

**“INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS
PARA LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O´HIGGINS”**

BASADO EN EL ESTUDIO:

“INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS,
DESDE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O´HIGGINS HASTA LA REGIÓN DE LOS
LAGOS, PREPARADO POR SISTAM INGENIERIA, versión final 17 de julio 2019”

DICIEMBRE 2021
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

1. Presentación

Respecto de este informe:

Mediante oficio ordinario N°211952 del 31 de mayo 2021, ingresa a Contraloría General de la República (en adelante Contraloría), el D.S. N°1/2021, Plan de Descontaminación Atmosférica por MP2,5 para el Valle Central de la Región de O'Higgins del Ministerio del Medio Ambiente. Con fecha 3 de noviembre 2021 se realiza una reunión entre Contraloría y este ministerio, con el objetivo de revisar dicho decreto, dentro de las observaciones realizadas por contraloría, se indica que es necesario enmarcar el inventario de emisiones presentado en el expediente del plan, en un informe que contenga mayores antecedentes respecto de su elaboración y resultados.

Se presenta a continuación el "Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos para la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins", el que está basado en el estudio "Inventario De Emisiones de Contaminantes Atmosféricos, desde la Región del Libertador Bernardo O'Higgins hasta la Región de los Lagos", preparado por la consultora Sistas Ingeniería en el año 2019. Es importante mencionar que este informe se realizó para el total de las comunas de la región de O'Higgins, en conjunto con un análisis específico para la zona de aplicación del plan de descontaminación atmosférica que corresponde a las 17 comunas del Valle Central de la Región.

Respecto del estudio original:

El estudio "Inventario De Emisiones de Contaminantes Atmosféricos, desde la Región del Libertador Bernardo O'Higgins hasta la Región de los Lagos" se desarrolló durante el año 2019 con el objetivo de disponer de la plataforma AIRVIRO, y de un Inventario de Emisiones Año Base 2017 para la zona en estudio, que comprende a las regiones de la zona sur del país, entre el Libertador General Bernardo O'Higgins y los Lagos.

Durante la ejecución y desarrollo del estudio se realizó la recopilación de los principales resultados y conclusiones obtenidos en los inventarios disponibles realizados en la zona de estudio, además se realizó la caracterización año 2017 para el inventario de emisiones, que consideró: las fuentes móviles en ruta y fuera de ruta (Incluyendo transporte público y privado, maquinaria agrícola, de construcción e industrial, etc.), y también otras fuentes, principalmente aquellas fuentes que aportan con emisiones de Material Particulado Fracción gruesa (construcción, producción transporte y procesamiento de áridos, actividades agrícolas, polvo resuspendido desde calles pavimentadas y no pavimentadas, etc.). También se desarrolló una metodología de control de calidad. Finalmente se desarrollaron manuales de uso de la herramienta y se realizaron capacitaciones a sus potenciales usuarios pertenecientes al Ministerio del Medio Ambiente y de las Seremis del Medio Ambiente de las regiones consideradas en el inventario. Dicho estudio se encuentra disponible en la

plataforma: <https://sinia.mma.gob.cl/>.

2. Resumen

El inventario de emisiones permite determinar la contribución de emisiones de material particulado y emisiones de gases precursores por sector, de manera de establecer medidas adecuadas para reducir sus aportes.

El estudio de inventario de emisiones presenta una estimación de emisiones de MP₁₀, MP_{2,5}, CO, NO_x, NH₃, SO₂ y COVs para las 17 comunas que forman parte de la zona saturada del Valle Central de la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, año base del inventario corresponde al 2017 y se realizó durante el año 2019. Las emisiones de material particulado y de sus principales fuentes se presentan en la siguiente tabla, separadas por sector.

Sectores	Emisión Ton/año						
	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO	COV	NH ₃
Fuentes Fijas	547	360	1.338	1.883	931	142	219
Fuentes Móviles en ruta	338	333	16	6.606	18.203	2.826	100
Fuentes Móviles fuera de ruta	286	278	11	2.229	2.673	371	1
Combustión Residencial	1.958	1.823	51	744	40.261	19.709	795
Quemas agrícolas	628	599	25	189	3.939	354	62
Total Emisiones	3.757	3.393	1.441	11.651	66.007	23.402	1.177

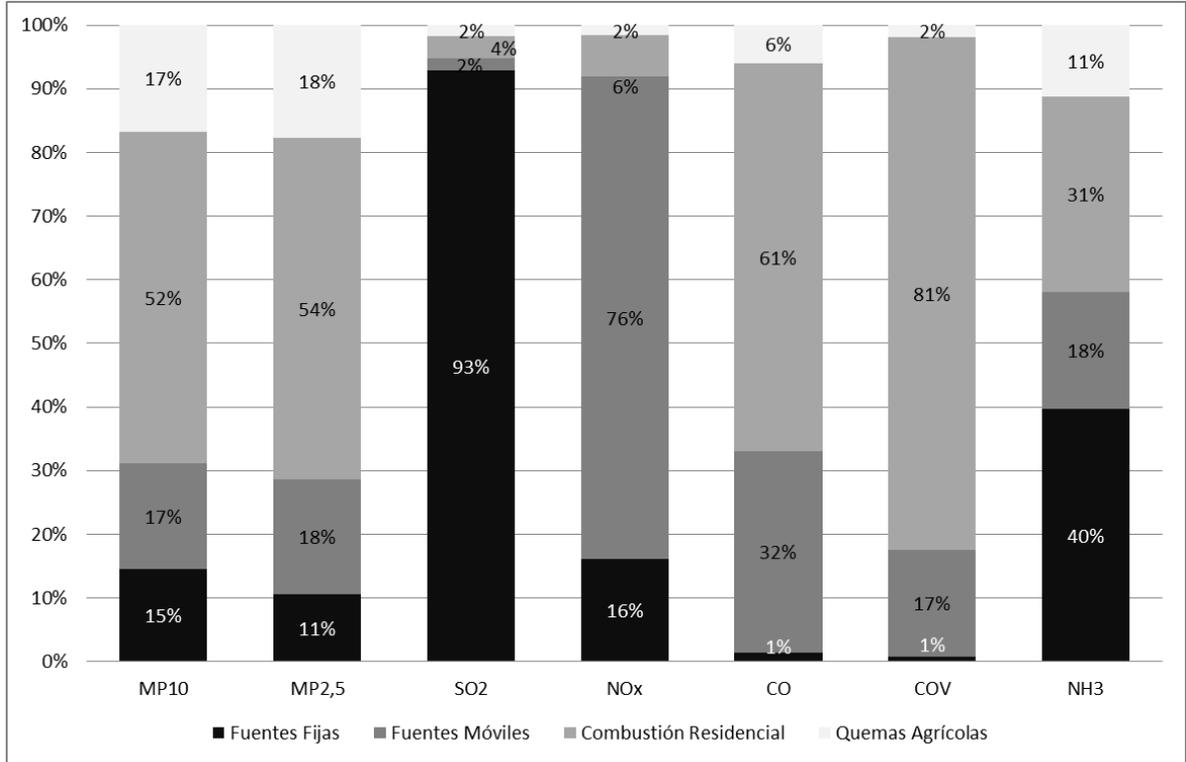
Fuente: Elaboración propia MMA

La combustión residencial de leña es la principal fuente de material particulado fino, representando un 54% de las emisiones. Esto se explica por la proporción de viviendas que consume leña en el área urbana del Valle Central de la región del Libertador General Bernardo O'Higgins (44,7%) mientras que, para el área rural, alcanza el 83,2%. Los principales tipos de calefactores a leña utilizados en esta zona corresponden a combustión lenta que representa un 52% (calefactores con templador y sin templador), calefactor hechizo que alcanza un 18%, salamandras con un 15%, chimeneas 2% y cocinas a leña un 12%. En base a estos resultados se estimó un número de 115.029 calefactores a leña en la zona saturada.

En atención al aporte que representa la combustión residencial de leña en las emisiones de material particulado, el Plan considera un énfasis especial en la reducción de estas emisiones. Se complementa lo anterior con medidas de control de las fuentes industriales, de transporte y control de quemas agrícolas.

El Gráfico 4, representa el aporte de las fuentes emisoras a las emisiones de material particulado y gases.

Contribución porcentual de emisiones por sector para la zona saturada.



Fuente: Elaboración propia MMA

1 Justificación y objetivo

La principal fuente de contaminación atmosférica en toda la zona centro sur del país, es la combustión de leña y otras actividades económicas (calefacción de edificios, panaderías, etc.), pero además en esta zona existen aportes de la industria (fabricación de cemento, forestales, agroindustrias, etc.), fuentes móviles, quemas agrícolas y forestales, entre otras.

El inventario de emisiones es un instrumento de alta relevancia dentro de la gestión de calidad de aire, ya que permite identificar cuáles son los sectores contaminantes preponderantes en una determinada zona y evaluar la importancia y el impacto de cada una de las fuentes presentes. Adicionalmente, permite hacer seguimiento a la eficacia de las medidas que se implementan en el marco de los planes de prevención y/o descontaminación y posteriormente ser un insumo para la actualización de dichos instrumentos.

El objetivo de este informe es presentar el inventario de emisiones de la calidad del aire para las 17 comunas del Valle Central de la Región de O'Higgins, que sirve de insumo para la elaboración del Plan de Descontaminación atmosférica MP2,5 para dicha zona.

2 Metodología

La bibliografía relevante está focalizada en los inventarios de emisiones disponibles, los cuales fueron útiles para sistematizar los principales resultados y conclusiones obtenidos en ellos; así como también fueron consideradas las principales fuentes de información para poder obtener la correcta caracterización de las fuentes móviles y de fracción gruesa de MP, principalmente información asociada a los niveles de actividad y parámetros que fueron utilizados para el correcto desarrollo del inventario de emisiones.

En términos metodológicos se utilizó como base el documento denominado "Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas" desarrollado por el MMA. También fueron consultadas las siguientes metodologías como fuentes de información:

- Metodologías Internacionales
 - AP-42, EPA (compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos)
 - WebFire, EPA (base de datos que contiene factores de emisión de contaminantes criterios y peligrosos del aire (HAP) para procesos industriales y no industriales)

- EMEP CORINAIR, EEA (guía para inventario de emisiones de contaminantes
- COPERT IV (herramienta para el cálculo de las emisiones de contaminantes atmosféricos y de gases de efecto invernadero procedentes del transporte por carretera en todo el mundo).
- Metodologías Nacionales
 - Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el RETC, MMA, SECTRA, MINSAL.
 - Metodologías de estimación de emisiones RETC, considera fuentes fijas, fuentes móviles, combustión residencial de leña, quemas agrícolas, incendios forestales y urbanos.

Los contaminantes atmosféricos considerados para el desarrollo de este estudio para la actualización de las emisiones al año 2017 corresponden a MP10, MP2,5, SO₂, NO_x, CO, NH₃, CO₂ y COVs

Antecedentes de Estudio de Referencia de Emisiones para la Zona: SICAM (2015-2016). “Actualización Inventario de Emisiones Zona Saturada del Valle Central de la Región de O’Higgins, Año Base 2014”.

3 Área de estudio

Es importante mencionar que el estudio se realizó para todas las comunas del Valle Central, junto con un análisis específico para la zona de aplicación del plan de descontaminación atmosférica del Valle Central de la Región.

El área de estudio corresponde a las comunas con posibles problemas de contaminación atmosférica de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, que corresponden a las siguientes:

Región	Provincia	Comuna
	Cachapoal	Codegua
		Coinco
		Coltauco
		Doñihue
		Graneros
		Las Cabras
		Machalí
		Malloa
		Mostazal
		Olivar
		Peumo
		Pichidegua
		Quinta de Tilcoco

Libertador Gral. Bernardo O'Higgins		Rancagua
		Rengo
		Requínoa
		San Vicente de Tagua Tagua
	Cardenal Caro	La Estrella
		Litueche
		Marchigüe
		Navidad
		Paredones
		Pichilemu
	Colchagua	Chépica
		Chimbarongo
		Lolol
		Nancagua
		Palmilla
		Peralillo
		Placilla
		Pumanque
		San Fernando
Santa Cruz		

Caracterización año base 2017

La caracterización necesaria para el inventario de emisiones desarrollado año 2017 consideró los siguientes tipos de fuentes:

- 1) Fuentes estacionarias puntuales: Fuentes de combustión y procesos en la zona de estudio.
- 2) Fuentes estacionarias de área: Fuentes de combustión residencial de leña, fuentes areales de tipo comercial, quemas agrícolas, incendios forestales y fuentes biogénicas.
- 3) Fuentes móviles en ruta y fuera de ruta: Incluyendo transporte público y privado, maquinaria agrícola, de construcción e industrial, aeropuerto, etc.
- 4) Otras fuentes: Considerar el universo de fuentes que aportan con emisiones de Material Particulado Fracción gruesa tales como: Construcción, producción transporte y procesamiento de áridos, actividades agrícolas, polvo re-suspendido desde calles pavimentadas y no pavimentadas, etc.

Para el desarrollo de esta actividad se trabajó con la mejor información disponible en la actualidad para realizar una aceptable caracterización de las fuentes de emisión presentes en la zona, para ello se utilizaron y compararon los principales tipos de fuentes de emisión consideradas en el inventario previo, así como los resultados de emisiones obtenidos.

Se consideró el “Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas” desarrollado por el MMA en el año 2017, la cual contiene una recopilación metodológica para la estimación de emisiones de los distintos tipos de actividades emisoras que fueron considerados en el presente inventario de emisiones, citando las fuentes de información para los niveles de actividad de cada tipo de fuente.

Finalmente, la caracterización y levantamiento de la información asociada a los niveles de actividad de los distintos tipos de fuentes permitirá realizar el cálculo de las emisiones de MP10, MP2,5, SO₂, NO_x, CO, NH₃, CO₂ y COVs.

- ***Caracterización de Fuentes estacionarias puntuales.***

Para la caracterización fueron considerados las unidades de emisión (fuentes) de todos los establecimientos que declararon en el F138 MINSAL el año 2017, se realizó un análisis mediante los indicadores de validación estadística y técnica.

Se realizó la identificación de las fuentes fijas (estacionarias o puntuales) actualmente declaradas en el F138 del MINSAL para la zona en estudio. Los tipos de fuentes emisoras declaradas en el F138 son las siguientes:

- CA = Caldera calefacción
- IN = Caldera Industrial
- GE = Caldera de generación eléctrica
- CF= Caldera de fluido térmico
- PC = Proceso Industrial CON combustión
- PS = Proceso Industrial SIN combustión
- PA = Hornos de panadería
- EL = Grupos Electrógenos

Con ello se obtuvo el universo de establecimientos y sus respectivas unidades de emisión (o fuentes) y la información fue sistematizada en una planilla Excel, se completó información técnica relevante, así como otros datos técnicos que permitieron generar validadores de información y patrones de comparación.

La validación de los datos técnicos se realizó bajo los siguientes criterios:

- Diferencias entre consumo nominal y consumo real de combustible. Se constata que el real no sea mayor al nominal.
- Consumos de combustible por tipo de combustible, con el objetivo de detectar valores fuera de rango con respecto al promedio.
- Revisión en detalle de distintos tipos de fuentes provenientes de la recopilación de información.
- Revisión de la relación entre potencia nominal y consumo nominal para las calderas.
- Comparación de los niveles de actividad por tipo de rubro y fuente.

Entre la información técnica relevante se tiene: potencia térmica MWt, consumo de combustibles real y nominal, horas de funcionamiento, producción de vapor, energía eléctrica generada, localización, georreferenciación, unidades, sistema de control de emisiones, tipo de actividad económica, entre otras. A continuación, se presentan las principales estadísticas referidas a las fuentes de emisión extraídas desde el F138 MINSAL que fueron utilizadas para el cálculo de emisiones:

Número de Establecimientos que declararon en el F138, año 2017

Región	N° de Establecimientos
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	495

Fuente: Declaraciones de Emisiones Año 2017 en el F138, MINSAL (Inventario Sistam, 2019)

Número de Fuentes Fijas declaradas en el F138, año 2017

Región	CA	EL	IN	PA	PC	PS	GE	Total
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	137	743	112	62	133	47	1	1.235

Fuente: Declaraciones de Emisiones Año 2017 en el F138, MINSAL (Inventario Sistam, 2019)

Adicionalmente, y con el fin de complementar la revisión y obtener una caracterización en base a la mejor información disponible se realizó una extracción y revisión de la información disponible de la SMA referida a los programas de fiscalización de fuentes puntuales, a través de información recopilada de la página web de las SMA, específicamente del sitio SNIFA (link: <http://snifa.sma.gob.cl/v2>).

Caracterización de Fuentes estacionarias de Área (residenciales, comerciales, quemas e incendios y fuentes biogénicas).

- **Caracterización de Emisiones de Combustión Residencial de Leña**

Para la caracterización de la combustión residencial de leña se utilizó la información base de la última encuesta nacional de leña en el marco del estudio “Medición del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera” realizado por la CDT para el Ministerio de Energía, en dicho estudio se presentan los consumos de leña para el año base 2015 y proyectado al año 2017 a nivel regional.

Para los parámetros se utilizó como información el estudio “Medición del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera” realizado por la CDT para el Ministerio de Energía, este estudio entrega porcentajes de humedad de la leña a nivel regional, la distribución por tipo de artefacto a nivel regional y tasas de quemado para los distintos artefactos, estos insumos permitieron obtener la distribución de consumo de leña por tipo de artefacto.

En el caso del uso del tiraje (o tipo de operación), se utilizó las mismas condiciones de operación que se han utilizado históricamente en el RETC.

En la siguiente tabla se muestra el consumo de leña año 2017 subdividido en urbano – rural.

Consumos de leña urbano – rural por región, Año 2017 (t/año).

Región	Consumo Urbano (t/año)	Consumo Rural (t/año)	Total
Región de O’Higgins	115.556	98.184	213.740

Fuente: Elaboración propia en base a estudios CDT 2015, INFOR 2018 y “Norma Chilena Oficial N°2907/2005”. (Inventario Sistem, 2019)

Para la distribución de consumo de leña a nivel comunal se realizará el siguiente procesamiento de información de manera secuencial:

- Obtención de la población a nivel comunal mediante CENSO INE 2017.
- Obtención de la población a nivel regional subdividida en urbano-rural mediante CENSO INE 2017.
- Obtención de la población a nivel comunal subdividida en urbano-rural mediante CENSO INE 2017.
- Estimación del consumo per cápita promedio de leña subdividido en urbano - rural a partir de encuesta CASEN 2013 a nivel comunal.
- Obtención de consumos de leña a nivel comunal subdivididos en urbano y rural. Para

esto se utiliza la población urbana – rural obtenida y los consumos per cápita obtenidos.

Variables y Parámetros utilizados

A continuación, se presentan las variables y parámetros de importancia utilizados.

Para las 17 comunas del Valle Central de la Región de O’Higgins se utilizó información del estudio desarrollado por SICAM (2015-2016) denominado “Actualización Inventario de Emisiones Zona Saturada del Valle Central de la Región de O’Higgins, Año Base 2014”, el cual presentaba porcentajes de distribución por tipo de artefacto específico para cada una de las 17 comunas.

Adicionalmente se utilizaron los programas de recambio de calefactores, vale decir, se consideró el retiro de artefactos antiguos y la inclusión de dos nuevos tipos de artefactos correspondientes a “Calefactor Certificado” y “Calefactor a Pellet”, asumiendo en consenso con la contraparte técnica del estudio que existe un parque de artefactos recambiados de forma privada, equivalente a un 20% adicional a los recambios que efectuaron los programas.

A continuación, se presentan los porcentajes de distribución regionales promedios obtenidos y los programas de recambio de calefactores; para el caso de las 17 comunas del Valle Central se utilizó la distribución de artefactos por comuna en base al estudio “SICAM 2016”, en conjunto con la información de los programas de recambio de calefactores.

Porcentajes de distribución para las 17 comunas del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Comuna	Calefactor con Templador	Cocina a Leña	Salamandra	Calefactor Cámara Simple	Calefactor Hechizo	Chimenea	Calefactor a Pellet	Total, Por Comuna
Chimbarongo	10,03	27,13	35,01	4,05	23,07	0,00	0,71	100,00
Codegua	35,42	29,00	9,65	0,00	24,95	0,00	0,97	100,00
Coinco	29,49	4,23	4,23	0,00	46,50	14,78	0,76	100,00
Coltauco	31,03	17,39	9,31	2,62	32,45	7,20	0,00	100,00
Doñihue	50,34	22,93	9,84	9,84	6,54	0,00	0,50	100,00
Graneros	57,76	11,68	15,61	3,28	11,31	0,00	0,35	100,00
Machalí	24,81	33,04	8,23	8,23	24,81	0,00	0,88	100,00
Malloa	21,38	10,01	19,29	1,35	43,12	4,38	0,47	100,00
Mostazal	13,82	6,90	13,04	6,90	55,68	3,46	0,20	100,00
Olivar	45,56	15,13	22,74	0,00	7,62	7,62	1,34	100,00
Placilla	29,06	22,99	18,37	2,66	23,30	2,66	0,96	100,00
Quinta de Tilcoco	25,49	0,00	11,37	1,90	57,48	0,00	3,76	100,00
Rancagua	61,66	4,28	7,72	20,09	4,76	1,20	0,28	100,00
Rengo	30,28	23,12	7,21	4,00	33,49	0,00	1,90	100,00
Requínoa	53,07	3,79	24,75	2,93	14,91	0,00	0,55	100,00
San Fernando	49,53	9,49	17,34	9,84	8,05	5,10	0,64	100,00
San Vicente	36,14	10,42	28,65	0,00	22,10	2,45	0,24	100,00

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio SICAM 2016 y Programas de Recambio de Calefactores Históricos (hasta el año 2017). (Inventario Sistem, 2019)

Calefactor con Templador: Artefacto a leña utilizado para calefacción y/o cocción de alimentos que posee una segunda entrada de aire, el que con ayuda de un templador aumenta su temperatura, lo que permite una mayor eficiencia en el quemado de gases y partículas.

Salamandra: Estufa con cámara de combustión de hierro fundido, caracterizada por la limitada capacidad de control de ingreso de aire de combustión. Presenta bajos niveles de eficiencia térmica y altas tasas de emisiones.

Calefactor Cámara Simple: Artefacto a leña utilizado para calefacción y/o cocción de alimentos que posee sólo una entrada de aire, la que normalmente se encuentra sobre la puerta del equipo. Las emisiones de Material Particulado de estos artefactos son altísimas cuando se operan mal, como cuando por ejemplo se operan con el tiraje cerrado.

Calefactor Hechizo: Artefacto a leña utilizado para calefacción y/o cocción de alimentos que se fabrica en hojalaterías o talleres de forma artesanal. No posee templador, tiene evacuación directa de gases de combustión y son reconocibles por la falta de terminaciones y soldaduras visibles en sus uniones.

Fuente definiciones: Política de uso de leña y sus derivados para calefacción 2015

Los programas de recambio de calefactores para la región de O'Higgins durante el año 2017 solo consideraron el recambio de equipos antiguos por "Calefactores a Pellet"; vale decir, no se consideraron recambios de equipos antiguos por "Calefactores Certificados", motivo por el cual no se considera este artefacto en las 17 comunas del Valle Central.

Combinando la distribución de número de artefactos obtenida en base al estudio CDT 2015 con las del estudio SICAM 2016 (para las 17 comunas del valle Central), además de los programas de recambio de calefactores se obtiene una nueva distribución promedio regional que integra las tres fuentes de información.

Comuna	CALDERA A LEÑA	CÁMARA DOBLE	CÁMARA SIMPLE	CHIMENEA	COCINA A LEÑA	EQUIPO HECHIZO	SALAMANDRA	CALEFACTOR CERTIFICADO	CALEFACTOR A PELLET	Total
Chimbarongo	0	778	314	0	2.105	1.790	2.716	0	0	7.703
Codegua	0	910	0	0	745	641	248	0	25	2.569
Coinco	0	425	0	213	61	670	61	0	11	1.441
Coltauco	0	1.160	98	269	650	1.213	348	0	0	3.738
Doñihue	0	1.800	352	0	820	234	352	0	18	3.576
Graneros	0	2.937	167	0	594	575	794	0	18	5.085
Machalí	0	1.492	495	0	1.987	1.492	495	0	53	6.014
Malloa	0	634	40	130	297	1.279	572	0	14	2.966
Mostazal	0	475	237	119	237	1.913	448	0	7	3.436
Olivar	0	1.256	0	210	417	210	627	0	37	2.757
Placilla	0	666	61	61	527	534	421	0	22	2.292
Quinta de Tilcoco	0	576	43	0	0	1.299	257	0	85	2.260
Rancagua	0	20.846	6.794	405	1.448	1.610	2.611	0	96	33.810
Rengo	0	2.656	351	0	2.028	2.937	632	0	167	8.771
Requínoa	0	3.281	181	0	234	922	1.530	0	34	6.182
San Fernando	0	6.002	1.192	618	1.150	976	2.101	0	78	12.117
San Vicente	0	3.727	0	253	1.074	2.279	2.954	0	25	10.312
Total Artefactos	0	49.621	10.325	2.278	14.374	20.574	17.167	0	690	115.029
Porcentaje		43	9	2	12	18	15	0	1	100

Fuente: Inventario Sistem, 2019.

Tasa de quemado por Tipo de artefacto.

Artefacto	Tasa de quemado (kg/h)
Calefactor con Templador	3,5
Salamandra	4,0
Calefactor Hechizo	4,0
Calefactor Cámara Simple	4,0
Chimenea	6,0
Cocina A Leña	4,0
Caldera A Leña	4,0

Fuente: Estudio CDT 2015 (Inventario Sistam, 2019)

Densidad de la Leña por Rango de Humedad

Calidad	Densidad [kg/m ³]	Contenido de humedad
Seca	411	Hasta 25% base seca
Semi-húmeda	432	Entre 25,1% y 40%
Húmeda	453	Sobre 40%

Fuente: Línea base de los AGIES, MMA (Inventario Sistam, 2019).

Porcentajes de distribución por Macrozona (M-Z) y por Tipo de Operación (tiraje abierto o cerrado) para los Artefactos Calefactor con Templador y Calefactor Cámara Simple.

Tiraje	M-Z3	M-Z4
Tiraje Cerrado (Calefactor con Templador)	45,09 %	45,09 %
Tiraje Abierto (Calefactor con Templador)	54,91%	54,91%
Total, Tiraje (Calefactor con Templador)	100%	100%
Tiraje Abierto (Calefactor Cámara Simple)	63,00 %	63,84 %
Tiraje Cerrado (Calefactor Cámara Simple)	37,00 %	36,16 %
Total, Tiraje (Calefactor Cámara Simple)	100%	100%

Fuente: En base a estudios DICTUC 2007, AMBIOSIS 2008, UDEC 2002, ENVIROMODELING 2009, UCT 2009 y CENMA 2010 (Inventario Sistam, 2019).

- **Caracterización de Emisiones Quemadas Agrícolas**

A continuación, se presentan los datos requeridos para la correcta caracterización de las Quemadas Agrícolas.

La caracterización de las “Quemadas Agrícolas” implica obtener la superficie quemada, expresada en hectáreas por tipo de cultivo y/o vegetación. Se trabajó con la Base de Datos generada por CONAF a nivel regional, única entidad que registra y autoriza el uso del fuego para la eliminación de residuos, rastrojos y/o desechos de origen vegetal.

Las especies vegetales que se encuentran dentro de la clasificación de CONAF son algunos cereales (desechos provenientes de la post-cosecha de Trigo, Maíz, Cebada etc.), actividades silvícolas (podas, raleos y desechos de cosecha) de plantaciones forestales y vegetación menor como matorrales y pastizales en sitios abiertos, para habilitar caminos, superficie para siembra, limpieza de canales etc.

Superficies (ha) sometidas a quemadas agrícolas, Año 2017.

Región	Clasificación por tipo de cultivo o Vegetación								
	Cebada	Eucalipto	Maíz	Otras Plant.	Otros Cultivos	Pino	Ramas	Trigo	Vegetación
Región de O'Higgins	9,60	18,63	3.195,57	179,33	879,59	892,62	1.217,67	382,35	627,45

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de CONAF (Inventario Sistam, 2019).

- **Caracterización de Emisiones Incendios Forestales**

La caracterización en el caso de “Incendios Forestales” implica obtener la superficie quemada en el incendio, específicamente las hectáreas afectadas por tipo de bosque (vegetación natural y plantaciones forestales), información reportada por CONAF única entidad que registra y autoriza el uso del fuego para la eliminación de residuos, rastrojos y/o desechos etc. de origen vegetal. Se definen pastizales, matorrales y bosque nativo como vegetación natural, pinos y eucaliptus como plantaciones forestales.

A continuación, se presenta las superficies (ha) quemadas a raíz de los incendios forestales.

Superficies (ha/año) afectadas por incendios forestales, Año 2017

Clasificación por tipo de cultivo o Vegetación										
Pino (0-10)	Pino (11-18)	Pino (18+)	Eucaliptos	Otra Plantación	Arbolado (Nativo)	Matorrales	Pastizales	Agrícola (cultivos)	Desechos	
3.878,80	0,20	27.324,91	3.469,27	444,41	19.813,38	25.288,49	3.274,43	9.461,10	10,23	

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de CONAF 2017 (Inventario Sistam, 2019).

El período 2016-2017 fue un año atípico para los incendios forestales en Chile; se generaron en múltiples focos de las zonas centro y sur de Chile, entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos, con mayor intensidad en las regiones de O'Higgins, Maule y Biobío. En el período 2016-2017 la superficie afectada fue de aproximadamente 570.000 hectáreas; siendo el promedio desde 1963 a la fecha de alrededor de 57.000 hectáreas.

- **Caracterización de Emisiones Cigarrillos**

En el caso de emisiones generadas por el consumo de cigarrillos, la caracterización implica obtener a la población que consume cigarrillos, la cual considera a todas las personas iguales o mayores a 15 años.

Población (mayor igual a 15 años), Año 2017.

Región	Población urbana	Población rural	Población (urbana + rural)
Región de O'Higgins	534.358	190.427	724.785

Fuente: INE 2018. (Inventario Sistam, 2019).

Se realizan los siguientes supuestos:

- 41,2% de la población adulta fuma.
Fuente: <http://www.chilelibredetabaco.cl/tabaco-y-tabaquismo-en-chile/> (extraído de la página con fecha 24-10-18).
- La población fumadora consume promedio 10 cigarrillos /día-adulto.
Fuente: Encuesta Nacional de Salud 2010 MINSAL (se utilizó esta encuesta debido a que es la última con resultados completos disponible. La Encuesta Nacional de Salud 2017 al momento de desarrollo de los cálculos de emisiones solo entrega resultados parciales y no indica la cantidad de cigarrillos diarios que consumen los fumadores).

- **Caracterización de Incendios Urbanos**

En el caso de incendios urbanos, la caracterización está dada por el número de incendios o siniestros reportados por Carabineros de Chile. A continuación, se presentan los incendios urbanos:

Cantidad de Incendios Urbanos por Región, Año 2017.

Región	N° de Incendios
Región de O'Higgins	439

Fuente: Carabineros de Chile, Año 2017. (Inventario Sistam, 2019).

- **Caracterización de Combustión Residencial de GLP, GN, GC y Kerosene**

La información base para la caracterización en el caso de la combustión residencial de gas licuado de petróleo (GLP), gas natural (GN), gas de ciudad (GC) y kerosene corresponden a los niveles de consumos de cada uno de los combustibles en cuestión. Estos consumos fueron extraídos de los reportes estadísticos anuales que reporta la SEC en su página web.

Respecto a los consumos de gas natural de tipo residencial, la SEC considera dentro del registro residencial los consumos utilizados por las calderas de calefacción de edificios residenciales. El MINSAL por medio del D.S 138 tiene registrados los consumos de gas natural de cada una de las calderas a nivel país, por lo tanto, estos consumos fueron estimados como parte de las emisiones de fuentes fijas, con el objetivo de evitar el doble conteo.

A continuación, se presenta las ventas de GLP y kerosene doméstico:

**Ventas Totales De GLP anuales
(Ton), Año 2017.**

Región	Envasado	Granel	Total
Región de O'Higgins	52.622	52.325	104.947

Fuente: Informes Estadístico SEC, Año 2017. (Inventario Sistam, 2019).

Ventas Totales de ENAP (Kerosene doméstico) y compañías distribuidoras, ordenadas por mes y por productos (m³), Año 2017.

Mes	Región de O'Higgins
Enero	108
Febrero	136
Marzo	182
Abril	592
Mayo	1.913
Junio	2.832
Julio	2.472

Agosto	2.281
Septiembre	978
Octubre	317
Noviembre	129
Diciembre	144
Total	12.084

Fuente: Informes Estadístico SEC, Año 2017 (Inventario Sistam, 2019).

Las ventas de GLP y Kerosene doméstico regionales se distribuyen a nivel comunal en base a los porcentajes de distribución de población obtenidos del Censo INE 2017.

- **Caracterización de Emisiones Biogénicas**

En el caso de “Actividades Biogénicas” el modelo utilizado para estimar las emisiones biogénicas corresponde a “Megan 2.1”, para la caracterización se utilizan las “Clases de Uso de Suelo” señaladas para cada celda del área de estudio. MEGAN es un modelo para estimar las emisiones de gases y aerosoles de los ecosistemas terrestres a la atmósfera. Las variables de entrada incluyeron la cobertura del suelo, el clima y la composición química atmosférica y posee una resolución base de ~ 1 km, por lo que su uso es adecuado para modelos regionales y globales.

Para caracterizar las “fuentes Biogénicas” se utilizaron los siguientes insumos:

Datos Meteorológicos: Se recibió una base de datos meteorológicos extraídos de la red SINCA y empresas privadas, correspondientes a las siguientes estaciones disponibles para las regiones consideradas en el presente estudio:

Estaciones meteorológicas disponibles por Comuna.

Región	Comunas	Estaciones Meteorológicas
Región de O'Higgins.	Rancagua	Rancagua I
Región de O'Higgins.	Rancagua	Rancagua II
Región de O'Higgins	Rengo	Rengo
Región de O'Higgins	San Fernando	San Fernando

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Esta información fue complementada con datos provenientes del programa de reanálisis de información meteorológica global ERA Interim, mantenidos por el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF) y el Centro Nacional de Investigación Atmosférica de los Estados Unidos de América (NCAR). Estos datos corresponden a grillas con resolución de 80

km.

Los datos complementarios corresponden a los siguientes:

Índice de área foliar (LAI): Se ha utilizado la información satelital proveniente del producto MOD15A2H basado en observaciones satelitales utilizando espectro radiometría de imágenes de media resolución (MODIS) publicados por el programa NASA Earth Observing System Data. Estos datos poseen resolución de 500 metros cada 8 días.

Referencia: Myneni, R., Knyazikhin, Y., Park, T. (2015). MOD15A2H MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD15A2H.006

Radiación fotosintética activa (PAR): Al igual que LAI se han utilizado datos del programa MODIS, basados en el producto MCD18A2: MODIS/Terra and Aqua Photosynthetically Active Radiation Daily 3-Hourly L3 Global 5 km V006.

Datos de vegetación (Plant Functional Type) PFT: Se ha utilizado la base de datos de uso de suelo vegetacional publicados por la Agencia Espacial Europea para el año 2015, desarrollados en el ámbito de la iniciativa de cambio climático. Estos datos poseen una resolución de 500 metros y utilizan una clasificación basada en el Sistema de la FAO/UNEP.

Referencia: ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain. 2017. Global Land Cover Maps, Version 2.0.7. European Space Agency Climate Change Initiative. Último acceso: 01 de 02 de 2019. <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>.

La homologación de clasificación compatible con MEGAN ha sido basada en el estudio:

Li, Wei, MacBean, Natasha, Ciais, Philippe, Defourny, Pierre, Lamarche, Céline, Bontemps, Sophie, Peng, Shushi. (2017). Derivation of plant functional type (PFT) maps from the ESA CCI Land Cover product [Data set]. Zenodo.

Clasificación de tipo de Suelo (SOIL TAXONOMY)

La clasificación fue basada en el mapa de suelo del mundo publicado por la FAO y UNESCO disponible en:

https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/use/worldsoils/?cid=nrcs142p2_054013

Estos mapas fueron reclasificados según las clasificaciones del departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA 16 SOIL CLASIFICATION) esta última clasificación es la requerida por MEGAN.

Superficies Biogénicas, Año 2017

Región	Superficie Biogénica (km ²)
Región de O'Higgins	3.196

Fuente: Agencia Espacial Europea (Inventario Sistam, 2019).

Descripción del modelo y variables de entrada

MEGAN v2.1 (Modelo de Emisiones de Gases y Aerosoles de la Naturaleza versión 2.1) es un modelo para estimar flujos de componentes biogénicos entre ecosistemas terrestres y la atmósfera utilizando algoritmos simples para describir los principales procesos conocidos que controlan las emisiones biogénicas (Guenther, y otros, 2012).

Este modelo puede ser configurado con resolución espacial de 1 km² y resolución temporal de 1 hora. Las variables de entrada incluyen datos en formato de celdas georreferenciadas con un valor por cuadrícula, estos datos corresponden a información meteorológica, índice de área foliar, grupos funcionales de plantas y mapas de factores de emisión basados en la composición de especies.

La tabla siguiente muestra las fuentes de información de los datos de entrada principales.

MEGAN, fuentes de información de los datos de entrada principales.

Abreviación	Nombre	Fuente de información	Referencia
PFT	Grupos funcionales de plantas (<i>Plant Functional Types</i>)	Base de datos de uso de suelo (vegetación) publicados por la Agencia Espacial Europea.	ESA CCI Land Cover MAP (ESA Climate Change Initiative - Land Cover led by UCLouvain 2017) Derivation of plant functional type (PFT) maps from the ESA CCI Land Cover (Li, y otros 2017)
LAI	Índice de área foliar (<i>Leaf Area Index</i>)	Información satelital, producto MODIS (Espectro radiometría de imágenes de media resolución).	MOD15A2H: MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500 m SIN Grid V006. (Myneni, Knyazikhin y Park 2015) https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod15a2h_v006 (accedido en febrero de 2019).
FE	Factores de emisión	Factores de emisión pre calculados incluidos en MEGAN v2.1	The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emission (Guenther, y otros 2012)

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Además, es necesario ingresar datos de meteorología y textura de suelo. Los datos de meteorología fueron extraídos de la red del Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente 4 (presión, radiación global, humedad relativa, temperatura, dirección y velocidad del viento). Esta información fue complementada con datos provenientes del programa de reanálisis de información meteorológica global ERA Interim, mantenidos por el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF) y el Centro Nacional de Investigación Atmosférica de los Estados Unidos de América (NCAR). Los datos de textura de suelo fueron extraídos de la base de datos de suelos del mundo, publicada por la FAO y UNESCO.

Fuentes de información de meteorología, radiación y tipos de suelo.

Abreviación	Nombre	Fuente de información	Referencia
SOIM	Humedad del suelo volumétrica en la parte superior (m^3/m^3)	Estaciones del Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA) y estaciones privadas complementado con información del programa de reanálisis de información meteorológica global ERA Interim.	Sistema Nacional de Calidad del Aire. (Ministerio del Medio Ambiente, Chile 2019) The ERA-Interim reanalysis dataset (European Centre for Medium-range Weather Forecast (ECMWF) 2011) https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim (accedido en febrero 2019)
SOIT	Temperatura en la parte superior del suelo (K)		
TEMP2	Temperatura a 2 m. (K)		
PRES	Presión (Pa)		
QV	Razón de mezcla de vapor agua (Kg/Kg)		
WINDSPD	Velocidad del viento (m/s)		
RAIN_ACC24	Lluvia acumulada en 24 horas (cm).		
PREC_ADJ	Factor de ajuste de precipitación		
PAR	Radiación fotosintética activa (w/m^2)	Información satelital, producto MODIS (Espectro radiometría de imágenes de media resolución).	Wang, D. (2017). MODIS/Terra+Aqua Photosynthetically Active Radiation Daily/3-Hour L3 Global 5km SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MCD18A2.006
SLTYP	Tipos de textura de suelo según categorías USDA	Mapa de suelo del mundo publicado FAO y UNESCO	Global Soil Regions Map https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/use/worldsoils/?cid=nrcs142p2_054013 . (accedido en febrero 2019)

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Configuración

Las emisiones se han modelado utilizando una grilla de 4 km² de dimensiones 253 km por 760 km. Se ha utilizado el Sistema de coordenadas UTM 18S, que es el adecuado para la ubicación geográfica de la zona de estudio.

Se ha preparado los datos de entrada de meteorología como promedios horarios por cada día y mes del año 2017.

Los resultados incluidos en este estudio corresponden a las emisiones de isopreno, monoterpenos y sesquiterpenos. La suma de estas variables corresponde al total de compuestos orgánicos volátiles (COV) estimados.

En el anexo digital, en el documento, carpeta "Variables_Entrada_Biogénicas" se presenta un documento con la explicación detallada de cómo se utilizaron las variables de entrada para estimar las emisiones.

- **Caracterización de Emisiones Evaporativas Residenciales**

La información base para la caracterización de fuentes evaporativas residenciales de COV (Solventes de uso doméstico, Pintado arquitectónico y Uso de Adhesivos) y evaporativas residenciales de NH₃ (Respiración humana, Transpiración humana, Pañal desechable de niño < 3 años, Residuos de adultos, Perros y Gatos) corresponde a la población vigente.

Población, Año 2017.

Región	Población urbana	Población rural	Población (urbana + rural)
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	680.363	234.192	914.555

Fuente: INE 2018 (Inventario Sistam, 2019).

En el caso de "Fugas Residenciales de GLP" se utilizó el Reporte estadístico de la SEC que publica anualmente, la información de Envasado se considera para poder caracterizar las fugas comerciales de GLP:

Ventas Totales De GLP (Ton), Año 2017.

Región	Envasado
Región de O'Higgins	52.622

Fuente: Informes Estadístico SEC, Año 2017 (Inventario Sistam, 2019).

- **Caracterización de Emisiones Evaporativas Comerciales (Distribución de combustible, Lavasecos, Talleres de pintura, Imprentas, Aplicación de asfalto y fugas comerciales de GLP)**

En el caso de "Distribución de Combustible" se utilizó el Reporte estadístico de la SEC que publica anualmente, la siguiente información se considera para poder caracterizar las fuentes evaporativas comerciales:

En el caso de "Fugas Comerciales de GLP" se utilizó el Reporte estadístico de la SEC que publica anualmente, la información de Granel se considera para poder caracterizar las fugas comerciales de GLP:

Ventas Totales De GLP anuales (Ton), Año 2017.

Región	Granel
Región de O'Higgins	52.325

Fuente: Informes Estadístico SEC, Año 2017 (Inventario Sistem, 2019).

Las ventas de combustibles regionales se distribuyen a nivel comunal en base a los porcentajes de distribución de población de cada región obtenidos del Censo INE 2017.

En el caso de Aplicación de asfalto, no se cuenta con información para poder caracterizar, sin embargo, corresponde al área asfaltada (vale decir longitud y ancho de la calzada).

En el caso de Lavasecos, Talleres de pintura e Imprentas se utiliza la población vigente, la cual es la misma que fue presentada anteriormente en la sección evaporativas residenciales.

- **Caracterización de Actividades Agrícolas.**

En el caso de “Aplicación de Fertilizantes” se utilizó la Cantidad de Nitrógeno en masa (ton/año) aplicado a los cultivos en base a las tasas de demanda de la FAO, las siguientes:

Tasas de demanda de Nitrógeno (kg/ha) por tipo de cultivo (FAO).

Chile	Tasa N (kg/ha)
Cebada	100
Remolacha	200
Forraje	45
Frutas	80
Maíz	200
Otros cereales	100
Patata	100
Legumbres	50
Rape (tabaco)	140
Arroz	120
Sorgo (maíz)	80
Girasol	100
Tabaco	100
Verduras	0,1
Trigo	100

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

Sistam, 2019)

Las superficies agrícolas se distribuyen a nivel comunal en base a los porcentajes de distribución de las superficies por tipo de cultivo obtenidos del Censo Agropecuario y Forestal 2007.

Caracterización Crianza de Animales.

En el caso de “Crianza de Animales” la caracterización implica obtener el número de cabezas por tipo de animal, para ello se utilizó las estadísticas pecuarias del INE disponibles, las siguientes:

Cantidad de Animales por Tipo, Año 2017.

Región	Bovinos	Ovinos	Cerdos	Caprinos	Aves	Total
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	56.339	116.167	2.130.288	15.902	23.123	2.341.819

Fuente: Elaboración Propia en base a Estadísticas Pecuarias INE (2007, 2013 y 2015) y Censo Agropecuario 2007. (Inventario Sistam, 2019)

La cantidad de animales se distribuyen a nivel comunal en base a los porcentajes de distribución de los tipos de animales de cada región obtenidos del Censo Agropecuario y Forestal 2007 (último censo detallado a nivel comunal realizado en Chile).

- **Caracterización de Fuentes Móviles en Ruta y Fuera de Ruta**

Para la caracterización y aplicación de la metodología de cálculo de emisiones de fuentes móviles en ruta se cuenta con información de entrada (Niveles de actividad) al sistema MODEM para las ciudades de la zona. Cabe destacar que para el resto las comunas de la zona en estudio para las cuales no se disponga de información detallada para realizar la estimación de emisiones mediante la “metodología tipo arco para ciudades con modelo de transporte” se utilizó la metodología tipo zona para ciudades sin modelo de transporte. Adicionalmente fueron estimadas las vías interurbanas para las cuales se disponía de información de entrada, tales como plazas de peaje, Plan Nacional de Censos (TMDA) de Vialidad, y cualquier otra información disponible referida a conteos vehiculares en la zona de estudio. También fueron estimadas las emisiones de fuentes móviles fuera de ruta, principalmente el uso de maquinarias en el sector agropecuario, considerando que en la zona se utilizan diversas maquinarias durante el proceso productivo, y también para el control de heladas durante el periodo invernal.

A continuación, se describen los principales insumos utilizados por las metodologías de cálculo de fuentes móviles en ruta.

Fuentes Móviles en Ruta

Información para ciudades o zonas con Modelo de Transporte (Metodología Tipo Arco)

Esta etapa consiste en la obtención de los archivos de corridas de transporte los cuales son proporcionados por SECTRA para correr el sistema MODEM. En el caso de ciudades con modelo se cuenta con información detallada de las corridas, estas ciudades son las siguientes:

Ciudades con Modelo de Transporte

Región	Ciudad
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Rancagua

Fuente: SECTRA año 2017. (Inventario Sistam, 2019).

Flujos AM y FP, Año 2017 en Ciudades con Modelo de Transporte

Ciudad	Tipo de Flujo	Flujo Horario Punta (AM)	Flujo Horario Fuera de Punta (FP)
Rancagua	Buses Interurbanos	2.281	1.466
	Buses Rurales	4.400	4.354
	Buses Urbanos	53.426	27.396
	Camiones Livianos	7.349	11.821
	Camiones Pesados	2.590	2.259
	Colectivos	197.452	122.751
	Fijo	400.998	259.783
	Variable	509.760	188.952

Fuente: SECTRA año 2017 (Archivos prepara emisiones para los horarios Punta AM y Fuera de Punta FP). (Inventario Sistam, 2019).

Información para ciudades o zonas con Modelo de Transporte (Metodología Tipo Zona)

Para el caso de ciudades sin modelo de transporte, se requiere de la siguiente información: **Información de parque vehicular:** Principalmente información del INE a nivel comunal, para determinar cuántos vehículos existen en un sector determinado. En general se asume que la cantidad de vehículos existentes es equivalente a la cantidad de vehículos que obtienen su permiso de circulación. Por tanto, una zona con mucho parque vehicular tendrá muchas partidas en frío durante la mañana y muchas detenciones en caliente durante la tarde.

A continuación, se presenta el parque correspondiente a la comuna con modelo de

transporte consideradas en la zona en estudio:

Parque INE

Región	Provincia	Comuna	Parque
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Rancagua	78.016

Fuente: Permisos de Circulación, INE 2017. (Inventario Sistam, 2019).

Matriz Origen - Destino: En general la cantidad de detenciones en caliente durante la mañana en una zona de determinada dependerá de cuantos viajes atrae esa zona, por otra parte, si una zona atrae muchos viajes tendrá a su vez muchas emisiones evaporativas durante el día y muchas partidas en frío durante la tarde. Para este tipo de emisiones es fundamental contar con información de movilidad del parque durante el día lo cual viene dado por las matrices origen destino que utiliza SECTRA para generar y atraer viajes en sus modelos de transporte, la cual debe ser ingresada como una matriz al sistema MODEM v 5.1.

El cálculo de emisiones para detenciones en caliente, evaporativas durante el día y partidas en frío se realiza mediante el sistema MODEM v5.1 y por lo tanto solo aplica a las ciudades que cuentan con modelo de transporte.

Información para ciudades o zonas sin Modelo de Transporte (Metodología Tipo Arco)

Para poder aplicar esta metodología se necesita contar con la siguiente información:

- Parque vehicular de la zona en estudio proveniente del INE.

En general se asume que la cantidad de vehículos existentes en cada comuna es equivalente a la cantidad de vehículos que obtienen su permiso de circulación y que por lo tanto es el parque que circula diariamente. A continuación, se presenta parque vehicular para las ciudades sin modelo de transporte.

Parque INE correspondiente a las comunas sin modelo de transporte consideradas en la zona en estudio

Región	Provincia	Comuna	Parque
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Codegua	5.492
		Coinco	2.478
		Coltauco	4.715
		Doñihue	5.363
		Graneros	7.043
		Las Cabras	6.615
		Machalí	14.266

		Malloa	4.362
--	--	--------	-------

Región	Provincia	Comuna	Parque
		Mostazal	5.183
		Olivar	5.713
		Peumo	3.800
		Pichidegua	5.260
		Quinta de Tilcoco	4.743
		Rengo	11.983
		Requínoa	7.603
		San Vicente	13.904
	Cardenal Caro	La Estrella	2.858
		Litueche	4.464
		Marchigüe	10.487
		Navidad	2.195
		Paredones	2.354
		Pichilemu	5.930
	Colchagua	Chépica	4.637
		Chimbarongo	7.804
		Lolol	2.656
		Nancagua	5.750
		Palmilla	8.847
		Peralillo	3.789
		Placilla	3.027
Pumanque		4.047	
San Fernando		21.574	
Santa Cruz	9.953		

Fuente: Permisos de Circulación, INE 2017. (Inventario Sistam, 2019).

Nota: El parque se asume como flujo diario en el caso de ciudades sin modelo.

- Descomposición de los tipos de vehículos por tecnología para lo cual se utiliza la misma metodología utilizada en las ciudades con modelo de transporte para generar las composiciones vehiculares.

La norma de emisión por tecnología se asigna a cada vehículo considerando su categoría vehicular (CCF6), año de fabricación y tipo de combustible.

En el caso de los camiones se considera también la tara para asignar su norma de emisión y en el caso de las motocicletas se considera la marca y modelo.

- Obtención de kilómetros recorridos promedio por cada categoría vehicular, lo cual debe ser determinado a partir de ciudades que cuentan con modelos de transporte. Por tanto, en el marco del presente estudio deberán ser actualizadas las tablas de kilómetros recorridos por tipo de vehículos según tamaño del parque.

Kilómetros recorridos anuales por tipo de vehículo [km/veh]

Tipo de vehículo	km/veh
Camiones livianos	26.657
Taxis colectivos	44.650
Vehículos comerciales de uso de empresas	25.985
Vehículos comerciales de uso particular	23.500
Vehículos de alquiler	40.465
Vehículos particulares	17.004
Motos	9.630
Camión Mediano	39.180
Camión Pesado	48.700
Buses	69.848

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

- Obtención de velocidades promedio de circulación por tipo de vehículos que también es obtenida de las ciudades que cuentan con modelo de transporte según el tamaño del parque vehicular y al igual que en el caso de los kilómetros promedios también deberán ser actualizadas.

–

Velocidad promedio por tipo de vehículo [km/h]

Tipo Vehículo	Tamaño del parque vehicular		
	<=25.000	>25.000 <= 50.000	>50.000
Bus	20	23	19
Camión Liviano-Mediano	31	38	43
Camión Pesado	35	47	46
Comerciales	36	37	37
Motos	35	37	36
Particulares	35	37	39
Taxi- Taxi colectivo	27	29	25

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

- Factores de emisión los cuales serán tomados directamente de los factores actualizados para ciudades con modelo de transporte.

Información para ciudades o zonas sin Modelo de Transporte (Metodología Tipo Zona)

En general para esta metodología los requerimientos de información son idénticos a la de la metodología tipo arco, pero en este caso se requiere estimar factores de emisión por tipo de vehículo.

Lo que se utiliza en este caso son factores evaluados a una velocidad promedio, la cual se obtiene de estadísticas de ciudades con modelo de transporte de acuerdo con el tamaño del parque vehicular, para las ciudades sin modelo de transporte el factor de emisión depende del CCF8 y de la velocidad promedio.

Información para la red interurbana

Para el caso de las vías urbanas e interurbanas, tales como carreteras y caminos secundarios, la metodología a utilizar será del tipo Bottom Up, y corresponde a la misma descrita en la sección anterior, la diferencia se presenta en el nivel de actividad utilizado, en este caso corresponderá al flujo vehicular por tipo de vehículo, información que será recopilada de diversas fuentes de información.

Se cuenta con la información de las autopistas concesionadas, las cuales generalmente registran el paso de cada vehículo por los distintos pódicos. Además, se cuenta con el Plan Nacional de Censos de Tránsito que se lleva a cabo en los años pares y contempla tres muestras, en Febrero (mes de verano), en Junio (mes de invierno) y en Octubre (mes de primavera), como producto final se entrega el Tránsito Medio Diario Anual que pasa por cada punto censal, dicha información se encuentra disponible para visualizarla en el sitio web de vialidad, específicamente en el siguiente link: <http://servicios.vialidad.cl/censo/>.

En el presente estudio se estimarán las emisiones para el periodo 2017 en las rutas interurbanas pertenecientes a las regiones de la zona centro-sur del país, y se podrá utilizar información real de flujos obtenidos del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) que pasa por los puntos censales pertenecientes a esta zona, composición de la flota vehicular, velocidades y contenido de finos, además podrá ser complementada esta información con flujos registrados en plazas de peajes y otros estudios que consideren conteos vehiculares en las rutas interurbanas y secundarias de la zona en estudio.

Flujos Red Interurbana por Tipo de Vehículo y Región, Año 2017 [veh/año]

Región	Flujo Anual	Autos	Camionetas	Camiones 2 Ejes	Camiones Más 2 Ejes	Semi Remolques	Remolques	Locomoción Colectiva
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	273.938.705	148.814.679	76.123.379	15.162.918	6.382.780	8.578.592	5.130.754	13.745.604

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

También se cuentan con los flujos de las plazas de peaje laterales de la Ruta 5 Sur en la Región de O'Higgins, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Flujo Vehicular de las Plazas de Peaje Laterales Región de O'Higgins.

Plaza Peaje Lateral	Flujos Vehiculares 2017
Chimbarongo Poniente	444.903
El Tambo (San Fernando)	2.636.472
Pelequén (Malloa)	916.884
Rancagua Centro	1.886.821
Rancagua Norte Poniente	3.481.438
Rancagua Sur Oriente	2.518.949
Rengo	767.496
Requínoa	910.370
Rosario (Rengo)	833.838
San Fernando Centro	404.725
San Fernando Las Termas (La Troya)	314.555
San Fernando Norte	1.107.013
San Fernando Sur	895.650
Total	17.119.114

Fuente: MOP 2018 (Inventario Sistam, 2019).

Igualmente se cuentan con los km lineales de caminos pavimentados de la Región de O'Higgins, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Caminos Pavimentados de la Región de O'Higgins.

Comuna	Pavimentado (km)	Concesionado Pavimentado (km)	Total
Chépica	77,75		77,75
Chimbarongo	110,19	20,82	131,01
Codegua	38,24	3,83	42,07
Coinco	39,62		39,62
Coltauco	106,12		106,12
Doñihue	51,71		51,71
Graneros	49,51	9,84	59,35
La Estrella	51,7		51,7
Las Cabras	121,06		121,06
Litueche	69,24		69,24
Lolol	74,67		74,67
Machalí	33,75		33,75
Malloa	70,65	5,37	76,02
Marchigüe	97,5		97,5
Mostazal	49,19	11,72	60,91
Nancagua	57,81		57,81
Navidad	65,37		65,37

Olivar	40,63	3,43	44,06
Palmilla	86,69		86,69
Paredones	85,09		85,09
Peralillo	61,63		61,63
Peumo	38,72		38,72
Pichidegua	101,06		101,06
Pichilemu	68,03		68,03
Placilla	57,63		57,63
Pumanque	45,21		45,21
Quinta de Tilcoco	49,1		49,1
Rancagua	80,73	8,73	89,46
Rengo	114,84	14,59	129,43
Requínoa	77,49	10,94	88,43
San Fernando	75,93	17,78	93,71
San Vicente de Tagua Tagua	193,53		193,53
Santa Cruz	114,46		114,46
Total	2.455	107	2561,9

Fuente: MOP 2018. (Inventario Sistem, 2019).

Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Off Road)

- Plantas de Revisión Técnica (para maquinarias agrícolas)

Para maquinarias Fuera de Ruta se utilizan las horas de funcionamiento anuales de cada maquinaria, si esta información no está disponible generalmente se utiliza el número de maquinarias, el tipo de maquinaria y las horas por defecto asociadas a cada tipo de maquinaria.

Otra información que se debe contar corresponde a la potencia de las maquinarias y su año de fabricación para poder determinar su nivel tecnológico, todo ello es posible recopilar desde las Plantas de Revisión Técnica.

A continuación, se presentan el número de maquinarias por tipo para cada una de las PRT comprendidas en la zona de estudio.

N° de Maquinarias por tipo

Comuna PRT	APLA	CFRO	COSE	GRUA	MAGR	MIND	MOTO	RETR	TRAC
Rancagua		6	9	4	19	89	3	31	93
Rengo						3	1	2	17
San Fernando		1	5	1	2	2	6	30	95
San Vicente	1		9	3	6	22	4	17	89

Santa Cruz	2	2	13	1	7	25	2	24	133
------------	---	---	----	---	---	----	---	----	-----

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Los tipos de maquinarias que se registran en las PRT se desglosan en los siguientes:

Tipos de Maquinarias PRT

Tipo Maquinaria	Abrev
Aplanadora	APLA
Bulldozer	BULL
Cargador Frontal	CFRO
Cosechadora	COSE
Grúa	GRUA
Maquinaria Agrícola	MAGR
Maquinaria Industrial	MIND
Motoniveladora	MOTO
Pala Mecánica	PMEN
Retroexcavadora	RETR
Tractor	TRAC
Trailla	TRAI

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

A continuación, se presentan las horas de funcionamiento anuales y factor de carga por defecto para cada tipo de maquinaria:

Horas de funcionamiento y factor de carga por tipo de Maquinarias

Maquinaria	Factor de Carga	Horas de funcionamiento anuales
Plataforma telescópica	0,21	384
Tractores agrícolas y forestal	0,59	475
Perforador	0,43	466
Grúa telescópica	0,43	990
Dumper	0,21	566
Excavadoras	0,59	1.092
Grúa Horquilla	0,59	1.700
Motoniveladoras	0,59	962
Equip fell / bunch / skidders	0,59	1.276
Camiones Fuera de Carretera	0,59	1.641
Otro Equipo Agrícola	0,59	381
Otro material de construcción	0,59	606
Otros industrial general Equipo	0,43	878
Otro Equipo Para Minería Subterránea	0,21	1.533
Asfaltadora	0,59	821
Rodillos	0,59	760

Grúa horquilla todo terreno	0,59	662
Bulldozer	0,59	899
Cargador Frontal	0,59	761
Minicargadoras	0,21	818
Quitanieve	0,34	40
Barredoras	0,43	1.220
Tractores / Cargadores / Retroexcavadoras	0,21	1.135
Zanjadoras	0,59	593

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

A continuación, se presenta una homologación respecto a los nombres asignados a las maquinarias, en este caso se presenta la homologación de las maquinarias según PRT y las maquinarias según los factores de emisión.

Homologación Tipo de Maquinarias

Tipo Maquinaria PRT	Maquinaria FE
Retroexcavadora	Tractores / Cargadores / Retroexcavadoras
Cosechadora	Tractores agrícolas y forestal
Tractor	Tractores / Cargadores / Retroexcavadoras
Maquinaria Industrial	Otros industrial general Equipo
Cargador Frontal	Cargador Frontal
Motoniveladora	Motoniveladoras
Grúa	Grúa Horquilla
Maquinaria Agrícola	Otro Equipo Agrícola
Aplanadora	Rodillos

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Tal como se mencionó anteriormente, esta información puede ser obtenida principalmente de las estadísticas nacionales y de empresas del rubro que sirvan para construir un catastro y levantamiento de la información necesaria, tales como: INE, Aduanas, RCA, CChc y plantas de revisión técnica, entre otras.

En esta ocasión se utilizó como información base para cuantificar el número de maquinarias totales en la zona de interés, el estudio “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país” desarrollado por GEASUR, el cual presenta el número de maquinarias totales proyectadas al 2017, las siguientes:

Numero de Maquinarias Total Chile

Año importación	Agrícola-Forestal	Construcción	Industrial	Minería
2014	5.364	6.612	1.653	2.191
2015	5.664	7.079	1.770	2.338

2016	5.964	7.546	1.886	2.486
2017	6.264	8.013	2.003	2.634
2018	6.563	8.479	2.120	2.781
2019	6.863	8.946	2.236	2.929
2020	7.163	9.413	2.353	3.077
2021	7.463	9.880	2.470	3.224
2022	7.763	10.346	2.586	3.372
2023	8.062	10.813	2.703	3.520
2024	8.362	11.280	2.820	3.668
2025	8.662	11.747	2.936	3.815

Fuente: Estudio GEASUR 2014. Inventario Sistam, 2019.

Para los distintos rubros (maquinaria agrícola, de construcción, industrial y minera) se sistematizó la información y fue clasificada para cada rubro con el fin de poder desagregar lo más detallado posible las emisiones.

Respecto a la tipología de los distintos rubros, se dispone de información de la Maquinaria Fuera de Ruta (MFR) por rubro y tipo, en base a la legislación internacional (CORINAIR, específicamente el capítulo 1.4.a “Non-road mobile sources and machinery”). A partir de dichas clasificaciones este consultor contará con la segmentación por rubro, clasificando la maquinaria para la estimación del parque en el estudio.

A continuación, se presentan algunas otras características de las cuales dependerán las emisiones de maquinarias y que fueron caracterizadas.

Potencia: Esta variable se refiere a la potencia media del motor para cada tipo de maquinaria y se expresa en [kW].

En el caso de las potencias también se podrá homologar y adecuar la información Internacional según las maquinarias existentes por rubro en las bases de dato de aduanas. Adicionalmente, también se podrá depurar, analizar y segmentar las bases de aduanas, por rubro y maquinaria para obtener las potencias declaradas en las importaciones.

Vida Útil: La vida útil es el tiempo medio de uso de la maquinaria antes de su retiro de la flota. Habitualmente se expresa en horas [hr] o años.

En relación con la vida útil, se dispone de información internacional de Corinair por rubro y tipo de maquinaria. Sin embargo, dicha información deberá ser segmentada y adecuada a la maquinaria por rubro existente en el país.

Para determinar la antigüedad de la flota, la que servirá de input también para la estimación de la maquinaria en el parque, tal como se mencionó anteriormente se puede utilizar la información que proporcionan las Plantas de Revisión Técnicas, las que cada 4 años inspeccionan a las maquinarias. Si bien estas bases de PRT no cuentan con toda la información, sirve para ver el perfil y distribución de los distintos tipos de maquinarias. Lo

anterior será complementado con información reportada en el estudio “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país” desarrollado por GEASUR.

Factor de Carga: El factor de carga de las distintas maquinarias también es un valor clave que se utiliza para asignar la carga de trabajo de cada maquinaria, este generalmente proviene de estudios internacionales de la EPA.

- ***Caracterización de Fracción Gruesa del Material Particulado***

La Fracción Gruesa del Material Particulado involucra actividades tales como: Construcción, Producción, Transporte y Procesamiento de Áridos, Actividades Agrícolas, Polvo Resuspendido desde Calles Pavimentadas y No Pavimentadas, entre otras. Algunas de las actividades que aportan a la fracción gruesa del material particulado que ya han sido identificadas, se listan a continuación:

- Construcción y Demolición de viviendas
- Construcción de caminos
- Producción de áridos:
 - Transferencia de material
 - Erosión del viento
 - Tronaduras
 - Perforación
 - Excavación
 - Carga y descarga de camiones
 - Transporte de mineral por correas
 - Descarga a buzones
 - Tránsito de camiones y vehículos livianos por calles pavimentadas y no pavimentadas
- Polvo Resuspendido de calles pavimentadas en red urbana e interurbana
- Polvo Resuspendido de calles no pavimentadas en red urbana e interurbana
- Preparación de terrenos agrícolas Cereales y chacras, Cultivos Industriales, Frutales y Hortalizas.

Los Niveles de Actividad de las fuentes emisoras que aportan a la fracción gruesa del material particulado generalmente viene dado por la cantidad de material transportado, utilizado o almacenado según sea el tipo de actividad emisora, para ello realizó un levantamiento en base a la información disponible a la fecha, sin embargo, a continuación, se lista las principales fuentes de información disponible:

- Permisos de edificación y construcción
- Proyectos con compromisos ambientales (RCA) en el SEIA
- Dirección de obras en municipalidades
- Empresas del rubro construcción
- MINVU
- SECTRA, MTT
- Vialidad, MOP
- Estadísticas y Publicaciones INE

Para el caso de “**Construcción y Demolición de viviendas**” el nivel de actividad viene dado por la superficie total edificada en las regiones de interés, información que se puede obtener del INE con resolución comunal, mediante el anuario de edificación, la siguiente:

Superficies de Edificación Regional

Región	Superficie Total 2016	Superficie Total 2017
Región de O'Higgins	684.265	609.752

Fuente: Anuario Edificación INE 2016 e Informes Mensuales Boletín INE2017. Inventario Sistam, 2019.

Las superficies finales utilizadas en la estimación de emisiones asociadas a la construcción de caminos por región son las siguientes:

Superficies de Construcción de Caminos

Región	Superficie (m2)
Región de O'Higgins	84,69

Fuente: Elaboración propia en base a MINVU y Google Earth. Inventario Sistam, 2019.

El detalle de las estadísticas MINVU se presenta en el anexo digital, carpeta “Programa _MINVU”.

Para el caso de “**Producción de áridos**” el nivel de actividad viene dado por la cantidad de material extraído o manipulado expresado generalmente en m³, información que la maneja el MINVU. Solo ha sido recepcionada información para la comuna de Machalí y San Fernando para la Región de O'Higgins las cuales se presenten a continuación:

Nómina de Empresas que realizan extracción de áridos en la comuna de Machalí (Sexta Región)

Nombre Empresa	Lugar de Extracción	m ³ Autorizados	Fecha Inicio Permiso	Fecha Termino Permiso
Melón Áridos Limitada	Tramo -7,5 al -8,0 km, Tejas Verdes Machalí	88.005	04-06-2018	25-11-2018

Xtreme Mining Limitada	Tramo 0,900 al 2,100 km, Sifón del Gringo, Ruta del Ácido Machalí	32.762	20-08-2018	27-03-2019
Sociedad Áridos Coya Limitada	Tramo 500 m lineales, Ubicación 1.4 km aguas abajo puente termas de Cauquenes, Coya Machalí.	34.204	13-09-2018	13-09-2019
Xtreme Servicios SPA	Tramo 450 m lineales, Río Cachapoal 9.750 al 10.200 km Sector Río Claro.	48.648	12-10-2018	12-10-2019
Áridos Jerez e Hijos Limitada	Tramo 450 m lineales, Río Cachapoal 11.300 al 11.750 km Sector Río Claro.	48.818	22-10-2018	22-10-2019
Pacific Hydro Chacayes	Tramo 500 m lineales, Quebrada Peralitas Coya Machalí.	8.000	19-06-2018	10-08-2018

Fuente: Inventario Sistem, 2019.

Nómina de Empresas que realizan extracción de áridos en la comuna de San Fernando (Sexta Región)

Nombre Empresa	Lugar de Extracción	m ³ Autorizados	Fecha Inicio Permiso	Fecha Termino Permiso
Soc. Comercial Ltda.	Camino los Rulos S/N lote c	25.000	-	-

Fuente: Inventario Sistem, 2019.

En el caso de fuentes que aportan a la fracción gruesa de Material Particulado se consideró relevante las actividades asociadas a los rubros de extracción y procesamiento de áridos, así como las de construcción, es por ello que se recopiló la información de los años 2017 y 2018 proveniente del SEIA.

Finalmente, los volúmenes de áridos extraídos que fue utilizado en la estimación de emisiones asociadas a la producción de áridos por región son los siguientes:

Volumen Extraído de Áridos por Región

Región	Volumen (m ³)
Región de O'Higgins	87.200,79

Fuente: Inventario Sistem, 2019.

Para el caso de “**Polvo resuspendido desde calles pavimentadas y no pavimentadas**” el nivel de actividad viene dados por el peso promedio del parque vehicular, también es necesario cuantificar el flujo, tipo de vehículos, longitud del arco, velocidad y el tipo de carpeta donde se realiza dicha actividad, además de algunas variables físicas de la superficie de tránsito tales como la humedad y contenido de silt.

Calles sin pavimentar de la región de O’Higgins (Sexta Región).

Comuna	No Pavimentado (km)
Chépica	66,41
Chimbarongo	55,45
Codegua	12,33
Coinco	0
Coltauco	10,61
Doñihue	2,85
Graneros	1,56
La Estrella	53,64
Las Cabras	29,32
Litueche	91,34
Lolol	87,07
Machalí	46,76
Malloa	11,54
Marchigüe	77,35
Mostazal	2,56
Nancagua	16,94
Navidad	70,77
Olivar	
Palmilla	9,39
Paredones	173,95
Peralillo	38,86
Peumo	2,4
Pichidegua	6,29
Pichilemu	92,96
Placilla	19,76
Pumanque	86,17
Quinta de Tilcoco	2,2
Rancagua	14,71
Rengo	13,39
Requínoa	3,27
San Fernando	107,73
San Vicente de Tagua	26,03
Santa Cruz	51,72
Total	1.285

Fuente: MOP 2018. Inventario Sistam, 2019.

Flujos Anuales (veh/año) y Kms Recorridos en Calles sin pavimentar a nivel regional.

Región	Flujo Anual (veh/año)	Km/año
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	22.671.897,96	4.778.701,18

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

A continuación, se presentan los pesos promedios por defecto de los vehículos que se utilizan en ciudades con modelo de transporte (MODEM) y también en ciudades sin modelo de transporte para el cálculo de las emisiones de polvo resuspendido en calles.

Peso promedio por categoría vehicular

Categoría Vehicular (CCF6)	Peso Promedio en Movimiento (ton)
Vehículos particulares	1,2
Vehículos de alquiler	1,2
Vehículos comerciales de uso particular	2,0
Camiones livianos	7,5
Camiones medianos	12,0
Motocicletas	0,2
Buses interurbanos	14,0
Taxis colectivos	1,20
Buses licitados urbanos	140
Camiones pesados	45,0
Buses rurales	14,0
Buses particulares e institucionales	14,0
Vehículos comerciales de uso de empresas	2,0
Vehículos Medianos	12,0

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

- **Inventario de Emisiones**

Con la información de entrada recopilada y sistematizada, tales como niveles de actividad, parámetros y factores de emisión, según la metodología consensuada por tipo de fuente emisora, se confeccionó un inventario de emisiones, detallado por tipo de fuente y contaminante para el año 2017 a nivel comunal.

- **Resumen de Inventario de Emisiones, Año Base 2017**

A continuación, se presentan los resultados del inventario de emisiones Año 2017, para la Región a nivel comunal.

Emisiones Región del Libertador Gral. Bernardo O Higgins por Comuna

Emisiones Totales por Comuna Región del Libertador Gral. Bernardo O Higgins, año 2017 en t/año

Comuna	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
Chépica	232,50	165,57	2.440,97	871,97	5,25	335,77	104,99	79.342,98
Chimbarongo	209,83	149,01	3.899,97	1.694,74	8,85	538,06	156,39	103.452,54
Codegua	110,03	72,67	1.564,45	544,43	3,32	739,19	72,23	101.510,83
Coinco	62,44	38,37	784,64	346,84	1,10	161,89	28,14	30.766,01
Coltauco	146,68	93,88	1.999,77	831,81	3,29	348,91	78,71	62.360,77
Doñihue	166,41	101,39	1.868,04	779,18	173,23	577,22	52,13	113.923,27
Graneros	143,92	116,54	2.654,70	1.099,18	3,01	426,54	92,72	95.390,90
La Estrella	104,06	35,50	638,65	362,27	3,72	159,58	27,92	30.074,76
Las Cabras	189,23	152,60	3.213,07	1.481,14	4,94	483,27	120,88	93.117,11
Litueche	192,94	108,84	2.214,05	683,96	6,98	619,07	33,99	119.570,98
Lolol	102,26	58,98	1.239,31	624,12	1,91	214,67	41,52	41.856,16
Machalí	973,58	809,40	4.244,04	2.744,37	52.904,45	1.239,17	96,03	284.999,60
Malloa	134,30	78,92	1.765,05	527,67	110,57	290,93	65,74	63.013,66
Marchigüe	123,47	59,86	1.351,18	689,65	2,81	283,58	31,24	76.967,61
Mostazal	129,17	105,98	2.670,63	1.026,43	196,28	545,36	244,32	416.560,05
Nancagua	112,88	88,10	1.967,42	798,82	2,46	259,27	66,53	60.639,71
Navidad	98,94	63,86	1.284,94	561,74	2,51	181,63	26,01	41.843,30
Olivar	90,71	67,97	1.552,22	586,54	1,55	313,62	47,40	62.151,03
Palmilla	190,18	146,04	2.659,27	786,86	5,96	657,09	79,68	120.821,75
Paredones	98,10	67,30	1.158,89	867,50	4,57	112,80	19,49	28.681,95
Peralillo	104,33	74,30	1.670,23	525,48	3,44	534,31	42,50	41.411,24
Peumo	92,31	63,93	1.258,85	582,44	2,58	209,59	63,92	40.225,01

Pichidegua	181,06	146,99	2.836,40	1.009,82	10,48	551,21	138,52	121.204,77
Pichilemu	141,94	96,40	2.037,07	1.434,44	4,91	291,85	41,29	68.606,28
Placilla	690,60	627,42	4.888,95	984,92	40,90	402,11	107,93	197.082,98
Pumanque	75,36	39,65	805,54	449,61	1,01	148,45	18,82	37.353,48
Quinta de Tilcoco	182,27	84,73	1.409,28	403,58	131,76	374,63	57,75	107.105,57
Rancagua	1.321,88	831,10	18.085,31	8.998,86	53,74	2.098,88	394,05	346.311,42
Rengo	382,94	277,53	4.925,56	2.315,88	480,98	1.125,65	219,00	230.923,51
Requínoa	292,39	248,83	2.981,68	1.428,38	82,50	738,35	123,61	102.512,96
San Fernando	1.583,87	444,11	5.172,22	4.484,49	108,72	806,67	189,26	177.465,45
San Vicente	299,37	229,83	5.592,21	2.003,54	15,12	982,83	191,31	168.158,81
Santa Cruz	280,44	228,38	4.816,15	1.819,62	11,91	778,46	121,55	144.839,30
Total	9.240,39	5.973,98	97.650,71	44.350,27	54.394,81	17.530,59	3.195,56	3.810.245,76

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Para las 17 comunas que forman parte del PDA el principal contaminante sigue siendo la leña, seguida de las fuentes fijas y las quemas agrícolas.

- **Estimación de Emisiones de Fuentes Estacionarias Puntuales (Combustión y Procesos).**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017 a nivel regional.

Emisiones Fuentes Puntuales, Año 2017 en t/año

MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
1.329,37	1.003,32	1.483,37	157,20	54.228,96	2.640,01	249,12	760.162,09

Fuente: Inventario Sistem, 2019.

Estimación de Emisiones de Fuentes Estacionarias de Área (residenciales, comerciales, quemas e incendios, fuentes biogénicas, crianza de animales, actividades agrícolas y disposición de residuos).

- **Estimación de Emisiones Combustión Residencial de Leña**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017 a nivel regional.

Emisiones Combustión Residencial de Leña por Región, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	2.769,89	2.578,83	56.843,38	21.843,46	24,76	866,07	236,70	375.969,78

Fuente: Inventario Sistem, 2019.

En la región de O'Higgins la comuna con mayor aporte en las emisiones de MP10 es Rancagua con un 24,54% del total regional.

Emisiones Combustión Residencial de Leña y tipo de artefacto, año 2017 en t/año

Región	Artefacto	MP10	MP2,5	CO	COVs	SO _x	NO _x	NH ₃	CO ₂
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Caldera A Leña	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Calefactor con Templador	1.300,52	1.210,78	20.243,36	9.920,58	4,89	273,41	88,50	140.575,82
	Calefactor Cámara Simple	441,78	411,30	7.349,17	2.241,81	2,37	139,89	23,34	37.078,86
	Chimenea	86,06	80,13	1.074,10	973,75	1,70	11,06	9,35	14.858,85
	Cocina A Leña	205,06	190,92	8.303,95	3.112,87	5,44	57,09	29,91	47.500,43
	Calefactor Hechizo	223,10	207,70	7.413,55	948,47	2,15	72,78	39,37	62.534,41
	Salamandra	509,79	474,61	12.440,42	4.596,12	8,03	308,28	44,15	70.133,93
	Calefactor Certificado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Calefactor a Pellet	3,57	3,39	18,82	49,86	0,19	3,57	2,07	3.287,47
Total		2.769,89	2.578,83	56.843,38	21.843,46	24,76	866,07	236,70	375.969,78

Fuente: Inventario Sistem, 2019.

- **Estimación de Emisiones Combustión Residencial de GLP**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017 a nivel regional.

Emisiones Combustión Residencial de GLP por Región, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	5,75	5,75	37,95	14,98	0,29	186,66

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de MP10 es Rancagua con un 29,47% del total regional.

- **Estimación de Emisiones Combustión Residencial de Kerosene**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017 a nivel regional.

Emisiones Combustión Residencial de Kerosene, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	0,53	0,53	6,63	3,31	47,74	23,87

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de MP10 es Rancagua con un 28,87% del total regional.

- **Estimación de Emisiones Comerciales, Panaderías**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017.

Emisiones Comerciales, Panaderías, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	0,20	0,20	9,02	0,13	2,52	68,52	0,08	0,20

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de MP10 es Rancagua con un 40,51% del total regional.

- **Estimación de Emisiones Quemadas Agrícolas.**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Quemadas Agrícolas, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	941,36	887,44	6.187,01	480,72	49,72	304,48	92,42	239.007,73

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

- **Estimación de Emisiones Incendios Forestales.**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Incendios Forestales, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	32.882,18	27.881,43	318.224,28	3.330,07	10.876,69	3.222,31	2.507.818,86

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

- **Estimación de Emisiones Cigarrillos**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Cigarrillos, Año 2017 en t/año

Región	NH ₃
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	5,68

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

- **Estimación de Emisiones Incendios Urbanos**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Incendios Urbanos, Año 2017 en t/año

Región	CO	NO _x
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	0,87	36,69

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de MP10 es Rancagua con un 15,88% del total regional.

- **Estimación de Emisiones Biogénicas**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Biogénicas, Año 2017 en t/año

Región	COV
Libertador Gral. Bernardo O Higgins	9.294,61

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

- **Estimación de Emisiones Crianza de Animales**

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones NH₃ Crianza de Animales y tipo, Año 2017 en t/año

Región	Bovinos	Ovinos	Cerdos	Caprinos y Camélidos	Aves	Total
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	2,81	0,49	11,18	0,07	0,00	14,55

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de NH₃ es La Estrella con un 32,6% del total regional.

- **Estimación de Emisiones Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas**

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, Año 2017 en t/año

Región	COV	NH ₃
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	1,37	304,67

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de NH₃ y COV es Rancagua con un 26,44% del total regional.

- **Estimación de Emisiones Fertilizantes y Plaguicidas**

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Fertilizantes y Plaguicidas, Año 2017 en t/año

Región	NH ₃
--------	-----------------

Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	1.288,25
-------------------------------------	----------

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de NH₃ es Rengo con un 8,24% del total regional.

Estimación de Emisiones de Fuentes Móviles en Ruta y Fuera de Ruta.

- **Estimación de Emisiones Fuentes Móviles en Ruta**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Fuentes Móviles en Ruta para Ciudades con Modelo de Transporte, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	62,64	57,65	5.708,48	1.624,47	3,27	1.463,59	16,74	210.700,09

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Emisiones Fuentes Móviles en Ruta para Ciudades sin Modelo de Transporte, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	311,43	311,43	16.251,90	1.698,20	16,22	6.030,45	84,76	1.221.364,10

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Emisiones Fuentes Móviles en Ruta para Red Interurbana, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	221,23	221,23	7.408,47	475,01	6,82	2.879,27	78,94	526.097,18

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

- **Estimación de Emisiones Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Off Road)**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Fuentes Móviles Fuera de Ruta, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	400,92	388,89	3.675,67	515,12	14,51	3.066,77	1,12	473.433,08

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de MP10 es Machalí con un 24,88% del total regional.

Estimación de Emisiones de Fuentes Fugitivas

- **Estimación de Emisiones de Polvo Resuspendido en Caminos**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Polvo Resuspendido en Calles Pavimentadas en ciudades con modelo de transporte, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	478,37	68,63

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

Emisiones Polvo Resuspendido en Calles No Pavimentadas en ciudades con modelo de transporte por Región, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	2,09	0,21

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

Emisiones Polvo Resuspendido en Calles Pavimentadas en ciudades sin modelo de transporte, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	1.973,16	353,54

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

Emisiones Polvo Resuspendido en Calles No Pavimentadas en ciudades sin modelo de transporte, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	7,04	0,7

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

Emisiones Polvo Resuspendido en Calles pavimentadas en red interurbana, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	242,36	58,63

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

Emisiones Polvo Resuspendido en Calles no pavimentadas en red interurbana, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	366,06	36,61

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

- **Estimación de Emisiones Producción de áridos**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Producción de áridos por Región, Año 2017 en t/año

Región	MP10	MP2,5
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	33,08	0,11

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de MP10 es Rancagua con un 35,66% del total regional.

- **Estimación de Emisiones Construcción de Caminos**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Construcción de Caminos, Año 2017 en t/año

Región	MP10
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	0,0021

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

- **Estimación de Emisiones Construcción de Edificios y Viviendas**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el año 2017:

Emisiones Construcción de Edificios y Viviendas, Año 2017 ent/año

Región	MP10
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	15,06

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

La comuna con mayor aporte en las emisiones de MP10 es Rancagua con un 10,79% del total regional.

Resumen Inventario de emisiones, año base 2017 en t/año

	MP10	MP2,5.	SO ₂ .	NO _x	NH ₃	CO	COV
FUENTES FIJAS	546,5649914	359,6140219	1338,146374	1883,18954	218,640245	931,4678503	141,9366189
+ Fuentes móviles en ruta	337,5146858	332,5331701	16,03922784	6605,778456	99,79311875	18202,80539	2825,920303
+ Fuentes móviles fuera de ruta	286,2596703	277,6718802	10,73563597	2228,83901	0,833529317	2673,249459	370,7735947
Quemas agrícolas	628,4203407	599,4259451	25,05666568	188,8277459	61,84253399	3938,635706	353,9657832
+ Combustión Residencial	1958,228381	1823,477599	51,3871849	743,9159744	795,9597195	40261,42534	19708,86918

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

Inventario de emisiones Fuentes Fijas, año base 2017 en t/año

	MP10	MP2,5.	SO ₂ .	NO _x	NH ₃	CO	COV
FUENTES FIJAS	546,5649914	359,6140219	1338,146374	1883,18954	218,640245	931,4678503	141,9366189
Combustión	337,8456838	162,995493	1149,119497	1445,017986	214,0204518	831,6438761	130,773797
Combustión externa puntual	303,3396703	130,9361079	1068,196735	648,5409471	212,5746104	680,0122788	19,69624885
Calderas (Industriales y de Calefacción)	303,3396703	130,9361079	1068,196735	648,5409471	212,5746104	680,0122788	19,69624885
Combustión interna	34,50601357	32,05938509	80,92276188	796,4770389	1,44584143	151,6315973	111,0775482
Grupos electrógenos	34,50601357	32,05938509	80,92276188	796,4770389	1,44584143	151,6315973	111,0775482
Procesos	208,7193076	196,6185289	189,0268768	438,1715539	4,619793175	99,82397423	11,16282192
Procesos con combustión	176,4211108	165,0221905	185,5468768	434,3415539	4,619793175	68,46397423	11,16282192
Procesos con combustión	176,4211108	165,0221905	185,5468768	434,3415539	4,619793175	68,46397423	11,16282192
Procesos sin combustión	32,29819682	31,59633847		3,48	3,83	0	31,36
Procesos sin combustión	32,29819682	31,59633847		3,48	3,83	0	31,36

Fuente: Inventario Sistas, 2019.

Inventario de emisiones Móviles, año base 2017 en t/año

	MP10	MP2,5	SO2	NOx	NH3	CO	COV
FUENTES MÓVILES	623,7743561	610,2050504	26,77486381	8834,617467	100,6266481	20876,05485	3196,693898
▣ Fuentes móviles en ruta	337,5146858	332,5331701	16,03922784	6605,778456	99,79311875	18202,80539	2825,920303
▣ Combustión fuentes móviles en ruta	337,5146858	332,5331701	16,03922784	6605,778456	99,79311875	18202,80539	2825,920303
Combustión fuentes móviles en ruta (ciudades con modelo)	62,63629099	57,65477531	3,26592	1463,5949	16,74415755	5708,47571	1624,47011
Combustión fuentes móviles en ruta (ciudades sin modelo)	186,9659441	186,9659441	10,01645901	4012,819641	50,08619162	9426,636983	1005,907997
Combustión fuentes móviles en ruta (red interurbana)	87,91245068	87,91245068	2,756848823	1129,363915	32,96276957	3067,692694	195,5421957
▣ Fuentes móviles fuera de ruta	286,2596703	277,6718802	10,73563597	2228,83901	0,833529317	2673,249459	370,7735947
▣ Maquinaria vehicular	286,2596703	277,6718802	10,73563597	2228,83901	0,833529317	2673,249459	370,7735947
Maquinaria	286,2596703	277,6718802	10,73563597	2228,83901	0,833529317	2673,249459	370,7735947

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Inventario de emisiones de Área, año base 2017 en t/año

	MP10	MP2,5	SO2	NOx	NH3	CO	COV
FUENTES AREALES	3418,080901	3128,456402	155,5239081	1213,737348	1978,423738	52434,37881	27460,27559
▣ Comercial	0,158223286	0,158223286	1,015715494	28,70953641	0,066376436	4,240739151	1588,893483
▣ Otras	1459,694297	1304,820579	103,1210077	441,1118376	1182,397642	12168,71273	6162,512927
▣ Actividades agrícolas	0	0	0	0	794,9366869	0	0
Fertilizantes y plaguicidas	0	0	0	0	794,9366869	0	0
▣ Crianza de Animales	0	0	0	0	4,33233638	0	0
▣ Disposición de residuos	0	0	0	0	235,0489111	0	1,058778879
▣ Emisiones biogénicas	0	0	0	0	0	0	5805,541865
▣ Quemamas	1459,694297	1304,820579	103,1210077	441,1118376	148,0797077	12168,71273	355,9122832
Cigarrillos	0	0	0	0	3,861436587	0	0
Fabricación de Ladrillos	0,2941	0,285811169	0,0034	0,0221	0	2,1471	1,9465
Incendios forestales	830,9798558	705,1088232	78,06094205	251,6679017	82,37573708	8202,97814	0
Incendios urbanos	0	0	0	0,59409	0	24,95178	0
Quemas agrícolas	628,4203407	599,4259451	25,05666568	188,8277459	61,84253399	3938,635706	353,9657832
▣ Combustión Residencial	1958,228381	1823,477599	51,3871849	743,9159744	795,9597195	40261,42534	19708,86918

Fuente: Inventario Sistam, 2019.

Bibliografía

- AMBIOSIS. (2011). Guía Metodológica Inventario de Emisiones Atmosféricas Metodología SINCA 2011.
- CASEN (2013): Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional, año 2013, del Ministerio de Desarrollo Social.
- CDT (2015). "Medición del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera".
- CONAMA. (2009). Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Fuentes Fijas y Móviles en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes.
- DICTUC. (2010). "Actualización Metodológica MODEM-MODEC para el Gran Santiago, Preparado para SECTRA.
- DICTUC (2016). "Actualización de Perfiles de Flujos del Modelo MODEM para el Gran Santiago y Regiones", Preparado para SECTRA.

- DICTUC (2013). "Manual de Usuario MODEM v5.1.", preparado para SECTRA.
- Dirección Nacional de Vialidad, MOP (2018). Plan Nacional de Censos.
- EPA-AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources.
- GEASUR. (2014). Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país, Preparado para SECTRA.
- GEASUR (2015). "Análisis y Desarrollo de Factores de Deterioro y Caracterización de las Emisiones de la Flota mediante el Sistema Remote Sensing Devices (RSD), Preparado para SECTRA.
- Guenther, A. B., Jiang, X., Heald, C. L., Sakulyanontvittaya, T., Duhl, T., Emmons, L. K., & Wang, X. (2012). The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions. *Geosci. Model Dev*, 5, 1471-1492. doi:10.5194/gmd-5-1471-2012.
- INE (2007): Censo Agropecuario y Forestal 2007.
- INE (2017). Anuario Edificación INE 2016 e Informes Mensuales Boletín INE2017.
- INE (2017). Estadísticas Sector Agropecuario.
- INE (2018). Censo de Población y Vivienda 2017.
- MINVU (2017). Programas de pavimentación participativa.
- MMA (2017). "Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas".
- MTT (2017). Plantas de Revisión Técnica (PRTs).
- SEIA (2018). Expedientes de proyectos con estado aprobados y que posean compromiso ambiental, en sus RCA.
- SEC (2018): Informe Estadístico 2017
- SICAM (2015-2016). "Actualización Inventario de Emisiones Zona Saturada del Valle Central de la Región de O'Higgins, Año Base 2014", Preparado para MMA.