actualización Plan de Transporte de Puerto Montt, Etapa II. (SECTRA, 2018), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 66 Inventario de emisiones [ton/año] para Puerto Montt según año

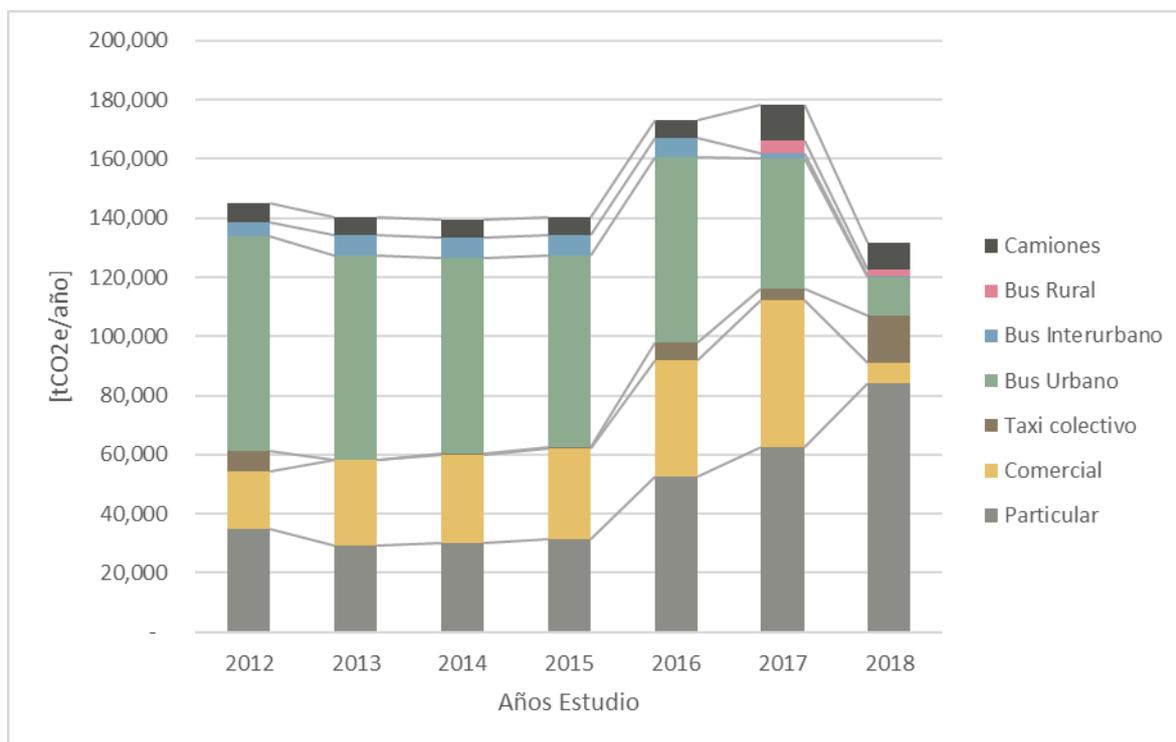
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	142,719	137,732	136,899	137,919	170,967	176,117	129,662
CH4	28	29	29	29	28	26	10
NO2	5	6	6	6	5	6	6
MP2.5	46.5	45.2	44.7	44.9	56.1	61.9	55.6
MP10	52.1	51.0	50.4	50.6	60.0	65.9	61.3
CO	3,318.9	2,447.2	2,546.5	2,644.5	3,012.0	3,369.6	2,177.9
NOx	1,416.7	1,494.3	1,501.7	1,523.3	1,358.6	1,275.1	521.8
COV	951.2	643.7	687.3	724.1	844.3	770.3	710.7
NH3	9.1	15.4	15.9	16.2	13.6	13.7	23.8
SO2	1.9	2.0	2.0	2.0	2.2	2.4	1.4

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Puerto Montt para el periodo presenta un decrecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 144.9 ktCO₂eq del año 2012 a un 131.7 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de decrecimiento promedio -1.57%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son decrecientes continuamente, observándose una serie temporal de crecimiento entre los años 2015 a 2017, volviendo a decrecer el año 2018.

Figura N° 139 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Puerto Montt

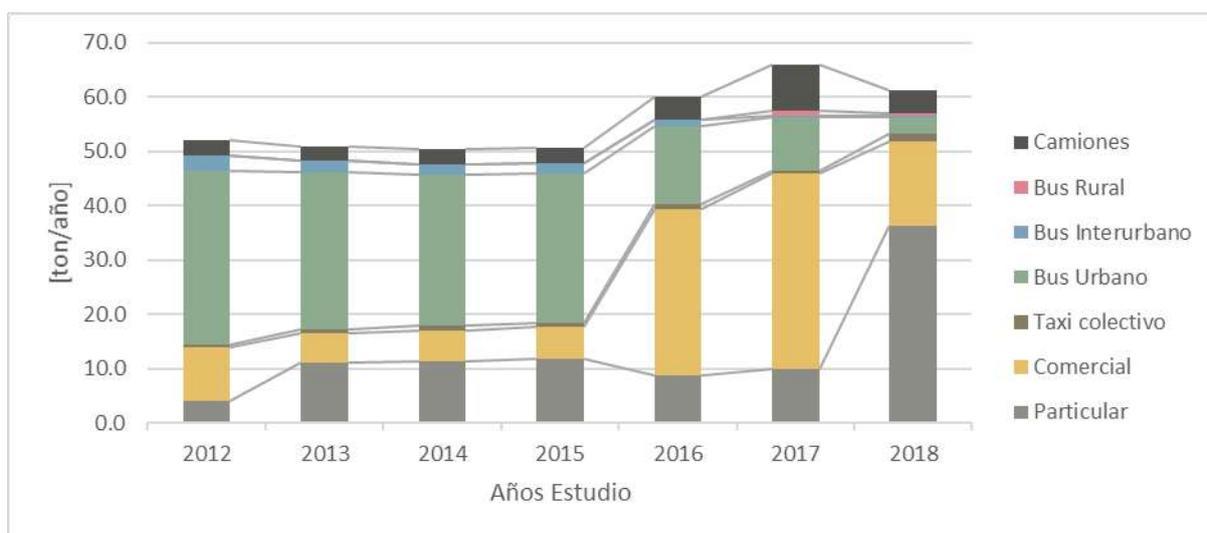


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

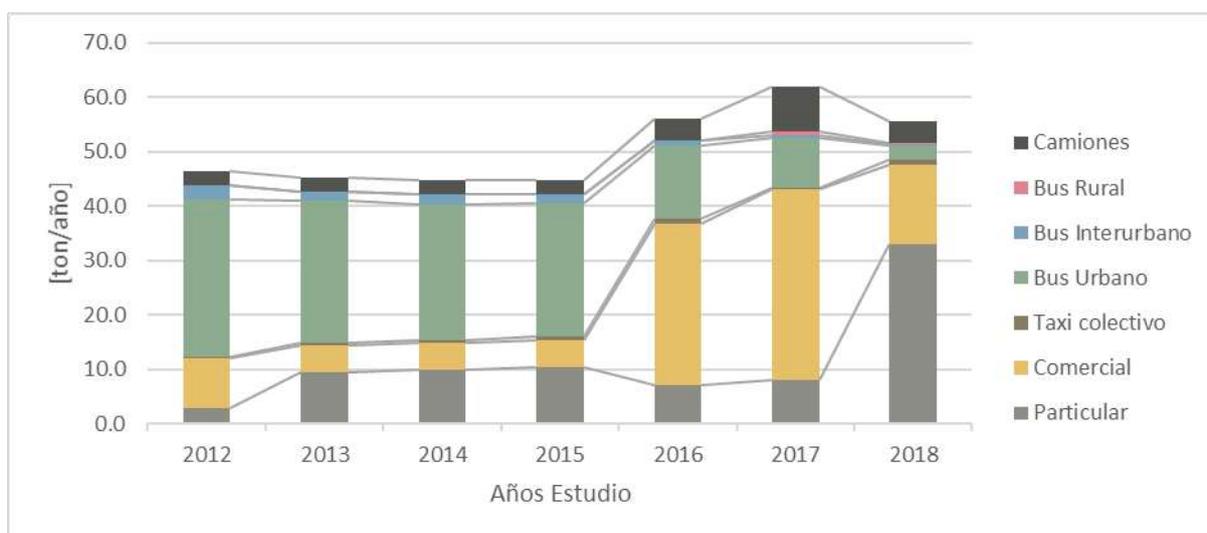
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 140 Resultado estimación MP10 [ton/año] Puerto Montt



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 141 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Puerto Montt

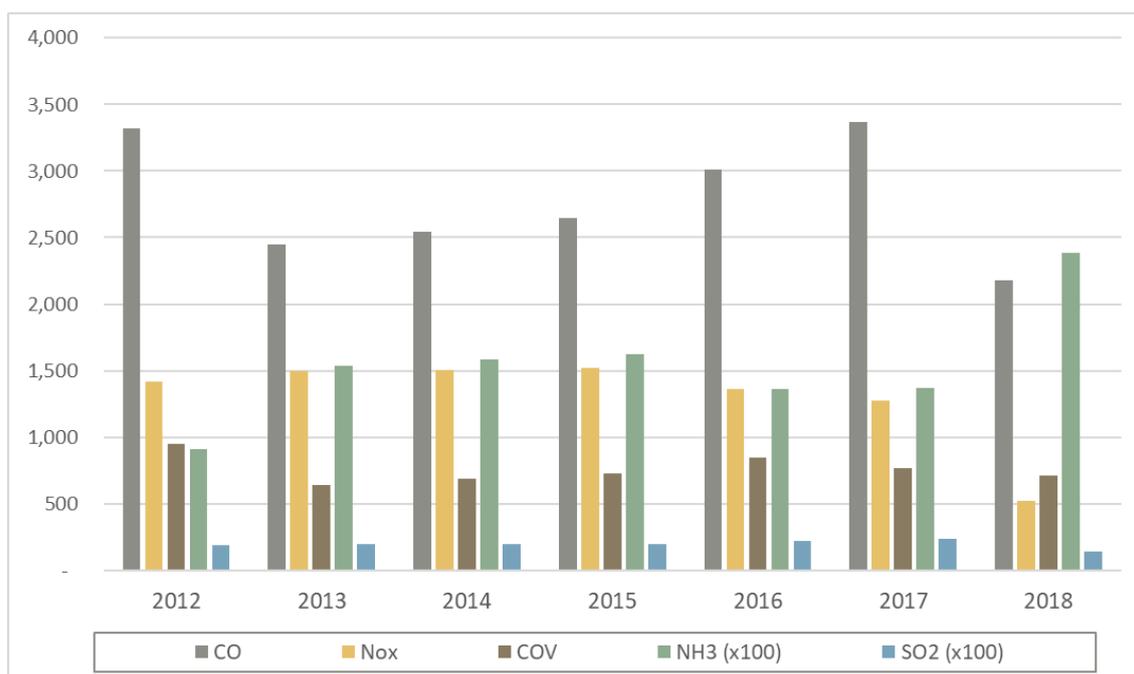


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 142 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Puerto Montt



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

7.2.22 3.n Punta Arenas

La ciudad de Punta Arenas se ubica en la comuna del mismo nombre, en la zona sur del país. La ciudad se destaca por contar con un puerto interoceánico siendo un punto estratégico de comercio y navegación debido a la conexión oceánica que provee el Estrecho de Magallanes. Los indicadores de las emisiones GEI se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 67 Descripción general de Punta Arenas

Nombre Indicador	Valor
Región	Magallanes y de la Antártica Chilena (XII Región)
Mapa ubicación	
Comuna	Punta Arenas
Población urbana (2017)	130,606
Parque vehicular (2018)	60,242
Viajes por hora (2000)	Punta Mañana: 54,039; Fuera de Punta: 37,048
Principales particiones modales (2014)	Automóvil: 32.6% Taxi colectivo: 25% Caminata: 21.3%
Tiempo de viaje	Promedio General: 21.1 minutos
Participación en ciudades intermedias tipo 2	4.7% de las emisiones de las ciudades intermedias tipo 2 (menos de 250,000 habitantes)
Participación de ciudad en las emisiones totales del país para ciudades con MODEM	0.5% de las emisiones de las ciudades con modelo MODEM.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) con información de actualización diagnóstico del STU de la Ciudad de Punta Arenas (SECTRA, 2014), Censo 2017 y datos parque vehicular INE

Inventario específico de emisiones para la ciudad

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de atmosféricas resultantes de los vehículos motorizados en la ciudad. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior puede responder a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Tabla N° 68 Inventario de emisiones [ton/año] para Punta Arenas según año

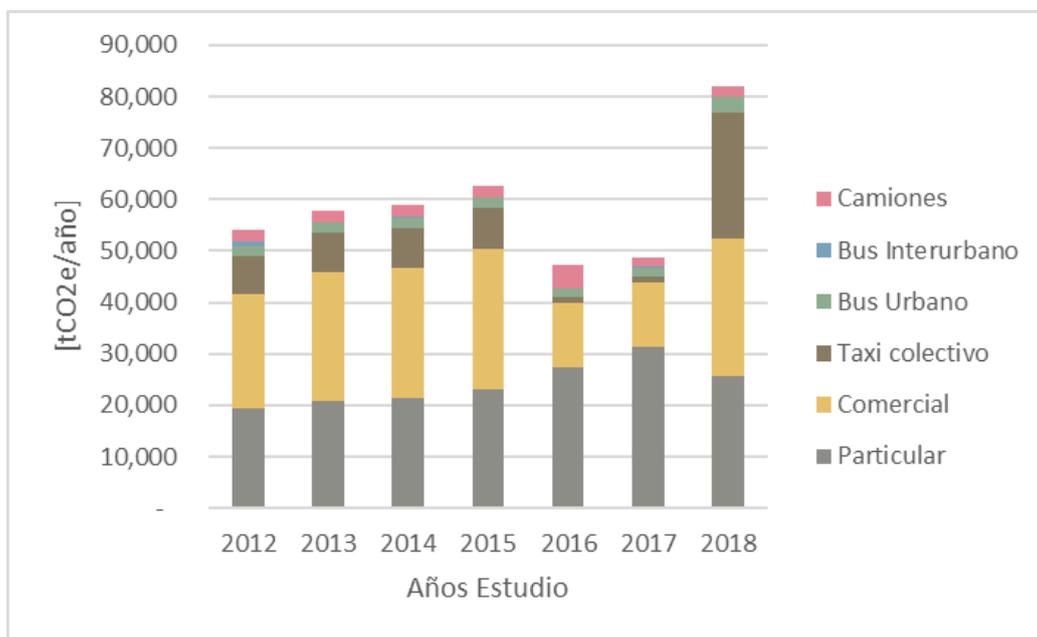
Contaminantes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO2	52,620	56,387	57,398	61,230	46,540	48,040	78,839
CH4	18	18	19	20	6	6	3
N2O	3	3	3	3	2	2	10
MP2.5	12.8	16.5	17.2	18.1	23.1	22.8	35.3
MP10	14.7	18.8	19.6	20.5	24.9	24.7	38.5
CO	3,027.3	5,567.1	5,723.6	6,161.2	1,164.5	1,173.9	1,077.4
NOx	920.4	1,298.7	1,327.5	1,417.8	370.1	341.0	252.9
COV	627.6	1,237.5	1,290.0	1,348.4	445.8	408.5	143.9
NH3	3.1	3.3	3.3	3.6	4.5	4.8	8.4
SO2	1.2	1.2	1.3	1.3	0.8	0.8	0.8

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Estimación emisiones GEI 2012-2018

Las emisiones de GEI del Sistema Urbano de Punta Arenas para el periodo presentan un crecimiento constante durante todo el periodo de análisis. Los resultados de la estimación de emisiones de GEI pasan desde 54 ktCO₂eq del año 2012 a un 81.9 ktCO₂eq del año 2018, representando una tasa de crecimiento promedio 7.19%. Se observa, sin embargo, que los resultados de la estimación de emisiones no son crecientes continuamente, observándose que el año 2016 los resultados apuntan a una reducción frente al año anterior.

Figura N° 143 Resultado estimación emisiones GEI [tCO₂eq/año] Punta Arenas

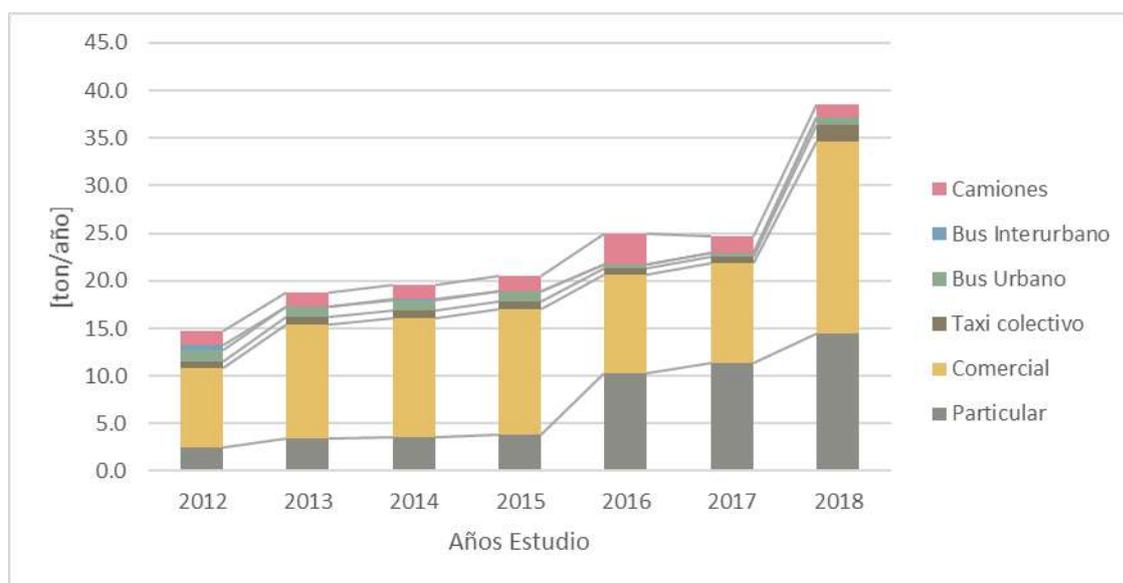


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones material particulado

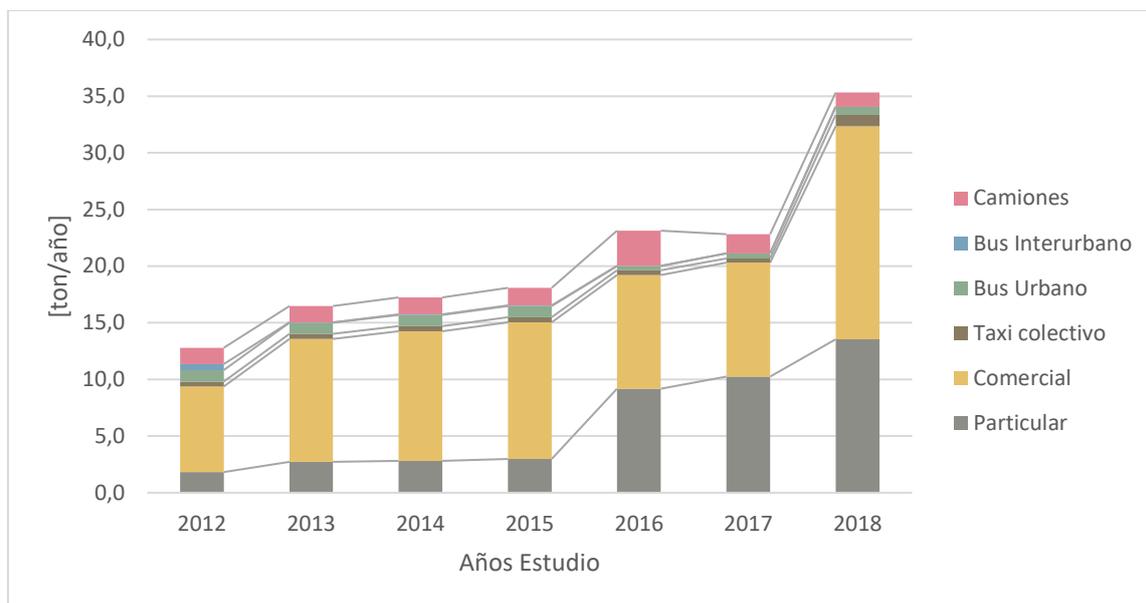
En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de las emisiones de material particulado total según categoría vehicular para cada año. Al analizar es relevante destacar que, en general, se cuentan con mayores diferencias interanuales relativas al analizar los resultados por categoría, que al revisar los resultados agregados. Lo anterior responden a variaciones en las imputaciones de los flujos, que los distintos consultores encargados de la modelación MODEM, realizaron en su momento.

Figura N° 144 Resultado estimación MP10 [ton/año] Punta Arenas



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridas MODEM

Figura N° 145 Resultado estimación MP2.5 [ton/año] Punta Arenas

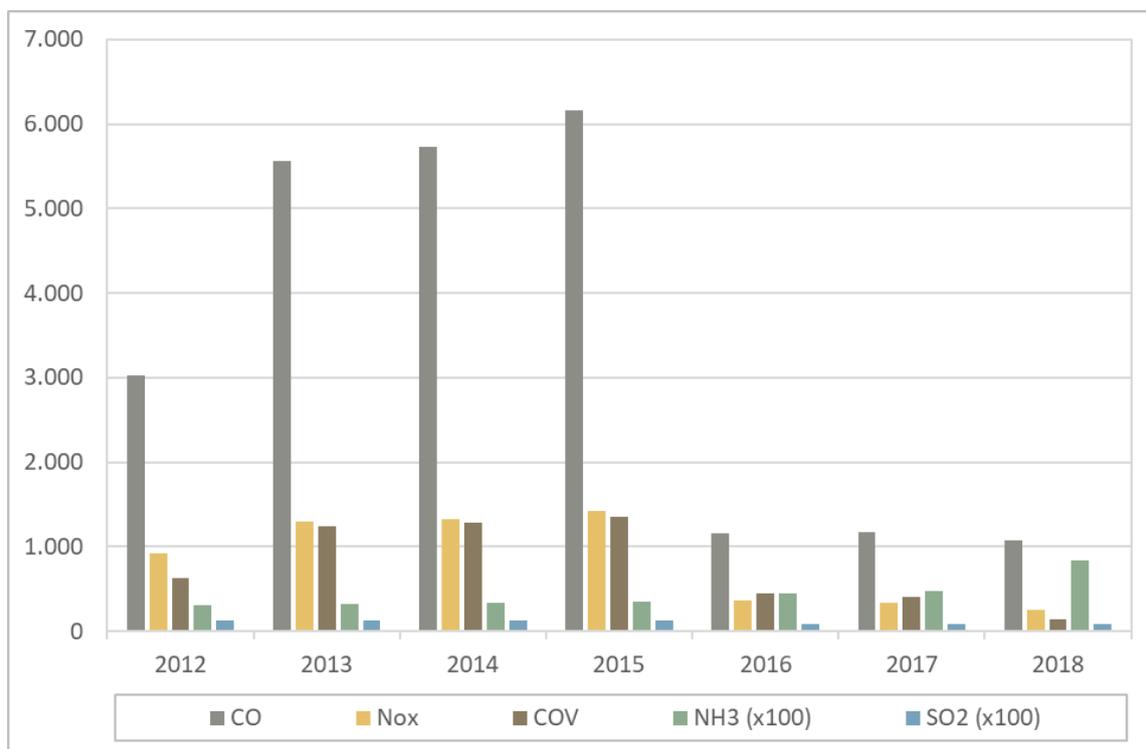


Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

Estimación emisiones gases de combustión 2012-2018

En las siguientes figuras se presenta el detalle de las estimaciones de los demás gases de combustión, según tipo de contaminante. Se observa que existen variaciones relevantes de un año a otro estas responden posiblemente a cambios metodológicos de los datos de entrada y no necesariamente a cambios en las emisiones reales. Se destaca que las emisiones de gases de combustión son especialmente sensibles a la distribución tecnológica del parque vehicular, considerando tanto los combustibles utilizados como las normas de emisión.

Figura N° 146 Resultado estimación gases de combustión [ton/año] Punta Arenas



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) en base a datos de resultados Corridos MODEM

7.3 Potencial de calentamiento

El potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) es una medida de cuánto calor cada gas de efecto invernadero atrapa en relación al dióxido de carbono (CO₂) y para un horizonte temporal determinado. Esto último es relevante ya que depende del tiempo en que el contaminante dura en la atmósfera. Es decir, un gas que se desaparece rápidamente de la atmósfera puede tener un GWP alto en un periodo corto de tiempo, pero pequeño si se considera un horizonte mayor.

El uso de GWP permite acumular las emisiones de GEI en una medida de carbono equivalente (CO₂eq), facilitando la comparación de emisiones entre fuentes y sectores. A la fecha, el IPCC ha generado 3 informes en que se reportan y actualizan dichos valores. La Tabla N°69 a continuación muestra los valores actualizados para tres contaminantes: dióxido de carbono, metano y óxido nitroso.

Tabla N° 69 Potencial de calentamiento (100 años) para contaminantes seleccionados

Contaminante	Segundo informe (SAR) Año 1995	Cuarto informe (AR4) Año 2007	Quinto informe (AR5) Año 2014
Dióxido de Carbono (CO₂)	1	1	1
Metano (CH₄)	21	25	28
Óxido Nitroso (N₂O)	310	298	265

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020) a partir de valores reportador por IPCC

En general, estos cambios se deben a un cambio en la estimación del tiempo de vida de los GEI, eficiencia radiativa u otras características. El tipo de GWP utilizado debe ser seleccionado considerando que las actualizaciones potencialmente podrían tener un impacto en las emisiones declaradas, dependiendo del tipo de GEI que predomina en las emisiones. En este sentido, cabe destacar que el inventario de emisiones de GEI de Chile para los años 1990 a 2013¹⁶, usó los GWP del segundo informe de evaluación (SAR), por lo que las emisiones del transporte como carbono equivalente (CO₂eq) no podrían ser directamente comparadas con las del presente estudio.

¹⁶ “Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile serie 1990-2013”

7.4 Análisis multivariable en detalle

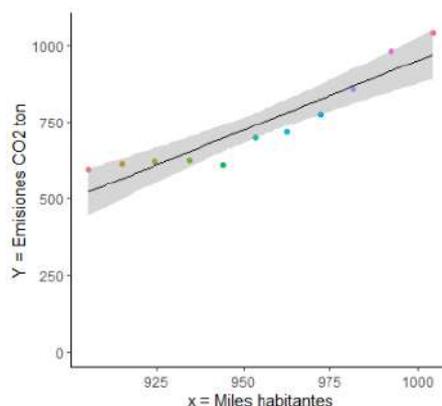
El presente anexo contiene la metodología general y los resultados detallados del análisis multivariable.

7.4.1 Metodología general de análisis

La metodología se enfoca en el uso de regresiones lineales que permitan cuantificar la relación entre distintos factores que potencialmente expliquen la tendencia de las emisiones cuantificadas en el inventario de las distintas ciudades del país.

El análisis de regresión es un modelo matemático simple y sencillo de entender que permite cuantificar la relación entre una variable dependiente (Y) y una o más variables independientes o explicativa, por medio del cálculo de una ecuación que minimiza la distancia entre una línea recta ajustada a los datos. Por ejemplo, la Figura N°147 muestra la línea generada a partir de una regresión lineal entre emisiones CO₂eq y habitantes para el Gran Valparaíso.

Figura N° 147 Ejemplo ajuste emisiones CO₂eq y población en el Gran Valparaíso



Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

La ecuación a continuación muestra la forma de un modelo de regresión lineal general, donde la beta (β) corresponde a los parámetros que cuantifican la influencia que la variable explicativa tiene sobre la variable dependiente (x). Por su parte, toma como valor todo aquello que no pudo ser explicado mediante la variable explicativa seleccionada.

$$Y = \sum_i \beta_i x_i + \epsilon$$

Ecuación 3 Regresión lineal general

Una de las formas de cuantificar la potencia del modelo es usar la medida estadística R-cuadrado (R^2), que permite cuantificar cuánta de la variabilidad de la variable dependiente está siendo explicada por las variables independientes seleccionadas. El R-cuadrado toma valores de 0 a 1, donde 1 implica que el modelo explica de forma completa toda la variabilidad de la variable dependiente en torno a su media, es decir, todos los puntos se encuentran sobre la línea de la ecuación estimada; mientras que 0 implica que las variables seleccionadas no permiten explicar la variabilidad de la

variable dependiente. Otra medida a evaluar es valor-p de cada variable explicativa. El valor-p evalúa la hipótesis nula de que la variable explicativa no tiene incidencia alguna sobre la variable dependiente, es decir, el coeficiente es igual a cero. El valor-p puede tomar valores entre 0 y 1, y mientras más bajo sea este valor indica que es posible rechazar la hipótesis nula con mayor seguridad, lo que implica que la variable evaluada sí tiene incidencia sobre la variable dependiente y su adición al modelo representa un aporte significativo. En general, un valor-p menor a 0.05 se considera suficiente para determinar que la variable es estadísticamente significativa en el modelo. Considerando ambas medidas, es posible obtener cuatro escenarios:

- Bajo R-cuadrado y bajo valor-p (menor a 0.05): el modelo no explica la variabilidad de los datos, pero es significativo (modelo intermedio)
- Alto R-cuadrado y bajo valor-p (menor a 0.05): el modelo explica la variabilidad de los datos y es significativo (buen modelo)
- Bajo R-cuadrado y alto valor-p (mayor o igual a 0.05): el modelo no explica la variabilidad de los datos y no es significativo (mal modelo)
- Alto R-cuadrado y alto valor-p (mayor o igual a 0.05): el modelo explica la variabilidad de los datos, pero no es significativo (mal modelo)

Para la comparación entre modelos se consideran tres umbrales para el valor-p: valor-p < 0.001 (destacado por medio de tres asteriscos ***), valor-p < 0.01 (destacado por medio de dos asteriscos **); y valor-p < 0.05 (destacado por medio de un asterisco *). Dentro de los umbrales, se considera que los valores-p tienen la misma relevancia y en ese caso se observará el valor del R-cuadrado como parámetro diferenciador entre los modelos. Por ejemplo, si se comparan dos modelos en que los valores-p de las variables independientes son menores a 0.001 (***), se seleccionará el modelo con el mayor R-cuadrado entre los dos modelos comparados.

Por medio de regresiones lineales, se estudia el efecto de cada variable estudiada sobre las emisiones de GEI (potencial de calentamiento AR4) total y per cápita (considerando la población urbana de cada una de las ciudades y para cada año de estudio). El análisis se realiza tanto a nivel país (las 22 ciudades estudiadas en forma conjunta), como por tipo de ciudad: Grandes ciudades metropolitanas, ciudades intermedias 1 (>250.000 habitantes) y ciudades intermedias 2 (\leq 250.000 habitantes).

El análisis estudia la tendencia de las emisiones en función de modelos que representan cuatro temáticas de análisis, cada una con sus propias variables:

- Análisis demográfico
- Análisis de territorio
- Análisis de transporte
- Análisis económico

El conjunto de variables fue conformado a partir de la recomendación expertos y un análisis exploratorio preliminar de la relevancia de cada una de ellas. Ellas permiten explicar las emisiones desde dos miradas:

- La primera, corresponde a un análisis en función de la **serie de tiempo**. Que permite relacionar los niveles anuales de las emisiones a la evolución de otras variables.
- La segunda, corresponde a un análisis **transversal**, que estudia las emisiones para un año en particular y que permite analizar los niveles de emisiones entre ciudades en función de variables que caracterizan y destacan las diferencias de cada una.

La Tabla N°70 presenta el set de variables seleccionadas para el análisis de cada una de las temáticas, destacando el tipo de análisis que permite cada una.

Tabla N° 70 Variables para el análisis multivariable

Tema	Tipo de análisis	Variable	Detalle geográfico	Forma de cálculo	Fuente
Demográfico	Serie de tiempo	Población	Ciudad	No aplica	Censo 2017, proyecciones INE
	Transversal	Tasa de urbanización	Ciudad	Porcentaje de población urbana sobre población total	Censo 2017
	Transversal	Tipo de ciudad	Ciudad	Tipo de ciudad considerado en inventario.	Elaboración propia
Territorio	Transversal	Área ciudad	Ciudad	Análisis espacial	Elaboración propia
	Transversal	Forma de la ciudad	Ciudad	Análisis espacial	Elaboración propia
	Transversal	Densidad por largo	Ciudad	Largo de los arcos sobre el área ciudad	Red transporte input Modem, 2017
	Transversal	Densidad por número arcos	Ciudad	Número de arcos sobre el área ciudad	Red transporte input Modem, 2017
Económico	Serie de tiempo	PIB regional	Regional	Volumen a precios del año anterior encadenado, series empalmadas, año 2013	(Banco Central, 2020)
	Serie de tiempo	PIB regional por actividad	Regional	Volumen a precios del año anterior encadenado, series empalmadas, año 2013	(Banco Central, 2020)
	Serie de tiempo	PIB regional ajustado al transporte	Regional	Volumen a precios del año anterior encadenado, series empalmadas, año 2013	Elaboración propia a partir de Banco Central

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Los resultados del análisis se presentan en tablas con estructura presentada en la Tabla N°71, que permite comparar los valores de coeficientes, rango del valor-p y R-cuadrados de los modelos de un análisis.

Tabla N° 71 Estructura de tablas de resultados de regresiones

Variable explicativa	Nombre modelo 1: Variable dependiente (Y_1)	Nombre modelo 2: Variable dependiente (Y_2)
Variable independiente 1 (x_1)	β_1 (rango valor-p, ej. **)	β_2 (rango valor-p, ej. *)
Variable independiente 2 (x_2)		β_3 (rango valor-p, ej.: ***)
R ²	Valor R-cuadrado de modelo 1	Valor R-cuadrado de modelo 2

En este caso, los modelos de la tabla deben ser interpretados como:

- **Modelo 1:** $Y_1 = \beta_1 x_1 + \epsilon_1$
- **Modelo 2:** $Y_2 = \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \epsilon_2$

Donde β corresponde al coeficiente de cada variable. Un valor positivo de β indica que un aumento en la variable que lo acompaña genera un aumento en la variable dependiente, mientras que un valor negativo de β indica que una disminución en la variable que lo acompaña genera una disminución en la variable dependiente. Por su parte, ϵ corresponde al valor del intercepto, el que puede ser distinto de 0. Cabe destacar que los valores de ajuste del intercepto no se muestran en las tablas de resultados de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas. El valor-p solo se muestra en la forma de asteriscos que acompañan al valor del coeficiente de cada

variable (β), donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) valor-p < 0.001; ** valor-p < 0.01; * valor-p < 0.05). La última fila muestra el valor del R-cuadrado para cada modelo.

7.4.2 Resultados por tipo de análisis

A continuación, se presentan los resultados según cada tipo de análisis.

7.4.2.1 Análisis de serie de tiempo

El análisis de serie de tiempo permite comprender de mejor manera las dinámicas existentes entre la evolución de las emisiones año a año con otras variables explicativas. Para esto, es necesario estudiar variables que efectivamente cambien de manera significativa en el tiempo.

Las variables estudiadas corresponden a los temas de análisis demográfico y económico:

Demográfico

- Población

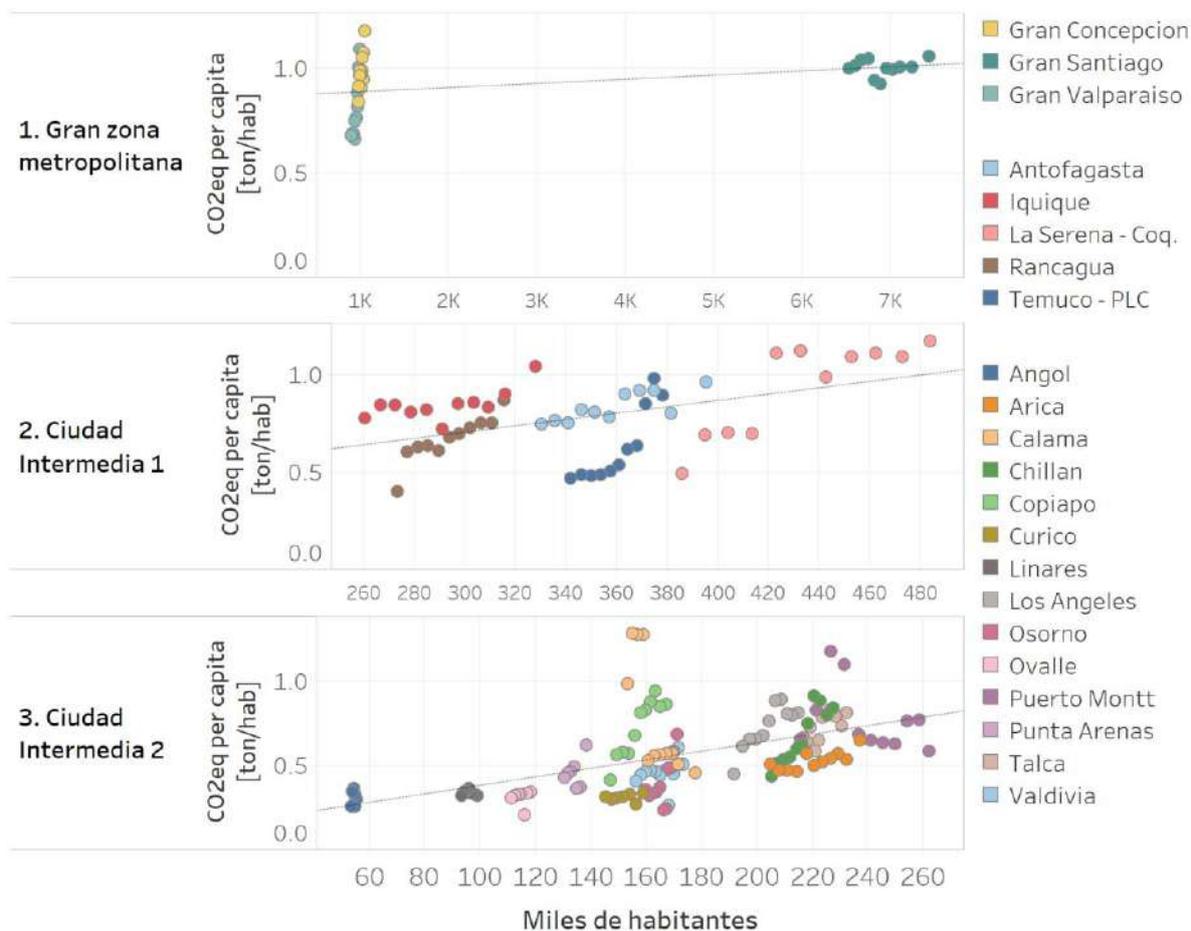
Económico

- PIB regional total
- PIB por actividad económica
- PIB ajustado al transporte

Análisis demográfico

La Figura N°148 muestra la relación entre la cantidad de habitantes en cada ciudad y las emisiones de GEI para los distintos tipos de ciudad. En ella se observa una relación creciente entre la población y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Figura N° 148 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y población



Nota: Cada punto representa un par ciudad-año. La línea punteada representa la regresión lineal considerando las variables del eje.

Fuente: Datos de población de proyección INE a partir de Censo 2017

Para analizar esta relación se presentan los resultados de los modelos de regresión lineal a continuación:

- **Modelo s1:** CO₂eq ~ población
- **Modelo s2:** CO₂eq per cápita ~ ln(población)

La Tabla N°72 presenta los resultados para cada modelo en función de los coeficientes estimados para cada variable explicativa considerada. En ella se muestran los coeficientes de las variables ajustadas para cada modelo, el valor-p de cada variable y el R-cuadrado de cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Tabla N° 72 Resultados análisis demográfico - Nacional

Variable explicativa	Modelo s1: CO2eq	Modelo s2: CO2eq per cápita
Población	9.9E-01 ***	
Ln(Población)		1.6E-01**
R ²	0.99	0.38

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

En todos los modelos, la población tiene una incidencia positiva y estadísticamente significativa sobre el valor del CO2eq. El mejor ajuste según R² se obtiene con el modelo s1, que relaciona las emisiones de GEI totales con la población.

De modo de profundizar el análisis de los modelos que consideran la población, se estudió de forma independiente las relaciones para las ciudades pertenecientes a cada grupo de ciudad. Las tablas a continuación muestran los resultados de este análisis.

Tabla N° 73 Resultados análisis demográfico - Gran zona metropolitana

Variable explicativa	Modelo s1: CO2eq	Modelo s2: CO2eq per cápita
Población	9.9E-01 ***	
Ln(Población)		6.3E-02*
R ²	0.99	0.16

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Tabla N° 74 Resultados análisis demográfico - Ciudades intermedias 1

Variable explicativa	Modelo s1: CO2eq	Modelo s2: CO2eq per cápita
Población	1.3E+00***	
Ln(Población)		2.8E-01*
R ²	0.58	0.07

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Tabla N° 75 Resultados análisis demográfico - Ciudades intermedias 2

Variable explicativa	Modelo s1: CO2eq	Modelo s2: CO2eq per cápita
Población	8.0E-01***	
Ln(Población)		3.2-01***
R ²	0.58	0.24

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

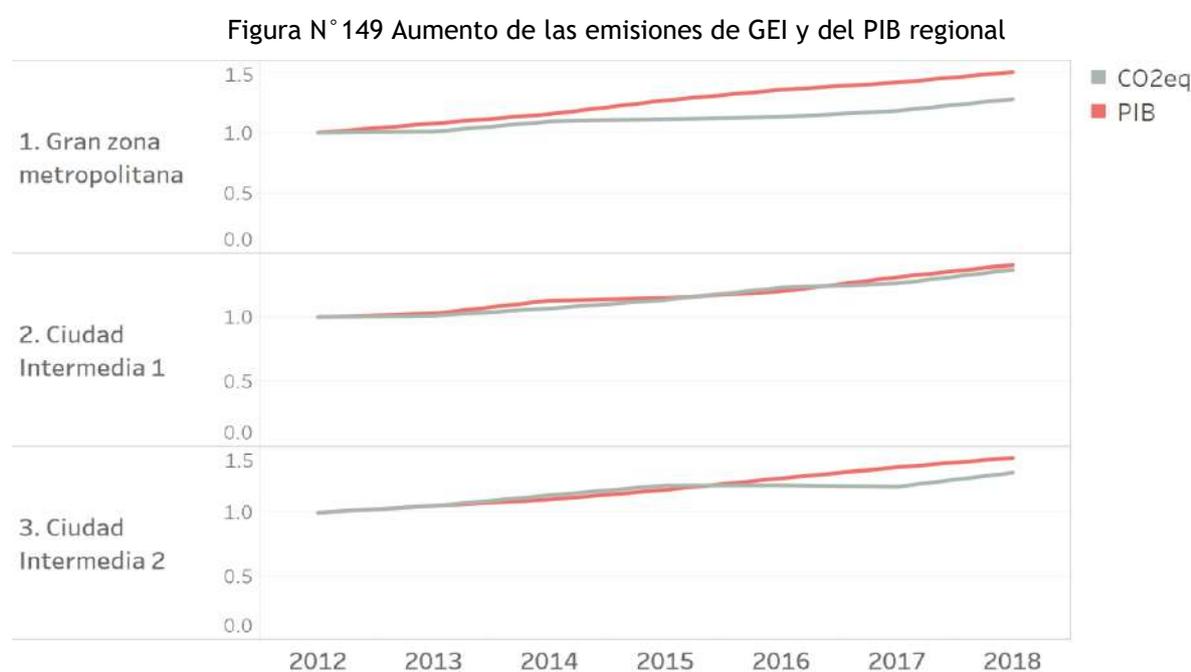
Para todos los tipos de ciudades, la población es influyente sobre el valor de las emisiones con una significancia estadística menor a 0.005. En particular, los altos valores de R² en el modelo s1 de grandes zonas metropolitanas derivan de la población y emisiones totales del Gran Santiago, que sobrepasan con creces la del Gran Valparaíso y Gran Concepción y que genera un núcleo de mucha influencia en el modelo. El análisis para ciudades de menor tamaño permite dilucidar que, si bien la población es un factor de relevancia, no explica de forma completa la variabilidad de las emisiones de GEI totales, indicando que existen otras variables (por ejemplo, asociadas al parque vehicular, a la estructura de la red vial, estructura de viajes de la ciudad, etc.) que podrían tener una incidencia relevante. Asimismo, el modelo pierde potencia al estudiarse el CO2eq per cápita, indicando que un aumento de la población anual, si bien se correlaciona de manera relativamente significativa la tendencia de las emisiones per cápita, no es suficiente para explicar la tendencia observada.

Del análisis demográfico se concluye que la población es una variable relevante y que correlaciona de forma positiva con las emisiones de GEI totales en las ciudades. Se destaca también, que en las grandes metrópolis la emisión per cápita de CO2eq es mayor que aquella observada en ciudades de menor población. Sin embargo, al estudiar las emisiones per cápita en detalle, se destaca que la población no es suficiente para explicar la tendencia de las emisiones per cápita a través de los años. Asimismo, a medida que la ciudad disminuye en tamaño, la potencia estadística de los modelos de emisiones totales tiende a disminuir, indicando que, si bien la población no deja de ser

relevante, las emisiones en las zonas más pequeñas deben estudiarse en contraste con otras variables explicativas.

Análisis económico

La relación entre el producto interno bruto (PIB) y el transporte ha sido definida como una de las mayores razones para el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, con pocos indicios de desacople¹⁷ entre ambos (Sims & Schaeffer, 2014). Esta realidad se repite en el país, donde el aumento del PIB también ha estado relacionado al aumento de gases de efecto invernadero. La Figura N°149 muestra el aumento con respecto al año 2012 de las emisiones de GEI y del PIB regional para cada categoría de ciudad en forma agregada. Si bien en las grandes zonas metropolitanas es posible ver indicios de desacople, estos son bastante incipientes aún.



Fuente: Las emisiones de GEI usadas son la suma de las emisiones en toneladas de cada ciudad en estudio, para cada grupo. El PIB corresponde al producto interno bruto regional en pesos chilenos a precios corrientes y series empalmadas, con referencia año 2013 del Banco Central

La aparente relación entre el PIB y las emisiones de gases de efecto invernadero hace de esta una variable interesante de estudiar para comprender la evolución de las emisiones a través de los años en las ciudades de estudio. Asimismo, las diferentes tendencias de las emisiones por ciudad hacen imperativo estudiar la evolución de estas a partir del valor que mejor represente desarrollo económico del lugar. El PIB regional es una desagregación geográfica del PIB que permite registrar el valor de la actividad económica en las distintas regiones del país de forma anual. Por medio de este, es posible destacar las distintas estructuras productivas de las zonas del país y, por lo tanto,

¹⁷ El concepto 'desacople' se refiere al quiebre entre la correlación directa entre el perjuicio ambiental y el crecimiento económico.

se considera que es un buen indicador del desarrollo económico de las ciudades estudiadas a través de los años.

La relación entre las actividades productivas del PIB y el transporte urbano difiere según actividad, siendo unas más relevantes que otras. Así, las distintas actividades que componen el PIB pueden ser ponderadas según la relevancia del transporte urbano en estas y, de esta manera, ajustar el PIB regional para que refleje de manera más acertada la influencia económica del transporte urbano. Para el ajuste del PIB regional se realizó un análisis en detalle de las distintas actividades que componen el PIB regional y de sus labores asociadas. Del análisis se derivaron una serie de parámetros que permiten ponderar el PIB por actividad económica de modo de obtener un valor ajustado. Así, la forma de cálculo del PIB regional ajustado al transporte es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 PIB_{ajustado} = & 0.66PIB_{minería} + 0.54PIB_{comercio} + 0.52PIB_{transp,inf,com} + 0.50PIB_{const} \\
 & + 0.49PIB_{serv\ pers} + 0.30PIB_{manuf} + 0.24PIB_{agroind} + 0.21PIB_{pesca} \\
 & + 0.21PIB_{finan\ y\ emp} + 0.10PIB_{viv\ e\ inmob} + 0.10PIB_{admin\ pub} \\
 & + 0.10PIB_{serv\ bás}
 \end{aligned}$$

Ecuación 4 Formula general PIB ajustado al transporte

Debido a la multiplicidad de valores a estudiar y con el objetivo de simplificar la forma en que se presenta el análisis, en primera instancia se estudia la correlación entre las distintas variables y las emisiones de gases de efecto invernadero. De esta manera es posible determinar si existe una relación interesante entre alguna componente del PIB más allá de solo el PIB regional.

La Figura N°150 muestra una matriz de correlación entre las emisiones de GEI en cada ciudad y las tres variables relevantes: el PIB regional por actividad económica, el PIB regional total, y el PIB regional ajustado al transporte.

Figura N° 150 Correlación entre las emisiones de GEI y el PIB regional

	1. Gran zona metro.				2. Ciudad Intermedia 1				3. Ciudad Intermedia 2													
	Gran Concepción	Gran Santiago	Gran Valparaíso	Antofagasta	Iquique	La Serena - Coquimbo	Rancagua	Temuco - Padre Las Ca.	Angol	Arica	Calama	Chillán	Copiapó	Curico	Linares	Los Angeles	Osorno	Ovalle	Puerto Montt	Punta Arenas	Talca	Valdivia
Administración pública	0.82		0.93		0.79	0.78		0.95	-0.02	0.70		0.83		0.49	0.39	0.61	0.85	0.13	0.48	0.30	0.68	0.37
Agroindustria	0.22					0.83	0.89	-0.67	-0.32	0.62		0.12		0.65	0.14	-0.29	-0.04	0.03	0.37		0.49	-0.91
Comercio	0.88	0.94	0.95		0.39	0.74	0.88	0.95	-0.04	0.46		0.81		0.60	0.22	0.63	0.80	0.34	0.28	0.26	0.67	0.42
Construcción	0.17	0.84	0.87	0.16	-0.09	0.72	0.52	0.92	-0.13	0.65	0.75	0.06	0.75	0.47	-0.46	-0.45	0.82	0.01	0.41	-0.30	-0.17	0.09
Finanzas y empresas	0.84	0.89	0.95	-0.47	-0.28	-0.63	0.54	0.94	-0.09	0.66	0.27	0.74	-0.39	0.67	0.35	0.46	0.81	-0.08	0.17	-0.31	0.72	0.47
Manufactura	0.80	0.53	-0.33	-0.11	-0.24		0.54	0.88	0.02	-0.41	0.01	0.66		0.61	-0.01	0.60	0.42		-0.30	0.45	0.12	0.02
Minería				0.83	0.84	0.58	0.68	0.61			-0.18		0.82					-0.03				0.02
Pesca																	0.72		0.14			
Servicios básicos	0.39													-0.13	0.85	0.28	0.53	0.33				0.42
Servicios personales	0.81	0.95	0.99		0.90	0.86	0.97	0.96	-0.23	0.81		0.68	0.55	0.57	-0.12	0.36	0.89	0.29	0.41	0.46	0.37	0.52
Transporte, inf y com	0.83	0.93	0.88		0.95	0.84		0.94	-0.02	0.62		0.88		0.65	0.41	0.60	0.81	0.16	0.29	0.35	0.71	0.38
Vivienda e inmobiliarias	0.91	0.96	0.97			0.83	0.97	0.91	-0.01	0.78		0.78		0.53	0.10	0.61	0.87	0.20	0.27	0.39	0.52	0.46
PIB regional total	0.88	0.95	0.92	0.86	0.66	0.87	0.93	0.94	-0.14	0.66	0.12	0.74	-0.09	0.73	0.13	0.49	0.79	0.33	0.19	0.40	0.53	0.34
PIB ajustado	0.84	0.95	0.96	0.63	0.67	0.19	0.90	0.95	-0.13	0.68	0.24	0.74	-0.07	0.71	0.03	0.44	0.82	0.33	0.26	0.37	0.45	0.39

Nota: Se destaca en grados de azul el nivel de correlación entre el PIB regional relacionado a cada actividad económica y las emisiones en cada ciudad. Solo se consideraron las actividades más relevantes para el PIB de cada región ($PIB_{actividad}/PIB_{regional} > 5\%$).

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

En primera instancia, se observa que el PIB regional total tiene una alta correlación con las emisiones con ciertas ciudades, y que esta relación podría asociarse al tamaño de la población.

Todas las grandes zonas metropolitanas, y la mayoría de las ciudades intermedias presentan una alta correlación (mayor a 0.85) con el PIB regional total. No obstante, casos como Puerto Montt e Iquique destacan como excepciones. En particular, en el caso de Puerto Montt, la evolución del desarrollo económico de las actividades que conforman el PIB regional no logran explicar la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero, las que se han mantenido relativamente estables en el tiempo. Dado esto, no se puede derivar una correlación con el PIB regional, a diferencia de lo que ocurre en Osorno, donde las emisiones sí han aumentado en el tiempo. En el caso de Iquique, es el PIB regional el que no ha aumentado de forma suficiente de modo de explicar el aumento que han sufrido las emisiones en el periodo de tiempo estudiado. En general, las ciudades intermedias 2, de menor tamaño, presentan una baja correlación con las emisiones, principalmente debido a que, si bien han experimentado un aumento en las emisiones, el aumento del PIB ha sido menos estable, observándose disminuciones en años en que las emisiones aumentan. Como excepción, se destacan las ciudades de Arica, Chillán, Curicó y Osorno, en que la correlación si bien es menor al de las ciudades de mayor tamaño, puede observarse cierta relación.

Adicionalmente, se observa que, de manera individual, no necesariamente las actividades que mayor relación debiesen tener con el transporte urbano son las que mejor explican las emisiones. Un análisis en detalle de las actividades y de las labores que las conforman arrojan que el transporte urbano toma mayor relevancia en la minería, comercio, transporte y construcción. Mientras que, para otras actividades como vivienda, administración pública y servicios básicos, la relevancia es francamente menor. Sin embargo, se observa por ejemplo en el caso del Gran Concepción, Gran Valparaíso y Temuco – Padre Las Casas una alta correlación con la actividad de administración pública, mientras que el comercio no correlaciona de forma significativa con las emisiones en varias de las ciudades estudiadas.

Además, de la figura se desprende que no necesariamente la actividad más relevante para el PIB es la que mejor permite explicar la evolución de las emisiones. En el caso de Antofagasta, la actividad más relevante para el PIB regional es la minería, y, efectivamente, se observa una alta correlación con las emisiones de GEI tanto en el PIB regional asociado a la actividad como en el PIB regional total. No obstante, en el caso de Calama, la mayor correlación se encuentra en la actividad de construcción, con la que se logra explicar de mejor forma la estabilidad de las emisiones en la ciudad a través de los años.

Por último, en general el PIB regional ajustado al transporte no genera resultados significativamente diferentes a los que se observan a partir del PIB regional total. Por lo que se concluye el PIB regional logra de manera rescatar el efecto del desarrollo económico en las emisiones de manera adecuada.

A partir resultados de este primer análisis, se obtiene que la desintegración del PIB en sus distintas componentes no genera una información interesante y generalizable entre las ciudades. Por lo tanto, la variable más interesante a analizar corresponde al PIB regional. Dado esto, se ajustan modelos de regresión lineal que permiten comprender de manera más profunda la relevancia de esta variable en las emisiones totales de las ciudades:

- **Modelo s3:** $CO2eq \sim PIB \text{ regional}$

La Tabla N°76 muestra los resultados de los modelos para todas las ciudades (nacional), mientras que la Tabla N°77, Tabla N°78 y Tabla N°79 muestran los resultados para los grupos de ciudades conformados por cada uno de los tipos. En ellas se muestran los coeficientes de las variables ajustadas para cada modelo, el valor-p de cada variable y el R-cuadrado de cada modelo

Tabla N° 76 Resultado análisis económico - Nacional

Variable explicativa	Modelo s3: CO2eq
PIB regional	1.08E+02***
R ²	0.86

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Tabla N° 77 Resultado análisis económico - Gran zona metropolitana

Variable explicativa	Modelo s3: CO2eq
PIB regional	1.1E+02***
R ²	0.90

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Tabla N° 78 Resultado análisis económico - Ciudades intermedias 1

Variable explicativa	Modelo s3: CO2eq
PIB regional	6.6E+00*
R ²	0.06

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Tabla N° 79 Resultado análisis económico - Ciudades intermedias 2

Variable explicativa	Modelo s3: CO2eq
PIB regional	4.3E+00***
R ²	0.13

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

A nivel nacional, se confirma que el PIB regional es una variable estadísticamente significativa y que además explica en gran parte la variabilidad de las emisiones, lo que se desprende de su alto R-cuadrado. Posiblemente, gran parte de la relevancia viene dada por la influencia de las grandes zonas metropolitanas, las que de forma individual también muestran una alta significancia estadística y un alto R-cuadrado. Esto, dado que la relación ya no es tan evidente en el caso de las ciudades intermedias 1, en que la significancia estadística es bastante menor (valor-p > 0.01) y el R-cuadrado es bastante bajo. La baja significancia estadística de las ciudades intermedias 1 es interesante porque implica que el PIB regional no es una variable muy relevante a la hora de analizar las ciudades de tamaño medio. No así, a la hora de analizar ciudades de menor tamaño, ya que la significancia estadística vuelve a ser estadísticamente relevante en el caso de ciudades intermedias 2, aunque explicando un porcentaje muy bajo de la variabilidad de las emisiones. Con esto, la principal conclusión del análisis es que el PIB regional es relevante a la hora de explicar las emisiones de las ciudades, pero es especialmente relevante en el caso de grandes zonas metropolitanas.

7.4.2.2 Análisis transversal

El análisis transversal permite relacionar las emisiones a las distintas características de las ciudades que no sufren cambios drásticos en el tiempo. Las variables estudiadas corresponden a los temas de análisis demográfico y de territorio:

Demográfico

- Tasa de urbanización
- Tipo de ciudad

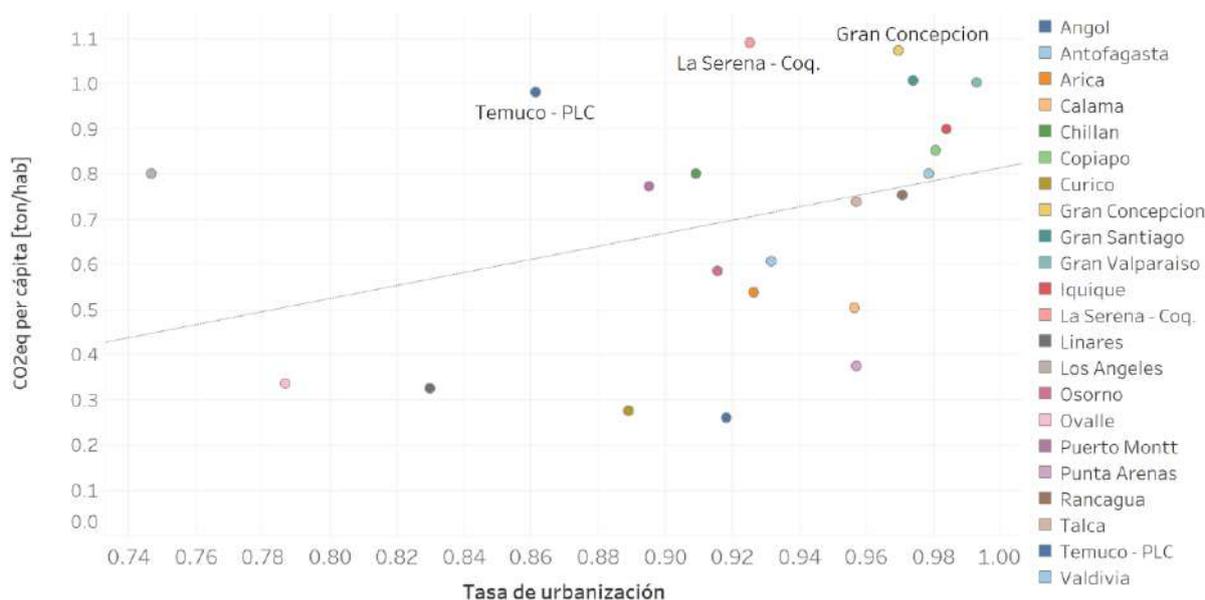
Territorio

- Área de la ciudad
- Forma de la ciudad
- Densidad por largo de arcos
- Densidad por número de arcos

Análisis demográfico

La Figura N°151 muestra la relación entre el CO₂eq per cápita para el año 2017 y la tasa de urbanización para el mismo año. Dicha relación, permite estudiar la influencia de posibles zonas de influencia (*binterland*) que se encuentren en la periferia de la ciudad en las emisiones de las ciudades, corrigiendo por tamaño poblacional. De la figura inmediatamente se desprende que no se observa una tendencia clara que indique que una ciudad de menor urbanización genere mayores emisiones. Es más, la línea de tendencia indica una relación inversa. Es interesante observar que hasta un nivel de urbanización de un 96% aproximadamente hay una gran dispersión de las emisiones per cápita y pasado este nivel las estas comienzan a ser significativamente mayores. Indicando que ciudades de mayor urbanización tienden a generar mayores emisiones per cápita que aquellas ciudades más rurales.

Figura N° 151 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y tasa de urbanización, año 2017



Nota: Cada punto representa una ciudad. La línea punteada representa la regresión lineal considerando las variables del eje.

Fuente: Datos de población a partir de Censo 2017

De modo de profundizar el análisis, se estudiaron los siguientes modelos que permiten cuantificar la relación observada en la Figura N°151:

- **Modelo t1:** CO₂eq per cápita ~ tasa de urbanización
- **Modelo t2:** CO₂eq per cápita ~ tasa de urbanización + tipo de ciudad

Adicionalmente, para estudiar la magnitud de las emisiones a través de los tipos de ciudad, se estudia el siguiente modelo:

- **Modelo t3:** CO₂eq per cápita ~ tipo de ciudad

La Tabla N°80 presenta los resultados para cada modelo en función de los coeficientes estimados para cada variable explicativa considerada. En ella se muestran los coeficientes de las variables ajustadas para cada modelo, el valor-p de cada variable y el R-cuadrado de cada modelo. Cabe

destacar que el uso de una variable categórica como lo es el “tipo de ciudad” genera resultados que consideran como línea base un valor dado para la variable categórica. Por lo tanto, en este caso, los resultados del modelo t2 presentados en la tabla deben ser interpretados de la siguiente forma: para una ciudad del tipo “Gran zona metropolitana” las emisiones pueden estimarse como el valor de la tasa de urbanización multiplicado al coeficiente 1.8E-01 (‘tasa de urbanización’*0.18). En el caso de una “Ciudad intermedia 1” las emisiones pueden estimarse como el valor de su tasa de urbanización multiplicado al coeficiente 1.8E-01 menos 1.4E-01 (‘tasa de urbanización’*0.18-0.14), y de forma similar podría estimarse el caso de una “Ciudad intermedia 2”.

Tabla N° 80 Resultados análisis demográfico - Nacional

Variable explicativa	Modelo t1: CO2eq per cápita	Modelo t2: CO2eq per cápita	Modelo t3: CO2eq per cápita
Tasa de urbanización	1.5E+00*	1.8E-01	
Ciudad Intermedia 1		-1.4E-01	-1.4E-01
Ciudad Intermedia 2		-0.5E+00**	-4.9E-01***
R ²	0.08	0.48	0.53

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

Los resultados Los resultados de los modelos indican que a mayor nivel de urbanización mayores son las emisiones de gases de efecto invernadero generadas. A su vez, estas también dependen del tamaño poblacional de la ciudad, generándose menores emisiones a medida que la ciudad disminuye en tamaño, como se desprende de los resultados del modelo t2.

Es interesante notar que el modelo con mayor significancia de las variables es el modelo t3. De este se desprende, con un alto nivel de significancia, que, en comparación con los niveles de las grandes ciudades, existe una disminución de las emisiones de GEI per cápita al considerar una ciudad intermedia 2, pero no se desprende una diferencia estadísticamente significativa al comparar con las ciudades intermedias 1.

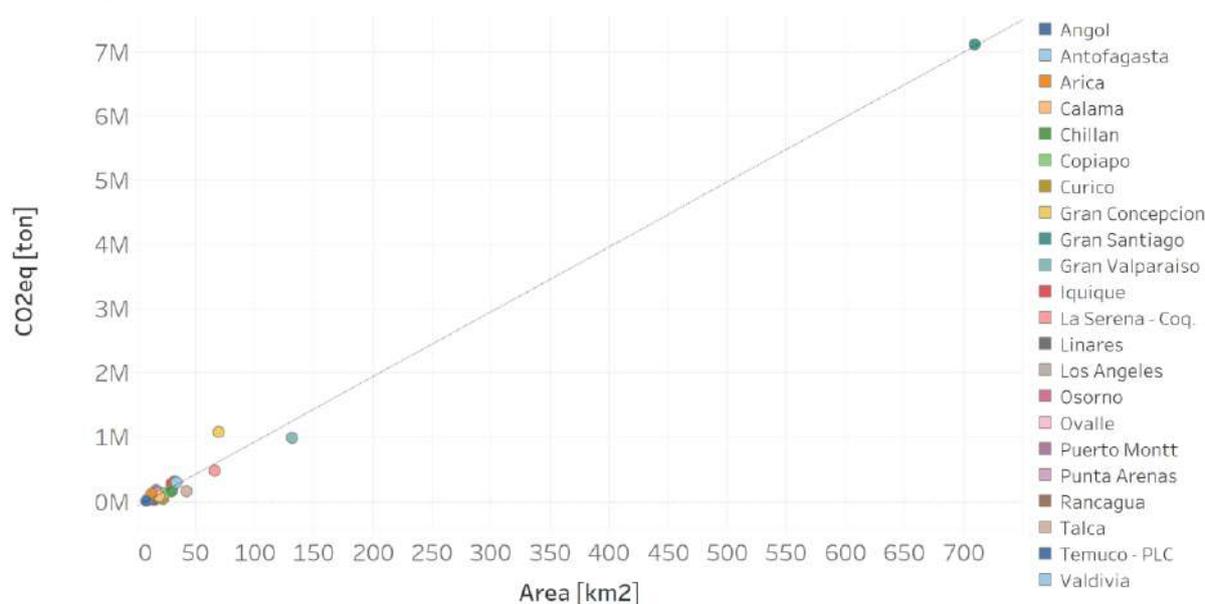
Análisis de territorio

El análisis territorial tiene como objetivo estudiar la evolución de las emisiones de GEI en función de las tendencias territoriales de las ciudades. La selección de variables tuvo como objetivo representar a cada ciudad en función de información que pudiese caracterizar, de forma simple, el tipo de viajes que se da en cada una. Es de esperar que una ciudad de mayor extensión tenga una mayor extensión de la red vial y además potencialmente genere viajes más largos, mientras que una más pequeña tenga una menor extensión vial y potencialmente genere viajes más cortos y con ello

menores emisiones¹⁸. No obstante, existen otro tipo de tendencias que afectan las características de los viajes, como por ejemplo la distancia entre los núcleos de atracción de viajes, que no necesariamente derivan del área de la ciudad. De modo de explorar estas complejidades en las ciudades, se estudia la densidad de la ciudad, el área por habitante, y la forma de la ciudad (alargada, circular, triangular, binuclear)

En particular, el área de la ciudad parece ser la variable que mejor puede relacionarse a las emisiones. La Figura N°152 muestra la relación entre las emisiones de GEI totales de la ciudad y el área de cada una. En ella se observa una correlación positiva entre el área y las emisiones, fuertemente influenciadas por el Gran Santiago. La Figura N°153 permite suavizar la influencia del Gran Santiago corrigiendo tanto por su gran población y extensión. De ella se desprende que, a mayor área, mayores son las emisiones per cápita. Esta relación coincide con la ya anteriormente destacada en el análisis de serie de tiempo, en que se encontró que las ciudades de mayor población tienden a tener mayores emisiones de GEI per cápita y puede tener su origen en una mayor extensión de viajes o bien, simplemente en un mayor parque vehicular.

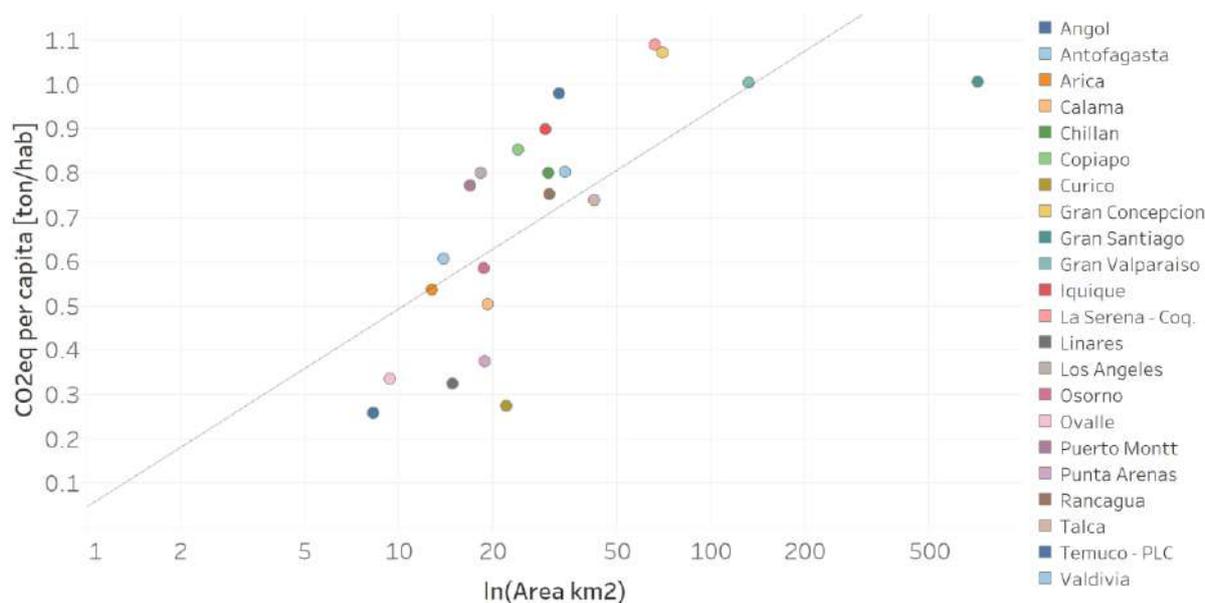
Figura N° 152 Relación entre emisiones de GEI [ton] y el área de cada ciudad, año 2017



Fuente: Datos población de Censo 2017. Datos de área de análisis espacial.

¹⁸ No debe asumirse que siempre se cumple que una ciudad de gran área tiene una extensión vial necesariamente mayor a una de menor tamaño, y por lo tanto mayores emisiones. Podría existir, por ejemplo, una mayor cantidad de edificación en altura que implique una alta densidad poblacional y que por lo tanto incentive la construcción de calles para su transporte. También, podría ocurrir que las grandes ciudades tengan un mejor sistema de transporte público (metro, tranvía, u otros), que incentiven un menor uso del transporte privado, o bien políticas de densificación de zonas laborales, que disminuyan el largo de los viajes esperados.

Figura N° 153 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y el área de cada ciudad, año 2017

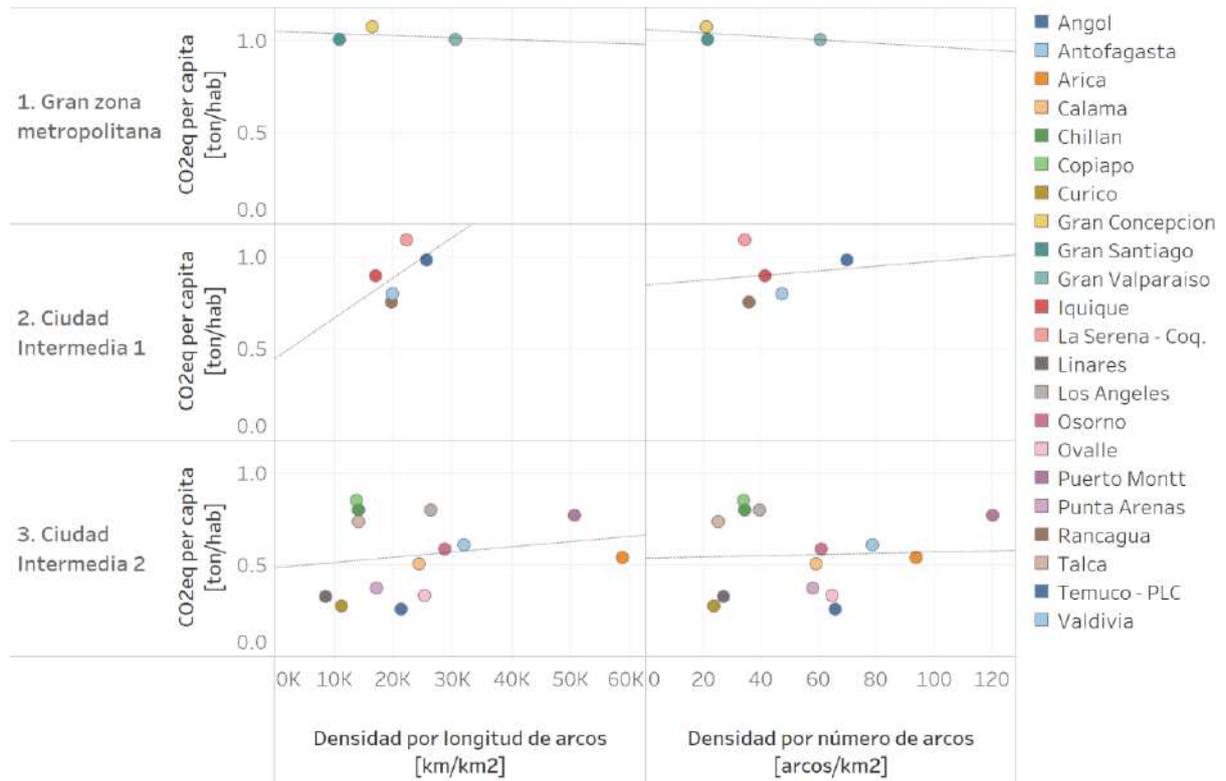


Nota: Área de la ciudad se muestra en escala logarítmica.

Fuente: Datos población de Censo 2017. Datos de área de análisis espacial.

Las variables de densidad permiten determinar de qué forma la estructura de la red vial se relaciona con las emisiones. La Figura N°154 muestra la relación entre las emisiones y la densidad de la red vial calculada como la longitud de arcos sobre el área total de las ciudades y como el número de arcos sobre el área total de las ciudades. En ella se observa que, en general, las ciudades con mayor densidad son las que emiten la mayor cantidad de emisiones per cápita, a excepción de las grandes zonas metropolitanas. Sin embargo, solo observando la figura no es posible llegar a conclusiones fuertes ya que no se observa un patrón claro entre las dinámicas observadas en cada tipo de ciudad.

Figura N° 154 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y variables de densidad



Fuente: Datos población de Censo 2017. Datos de longitud y número de arcos de archivos Modem.

La forma de las ciudades fue definida a partir de un análisis espacial de estas por medio del software ArcMap. Las figuras a continuación muestran la categorización de cada ciudad y sus respectivos contornos.

Ciudades de forma alargada





Ovalle



Gran Concepción



Angol



Puerto Montt

Ciudades Binucleares



Iquique



Gran Valparaíso



Rancagua

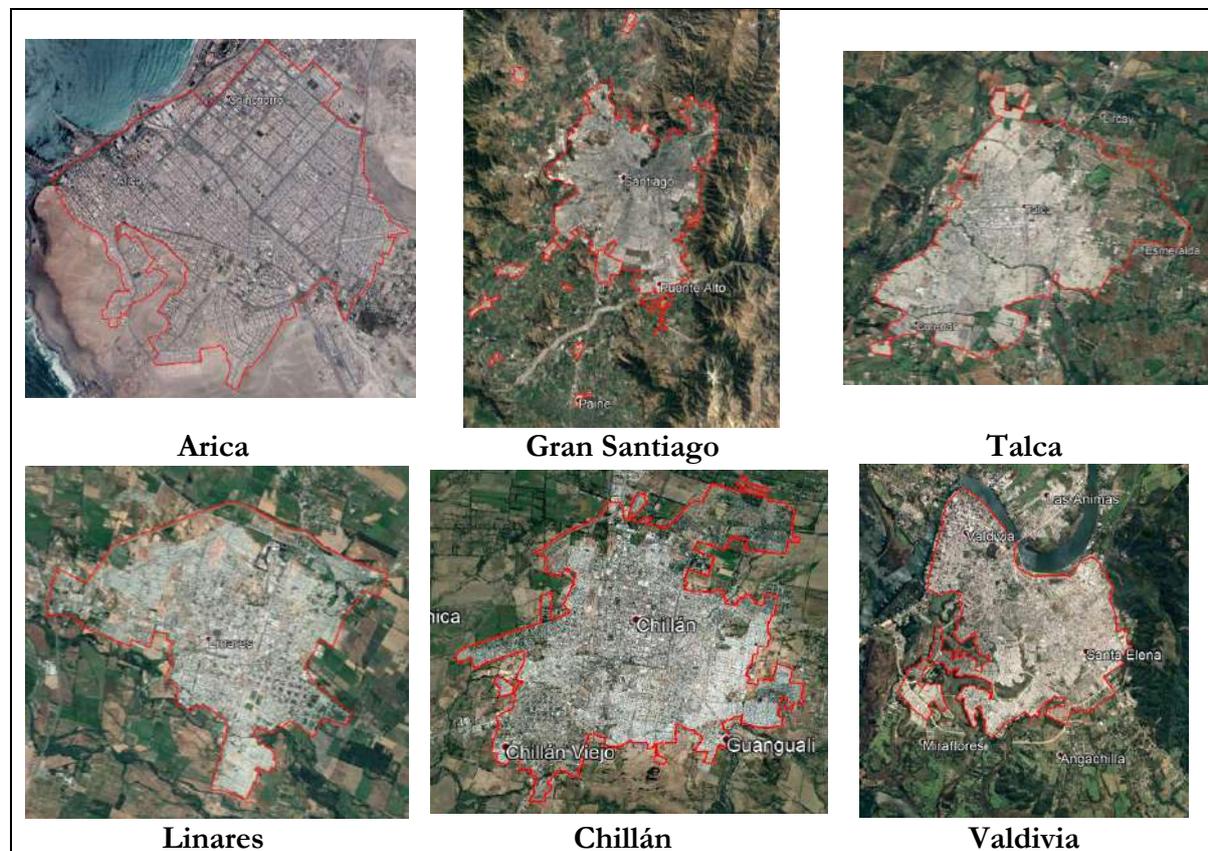


**Temuco –
Padre Las Casas**

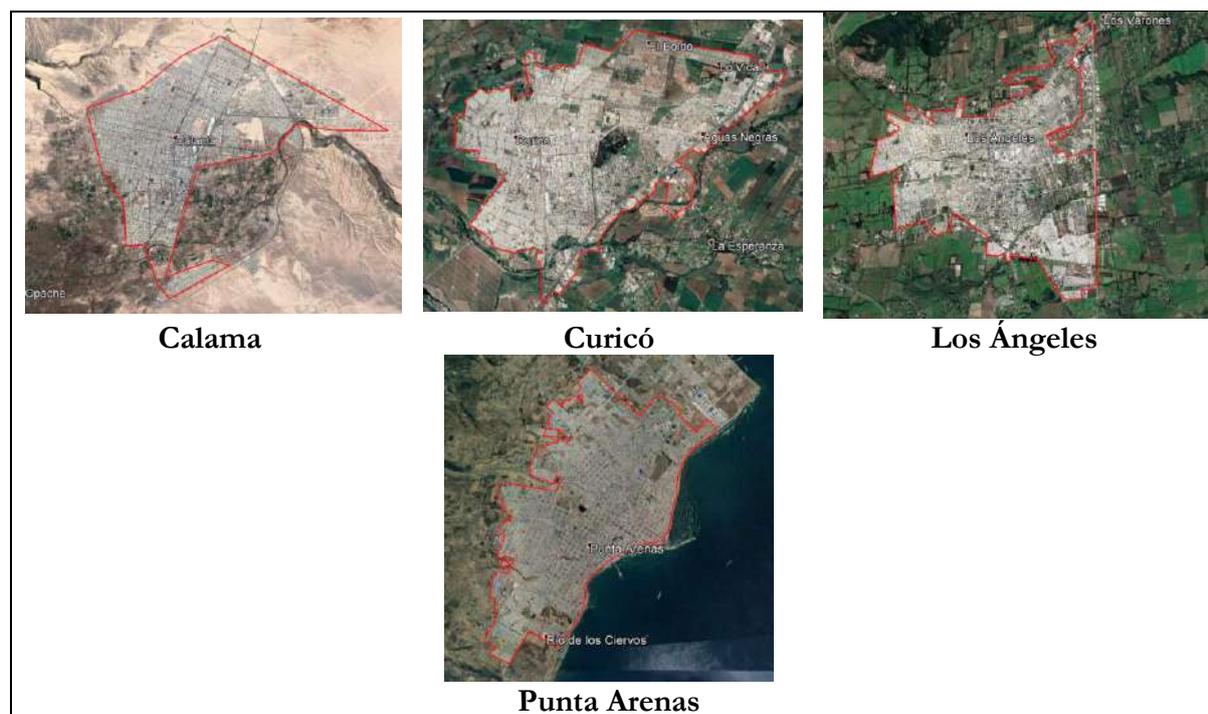


Osorno

Ciudades de forma circular

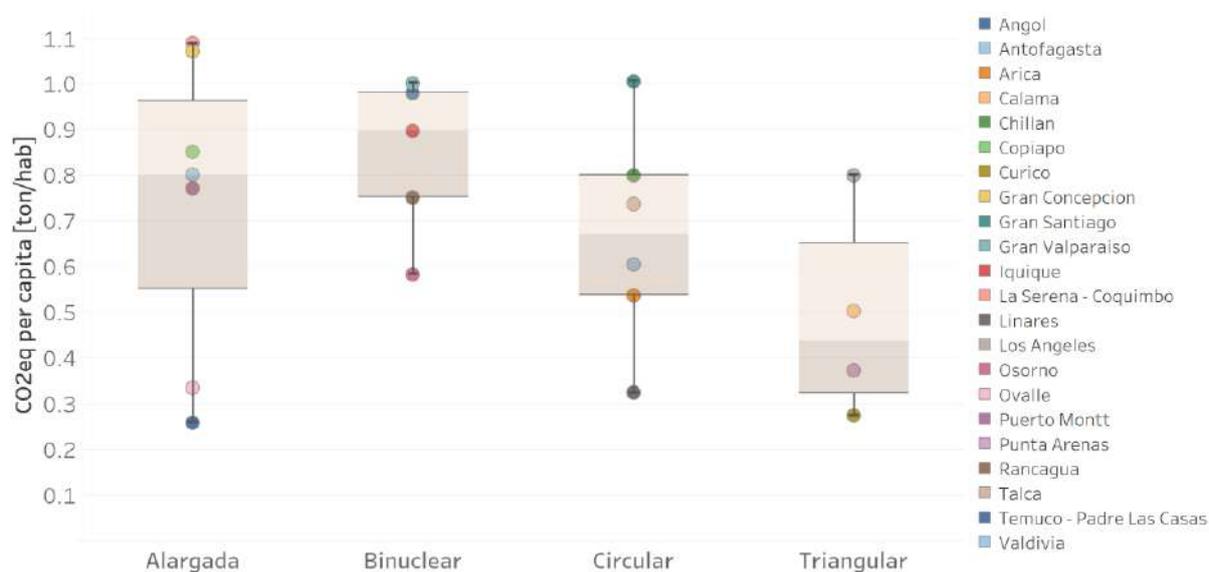


Ciudades de forma triangular



Como se observa en la Figura N°155, tampoco parece posible generar conclusiones fuertes de la categorización de las ciudades según su forma. En promedio, las ciudades de forma binuclear y alargadas generan más emisiones que una ciudad circular y triangular. Esto puede explicarse por el tipo de viajes que se genera en cada ciudad. Por ejemplo, es de esperar que las ciudades binucleares tengan viajes más extensos, en particular aquellos que se generan entre los dos núcleos existentes. Asimismo, las ciudades alargadas también podrían tender a generar viajes de mayor longitud si los núcleos de viajes se encuentran en extremos opuestos de la ciudad. No obstante, existen excepciones en cada grupo de ciudades cuyas emisiones se escapan del promedio esperado y que indican que hay otros factores que inciden en las emisiones de manera más determinante que la forma.

Figura N° 155 Relación entre emisiones de GEI per cápita [ton CO₂eq/hab] y la forma de cada ciudad



Fuente: Datos población de Censo 2017. Forma de ciudad a partir de análisis espacial

Para profundizar en el análisis de estas variables, se estudiaron los siguientes modelos:

- **Modelo t4:** CO₂eq ~ área
- **Modelo t5:** CO₂eq per cápita ~ área
- **Modelo t6:** CO₂eq per cápita ~ forma de la ciudad
- **Modelo t7:** CO₂eq per cápita ~ área + forma de la ciudad
- **Modelo t8:** CO₂eq ~ densidad por longitud de arcos
- **Modelo t9:** CO₂eq ~ densidad por número de arcos

La Tabla N°81 muestra los principales resultados del análisis transversal territorial a nivel nacional. En ella se muestran los coeficientes de las variables ajustadas para cada modelo, el valor-p de cada variable y el R-cuadrado de cada modelo. Cabe destacar que el uso de una variable categórica como lo es la “forma de la ciudad” genera resultados que consideran como línea base un valor dado para la variable categórica y que no se muestra de forma explícita en los resultados. Por lo tanto, en este caso, los resultados del modelo t6 presentados en la tabla deben ser interpretados de la siguiente forma: una ciudad circular genera 7.15E-02 menos emisiones que una ciudad alargada; una ciudad de dos núcleos genera 1.03E-01 más emisiones que una ciudad alargada; y una ciudad

triangular genera 2.52E-01 menos emisiones que una ciudad alargada. Por otro lado, en el caso del modelo t7, los resultados deben interpretarse de la siguiente forma: para una ciudad alargada las emisiones pueden estimarse como el valor del logaritmo natural de su área multiplicado al coeficiente 1.87E-01 ($\ln(\text{área}) \cdot 0.187$). En el caso de una ciudad circular las emisiones se estiman como el valor del logaritmo natural de su área multiplicado al coeficiente 1.87E-01 menos 1.48E-01 ($\ln(\text{área}) \cdot 0.187 - 0.148$). En el caso de una ciudad de dos núcleos las emisiones se estiman como el valor del logaritmo natural de su área multiplicado al coeficiente 1.87E-01 más 2.31E-02 ($\ln(\text{área}) \cdot 0.187 + 0.0231$), y de forma similar se calcularían las emisiones cuando la ciudad es de forma triangular.

Tabla N° 81 Resultados análisis territorial - Nacional

Variable explicativa	Modelo t4: CO2eq	Modelo t5: CO2eq per cápita	Modelo t6: CO2eq per cápita	Modelo t7: CO2eq per cápita	Modelo t8: CO2eq per cápita	Modelo t9: CO2eq per cápita
Área	1.0E+04 ***					
Ln(Área)		1.94E-01***		1.87E-01***		
Ciudad circular			-7.15E-02	-1.48E-01		
Ciudad dos núcleos			1.03E-01	2.31E-02		
Ciudad triangular			-2.52E-01	-2.12E-01		
Densidad (longitud arcos)					-2.76E-07	
Densidad (número arcos)						-2.11E-03
R ²	0.99	0.47	0.07	0.54	0	0

Nota: La tabla muestra los coeficientes para cada variable correspondiente a cada modelo. Junto a cada coeficiente, en asterisco, se presenta en nivel de significancia del valor-p de la variable, donde una mayor cantidad de asteriscos representa un mayor nivel de significancia (***) $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). La última fila muestra el valor del R² para cada modelo. No se muestran los valores de ajuste del intercepto, de modo de destacar los coeficientes de ajuste de las variables consideradas.

Fuente: Elaboración propia - IEFMU (GreenLab-Dictuc, 2020)

De los resultados se desprende que el área de la ciudad es la única variable que puede explicar las emisiones con resultados estadísticamente significativos. El área influye de forma positiva tanto en las emisiones totales como en las emisiones per cápita. Esto indicaría que a una mayor extensión de la ciudad mayor es la emisión por habitante, lo que podría explicarse, por ejemplo, con una mayor longitud de viajes. Como se mencionó anteriormente, esto coincide con la ya encontrada relación entre la población de las ciudades y las emisiones per cápita, destacada en la Figura N°9 y en el análisis demográfico de serie de tiempo.

Por otro lado, de la variable categórica que indica la forma de la ciudad no pueden desprenderse resultados significativos, lo que indica que estas variables no influyen de forma relevante en las emisiones de las distintas ciudades. No obstante, los coeficientes del modelo t6 refuerzan la conclusión observada en la Figura N°155, que, en promedio, las ciudades binucleares generan más emisiones de GEI que las ciudades alargadas, mientras que las ciudades de tipo triangulares y circulares generan menos emisiones que las de forma alargada. Sin embargo, esta relación no es estadísticamente significativa por lo que no es correcto concluir nada certero sobre esta variable. Por su parte, el modelo t7 explora la relación entre la forma de la ciudad y el área de las ciudades,

observándose un mejor ajuste por R-cuadrado que el que no considera el área (t_6). En él, las relaciones de magnitud de emisiones entre ciudades de distintas formas obtenidas del análisis del modelo t_6 se mantienen, confirmando que, si bien las diferencias no son estadísticamente significativas, existe cierta incidencia de la forma de la ciudad en la magnitud de las emisiones de cada una.

Finalmente, como se estimaba del análisis de la Figura N°154, la densidad no genera resultados estadísticamente significativos, y la variable no explica la variación de la variable de emisiones per cápita ($R^2 = 0$). A partir de este segundo análisis, se concluye que de estas variables no es posible extraer conclusiones relevantes al respecto de las emisiones de GEI de cada ciudad. Cabe destacar, que el análisis también se realizó considerando las distintas categorizaciones de las ciudades (gran zona metropolitana, ciudad intermedia 1 y ciudad intermedia 2), resultando en R-cuadrados

Como empresa de propiedad federal, GIZ apoya al Gobierno alemán en el logro de sus objetivos en el campo de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible.

Publicado por:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficinas registradas
Bonn y Eschborn

Friedrich-Ebert-Allee 36+40

53113 Bonn, Germany

T +49 61 96 79-0

F +49 61 96 79-11 15

E info@giz.de

I www.giz.de

Autores y Editores:

Luis Abdón Cifuentes., Santiago de Chile

Francisco Fresard, Santiago de Chile

José Miguel Valdés, Santiago de Chile

Daniela Quiroga, Santiago de Chile

Stefano Botello, Santiago de Chile

Fotografías:

Imagen de portada/contraportada por Duccio Pasquinucci (Pixabay)

Links URL:

Esta publicación contiene enlaces a sitios web externos. La responsabilidad del contenido de los sitios externos enumerados siempre recae en sus respectivos editores. Cuando los enlaces a estos sitios se publicaron por primera vez, GIZ verificó el contenido de terceros para determinar si podía dar lugar a responsabilidad civil o penal. Sin embargo, la revisión constante de los enlaces a sitios externos no puede esperarse razonablemente sin una indicación concreta de una violación de los derechos. Si GIZ se da cuenta o un tercero le notifica que un sitio externo al que ha proporcionado un enlace da lugar a responsabilidad civil o penal, eliminará el enlace a este sitio de inmediato. GIZ se disocia expresamente de dicho contenido.

Impresión y Distribución:

Name, town

Printed on 100% recycled paper, certified to FSC standards.

Santiago de Chile, 2020



Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
GmbH

Registered Offices
Bonn and Eschborn

Friedrich-Ebert-Allee 36+40
53113 Bonn, Germany

T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

E info@giz.de
I www.giz.de

