



Informe Final

Inventario de Emisiones Atmosféricas 2015

Abril 2019

Equipo técnico
(IMFIA-Facultad de Ingeniería-UdelaR):

Dr. Ing. José Cataldo
Msc. Ing. Nicolás Rezzano
Msc. Ing. Mauro D'Angelo
Ing. Matteo Deambrosi
Bach. Ignacio Franchi

Contraparte técnica (DINAMA-MVOTMA):

Ing. Magdalena Hill
Qco. Pablo Fernández



Contenido

Lista de Abreviaturas y Acrónimos.	5
Lista de Unidades de Medida.	8
1. Introducción.	9
2. Antecedentes.....	10
2.1. Inventarios de Emisiones a nivel internacional.	10
2.1.1. Unión Europea.....	10
2.1.2. Estados Unidos.	13
2.1.3. Otros países.	15
2.2. Antecedentes relevantes a nivel nacional.	16
2.2.1. Plan Nacional de Calidad del Aire para Uruguay. Año 2000.	16
2.2.2. Red de monitoreo de calidad de aire de Montevideo.	17
2.2.3. Plan Ambiental Nacional para el Desarrollo Sostenible.	19
2.2.4. Desarrollo de factores de emisión.....	20
3. Marco Legal.	22
3.1. Marco institucional.	22
3.2. Normativa vigente.	22
3.3. Grupos de Estandarización: GESTA Aire.	23
4. Características del Inventario de Emisiones.....	25
4.1. Objetivos.	25
4.2. Metodología de cálculo: factores de emisión.....	25
4.2.1. El proceso de evaluación rápida.....	25
4.2.2. Métodos de estimación de emisiones.....	26
4.2.3. Factores de emisión.....	27
4.2.4. Calidad de los factores de emisión.....	28
4.2.5. Método de cálculo.....	32
4.3. Contaminantes considerados.	33
4.3.1. Óxidos de azufre (SO _x).	33
4.3.2. Compuestos orgánicos totales (COT).	34
4.3.3. Compuestos orgánicos volátiles (COV _s).....	35
4.3.4. Óxidos de nitrógeno (NO _x).....	36
4.3.5. Monóxido de carbono (CO).	37
4.3.6. Partículas.	37

4.4.	Fuentes emisoras consideradas.....	39
4.5.	Características temporales y año base.	40
4.6.	Fuentes de información.	41
4.6.1.	Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA-MVOTMA).....	41
4.6.2.	Dirección Nacional de Energía (DNE-MIEM).	43
4.6.3.	Dirección Nacional de Transporte (DNT-MTOP).	46
4.6.4.	Instituto Nacional de Estadística (INE).	46
4.6.5.	Dirección General de Recursos Naturales (DGRN-MGAP).	47
4.6.6.	Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP).	49
4.6.7.	Sistema de Información Territorial (SIT-MVOTMA).	49
4.6.8.	Sistema Único de Cobro de Ingresos Vehiculares (SUCIVE).	50
4.7.	Documentación de la información.	53
4.8.	Evaluación de la congruencia de los resultados.	54
5.	Emisiones Atmosféricas Sectoriales.	55
5.1.	Introducción.....	55
5.2.	Descripción de la herramienta de cálculo.	55
5.2.1.	Hoja de cálculo N°1: Información Básica.	56
5.2.2.	Hoja de cálculo N°2: Producción y Consumo.	56
5.2.3.	Hoja de cálculo N°3: Factores de Emisión.....	56
5.2.4.	Hoja de cálculo N°4: Hipótesis de Cálculo.....	57
5.2.5.	Hoja de cálculo N°5: Sistemas de Control.	57
5.2.6.	Hoja de cálculo N°6: Cálculos.	57
5.2.7.	Hoja de cálculo N°7: Mediciones.	57
5.2.8.	Hoja de cálculo N°8: Resumen.	58
5.3.	Información de base genérica.	58
5.3.1.	Información demográfica.	58
5.3.2.	Poder calorífico.....	58
5.4.	Hipótesis de cálculo genéricas.	59
5.5.	Sector Vehicular.	61
5.5.1.	Información Básica.	61
5.5.2.	Producción y Consumo.	61
5.5.3.	Actividades Emisoras.	62
5.5.4.	Hipótesis de Cálculo.	62

5.5.5.	Sistemas de Control.....	64
5.5.6.	Resultados Preliminares.	65
5.6.	Sector Agropecuario.	66
5.6.1.	Información Básica.	66
5.6.2.	Producción y Consumo.	67
5.6.3.	Actividades Emisoras.	68
5.6.4.	Hipótesis de Cálculo.	68
5.6.5.	Sistemas de Control.....	68
5.6.6.	Resultados Preliminares.	69
5.7.	Sector Residencial.....	70
5.7.1.	Información Básica.	70
5.7.2.	Producción y Consumo.	72
5.7.3.	Actividades Emisoras.	72
5.7.4.	Hipótesis de Cálculo.	73
5.7.5.	Sistemas de Control.....	73
5.7.6.	Resultados Preliminares.	73
5.8.	Sector Servicios y Comercios.	75
5.8.1.	Información Básica.	75
5.8.2.	Producción y Consumo.	76
5.8.3.	Actividades Emisoras.	77
5.8.4.	Hipótesis de Cálculo.	77
5.8.5.	Sistemas de Control.....	77
5.8.6.	Resultados Preliminares.	77
5.9.	Sector Erosión Eólica.....	79
5.9.1.	Información Básica.	79
5.9.2.	Producción y Consumo.	80
5.9.3.	Actividades Emisoras.	81
5.9.4.	Hipótesis de Cálculo.	81
5.9.5.	Sistemas de Control.....	81
5.9.6.	Resultados Preliminares.	82
5.10.	Sector Rodadura.....	82
5.10.1.	Información Básica.....	82
5.10.2.	Producción y Consumo.	83

5.10.3.	Actividades Emisoras.	84
5.10.4.	Hipótesis de Cálculo.	84
5.10.5.	Sistemas de Control.	85
5.10.6.	Resultados Preliminares.	85
5.11.	Sector Industrial.	86
5.11.1.	Información Básica.	86
5.11.2.	Consumo de Combustibles.	89
5.11.3.	Actividades Productivas.	91
5.11.4.	Hipótesis de Cálculo.	92
5.11.5.	Sistemas de Control.	95
5.11.6.	Resultados Preliminares.	96
6.	Análisis de Resultados.	98
6.1.	Principales contaminantes emitidos.	98
6.2.	Principales sectores emisores.	98
6.3.	Emissiones por Departamento.	104
6.3.1.	Emissiones por habitante.	108
6.3.2.	Emissiones por unidad de área.	109
6.4.	Análisis Adicionales.	110
6.4.1.	Comparación con el Inventario 2006.	110
6.4.2.	Comparación con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2014.	115
6.4.3.	Comparación con medición de emisiones.	118
7.	Metodología de Actualización.	121
7.1.	Aspectos a evaluar.	121
7.2.	Metodología de actualización.	122
7.3.	Recomendaciones para futuras actualizaciones.	122
8.	Conclusiones.	124
	Referencias Bibliográficas.	127

Lista de Abreviaturas y Acrónimos.

BC: Black Carbon.

BEN: Balance Energético Nacional.

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

CFC_s: Clorofluorocarbonos.

CH₄: Metano.

CO: Monóxido de Carbono.

CO₂: Dióxido de Carbono.

COT: Compuestos Orgánicos Totales.

COTAMA: Comisión Técnica Asesora en Medio Ambiente.

COV_s: Compuestos Orgánicos Volátiles.

DGRN: Dirección General de Recursos Naturales.

DIA: Departamento de Ingeniería Ambiental.

DINAGUA: Dirección Nacional de Aguas.

DINAMA: Dirección Nacional de Medio Ambiente.

DINAVI: Dirección Nacional de Vivienda.

DINOT: Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial.

DNE: Dirección Nacional de Energía.

DNT: Dirección Nacional de Transporte.

EEA: European Environment Agency.

ER: Eficiencia de Remoción.

EU: European Union.

FE: Factor de Emisión.

FIng: Facultad de Ingeniería.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

GESTA: Grupo de Estandarización.

GESTA Aire: Grupo de Estandarización en temas relacionados a Calidad de Aire.

GOT: Gases Orgánicos Totales.

H₂SO₄: Ácido Sulfúrico.

hab: Habitante.

HAP_s: Hazardous Air Pollutants.

HC: Hidrocarburos.

IAO: Informe Ambiental de Operación.

IM: Intendencia de Montevideo.

IMFIA: Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental.

INE: Instituto Nacional de Estadística.

INGEI: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

MGAP: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.

MIEM: Ministerio de Industria, Energía y Minería.

MSP: Ministerio de Salud Pública.

MTOP: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

MVOTMA: Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

NH₃: Amoníaco.

NMCOV_s: Compuestos Orgánicos Volátiles distintos del Metano.

NO: Monóxido de Nitrógeno.

NO₂: Dióxido de Nitrógeno.

NO_x: Óxidos de Nitrógeno.

OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OPP: Oficina de Planeamiento y Presupuesto.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

Pb: Plomo.

PCI: Poder Calorífico Inferior.

PM: Material Particulado.

PM₁₀: Partículas de diámetro aerodinámico menor que 10 µm.

PM_{2.5}: Partículas de diámetro aerodinámico menor que 2.5 µm.

PM₅: Partículas de diámetro aerodinámico menor que 5 µm.

PS: Partículas Suspendidas (diámetro aerodinámico menor que 30 µm).

PST: Partículas Suspendidas Totales.

SADI: Solicitud de Autorización de Desagüe Industrial.

SIT: Sistema de Información Territorial.

SNRCC: Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático.

SO₂: Dióxido de Azufre.

SO₃: Trióxido de Azufre.

SO_x: Óxidos de Azufre.

SUCIVE: Sistema Único de Cobro de Ingresos Vehiculares.

UdelaR: Universidad de la República.

USEPA: United States Environmental Protection Agency.

veh: Vehículo.

Lista de Unidades de Medida.

Btu: British Thermal Unit.

d: Día.

g: Gramo.

h: hora.

HP: Caballo de Fuerza.

kcal: Kilocaloría (10^3 calorías).

kg: Kilogramo (10^3 gramos).

ktep: Kilotonelada Equivalente de Petróleo.

L: Litro.

m: Metro.

m³: Metros Cúbicos.

µg: Microgramo (10^{-6} gramos).

µm: Micrómetro (10^{-6} metros).

ppm: Partes por Millón.

tep: Tonelada Equivalente de Petróleo.

ton: Tonelada (1 ton = 1000 kg).

1. Introducción.

El principal propósito del presente Inventario es establecer una línea de base cuantitativa de emisiones atmosféricas nacionales para el año 2015. A partir de la misma se podrá conocer y jerarquizar los principales conflictos de uso de recursos, contaminantes críticos, áreas geográficas críticas y actividades críticas, entre otros aspectos que desde el punto de vista de la contaminación atmosférica resultan fundamentales. Asimismo, se realizará la comparación con el primer Inventario de Emisiones Atmosféricas de año base 2006, de forma tal de conocer la evolución temporal de las emisiones atmosféricas nacionales, y se dejará planteada la metodología de actualización del estudio.

La selección de la metodología de cálculo para la realización del Inventario define la magnitud de los recursos necesarios y la fiabilidad de los resultados. En este estudio se realizó una simplificación de los procedimientos de análisis en busca de una metodología de cálculo práctica y efectiva.

En el marco de la presente actualización se consideran dos nuevos sectores emisores (Erosión Eólica y Rodadura) en adición a los considerados en el Inventario 2006 (Agropecuario, Industrial, Residencial, Servicios y Comercios y Vehicular). Asimismo, se realizó la actualización del rubro industrial denominado Metalúrgicas, que fuera añadido con posterioridad a la elaboración del primer Inventario de Emisiones.

Este informe consta de ocho capítulos. A continuación se resumen los aspectos abordados en cada uno de ellos:

- Capítulo N°1: introducción al trabajo realizado.
- Capítulo N°2: presentación de antecedentes a nivel nacional e internacional.
- Capítulo N°3: recopilación del marco legal de aplicación en la temática bajo estudio.
- Capítulo N°4: presentación de las características principales del Inventario de Emisiones.
- Capítulo N°5: descripción de la herramienta de cálculo y presentación de los resultados obtenidos.
- Capítulo N°6: análisis de los resultados presentados en el Capítulo N°5.
- Capítulo N°7: descripción de la metodología propuesta para la actualización del trabajo.
- Capítulo N°8: presentación de las conclusiones del estudio.

2. Antecedentes.

2.1. Inventarios de Emisiones a nivel internacional.

2.1.1. Unión Europea.

En la Unión Europea, el desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas se realiza con frecuencia anual (European Environment Agency, n.d.) en base a documentos técnicos elaborados por la Agencia Ambiental Europea (EEA¹) (Winther et al., 2016). Estos documentos tienen dos objetivos principales:

- Proporcionar procedimientos que permitan a los usuarios el desarrollo de Inventarios de Emisiones que cumplan criterios de calidad relativos a la transparencia, consistencia, alcance, comparabilidad y a la precisión de las emisiones calculadas.
- Proporcionar metodologías de cálculo y factores de emisión para diversos niveles de complejidad².

Por otra parte, en las guías para el desarrollo de Inventarios de Emisiones de la Unión Europea también se listan sus posibles aplicaciones:

- Proporcionar información a los tomadores de decisiones y a la ciudadanía en general acerca de las emisiones atmosféricas generadas.
- Definir prioridades ambientales e identificar las actividades responsables de posibles problemas de contaminación atmosférica.
- Definir objetivos y restricciones en materia ambiental.
- Evaluar los impactos ambientales potenciales de diferentes estrategias o planes.
- Monitorear el estado del ambiente con foco en el cumplimiento de objetivos.
- Evaluar el efecto de políticas ambientales.

Entre los sectores emisores considerados se incluyen: Energía; Procesos Industriales y Uso de Productos; Agricultura; Residuos; Otros. Cada sector abarca diferentes categorías (por ejemplo Transporte) y sub-categorías (por ejemplo Vehículos de Pasajeros).

Las metodologías de cálculo proporcionadas se basan en el uso de factores de emisión:

$$E = AD \times EF$$

Donde:

- E: Emisión de cierto contaminante atmosférico.

¹ European Environment Agency.

² En general se proporcionan tres metodologías de cálculo con niveles de complejidad crecientes denominadas, en orden ascendente de complejidad, Tier 1, Tier 2 y Tier 3.

- AD: Información relativa a la actividad generadora de la emisión (Activity Data).
- EF: Emisión por unidad de actividad (Factor de Emisión o Emission Factor).

Las estimaciones de emisiones atmosféricas informadas por los países de la Unión Europea se encuentran accesibles en línea. En este sentido, en la Ilustración 1 y en la Ilustración 2 se muestran las emisiones totales de PM₁₀ para el año 2015 correspondientes a los países del grupo denominado EU15 en dos formatos diferentes.

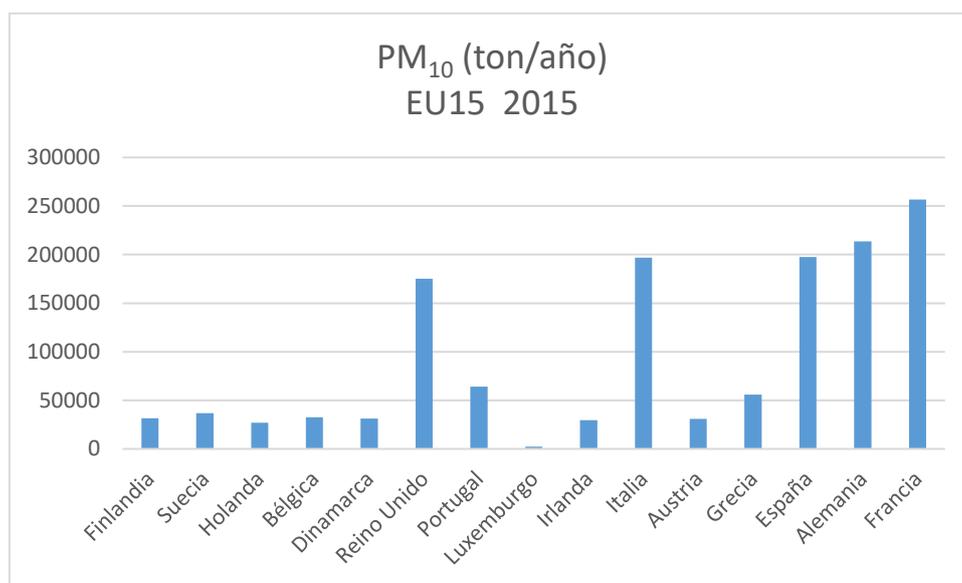


Ilustración 1: Emisiones de PM₁₀ para el año 2015 correspondientes a los países europeos del Grupo EU-15. Fuente: (EMEP/CEIP, n.d.).

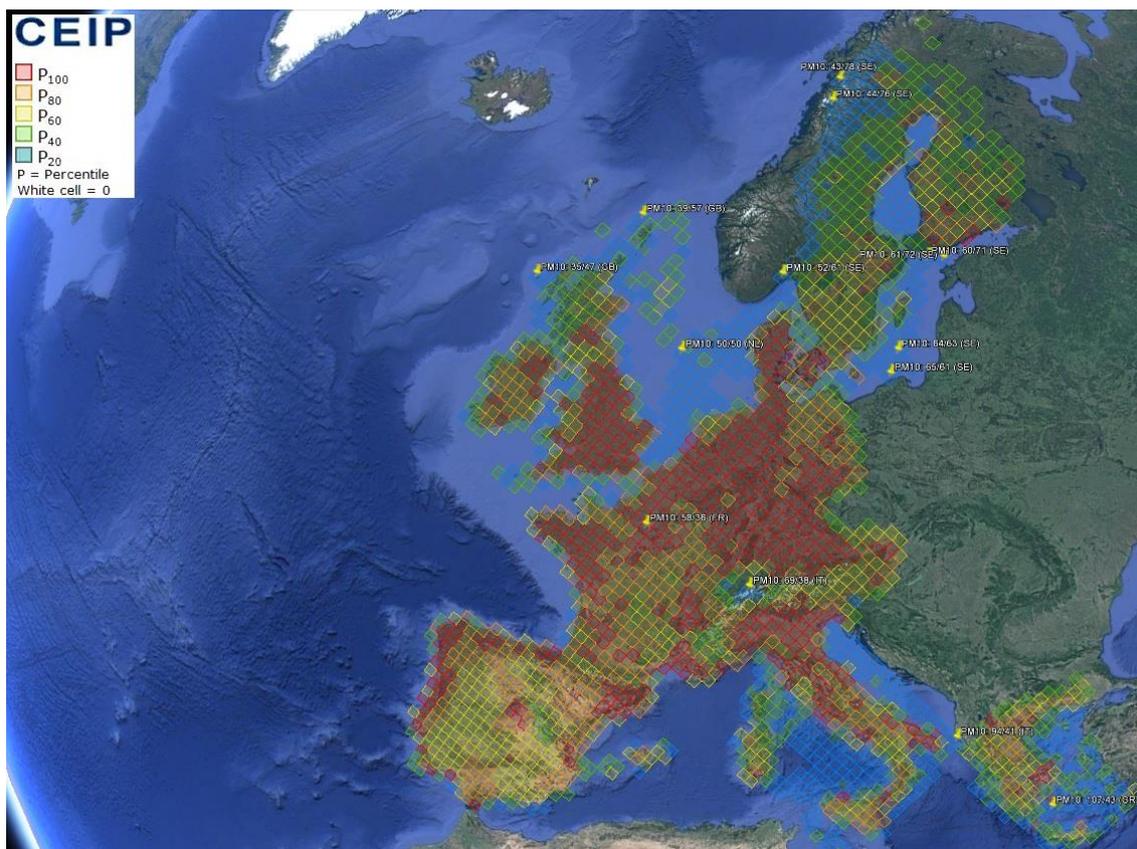


Ilustración 2: Emisiones de PM₁₀ para el año 2015 correspondientes a los países europeos del Grupo EU-15. Presentación gráfica con valores de percentiles. Fuente: (EMEP/CEIP, n.d.).

En relación con el segundo objetivo planteado, la metodología de cálculo de emisiones vehiculares denominada COPERT resulta ser un método de alta complejidad (Tier 3) para la estimación de emisiones del transporte. A modo de ejemplo, en Iodice, Cardone, Senatore, & Migliaccio, 2010 se aplica la metodología COPERT 4 para realizar un Inventario de Emisiones atmosféricas del transporte en la zona urbana de Nápoles, Italia (Ilustración 3).

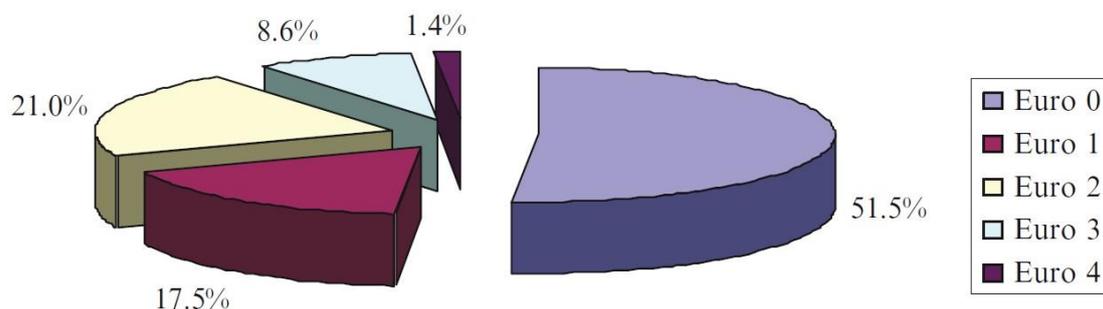


Ilustración 3: Emisiones porcentuales de CO de vehículos de pasajeros a gasolina para cada norma de emisiones. Fuente: (Iodice et al., 2010).

COPERT 4 permite la estimación de emisiones para 230 categorías vehiculares pertenecientes a 5 clases principales: vehículos de pasajeros, vehículos comerciales livianos, vehículos comerciales pesados, ómnibus y bi-rodados. Los vehículos clasificados en estas clases principales son luego re-clasificados en categorías más

específicas en función de diversos parámetros: tipo de combustible, norma de emisiones, cilindrada, entre otros. En cuanto a los contaminantes emitidos, esta metodología permite estimar la emisión de 36 contaminantes sumando las emisiones generadas durante la operación normal del vehículo, durante el arranque en frío y aquellas generadas por evaporación. Además, se estiman emisiones de partículas no provenientes del escape de los vehículos (por ejemplo como consecuencia del desgaste del pavimento). Por último, las emisiones se calculan en función de la velocidad media del vehículo para tres condiciones diferentes de manejo: urbano, rural y autopista.

2.1.2. Estados Unidos.

Estados Unidos desarrolla un Inventario de Emisiones cada tres años. A continuación se destacan las fuentes emisoras consideradas en estos estudios:

- Fuentes puntuales (incluye industrias, plantas de generación de energía, aeropuertos, comercios, entre otras).
- Fuentes no puntuales (incluye fuentes puntuales muy pequeñas como por ejemplo la calefacción residencial, las emisiones de algunos comercios, entre otras).
- Fuentes móviles de ruta (incluye las emisiones de vehículos livianos y pesados que utilizan diversos combustibles (por ejemplo Gasolina o Gas Oil)).
- Fuentes móviles fuera de circulación en calles o rutas (incluye las emisiones de vehículos que no circulan en calles o rutas como por ejemplo la maquinaria de construcción, embarcaciones comerciales, trenes, entre otros que utilizan diversos combustibles (por ejemplo Gasolina o Gas Oil)).
- Eventos (incluye las emisiones generadas mediante quemas a cielo abierto (con fines agrícolas y otras) e incendios).

El Inventario más reciente de Estados Unidos toma como año base el 2014 (USEPA, 2017). En la Tabla 1 se muestran las emisiones totales para la primera versión del Inventario 2014.

Tabla 1: Emisiones atmosféricas totales correspondientes a la primera versión del Inventario 2014. Fuente: elaboración propia a partir de (USEPA, 2017).

Contaminante	Emisión 2014 (millones de ton)
CO	69.9
NH ₃	3.9
NO _x	13.5
PM ₁₀	24.5
PM _{2.5}	6.2
SO ₂	4.8
COV _s	55.2
Pb	0.0007
BC	0.4
HAP _s	8.3

En el marco del Inventario 2014, se encuentra disponible en línea una herramienta de mapeo de fuentes emisoras puntuales. Para construir un mapa, debe indicarse el estado que se desea observar y los contaminantes de interés. A modo de ejemplo, en la Ilustración 4 se muestran las fuentes emisoras puntuales de PM₁₀ para el estado de Connecticut.

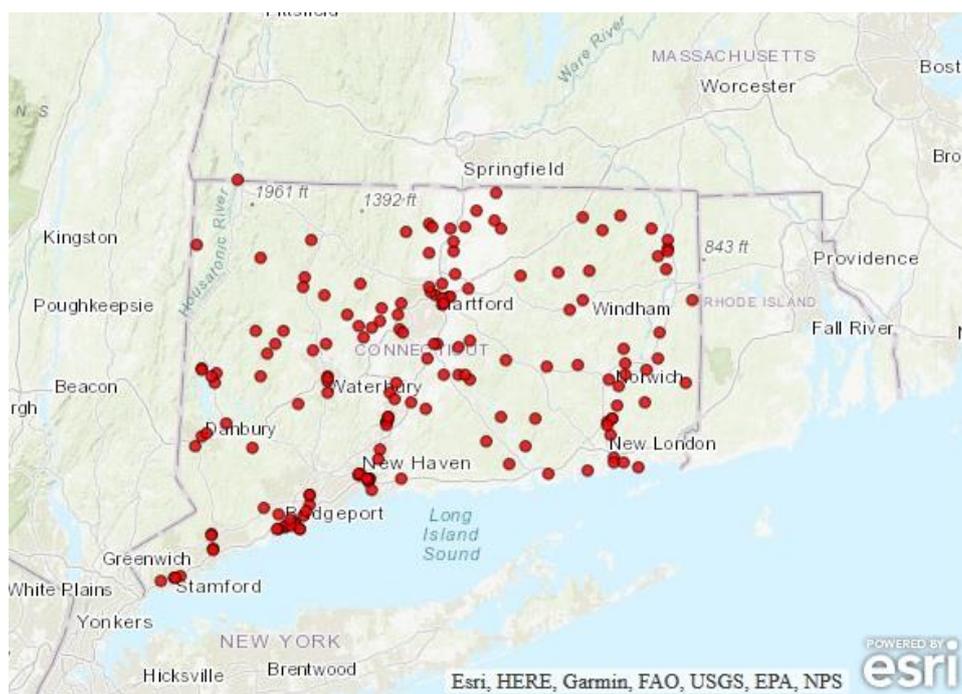


Ilustración 4: Fuentes emisoras puntuales de PM₁₀ en el estado de Connecticut. Fuente: (USEPA, n.d.).

Además de la salida gráfica presentada en la Ilustración 4, la mencionada herramienta proporciona una tabla con información de cada fuente emisora, entre la que se destaca: condado, ciudad, razón social, dirección, emisión (ton) y tipo de emprendimiento.

2.1.3. Otros países.

En el estudio internacional presentado en Cai et al., 2018, se realizó un Inventario de Emisiones enfocado en la combustión residencial para pequeños poblados en Beijing, China. Luego, esta herramienta fue utilizada para evaluar escenarios de reducción de emisiones basados en cambios en los combustibles utilizados. Un aspecto interesante de este estudio es la resolución temporal de la información de consumo de combustible con la que se trabajó. Esto último permitió realizar estimativos de emisiones atmosféricas a escala mensual, mostrando la relevancia de las emisiones atmosféricas del sector residencial en invierno (Ilustración 5).

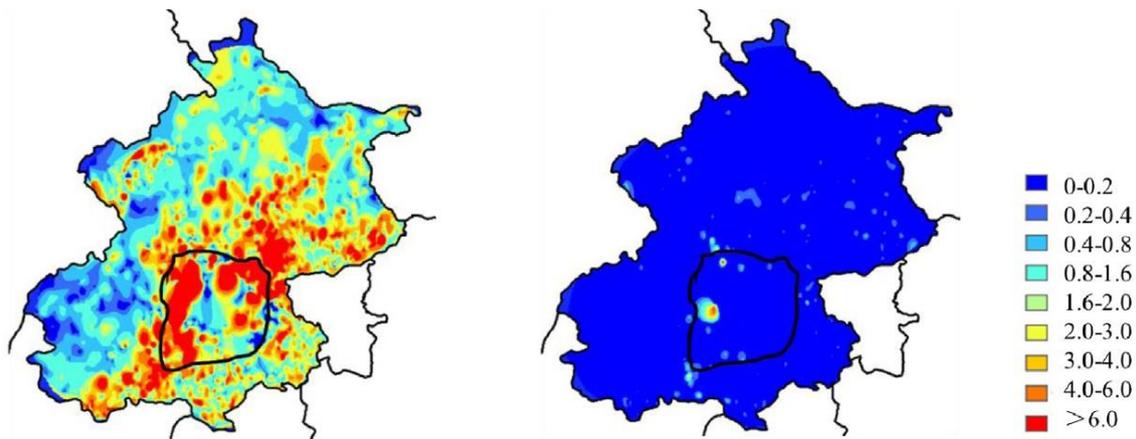


Ilustración 5: Emisiones residenciales de $PM_{2.5}$ en enero (izquierda) y julio (derecha) expresadas en toneladas. Fuente: (Cai et al., 2018).

Uno de los escenarios de reducción de emisiones ensayados consistió en una ampliación del área de restricción de uso del carbón como combustible. Los efectos en las emisiones atmosféricas de $PM_{2.5}$ de la aplicación de esta política se observan en la Ilustración 6.

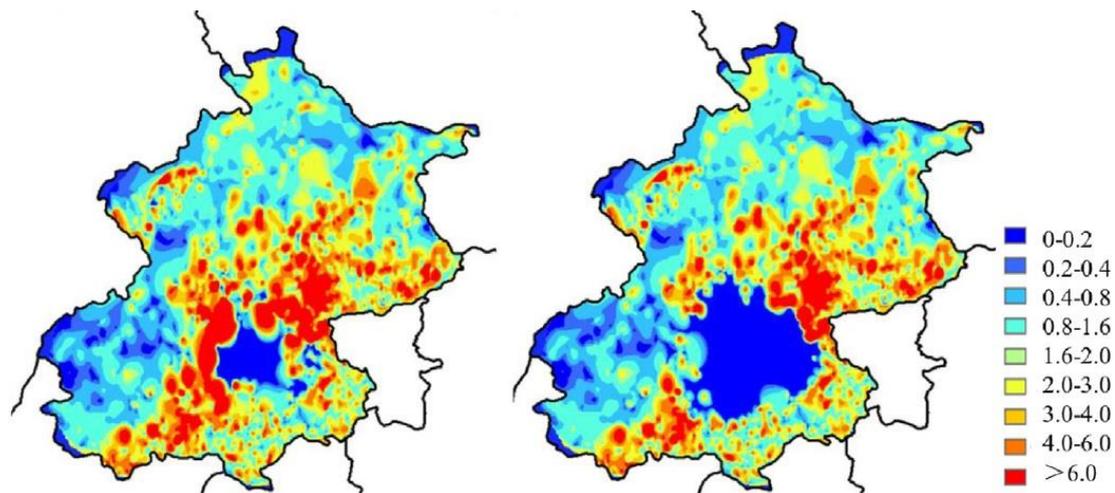


Ilustración 6: Emisiones residenciales de $PM_{2.5}$ en enero expresadas en toneladas para distintos escenarios de uso residencial de carbón. El escenario de la derecha es el más restrictivo. Fuente: (Cai et al., 2018).

Por otra parte, en Pachón et al., 2018 se describe el desarrollo de un Inventario de Emisiones para la ciudad de Bogotá, Colombia. Las fuentes emisoras consideradas fueron: vehículos (Ilustración 7), industrias, comercios, fuentes naturales, estaciones de venta de combustible, tanques de almacenamiento de combustible y re-suspensión de polvo. El año base de cálculo utilizado fue 2012.

Con el objetivo de utilizar los resultados del Inventario para modelar la calidad de aire, las emisiones estimadas se distribuyeron en el tiempo y en el espacio utilizando diversas variables auxiliares. A modo de ejemplo, para las emisiones vehiculares se realizaron conteos en 40 sitios ubicados en la ciudad de Bogotá. Utilizando los resultados de los conteos, se estimaron emisiones horarias para días de semana y para fines de semana. Además, los volúmenes de tráfico vehicular registrados fueron utilizados para la distribución espacial de las emisiones, a partir de la aplicación de polígonos de Thiessen (Pachón et al., 2018).

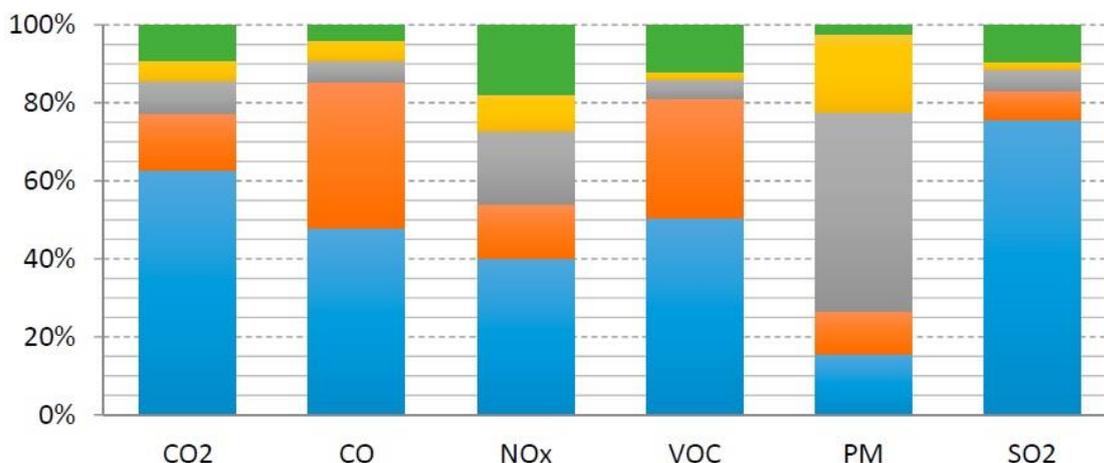


Ilustración 7: Emisiones del transporte por categoría vehicular en porcentaje (azul: vehículos de pasajeros; gris: ómnibus; verde: otros (taxi, servicios especiales, ómnibus de alta velocidad); naranja: motos; amarillo: camiones). Fuente: (Pachón et al., 2018).

Se destaca que las emisiones de PM₁₀ generadas por la re-suspensión de polvo a partir del tránsito sobre rutas pavimentadas y no pavimentadas resulta ser, aproximadamente, 25 veces superior a la emisión de PM₁₀ generada por los escapes de los vehículos, las industrias y los comercios en su conjunto.

2.2. Antecedentes relevantes a nivel nacional.

2.2.1. Plan Nacional de Calidad del Aire para Uruguay. Año 2000.

Este documento describe actividades que deberían implementarse a nivel nacional y local en los seis años siguientes a su formulación, a fin de “*crear las condiciones que reduzcan los problemas de salud y los efectos en la flora, fauna y en los materiales causados por la exposición a contaminantes del aire*” (Korc & Hill, 2000). El objetivo

general del Plan Nacional es *“ejecutar programas para mejorar la calidad del aire y prevenir su deterioro en exteriores e interiores, dentro del marco de desarrollo humano sostenible, basados en normas y reglamentos orientados hacia la protección de la salud de la población y del patrimonio ambiental”*. A continuación se señalan los objetivos específicos del Plan:

- Incluir el concepto de calidad del aire y salud en las leyes, reglamentos, planes y estrategias nacionales de Uruguay.
- Establecer un programa nacional y los programas locales de manejo de la calidad del aire en exteriores e interiores.
- Estimar el impacto de la contaminación del aire sobre la salud y el ambiente.
- Informar, educar, capacitar y fortalecer la participación pública en todos los aspectos relacionados con la calidad del aire y salud, así como con la prevención y reducción de la contaminación del aire.
- Establecer mecanismos de sostenibilidad en el programa nacional y los programas locales de calidad del aire.

En relación a los objetivos descriptos, el Plan Nacional ha sido estructurado en cinco áreas programáticas:

1. Políticas, normas y reglamentos.
2. Manejo de la calidad del aire.
3. Impacto de la contaminación del aire sobre la salud y el ambiente.
4. Educación, capacitación y sensibilización pública.
5. Financiamiento.

En el marco del área programática Nº 1, el Plan preveía la creación de normas nacionales sobre calidad del aire y límites máximos permisibles de emisión. El horizonte temporal previsto para la creación de estas normas era dos años a partir de la formulación del Plan. Este punto aún no se ha concretado. Por otra parte, en el marco del área programática Nº 2, se preveía la elaboración de un Inventario Nacional de Emisiones detallado con un horizonte temporal de cuatro años a partir de la formulación del Plan.

2.2.2. Red de monitoreo de calidad de aire de Montevideo.

La Unidad Calidad de Aire del Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental de la Intendencia de Montevideo (IM), es la responsable de la vigilancia y evaluación de la calidad de aire en el Departamento de Montevideo.

Desde 1978 se ha monitoreado la calidad del aire en Montevideo en relación a diferentes contaminantes. Si bien estas prolongadas mediciones no cumplían todos los requisitos que caracterizan a una red de monitoreo de calidad de aire, los datos recabados con anterioridad al año 2003 fueron utilizados como antecedentes para la realización de la campaña de diagnóstico de la calidad de aire en el período 2003-2004. Esta campaña fue realizada conjuntamente por la Dirección Nacional de Medio

Ambiente (DINAMA) y el Laboratorio de Calidad Ambiental de la IM, y sirvió de base para el diseño de la red de evaluación y vigilancia de la calidad de aire en el Departamento de Montevideo en lo que hace a número y ubicación de las estaciones de monitoreo, contaminantes a considerar, equipamiento, técnicas analíticas y operación y mantenimiento de la red (Korc & Hill, 2000).

En el año 2005 surge como un producto del Proyecto URU/7/004 financiado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en Montevideo, que utiliza equipamiento de DINAMA y de la IM, y es operada por personal técnico de la IM. Esta Red de Monitoreo está configurada para cumplir con dos objetivos:

- Conocer la calidad de aire de base de Montevideo (Ilustración 8): en este caso, la Red de Monitoreo opera con estaciones que permiten evaluar la concentración ambiental de partículas en diversas fracciones de tamaño y de contaminantes gaseosos que habitualmente se encuentran en ambientes urbanos (SO_2 y NO_2). Estas estaciones de monitoreo están ubicadas en sitios fijos que permiten caracterizar la calidad de aire de base de la ciudad.
- Vigilancia de fuentes emisoras significativas (Ilustración 9): para cumplir con este objetivo, las estaciones de monitoreo se ubican en las cercanías de las fuentes emisoras identificadas como significativas. De esta forma, se determina la calidad de aire en la zona de influencia de dichas fuentes.

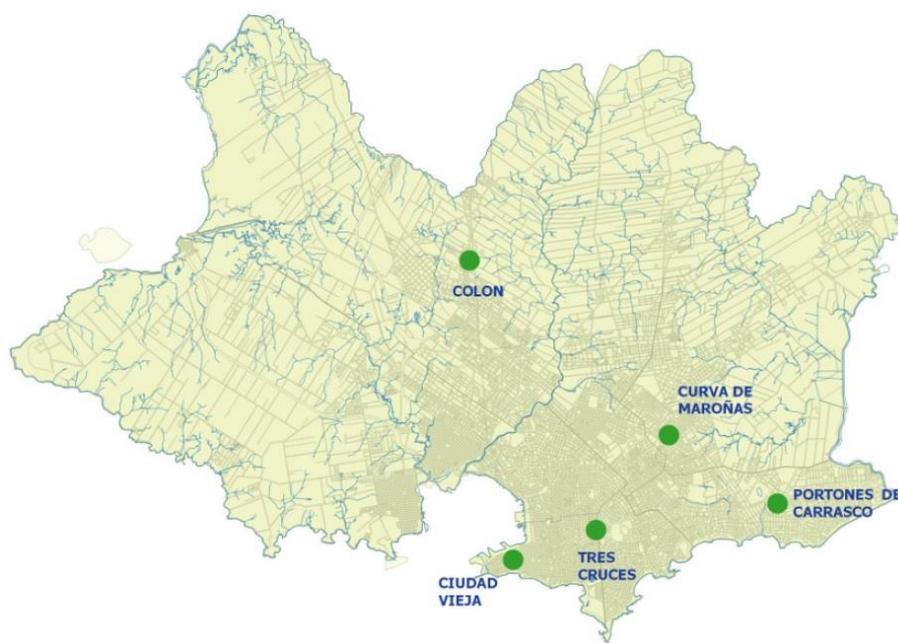


Ilustración 8: Red de Monitoreo de Base (IM). Fuente: (IM, 2017).

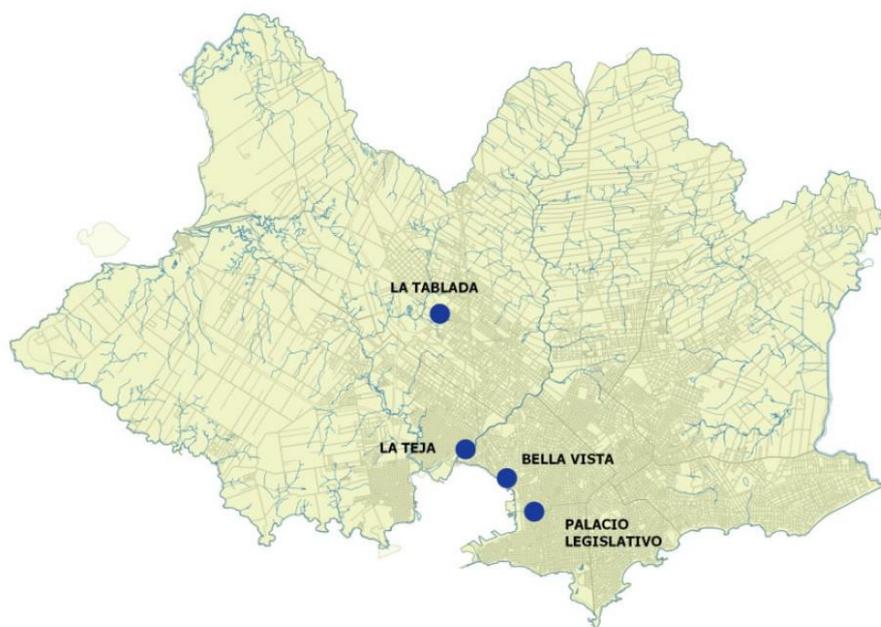


Ilustración 9: Red de Monitoreo orientada a Fuentes Significativas (IM). Fuente: (IM, 2017).

2.2.3. Plan Ambiental Nacional para el Desarrollo Sostenible.

El Plan Ambiental Nacional para el Desarrollo Sostenible (MVOTMA, 2018) tiene los siguientes objetivos generales:

- Generar un compromiso país que garantice la protección del ambiente y el acceso equitativo a los bienes y servicios ambientales para las generaciones actuales y futuras, con énfasis en la población más vulnerable.
- Generar una relación con el ambiente basada en el respeto por la naturaleza, que conserve la biodiversidad y asegure la resiliencia de los sistemas ambientales.
- Promover activamente el desarrollo de modelos y prácticas de producción y consumo ambientalmente sostenibles e incorporar la dimensión ambiental en las actividades socioeconómicas actuales y futuras.
- Fortalecer, consolidar y articular las capacidades institucionales y de la ciudadanía para la gestión y protección de los sistemas ambientales.

Dentro de la Dimensión 1 del Plan, denominada *Un ambiente sano para una buena calidad de vida*, y en el marco del Objetivo 1.1 cuyo título es *Garantizar el derecho de la población urbana y rural a disfrutar de un ambiente sano y equilibrado*, se encuentra la Meta 1.1.2, denominada *Calidad de aire*. En el marco de la misma se presenta el siguiente objetivo de calidad de aire al año 2030: *se garantiza la calidad del aire a la población cumpliendo con estándares nacionales, en particular reduciendo un 30 % de las emisiones de partículas en áreas urbanas con respecto al año 2014*. Asimismo, se plantea el siguiente resultado intermedio para el mencionado objetivo: *se implementan planes para garantizar la calidad de aire en el Área Metropolitana, Nueva Palmira y Río*

Branco para cumplir las metas y objetivos en línea con estándares nacionales, en particular en emisiones vehiculares y partículas.

Para el cumplimiento de la meta de calidad de aire se plantean líneas de acción, destacándose a continuación aquellas vinculadas con el presente estudio:

- Actualizar de forma periódica el Inventario de Emisiones Atmosféricas.
- Calcular líneas de base de emisiones vehiculares al 2014.
- Identificar acciones para mitigar las emisiones generadas por el transporte.

2.2.4. Desarrollo de factores de emisión.

A nivel local, en los últimos años se han realizado las primeras experiencias de desarrollo de factores de emisión nacionales para fuentes móviles. Estas experiencias fueron documentadas en el marco de un Convenio entre la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA-MVOTMA) y el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UdelaR (IMFIA-FIng-UdelaR) (IMFIA-FIng & DINAMA-MVOTMA, 2015), en la tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental D'Angelo Taibo, 2016 y en D'Angelo, González, & Rezzano Tizze, 2018.

En términos generales, las actividades llevadas a cabo incluyeron la realización de mediciones de emisiones en condiciones de ralentí y en movimiento sobre una muestra de vehículos pesados y livianos en circulación (Ilustración 10), el procesamiento estadístico de dichas mediciones para el cálculo de factores de emisión de diversos contaminantes atmosféricos, el establecimiento de vínculos entre las emisiones vehiculares y otros parámetros de los vehículos registrados y el estudio del impacto de las emisiones en la calidad de aire local a partir de la utilización de un modelo numérico computacional.

De todas maneras, teniendo en cuenta que la mencionada experiencia nacional se encuentra aún en desarrollo, en el presente estudio se utilizarán factores de emisión vehiculares de origen internacional.



Ilustración 10: Medición de emisiones vehiculares en movimiento sobre 11 vehículos livianos (izquierda) y medición de emisiones vehiculares en ralentí sobre 119 camiones (derecha). Fuente: (D'Angelo Taibo, 2016).

3. Marco Legal.

3.1. Marco institucional.

Nuestro país tiene un gobierno democrático republicano con tres poderes de cometidos claramente definidos: Poder Ejecutivo, Poder Legislativo y Poder Judicial. El Poder Ejecutivo es ejercido por el Presidente de la República y su Gabinete Ministerial, actualmente integrado por trece carteras: Economía y Finanzas; Ganadería, Agricultura y Pesca; Industria, Energía y Minería; Trabajo y Seguridad Social; Educación y Cultura; Salud Pública; Turismo; Desarrollo Social; Interior; Relaciones Exteriores; Defensa Nacional; Transporte y Obras Públicas y Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

En lo que refiere a la organización del territorio nuestro país se divide en 19 Departamentos, cada uno de los cuales cuenta con su Poder Ejecutivo (encabezado por el Intendente) y su Poder Legislativo (la Junta Departamental). A partir del año 2010 se instalaron 112 Municipios en todo el país, que constituyen un tercer nivel de gobierno y administración, dentro del Ejecutivo de cada Departamento, con circunscripciones territoriales específicas. Al frente de cada Municipio se encuentra un Alcalde y un equipo municipal integrado por Concejales (“Congreso de Intendentes,” 2015). A la fecha existe una serie de competencias que son de órbita departamental, en parte por atribuciones previstas en la Ley Orgánica Municipal y en parte por falta de normativa de jerarquía nacional. En este caso se encuentran actualmente, por ejemplo, las emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes móviles.

3.2. Normativa vigente.

El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente fue creado en 1990. Actualmente consta de cuatro Direcciones Nacionales, que son la de Vivienda (DINAVI), la de Ordenamiento Territorial (DINOT), la de Aguas (DINAGUA) y la de Medio Ambiente (DINAMA). Originalmente, los Decretos cuyo cumplimiento estaba bajo la competencia de la Dirección Nacional de Medio Ambiente del MVOTMA eran muy pocos, y no se ha adelantado demasiado en ese sentido. Sin embargo, se han sancionado normas genéricas que contribuyen a hacer más eficaz su gestión.

Entre los Decretos específicos cuyo cumplimiento es controlado por DINAMA se encuentran el 253/979 y modificativos, reglamentario del Código de Aguas, y el 349/005, reglamentario de la Ley de Impacto Ambiental.

A partir del año 2000 la Ley 17283, General de Protección del Ambiente, genera un marco amplio dentro del cual se concretan una serie de acciones y controles, entre ellos los relativos al control de la contaminación del aire (Poder Legislativo, 2000).

Existen disposiciones específicas que acotan las emisiones a la atmósfera de un tipo de fuentes: los incineradores de residuos hospitalarios; esto es en el marco del Decreto 586/2009 de Gestión de Residuos de Centros de Salud (Presidencia, 2009). Su control está en parte a cargo del Ministerio de Salud Pública y en parte a cargo del MVOTMA, más concretamente de la División Control y Desempeño Ambiental de la DINAMA.

Otros decretos vinculados directamente a las emisiones atmosféricas son el Decreto 373/003 sobre disposición de baterías de plomo-ácido (Presidencia, 2003) y el Decreto 154/002 sobre prohibición de uso de amiantos y asbestos (Presidencia, 2002).

Para aquellos temas en los que no se cuenta con normativa nacional, este vacío se llena de la siguiente forma: se solicita al proponente que necesita aplicar alguna normativa de referencia (por ejemplo, para la instalación de una fuente fija para la que no hay estándares de emisión sancionados) que presente el estándar al cual propone ceñirse. Si ese estándar es de recibo para DINAMA, entonces será el que se aplique al emprendimiento en cuestión (pero no a otros por defecto). Por lo general, los límites normativos que se suelen adoptar por esta modalidad suelen ser las propuestas de GESTA Aire, o en otros casos normativa de Estados Unidos o de la Unión Europea.

3.3. Grupos de Estandarización: GESTA Aire.

Desde los comienzos de este siglo han funcionado en forma intermitente los grupos de estandarización (GESTA) en el marco de la Comisión Técnica Asesora en Medio Ambiente creada en 1993 (COTAMA, una de las comisiones interdisciplinarias e interinstitucionales asesoras del Ministro de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente).

El mecanismo de funcionamiento previsto es el siguiente: cada grupo GESTA elabora una propuesta de estándares para su ámbito de competencia y la eleva a consideración de la COTAMA. De contar con los avales necesarios, se eleva al Poder Legislativo para su estudio y, deseablemente, su promulgación como Decreto. Uno de estos grupos, GESTA Aire (Grupo de Estandarización en temas relacionados a Calidad de Aire) comenzó su funcionamiento en 1999, presentando una primera propuesta de estándares de calidad de aire atmosférico y otra acerca de emisiones admisibles de fuentes móviles en el año 2001. El procedimiento previsto avanzó hasta la consulta pública, pero luego se detuvo el funcionamiento del Grupo. Las actividades se reiniciaron en varias oportunidades. Entre ellas, cabe anotar que en 2005 se revisó íntegramente la propuesta de estándares de calidad de aire, de forma de modificar y actualizar algunos contenidos. Tampoco en esta oportunidad la propuesta llegó a las Cámaras. En el año 2008, se elevaron a consideración de la COTAMA las propuestas revisadas de estándares de calidad de aire atmosférico para nuestro país (niveles admisibles de inmisión) y de emisiones de fuentes móviles para vehículos cuyo combustible es nafta. Los primeros constituyen un ajuste de la propuesta de 2005. Por su parte, la propuesta de estándares de emisión para fuentes móviles toma en consideración el pasaje de la refinería de ANCAP a producir combustibles que cumplen con la norma de emisiones Euro III de la Unión Europea.

Asimismo, contempla la entrada en vigencia del Decreto 111/008 de la Dirección Nacional de Transporte del MTOP acerca de la importación de nuevos vehículos para transporte de cargas (Presidencia, 2008).

La última versión de las propuestas de estándares de emisión (fuentes fijas y móviles) y de calidad de aire elaboradas por el Grupo GESTA Aire data del año 2012 (Grupo GESTA Aire, 2012a) (Grupo GESTA Aire, 2012c) (Grupo GESTA Aire, 2012b). En el caso de la propuesta de estándares de calidad de aire, la Dirección Nacional de Medio Ambiente elaboró una versión actualizada al año 2015 (DINAMA-MVOTMA, 2015).

Más allá de estas propuestas de estándares, Uruguay no cuenta con normas nacionales de calidad de aire y límites máximos permisibles de emisiones atmosféricas.

4. Características del Inventario de Emisiones.

4.1. Objetivos.

Se pretende que el presente estudio aporte un diagnóstico cualitativo y cuantitativo de las emisiones atmosféricas que ocurren en el territorio nacional, identificando los agentes emisores, su distribución geográfica, los principales contaminantes emitidos, los principales sectores contaminantes y demás información relevante para el diagnóstico.

De ese modo, se podrán plantear líneas de acción orientadas a la gestión de emisiones, definición de contaminantes prioritarios y de sectores emisores prioritarios, así como también apoyar el desarrollo de normativas de emisión e inmisión de contaminantes atmosféricos y optimizar las configuraciones existentes de las redes de monitoreo de calidad de aire. Si esta herramienta se utiliza de forma acoplada con un modelo de dispersión de contaminantes en la atmósfera, sus aplicaciones y potencialidades se multiplican.

Además, por tratarse este estudio de una actualización del Inventario de Emisiones 2006, se analizarán las tendencias nacionales de emisiones atmosféricas. Lo anterior resultará posible debido a que la metodología de cálculo seguida en esta actualización es análoga a la empleada en el marco del desarrollo del primer Inventario Nacional de Emisiones.

Los potenciales usuarios del Inventario identificados son instituciones estatales, municipales, universidades, centros de investigación, entre otros.

4.2. Metodología de cálculo: factores de emisión.

4.2.1. El proceso de evaluación rápida.

El proceso de evaluación rápida permite evaluar en forma efectiva las emisiones de cada fuente, basándose en experiencias previas documentadas sobre contaminantes emitidos por fuentes análogas a las que se consideran (dependiendo del sistema de control existente), y utilizar esta información para predecir las cargas emitidas (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).

La evaluación rápida permite la obtención de resultados utilizando menos recursos y tiempo que cualquier otro tipo de metodología. Sin embargo, su desventaja es la escasa validez estadística; se obtienen sólo estimaciones preliminares, sujetas a análisis más detallados.

A los efectos de la realización de un Inventario de Emisiones a la Atmósfera, pueden encontrarse diferentes metodologías que redundan en diferentes tiempos y costos de realización, así como también en resultados de diferente precisión. Es por eso que el objetivo del Inventario condiciona fuertemente la metodología que se seleccione para su realización.

4.2.2. Métodos de estimación de emisiones.

Entre los diferentes métodos que pueden aplicarse para determinar las emisiones de una cierta fuente, y en orden decreciente de confiabilidad de la estimación, cabe citar el monitoreo continuo, ensayo de fuentes, balance de masas, factores de emisión y juicio ingenieril³. La Ilustración 11 presenta en forma esquemática la relación entre esos métodos desde el punto de vista de costo de implementación y confiabilidad del resultado.

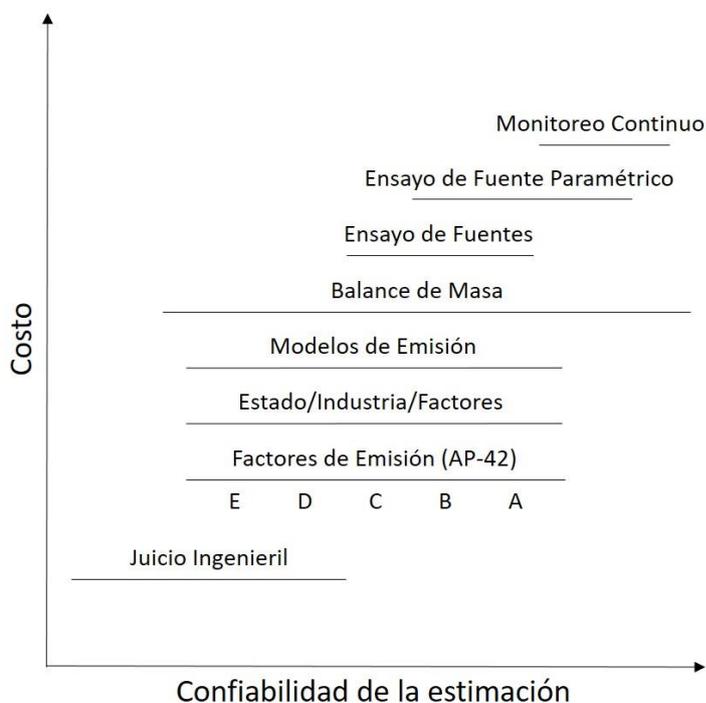


Ilustración 11: Costo y confiabilidad de los distintos métodos de estimación de emisiones atmosféricas. Fuente: adaptado de (USEPA, 1995m).

Resulta claro que si se tiene la posibilidad de realizar un monitoreo continuo en los puntos de emisión de contaminantes, entonces se podrá contar con datos inmejorables para caracterizar las fuentes. Sin embargo, esto no sólo no es usual, sino que muchas veces, en caso de realizarse en establecimientos de gran complejidad, se priorizan algunos de los puntos de emisión en detrimento de otros.

³ “Engineering Judgement” según (USEPA, 1995m).

Por otra parte, el ensayo de fuentes es un método común de estimación de emisiones. Consiste en la medición de la concentración de contaminantes, en períodos de tiempo cortos, en muestras extraídas de la chimenea. Con este método se logra estimar la emisión con mayor exactitud que con los métodos de balance de masa y factores de emisión, pero hay que tener en cuenta que estos datos son confiables si las condiciones en las cuales se realizó el muestreo son representativas de las condiciones reales de operación.

El método de balance de masas, como su nombre lo dice, consiste en estimar la masa de contaminante emitido a través del análisis de un volumen de control. Generalmente, las emisiones producidas a partir de procesos de evaporación se estiman usando este método. Para su aplicación, es necesario conocer en detalle el proceso, los parámetros operativos, la composición del material, y la cantidad total de material utilizado. Si hay algún dispositivo de control instalado, también es necesario conocer su eficiencia. Aun teniendo esta información, de todos modos es necesario realizar algunas hipótesis adicionales. Este método puede ser útil en algunos casos.

El método de factores de emisión es mucho más ágil que el de balance de masas y mucho más económico que el ensayo de fuentes. Se basa en aplicar un cierto factor proporcional a algún parámetro dependiente del nivel de actividad de la fuente que se estudia para conocer la cantidad emitida de un cierto contaminante. Este es el método empleado en el presente estudio y su desarrollo en detalle se presenta en la siguiente sección.

4.2.3. Factores de emisión.

El método de factores de emisión es una de las herramientas disponibles más útiles para la estimación de emisiones. El factor de emisión es el cociente entre la cantidad de contaminante liberada a la atmósfera y el nivel de actividad (unidades producidas, cantidad de combustible quemado, etc.) para una cierta fuente emisora. Si el factor de emisión y el nivel de actividad correspondientes a un proceso son conocidos, se puede realizar una estimación de las emisiones. En la mayoría de los casos, los factores de emisión se expresan simplemente por un número, asumiendo una relación lineal entre la emisión y el nivel de actividad especificado en un rango probable de aplicación.

Sin embargo, la dependencia del nivel de actividad con los factores de emisión no se puede expresar en forma continua sino a intervalos discretos. Por esta razón se utiliza una función discreta que produce una serie de factores de emisión, cada uno de ellos válido bajo un grupo de parámetros comunes y significativos.

El uso de factores de emisión para la estimación en períodos de tiempo cortos debe ser evitado porque agrega mayor incertidumbre a los resultados, aunque a veces se requiere contar con estimaciones en períodos de tiempo cortos o picos (diarios u horarios) de emisión. Al aplicar factores de emisión para cálculos en períodos cortos se

está agregando mayor incertidumbre a la estimación de las emisiones, ya que los factores de emisión se han desarrollado para representar promedios de emisiones en largos períodos. La emisión en períodos de tiempo cortos a menudo varía significativamente con el tiempo debido a las fluctuaciones en las condiciones de operación del proceso, en el control de la técnica de remoción, en las materias primas utilizadas, en las condiciones ambientales y en otras variables que la metodología no logra considerar.

Dado que los factores de emisión son promedios obtenidos a partir de un amplio conjunto de datos y con grados variables de exactitud, las emisiones calculadas por este método para un proceso dado probablemente difieran de las emisiones reales, pero sin embargo al considerar un número importante de fuentes, la representación del conjunto es más cercana al valor real aunque la emisión individual de cada fuente pueda apartarse significativamente de la que verdaderamente se produce.

Cabe destacar que el uso de factores de emisión sólo es válido bajo ciertos supuestos o hipótesis que deben quedar documentados, del mismo modo que se documentan las fuentes de datos o la fuente de la que provienen los factores de emisión adoptados. En este estudio se recurrió prácticamente a las mismas fuentes de factores de emisión que fueron empleadas en ocasión del desarrollo del Inventario de Emisiones 2006: se utilizaron factores de emisión de la Unión Europea para las emisiones vehiculares (Ntziachristos & Samaras, 2017) (Mellios & Ntziachristos, 2016) y para las emisiones resultantes del proceso de generación de energía eléctrica utilizando Fuel Oil como combustible (EEA, 2016), empleándose factores de emisión de Estados Unidos (USEPA) para el resto de las fuentes emisoras consideradas (USEPA, 1996f) (USEPA, 1995f) (USEPA, 1996c) (USEPA, 1996d) (USEPA, 2008) (USEPA, 1997) (USEPA, 1995a) (USEPA, 1995j) (USEPA, 2010) (USEPA, 1995g) (USEPA, 1995i) (USEPA, 1996e) (USEPA, 1995c) (USEPA, 1995l) (USEPA, 1996a) (USEPA, 1995e) (USEPA, 1996b) (USEPA, 1995d) (USEPA, 1998) (USEPA, 1995b) (USEPA, 2015) (USEPA, 1995k) (USEPA, 1995h) (USEPA, 2003). Existe una excepción a lo mencionado anteriormente: se ha utilizado un factor de emisión propio, desarrollado a partir de información nacional de consumo y emisiones, para la utilización de licor negro con fines energéticos en plantas de producción de celulosa.

4.2.4. Calidad de los factores de emisión.

De acuerdo a la metodología de USEPA (USEPA, 1995m), todos los factores de emisión presentan indicadores de calidad, clasificados de “A” a “E”, siendo “A” el de mayor calidad; también se publican grados de incertidumbre: U₁ a U₅. Estos indicadores se asignan basados en la confiabilidad de los ensayos usados en el desarrollo de los factores y en la cantidad y representatividad de los datos utilizados.

En general los factores basados en muchas observaciones o en los procedimientos de ensayo más ampliamente aceptados son los de mayor confianza. En tanto, aquellos

basados en una simple observación o extrapolados de otros factores de procesos similares, son probablemente los de menor confiabilidad. Estos indicadores no representan límites de errores estadísticos ni intervalos de confianza para cada factor. A lo sumo, se deben considerar como parámetros de precisión de un factor dado a ser usado en la estimación de emisiones.

Dado que los factores de emisión pueden estar basados en ensayos de fuentes, modelos, balances de masa u otras informaciones, los indicadores varían en forma significativa. Hay que considerar dos pasos en la determinación de estos indicadores. El primer paso es la validación de la calidad de los datos, la confiabilidad de los datos básicos de emisión a ser usados en el desarrollo de los factores. El segundo paso es la validación de la capacidad del factor de representar un promedio nacional anual de emisión para la fuente considerada.

La calidad de los datos en el desarrollo de los factores de emisión se clasifica de la A a la D, según el siguiente detalle:

- A: el desarrollo de los ensayos ha seguido una metodología segura y se documentan con suficiente detalle como para la validación adecuada.
- B: el desarrollo de los ensayos ha sido llevado a cabo según una metodología segura, pero no existen suficientes detalles para la validación adecuada.
- C: los ensayos están basados en metodologías no probadas o nuevas, o hay una carencia significativa de información.
- D: los ensayos están basados en métodos generalmente no aceptados, pero el valor puede proveer un orden de magnitud de la emisión de la fuente.

Los indicadores de calidad de los datos ayudan a identificar los buenos datos, aun cuando no sea posible extraer un factor de emisión representativo de una fuente típica. Los indicadores de calidad de los factores de emisión dan una idea de cuán bueno es el factor, basándose tanto en la calidad de los ensayos como en la información de la fuente, señalando qué tan representativo es el factor de su emisión.

La calidad de los factores de emisión se califica según (USEPA, 1995m):

- A: Excelente. El factor implica el uso de datos a partir de ensayos de fuentes calificados como A y B provenientes de la población de industrias elegidas al azar en cantidad representativa. La población de la categoría de fuentes es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.
- B: Superior al promedio. El factor implica el uso de datos a partir de ensayos de fuentes calificados como A y B provenientes de un número razonable de industrias. Aunque no existe evidencia de sesgo, no es claro si las industrias consideradas representan una muestra al azar, como en el caso anterior; la población de la categoría de fuentes es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.
- C: Promedio. El factor implica el uso de datos a partir de ensayos de fuentes calificados como A, B o C provenientes de un número razonable de industrias.

Aunque no existe evidencia de sesgo, no es claro si las industrias consideradas representan una muestra al azar. Como en los casos anteriores, la población de la categoría de fuentes es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.

- D: Inferior al promedio. El factor implica el uso de datos a partir de ensayos de fuentes calificados como A, B o C provenientes de un número pequeño de industrias. Hay razón suficiente para sospechar que esta población no representa una muestra aleatoria de las industrias. Existe evidencia de variabilidad dentro de la población de fuentes.
- E: Pobre. El factor implica el uso de datos a partir de ensayos de fuentes calificados como C y D. Hay razón suficiente para sospechar que la población no representa una muestra aleatoria de las industrias. Existe evidencia de variabilidad dentro de la población de fuentes.
- F: Sin clasificación. El factor de emisión fue desarrollado a partir de datos supuestos sin documentación de soporte clasificada aplicando los indicadores A a E.

El indicador U debe ser aplicado en las siguientes circunstancias:

- U₁: balance de masa.
- U₂: ensayo de fuentes deficientes.
- U₃: transferencia tecnológica.
- U₄: juicio Ingenieril.
- U₅: falta de documentación de soporte.

Al adoptar la metodología y los factores de emisión obtenidos en países desarrollados, surge la necesidad de establecer si estos factores se pueden extrapolar a un Inventario de un país en desarrollo como es Uruguay, ya que las diferencias en la escala de una planta industrial típica podrían justificar una variación en los valores de los factores. Sin embargo, se ha demostrado que el uso extensivo del procedimiento de evaluación rápida no causa errores significativos (OMS, 2002).

Por otra parte, en cuanto a la estimación de emisiones vehiculares, la Unión Europea cuenta con tres métodos de cálculo con niveles crecientes de complejidad denominados Tier 1, Tier 2 y Tier 3 (Winther et al., 2016). A continuación se resumen los métodos Tier 1 y Tier 2⁴.

El método Tier 1 utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de emisiones vehiculares:

$$E_i = \sum_j \left(\sum_m FC_{j,m} \times EF_{i,j,m} \right)$$

Donde:

⁴ El método Tier 3 no se describe debido a que su nivel de complejidad escapa al alcance del presente estudio.

- E_i : emisión del contaminante i (g).
- $FC_{j,m}$: consumo de combustible de la categoría vehicular j utilizando el combustible m (kg).
- $EF_{i,j,m}$: factor de emisión del contaminante i para la categoría vehicular j y para el combustible m (g/kg).

Los factores de emisión correspondientes a este método de cálculo fueron desarrollados con base en el método de cálculo Tier 3 (más detallado que los métodos Tier 1 y Tier 2), asumiendo la existencia de una flota vehicular típica de los países de la Unión Europea (EU-15) y datos de actividad correspondientes al año 1995, de forma tal que el resultado pueda aplicarse a países con flotas vehiculares más antiguas. Se aclara que los factores de emisión de PM informados corresponden a $PM_{2.5}$.

Una posible consecuencia del uso de este método de cálculo es la obtención de resultados conservadores para países cuya flota vehicular incluya unidades que cumplan con estándares de emisiones modernos.

Las emisiones de SO_2 para cada tipo de combustible se determinan asumiendo que todo el azufre del combustible es transformado completamente a SO_2 , utilizando la siguiente ecuación:

$$E_{SO_2,m} = 2 \times k_{S,m} \times FC_m$$

Donde:

- $E_{SO_2,m}$: emisiones de SO_2 para el combustible m (g).
- $k_{S,m}$: contenido en peso de azufre del combustible m (g/g).
- FC_m : consumo del combustible m (g).

Finalmente, las emisiones fugitivas se calculan con la siguiente ecuación:

$$E_{VOC} = \sum_j N_j \times EF_{VOC,j} \times 365$$

Donde:

- E_{VOC} : emisiones anuales fugitivas de COV_s (g).
- N_j : cantidad de vehículos para la categoría vehicular j .
- $EF_{VOC,j}$: factor de emisión de COV_s para la categoría vehicular j (g/veh/d).

Se aclara que, en el cálculo de emisiones fugitivas, sólo se considera el consumo de Gasolina. En el entendido de que la cantidad de vehículos pesados a Gasolina es muy baja, estos no se consideran para el cálculo de emisiones fugitivas. Estos factores de emisión fueron desarrollados aplicando el método Tier 2 bajo ciertas hipótesis con respecto a la tecnología y al tamaño de los vehículos.

Por otra parte, el método Tier 2 tiene en cuenta el consumo de combustible y la tecnología, en cuanto al control de emisiones atmosféricas, de las distintas categorías vehiculares.

En función de lo anterior, este método utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de emisiones vehiculares:

$$E_{i,j} = \sum_k N_{j,k} \times M_{j,k} \times EF_{i,j,k}$$

Donde:

- $E_{i,j}$: emisión del contaminante i para la categoría vehicular j (g).
- $EF_{i,j,k}$: factor de emisión del contaminante i para la categoría vehicular j y para la tecnología k (g/km).
- $M_{j,k}$: Distancia promedio anual recorrida para la categoría vehicular j y para la tecnología k (km/veh).
- $N_{j,k}$: cantidad de vehículos para la categoría vehicular j y para la tecnología k.

Los factores de emisión correspondientes a este método de cálculo fueron desarrollados a partir de la aplicación del método Tier 3 utilizando valores típicos europeos de velocidad de manejo, temperatura ambiente, porcentaje de manejo en zonas rurales, urbanas y en autopistas, distancia recorrida por viaje, entre otros parámetros. Se aclara que los factores de emisión de PM informados corresponden a PM_{2.5}.

4.2.5. Método de cálculo.

Para la aplicación del algoritmo de cálculo de emisiones anuales usando el método de factores de emisión se requieren los siguientes datos de entrada:

- Información sobre el nivel de actividad especificada (A) que caracteriza al proceso considerado, a saber: energía consumida, caudal másico del producto elaborado, caudal volumétrico de la materia prima utilizada, etc.
- Factor de emisión, para transformar la información de actividad en estimaciones de emisión, bajo régimen controlado o no controlado (FE).
- Técnica de captura y rendimiento de remoción (en %) para cada contaminante específico (ER).

La emisión (E) se estima entonces como:

$$E = A \times FE \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

En general la ER está implícita en el factor de emisión, por lo que para un determinado nivel de actividad puede haber diferentes factores de emisión en función de las técnicas de captura.

Finalmente, para estimar la emisión de los contaminantes en términos de masa de contaminante emitido por unidad de tiempo, es necesario conocer el nivel de producción o de consumo de energía por unidad de tiempo.

En general, las emisiones consideradas se encuentran contenidas en uno de los siguientes grupos:

- Emisiones de combustión: son aquellas emisiones resultantes del uso de combustibles en procesos de producción o de generación de vapor o energía, o de la incineración de algunos de los residuos sólidos generados.
- Emisiones del proceso: son aquellas emisiones que resultan de una determinada actividad y que no tienen relación directa con procesos de combustión involucrados en el proceso productivo considerado.

Por otra parte, para los dos nuevos sectores emisores considerados en esta actualización (Erosión Eólica y Rodadura) la metodología de cálculo varía ligeramente con respecto a los sectores emisores incluidos en la versión 2006 del Inventario. A modo de ejemplo, en el caso del sector Erosión Eólica, los factores de emisión no se multiplican por un nivel de actividad sino que los mismos se asocian a diferentes tipos de suelo⁵. De todas maneras la emisión, al igual que en los sectores que figuran en el Inventario 2006, se calcula como el producto de un factor de emisión y una característica del sector (en este caso, la superficie cubierta por determinado tipo de suelo). El sector Rodadura tiene características similares, las emisiones también se calculan como el producto de un factor de emisión y una característica del sector, que en este caso resulta ser el tránsito en caminos nacionales y departamentales sin pavimentar. Para un desarrollo más detallado del cálculo de emisiones en estos sectores, se recomienda la lectura de los informes elaborados en este sentido entre nuestro equipo de investigación y la DINAMA (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2015) (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).

4.3. Contaminantes considerados.

En el presente estudio se consideran los mismos contaminantes atmosféricos cuyas emisiones fueron estimadas en el marco del Inventario 2006⁶. A continuación se mencionan sus principales características.

4.3.1. Óxidos de azufre (SO_x).

Los óxidos de azufre incluyen dióxido de azufre y trióxido de azufre. Por convención se informan los SO_x totales sobre la base del peso molecular del SO₂.

Los procesos antropogénicos, y en particular la quema de combustibles fósiles, constituyen la mayor fuente de emisión de óxidos de azufre. Esto se debe a que el azufre

⁵ Se recuerda que el fenómeno de la erosión eólica es natural, no se consideran actividades humanas vinculadas a la generación de emisiones en este sector.

⁶ Al igual que en el primer Inventario, en este estudio no se consideran las emisiones de metano, dióxido de carbono ni compuestos reducidos de azufre.

está presente como impureza en los combustibles fósiles, siendo más elevado su tenor cuanto más pesado es el combustible.

En general, las emisiones mayoritarias son de SO₂ (gas incoloro y de fuerte olor), pero este se puede oxidar a SO₃, que al presentar una alta afinidad con el vapor de agua, produce entonces ácido sulfúrico H₂SO₄, componente principal de la lluvia ácida (precipitación cuyo pH es menor que 5.6).

Los óxidos de azufre (y en particular el dióxido, que es la forma predominante en los episodios de contaminación atmosférica y que es muy soluble en las mucosas del aparato respiratorio superior) pueden provocar efectos adversos sobre el aparato respiratorio, agravar enfermedades respiratorias o cardiovasculares preexistentes, alterar las defensas pulmonares y aun causar cuadros mortales. La población más sensible a sus efectos está constituida por asmáticos e individuos con enfermedades pulmonares o cardiovasculares crónicas, así como también niños y ancianos.

Los síntomas de la exposición a altas concentraciones de SO₂ son: tos, falta de aliento y flujo nasal.

Es sabido que el SO₂ inhalado por los fumadores (activos y pasivos) puede producir cuadros agudos de bronquitis. Este mismo contaminante, en concentraciones ambientales elevadas, produce bronquitis crónica, daños a la vegetación, e incluso reducción de la visibilidad, cuando las concentraciones superan los 100 µg/m³ y la humedad ambiente es mayor al 50%.

Dentro de los efectos a nivel ambiental se cuentan daños a árboles y cultivos, corrosión de estructuras y edificios (como precursor de la lluvia ácida) y acidificación de cuerpos de agua y de suelos.

En el presente trabajo, las emisiones de óxidos de azufre se calcularon separadamente de acuerdo a las siguientes categorías, en función de los factores de emisión existentes:

- SO_x.
- SO₂.
- SO₃.

A efectos de poder cuantificar las emisiones totales de óxidos de azufre bajo un único indicador, se introdujo el contaminante denominado SO_x Calculado que responde al siguiente criterio: en caso de contar con emisiones de óxidos de azufre se consideró únicamente su valor, y en caso contrario se consideró la suma de emisiones de dióxido de azufre y trióxido de azufre.

4.3.2. Compuestos orgánicos totales (COT).

Los compuestos orgánicos son emitidos por combustión o evaporación. Los gases considerados en las emisiones de hidrocarburos son conocidos como compuestos orgánicos totales (COT). Se incluye a todos los compuestos carbonados excepto los

carbonatos, carburos metálicos, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y ácido carbónico.

Los COT son conocidos también como Gases Orgánicos Totales (GOT); se suelen subdividir en dos grupos: los hidrocarburos y los aldehídos.

La mayor parte de los aldehídos puede causar irritación de la piel, los ojos y el sistema respiratorio, siendo este su efecto más pronunciado. Los aldehídos pueden también tener un efecto anestésico pero las propiedades irritantes de algunos de ellos posiblemente obliguen al trabajador a limitar la exposición antes de que esta sea suficiente como para que se manifiesten los efectos anestésicos. El grado de toxicidad varía mucho dependiendo del compuesto. Algunos aldehídos pueden ser metabolizados rápidamente y no producen efectos adversos. Otros, son cancerígenos confirmados o se sospecha que lo sean. Además, algunos son mutágenos químicos y otros, alergénicos.

Por otra parte, los hidrocarburos (HC) son compuestos orgánicos constituidos predominantemente por moléculas de carbono e hidrógeno. Se clasifican en cuatro tipos, de acuerdo con el ordenamiento de los átomos de carbono en sus moléculas:

- 1) Alifáticos (parafinas: metano, n-hexano, isobutano).
- 2) Aromáticos (benceno, tolueno y naftaleno).
- 3) Cicloparafínicos: naftenos (ciclohexano y metilciclopentano).
- 4) Alquenos.

Cuando se aspiran hidrocarburos, el pulmón resulta ser el principal órgano blanco. La toxicidad pulmonar del hidrocarburo aspirado es el resultado de la inhibición de la actividad surfactante y de la lesión directa de los capilares y el tejido pulmonar. Algunos hidrocarburos son precursores de otros contaminantes secundarios que también tienen efectos perjudiciales para la salud, como por ejemplo el ozono.

El riesgo de aspiración depende de las propiedades de viscosidad, volatilidad y tensión superficial del hidrocarburo. El mayor riesgo en referencia a la aspiración es el que genera un producto de baja viscosidad, baja tensión superficial y gran volatilidad.

Aquellos compuestos orgánicos que se volatilizan a temperatura ambiente y pasan fácilmente a fase gaseosa, presentándose entonces como vapores o gases se denominan Compuestos orgánicos volátiles.

En el presente estudio se estiman emisiones de Compuestos orgánicos totales y de Compuestos orgánicos volátiles. De todas maneras, en este documento se describen únicamente las estimaciones realizadas para la emisión de Compuestos orgánicos volátiles.

4.3.3. Compuestos orgánicos volátiles (COV_s).

Los Compuestos orgánicos volátiles contienen, además de carbono, elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno.

El término COV_s agrupa a una gran cantidad de tipos de compuestos químicos. Una primera categorización de los COV_s es la que separa el metano de los COV_s distintos del metano (NMCOV_s o COV_s no metano). Los principales NMCOV_s son: butano, propano, xileno, alcohol butílico, metiletilcetona, acetona, etilenglicol, tricloroetileno, clorobenceno y limoneno.

Las principales fuentes de emisión de COV_s son: fuentes de origen biológico, vehículos, refinación de petróleo, producción y uso de pinturas, artes gráficas y uso de disolventes orgánicos en el hogar.

La principal importancia ambiental de los COV_s reside en su capacidad de ser precursores del ozono troposférico. Contribuyen en los procesos de smog fotoquímico, al reaccionar con otros contaminantes atmosféricos (como óxidos de nitrógeno) en presencia de radiación solar.

Pueden tener consecuencias muy variables sobre la salud humana, que van desde un alto grado de toxicidad hasta ausencia de efectos conocidos, dependiendo del compuesto y el período de exposición al mismo. Por ejemplo, se sabe que el benceno es un carcinógeno humano, la exposición prolongada o repetida al formaldehído puede provocar riesgo de padecer cáncer en los seres humanos y se sospecha que el percloroetileno también pueda ser cancerígeno.

Además de sus efectos cancerígenos, la exposición a largo plazo a estos COV_s puede causar lesiones de hígado, riñones y sistema nervioso central, mientras que a corto plazo puede causar irritación de los ojos y vías respiratorias, dolor de cabeza, mareos, trastornos visuales, fatiga, pérdida de coordinación, reacciones alérgicas de la piel, náuseas y trastornos de memoria. Según su peligrosidad, se clasifican en varios grupos:

- Extremadamente peligrosos para la salud: benceno, cloruro de vinilo y 1,2 dicloroetano.
- Compuestos de clase A (pueden causar daños ambientales significativos): acetaldehído, anilina, bencilcloruro, tetracloruro de carbono, CFCs, acrilato de etilo, halones, anhídrido maleico, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, triclorotolueno.
- Compuestos de clase B (con menor impacto ambiental): Acetona, etanol.

4.3.4. Óxidos de nitrógeno (NO_x).

Los óxidos de nitrógeno incluyen al monóxido de nitrógeno, al dióxido de nitrógeno y a otros óxidos de nitrógeno menos comunes. Tienen importante participación en el smog fotoquímico.

Estos compuestos se forman como productos de los procesos de combustión, resultan precursores del ozono y en general son eliminados de la atmósfera por deposición seca y húmeda.

En la combustión suele emitirse primero el monóxido de nitrógeno que se forma, por ejemplo, en el interior de los motores de combustión debido a las altas temperaturas y presiones reinantes. El monóxido emitido rápidamente se oxida a dióxido de nitrógeno; por esta razón en general se reporta el valor de NO_x totales sobre la base del peso molecular del NO₂. El dióxido de nitrógeno es poco soluble en agua, por lo que ingresa al aparato respiratorio en estado gaseoso y puede alcanzar a los pulmones. Basta una concentración inferior a 0.1 ppm para que exista impacto respiratorio. La exposición prolongada a bajos niveles de NO₂ incrementa potenciales deficiencias respiratorias.

En algunos casos los NO_x pueden ser precursores de altas concentraciones de PM₁₀ (partículas de diámetro equivalente inferior a 10 µm). También participan en la lluvia ácida, con lo que sus efectos pueden trasladarse a suelos y cuerpos de agua, produciendo episodios de acidificación.

4.3.5. Monóxido de carbono (CO).

El monóxido de carbono es uno de los contaminantes más generalizados, por tener que ver tanto con fuentes fijas como móviles. En efecto, es un gas incoloro e inodoro que aparece como producto de combustiones incompletas.

El monóxido de carbono es un asfixiante químico, ya que su potencial tóxico radica en tener mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo que, si está presente en el aire que ingresa a los pulmones, los glóbulos rojos lo preferirán.

Las primeras molestias aparecen ante concentraciones de 10 a 30 ppm. El primero de estos valores corresponde a una concentración de 2% de carboxihemoglobina en la sangre después de una exposición prolongada de 8 horas. Las concentraciones propias de un ambiente cerrado en el que se fuma (análogas a las que se pueden registrar en zonas de mucho tráfico) pueden alcanzar valores iguales a 100 ppm y producen persistentes dolores de cabeza.

Exposiciones prolongadas pueden causar problemas de aprendizaje, destreza manual o percepción visual. La concentración de carboxihemoglobina en la sangre de una persona fumando puede alcanzar el 15%. Los fumadores a su vez pueden experimentar efectos adversos a menores concentraciones de monóxido de carbono en el ambiente.

4.3.6. Partículas.

Las partículas en suspensión en la atmósfera consisten en una dispersión en aire de materia en estado sólido o líquido, en la que la fase dispersa se presenta en un rango de diámetros aerodinámicos equivalentes de 0,005 μm a 100 μm .

Existen distintos criterios para clasificar a las partículas. Se pueden categorizar en función de su origen, de acuerdo a su diámetro aerodinámico o según su capacidad de ser retenidas en un filtro. En primer lugar, de acuerdo a su origen las partículas pueden ser primarias o secundarias. Los materiales líquidos, sólidos o gaseosos emitidos directamente por la fuente de emisión se conocen como partículas primarias (la referencia PM en general describe las emisiones de las partículas primarias). Por otra parte, los aerosoles formados a partir de material gaseoso por medio de reacciones químicas atmosféricas se denominan partículas secundarias.

Por otra parte, de acuerdo a su diámetro aerodinámico, las partículas se clasifican en partículas suspendidas totales (PST): diámetro menor que 100 μm ; partículas suspendidas (PS): diámetro menor a 30 μm ; PM_{10} : partículas de diámetro aerodinámico inferior a 10 μm ; PM_5 : partículas de diámetro aerodinámico inferior a 5 μm o $\text{PM}_{2.5}$: partículas de diámetro aerodinámico inferior a 2.5 μm . Por último, de acuerdo a su capacidad de ser retenidas en un filtro, las partículas se clasifican como filtrables o condensables. A su vez, este último grupo se subdivide en partículas orgánicas condensables e inorgánicas condensables.

Las partículas pueden tener múltiples efectos sobre el aparato respiratorio, agravar enfermedades respiratorias o cardiovasculares, alterar el sistema inmunológico, producir daños al tejido pulmonar, generar cáncer o producir la muerte. Los niños y ancianos, más aquellos individuos con enfermedades respiratorias o cardiovasculares crónicas, asma o gripe, constituyen la población más sensible a los efectos de las partículas.

Los polvos son susceptibles de causar irritación de los ojos y afecciones sobre distintas partes del aparato respiratorio. Las características físico-químicas del polvo inhalado determinarán el punto de acción de los contaminantes y la posibilidad de una clasificación más fina de los mismos.

Las partículas de gran tamaño (diámetro aparente superior a 30 μm) tienen una velocidad de sedimentación apreciable. Su potencial de penetración en las vías respiratorias es bajo; normalmente estas partículas son retenidas en las vías respiratorias superiores, a nivel de las fosas nasales. Las partículas de diámetro inferior a 10 μm (PM_{10}) son las más susceptibles de generar afecciones respiratorias, ya que en general no sedimentan. Las comprendidas entre 5 μm y 10 μm reciben el nombre de "fracción inhalable", a diferencia de aquellas inferiores a 5 μm (PM_5) que reciben el nombre de "fracción respirable". La fracción inhalable penetra por las vías respiratorias pero normalmente no accede hasta los pulmones, lo que sí sucede con la fracción respirable. A su vez, la fracción respirable se suele representar por el contenido de partículas de diámetro aerodinámico inferior a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$).

Como efecto ambiental remarcable, las partículas $PM_{2.5}$ juegan un papel relevante sobre la pérdida de visibilidad. Altas concentraciones de partículas en el ambiente, pueden causar un incremento en la mortalidad y morbilidad de individuos con enfermedades respiratorias o cardiovasculares previas.

En este estudio se calcularon las emisiones atmosféricas de diversas fracciones de partículas, a saber:

- PM_{10} .
- PM Filtrable.
- PM Condensable.
- PM Inorgánico Condensable.
- PM Orgánico Condensable.
- PST.

Para algunos de los sectores analizados no se contó con factores de emisión para todas las fracciones de partículas consideradas. En estos casos, y con el objetivo de obtener estimaciones de todas las fracciones, se utilizaron los siguientes parámetros auxiliares:

- PM Filtrable Calculado: definido igual al valor de PM Filtrable en caso de existir, e igual al valor de PM_{10} en caso contrario.
- PM Condensable Calculado: definido igual al valor de PM Condensable en caso de existir, e igual a la suma de los valores de PM Inorgánico Condensable y PM Orgánico Condensable en caso contrario.
- PST Calculado: definido igual al valor de PST en caso de existir, e igual a la suma de los valores de PM Filtrable Calculado y PM Condensable Calculado en caso contrario.

En el presente documento se analizarán las emisiones de PM_{10} y PST Calculado. La utilización de este último parámetro tiene el objetivo de contar con estimaciones de emisiones de PST para todos los sectores de actividad analizados.

4.4. Fuentes emisoras consideradas.

Los contaminantes pueden ser emitidos a la atmósfera por una gran diversidad de fuentes. Algunas de estas fuentes emiten sólo una clase de contaminantes, mientras que la gran mayoría emite simultáneamente una diversidad de ellos.

Dependiendo de la actividad que origina la emisión, las fuentes pueden clasificarse en naturales o antropogénicas.

Además, las mencionadas fuentes emisoras pueden sub-dividirse en fuentes puntuales, lineales o superficiales. Este estudio incluye fuentes puntuales fijas y móviles antropogénicas y fuentes superficiales antropogénicas y naturales. Esta sub-división de fuentes emisoras se describe a continuación con mayor profundidad:

- Fuentes puntuales: son aquellas que, a los efectos prácticos y en la escala de trabajo, pueden asemejarse a un único punto de emisión de contaminantes. La descarga de fuentes puntuales fijas se efectúa convencionalmente a través de chimeneas. La distinción entre fuentes puntuales y superficiales puede ser arbitraria; sin embargo, es requerida a los efectos de la recopilación de información para la elaboración del Inventario de Emisiones.
- Fuentes lineales: son aquellas que por sus características (y a los efectos de su estudio) pueden tratarse como una traza continua (es decir, se les asigna una única dimensión) desde la que se produce la emisión. Este es el caso de las vías de tránsito por encima de una cierta densidad vehicular mínima. En verdad, las fuentes emisoras son fuentes puntuales móviles (cada vehículo) pero en el contexto de un caso de estudio que trabaje en una escala que no sea extremadamente detallada, la aproximación de fuente lineal es muy adecuada.
- Fuentes superficiales: son aquellas que, por su extensión, a la escala de trabajo deben ser consideradas como fuentes bidimensionales, no admitiendo ser tratadas ni como fuentes puntuales ni como fuentes lineales. En una cierta escala de trabajo, una fuente de área o superficial puede ser un vertedero de residuos sólidos o un tanque a cielo abierto, por ejemplo. Trabajando a grandes escalas espaciales, una ciudad geográficamente extensa podría ser considerada una fuente de área. Las principales fuentes superficiales son las siguientes: combustión en fuentes fijas domésticas o comerciales, pilas, tanques, uso de solventes, almacenamiento y transporte de derivados del petróleo, fuentes correspondientes a industria liviana, fuentes agropecuarias, manejo y disposición de residuos sólidos o eventualmente líquidos y fuentes de área misceláneas.

Las fuentes naturales habitualmente consideradas en Inventarios de Emisiones a la Atmósfera son las emisiones de origen biológico y las emisiones desde los suelos. Las emisiones de origen biológico consideran como fuente la vegetación (pastos, cultivos, arbustos, bosques, etc.), que emite cantidades significativas de hidrocarburos. En el caso de los suelos, se puede mencionar la emisión de óxido nitroso y dióxido de nitrógeno. Estas emisiones pueden depender de variables como el tipo de suelo, la humedad, la temperatura, el tipo de cultivo y otras prácticas agrícolas.

Por otra parte, la erosión eólica puede ser considerada como una fuente de emisión natural que habitualmente se clasifica dentro de las fuentes de área. Esta fuente emisora resulta ser la fuente natural considerada en el presente estudio, resultando su incorporación uno de los aspectos novedosos del presente Inventario, en comparación con su primera versión.

4.5. Características temporales y año base.

Las características temporales que deben ser consideradas en el Inventario son: el período de tiempo y la resolución temporal. Para Inventarios de gran escala en general el período de tiempo es de un año, lo que significa que las unidades de emisión del Inventario serán por año (por ejemplo, ton NO_x/año).

La variabilidad temporal se entiende como la fluctuación de las emisiones en el tiempo. Cuando a la escala de trabajo no interesa más que un valor global correspondiente a la unidad de tiempo con que se trabaja en el Inventario (en este caso, un año), la variabilidad no reviste interés. En este estudio no se considerará la variabilidad temporal, es decir, se calcularán emisiones a escala anual sin considerar en qué períodos del año han sido emitidos los contaminantes. Puede interesar posteriormente discriminar temporalmente ciertas emisiones que no ocurren en forma uniforme en el tiempo, sino que son claramente estacionales o zafrales.

El año base es el que se considera para el cálculo de las emisiones. En este caso se ha seleccionado al año 2015 como año base del estudio. Para algunas fuentes emisoras del sector industrial se contó con información para un año distinto al 2015. En esos casos, la información fue incluida en el Inventario de todos modos, quedando debidamente documentado el número de industrias en esta situación particular en el capítulo correspondiente a las emisiones industriales. En este sentido, la información correspondiente a la flota vehicular utilizada tampoco correspondió al año 2015. Este hecho se explica en detalle en la sección 4.6.8 del presente documento.

4.6. Fuentes de información.

4.6.1. Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA-MVOTMA).

Con el objetivo de estimar las emisiones atmosféricas del sector Industrial, se obtuvo información de la División Control y Desempeño Ambiental de la DINAMA.

El Decreto 253/79 y sus actualizaciones (Presidencia, 1979) regula las autorizaciones de vertido de efluentes. El interesado en realizar un vertimiento, ya sea a colector, a curso de agua o a terreno, debe comparecer ante la División Control y Desempeño Ambiental de la Dirección Nacional de Medio Ambiente del MVOTMA y presentar una Solicitud de Autorización de Desagüe Industrial (SADI). La SADI no sólo se refiere a desagües industriales sino que también puede abarcar en algunos casos a los desagües domésticos. En dicha solicitud se presenta información detallada sobre el emprendimiento.

Una vez aprobado el proyecto de la Planta de Tratamiento de Efluentes, el propietario queda obligado a la presentación de los Informes Ambientales de Operación (IAO) en forma periódica, en los que se actualiza la información presentada en la SADI, además de dar datos de funcionamiento del período informado. Más allá que ambos tipos de

documentos han aportado información a los efectos de la realización del presente Inventario, los Informes Ambientales de Operación han sido los documentos más utilizados en la elaboración del presente estudio, atendiendo a la gran cantidad de información actualizada que incluyen sobre consumos de combustible y emisiones atmosféricas.

En la información disponible recopilada se identifican tres categorías de datos:

1. Datos generales: se recopilan para toda instalación con el objetivo de caracterizarla (a los efectos de futuras actualizaciones) y localizarla. Los campos específicos para cada establecimiento industrial son:
 - Rubro industrial.
 - Razón social.
 - Número de enlace (identificador asignado por la DINAMA).
 - Año informado.
 - Departamento.
 - Horas por día de funcionamiento.
 - Días por mes de funcionamiento.
 - Meses por año de funcionamiento.
 - Características de las fuentes emisoras: tipo, cantidad, ubicación, potencia, horas anuales de operación, sistema de control de emisiones y caudal de emisión.
2. Datos relacionados con la actividad de la industria: se recopilan con el fin de tener datos de base para la estimación de emisiones por el método de factores de emisión. Como criterio temporal se procuró recabar información correspondiente al año 2015. En caso de no encontrarse disponible la información requerida para el año 2015, se utilizó la información existente, aclarando el año informado. En los casos en donde se reportó información para varios años distintos al 2015, se utilizó la información correspondiente al año más próximo (en caso de existir información para años anteriores y posteriores al 2015 con la misma diferencia temporal, se trabajó con la información correspondiente al año anterior a 2015). A continuación se indican algunos ejemplos de este tipo de información:
 - Consumo de Gas Oil (m³/año).
 - Consumo de Leña (ton/año).
 - Consumo de Fuel Oil (m³/año).
 - Consumo de Gas Natural (m³/año).
 - Consumo de Gas Butano (m³/año).
 - Consumo de Gas Propano (m³/año).
3. Datos de emisiones medidas: de ser representativas en lo que respecta a la producción, funcionamiento del sistema de control, etc. son los mejores datos posibles a considerar, puesto que son datos de emisiones reales propios de cada instalación. A continuación se indica la información recopilada de este tipo para cada fuente emisora de cada industria:

- Concentración media⁷ registrada de PM₁₀ (mg/m³).
- Concentración media registrada de PST (mg/m³).
- Concentración media registrada de SO₂ (mg/m³).
- Concentración media registrada de NO_x (mg/m³).
- Concentración media registrada de CO (mg/m³).
- Concentración media registrada de COV_s (mg/m³).

Además de lo anterior, se utilizó la información relativa a las emisiones por rodadura de vehículos y por erosión eólica contenida en los informes respectivos pertenecientes a la DINAMA (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017) (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2015).

4.6.2. Dirección Nacional de Energía (DNE-MIEM).

Esta Dirección Nacional ha aportado información para el cálculo de emisiones atmosféricas de los sectores Agropecuario, Residencial, Servicios y Comercios y Vehicular.

En primer lugar, se ha utilizado información relativa al consumo de combustible presente en el Balance Energético Nacional (BEN) del año 2015 (DNE-MIEM, 2015). El Balance Energético Nacional presenta la información relativa a producción, transformación y consumo de energía. Es una herramienta normalmente utilizada para la planificación energética y de gran utilidad a los efectos de lograr una cuantificación inicial de las emisiones atmosféricas de fuentes no puntuales.

Los valores del BEN están expresados en ktep (miles de toneladas equivalentes de petróleo). Una tonelada equivalente de petróleo (tep) corresponde a 10 millones de kilocalorías. La conversión de las magnitudes correspondientes a cada fuente a su expresión en ktep se realiza a través de su respectivo poder calorífico inferior (PCI).

En la Tabla 2 se presentan los PCI de diferentes combustibles considerados en el marco del presente estudio.

Tabla 2: Poderes caloríficos inferiores de los combustibles considerados para el cálculo de emisiones. Fuente: (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).

Combustible	PCI	Unidad
Carbón Vegetal	7500	kcal/kg
Diesel Oil	9049	kcal/L
Fuel Oil	9519	kcal/L
Gas Natural	8300	kcal/m ³
Gas Oil	8656	kcal/L
Leña	2700	kcal/kg
Gasolina	7720	kcal/L

⁷ Calculada como el promedio de todas las mediciones de concentración informadas.

Gas Propano	5673	kcal/L
Queroseno	8324	kcal/L
Supergás	6048	kcal/L
Residuos de Biomasa	2700	kcal/kg

Según datos del Balance Energético Nacional 2015 (DNE-MIEM, 2015), el consumo de energía ha experimentado un aumento entre el año 2006 y el año 2015 para todos los sectores de consumo considerados en el presente estudio. Este hecho se visualiza en la Ilustración 12.

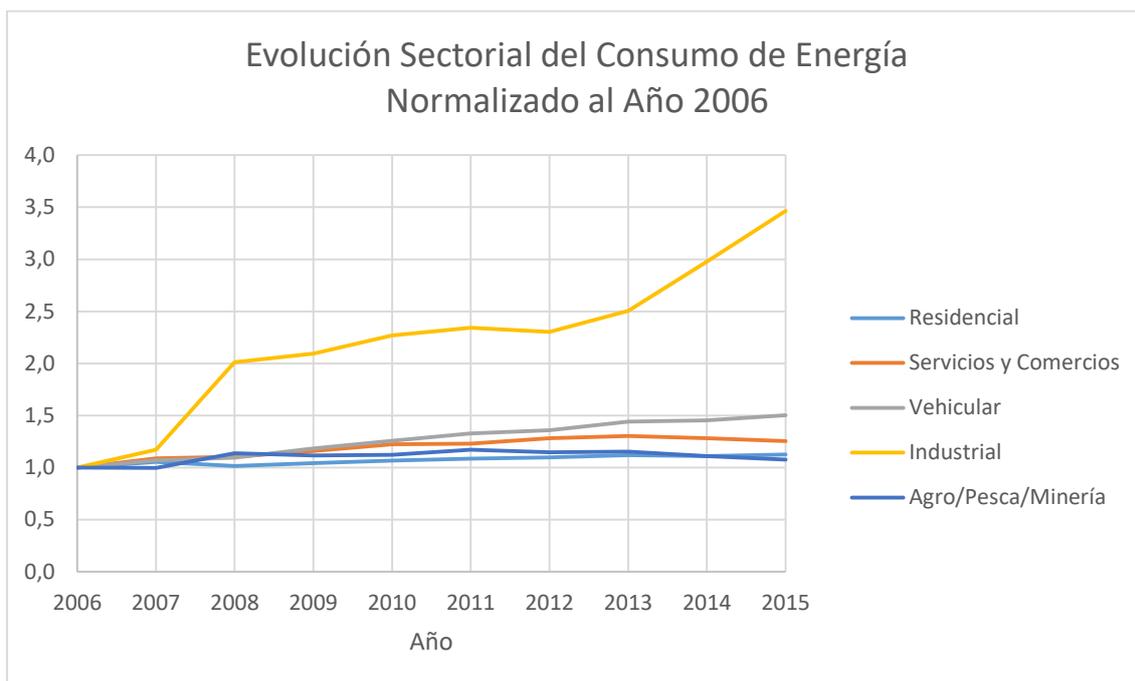


Ilustración 12: Evolución sectorial del consumo energético normalizado al año 2006. Fuente: elaboración propia a partir de (DNE-MIEM, 2015).

En términos absolutos, el consumo de energía para todos los sectores analizados durante 2015 fue igual a 4398.5 ktep, resultando ser 1.8 veces superior aproximadamente al experimentado durante el año 2006. Por otra parte, la distribución del consumo energético por sector también se ha modificado entre 2006 y 2015, de forma tal que el sector Industrial ha incrementado su participación en el consumo total de energía (Ilustración 13).

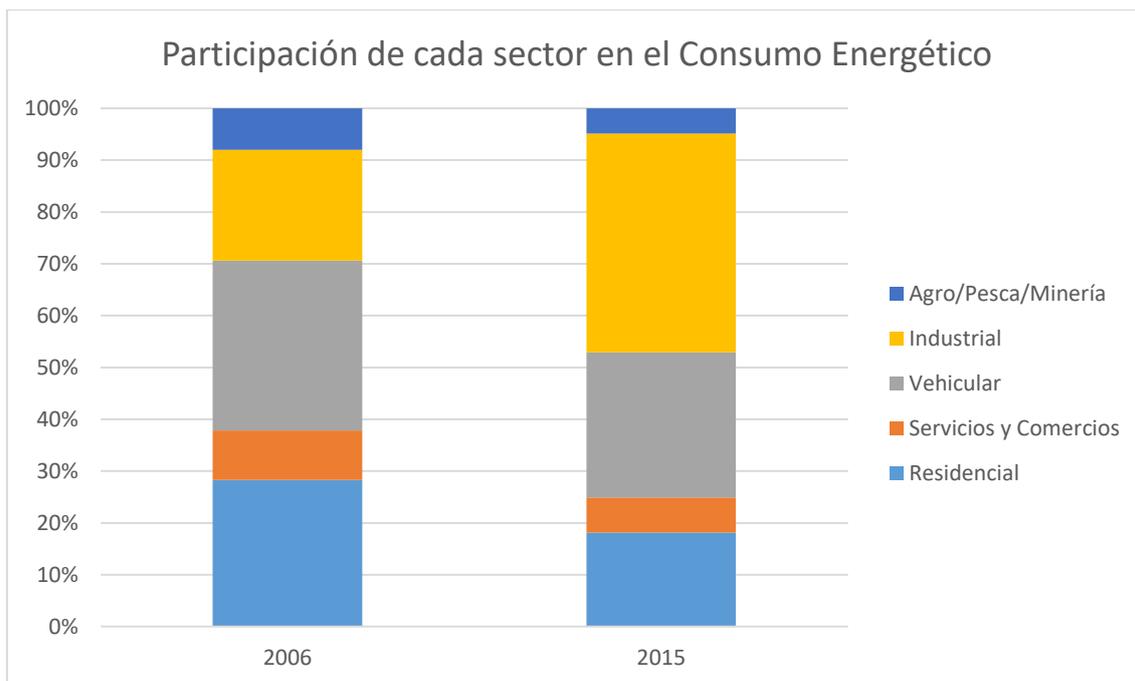


Ilustración 13: Participación en el consumo energético de cada sector considerado para el cálculo de emisiones (comparación 2006-2015). Fuente: elaboración propia a partir de (DNE-MIEM, 2015).

El detalle del consumo energético por sector (combustibles y usos) figurará en los capítulos específicos de cada uno de ellos.

Más allá de la información contenida en el Balance Energético Nacional, en algunos casos fue necesario realizar una consulta a la Dirección Nacional de Energía debido a la necesidad de contar con información más detallada. Estos casos se listan en la Tabla 3.

Tabla 3: Información de consumo de energía solicitada a la Dirección Nacional de Energía. Fuente: elaboración propia.

Sector	Información solicitada
Agropecuario	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de Gas Oil, Queroseno y Gasolina discriminado por usos Desagregación del consumo del Sector Agro/Minería en los Sub-Sectores Agro y Minería
Residencial	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de Gas Natural discriminado por usos Consumo de Leña discriminado en consumo en estufa y en caldera
Servicios y Comercios	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de Gas Natural, Gas Oil, Diesel Oil, Leña, Gasolina y Residuos de Biomasa discriminado por usos
Vehicular	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de Gasolina y Gas Oil discriminado por categoría vehicular

4.6.3. Dirección Nacional de Transporte (DNT-MTOP).

En el marco del presente estudio se utilizó información contenida en el Anuario Estadístico de Transporte 2016 (MTOP, 2016), publicado por la Dirección Nacional de Transporte, para la estimación de emisiones por rodadura en caminos no pavimentados. Específicamente, a continuación se lista la información consultada:

- Longitud de red en pavimento de tosca (km) para cada Departamento.
- Tránsito sobre pavimento de tosca (veh/d) para cada Departamento.

4.6.4. Instituto Nacional de Estadística (INE).

El INE publica en sus distintos censos las distribuciones de población total, urbana y rural por Departamento. Estos datos serán utilizados en el procesamiento para la distribución por Departamento de la información que no se encuentra desagregada de esa forma. En particular, se utiliza información del INE en el marco del cálculo de emisiones atmosféricas de los sectores Rodadura, Agropecuario, Residencial y Servicios y Comercios.

En cuanto a la información censal necesaria, en el presente estudio se han utilizado los resultados del Censo 2011 (Ilustración 14).

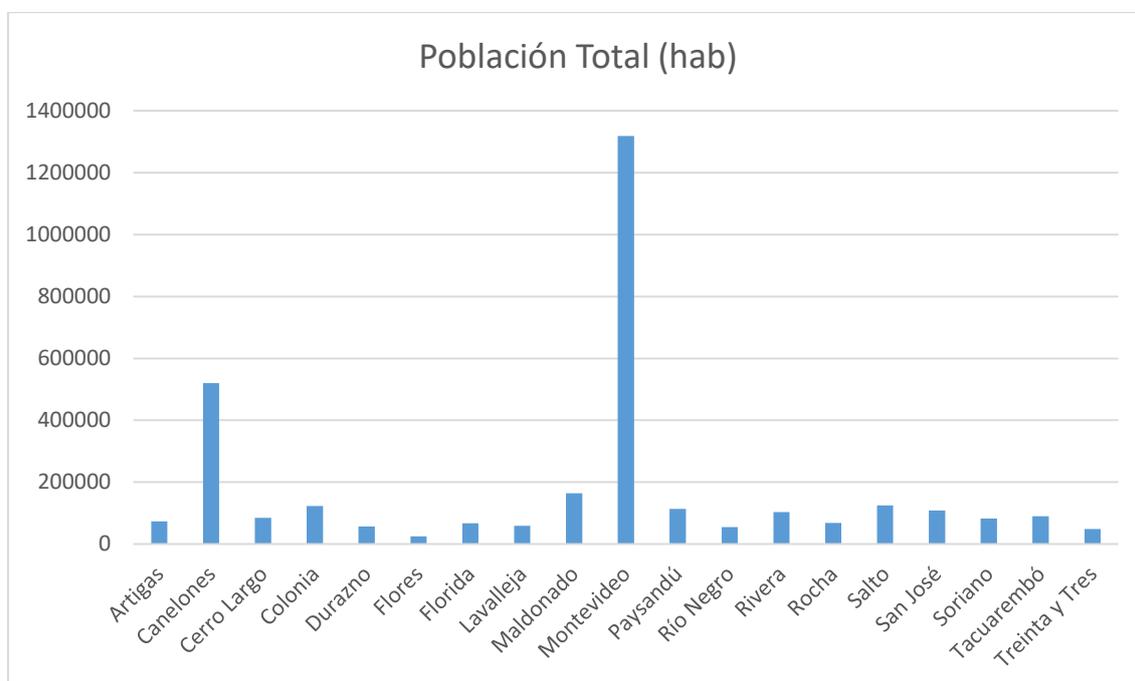


Ilustración 14: Población total por Departamento (Censo 2011). Fuente: (INE, n.d.).

También se ha empleado como insumo el dato de población (para el año 2011) de las localidades que poseen abastecimiento de Gas Natural. Estos datos se han aplicado para la distribución departamental del consumo de Gas Natural (Tabla 4).

Tabla 4: Población abastecida por gas natural. Fuente: (INE, n.d.).

Departamento	Localidad	Población (hab)
Colonia	Colonia del Sacramento	26231
	Juan Lacaze	12816
	Nueva Helvecia	10630
San José	San José de Mayo	36747
Paysandú	Paysandú	76429
Canelones	Las Piedras	71268
	Pando	25949
	La Paz	20526
	Canelones	19865
	El Pinar	21091
	Solymer	18573
	Barros Blancos	31650
	Empalme Olmos	4199
	Shangrilá	3195
Montevideo	Montevideo	1319108

Por último, para el cálculo de las emisiones del sector Rodadura, se utilizó información de la Encuesta Continua de Hogares para la estimación del flujo vehicular en Montevideo (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).

4.6.5. Dirección General de Recursos Naturales (DGRN-MGAP).

En el marco del cálculo de las emisiones atmosféricas del sector Erosión Eólica se utilizó la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000 elaborada por esta Dirección (Ilustración 15 e Ilustración 16).

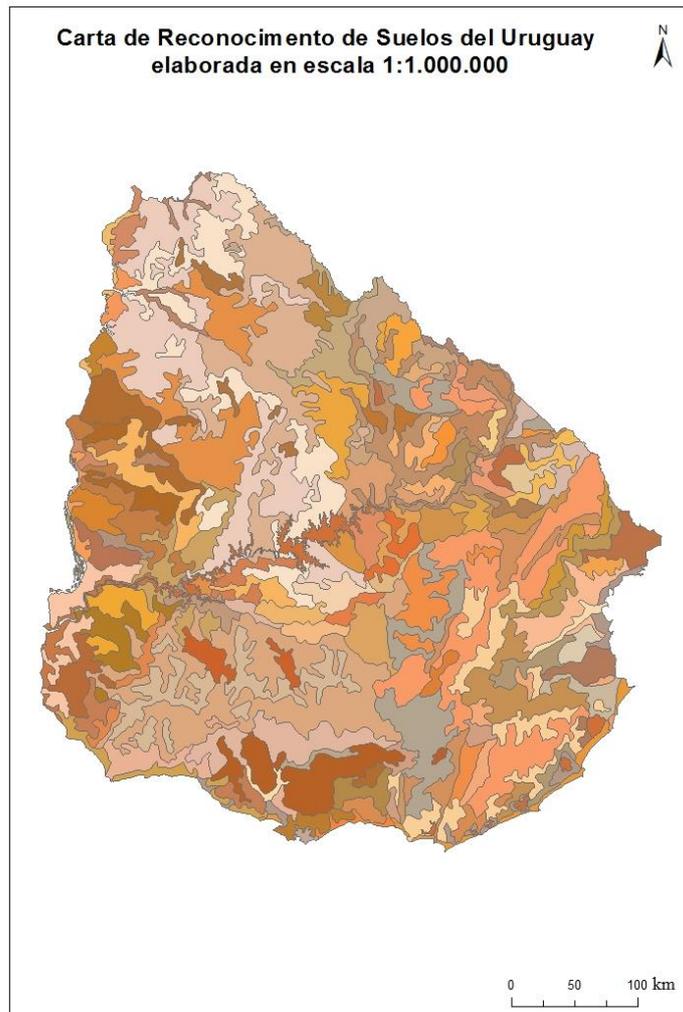


Ilustración 15: Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (escala 1:1.000.000). Fuente: (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2015).

Referencias

CRSU

UNIDAD

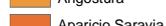
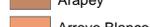
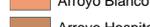
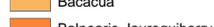
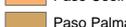
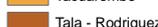
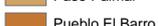
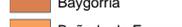
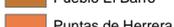
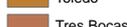
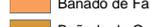
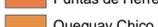
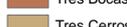
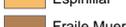
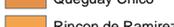
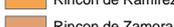
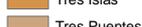
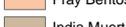
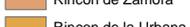
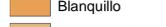
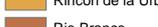
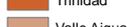
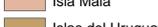
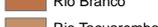
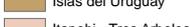
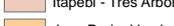
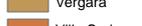
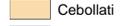
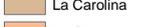
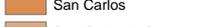
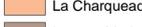
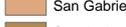
 Alferez	 Constitucion	 Lechiguana	 San Manuel
 Algorta	 Cuaro	 Libertad	 San Ramon
 Andresito	 Cuchilla Caraguata	 Los Mimbres	 Santa Clara
 Angostura	 Cuchilla Corrales	 Manuel Oribe	 Sarandi de Tejera
 Aparicio Saravia	 Cuchilla Manguera	 Masoller	 Sierra Mahoma
 Arapey	 Cuchilla Santa Ana	 Montecoral	 Sierra de Aigua
 Arroyo Blanco	 Cuchilla de Corralito	 Montevideo	 Sierra de Animas
 Arroyo Hospital	 Cuchilla de Haedo - Paso de los Toros	 Palleros	 Sierra de Polanco
 Bacacua	 Curtina	 Paso Coelho	 Tacuarembo
 Balneario Jaureguiberry	 Ecilda Paullier - Las Brujas	 Paso Palmar	 Tala - Rodriguez
 Baygorria	 El Ceibo	 Pueblo El Barro	 Toledo
 Bañado de Farrapos	 El Palmito	 Puntas de Herrera	 Tres Bocas
 Bañado de Oro	 Espinillar	 Queguay Chico	 Tres Cerros
 Bellaco	 Fraile Muerto	 Rincon de Ramirez	 Tres Islas
 Bequelo	 Fray Bentos	 Rincon de Zamora	 Tres Puentes
 Blanquillo	 India Muerta	 Rincon de la Urbana	 Trinidad
 Capilla de Farruco	 Isla Mala	 Rio Branco	 Valle Aigua
 Carape	 Islas del Uruguay	 Rio Tacuarembo	 Valle Fuentes
 Carpinteria	 Itapebi - Tres Arboles	 Risso	 Vergara
 Cañada Nieto	 Jose Pedro Varela	 Rivera	 Villa Soriano
 Cebollati	 Kiyu	 Salto	 Yi
 Cerro Chato	 La Carolina	 San Carlos	 Young
 Chapicuy	 La Charqueada	 San Gabriel - Guaycuru	 Zapallar
 Colonia Palma	 Laguna Merin	 San Jacinto	 Zapican
	 Las Toscas	 San Jorge	 agua
	 Lascano	 San Luis	

Ilustración 16: Referencias de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Fuente: (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-Fing, 2015).

4.6.6. Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP).

Para el cálculo de las emisiones del sector Rodadura se solicitó información a la Oficina de Planeamiento y Presupuesto relativa a la caminería departamental. Específicamente, a continuación se lista la información solicitada para cada tramo de caminería:

- Departamento.
- Longitud (m).
- Madera transportada (ton).
- Granos transportados (ton).
- Ganado transportado (ton).
- Leche transportada (ton).

4.6.7. Sistema de Información Territorial (SIT-MVOTMA).

Para el cálculo de las emisiones atmosféricas del sector Erosión Eólica se utilizó el Mapa de Cobertura del Suelo 2015, elaborado en el marco del Sistema de Información Territorial del MVOTMA (Ilustración 17).

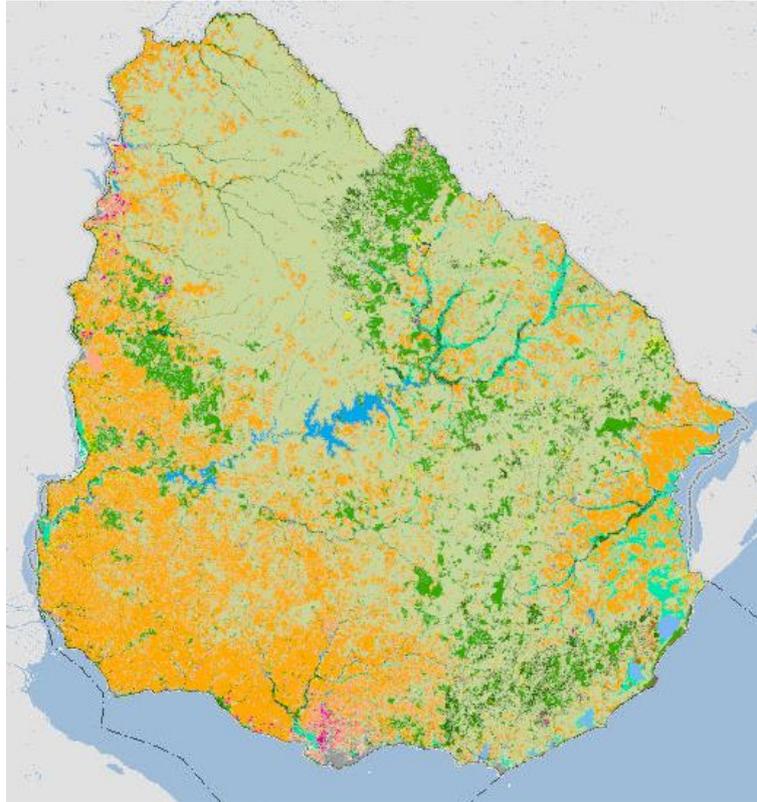


Ilustración 17: Mapa de cobertura del suelo 2015. Fuente: (MVOTMA, n.d.).

4.6.8. Sistema Único de Cobro de Ingresos Vehiculares (SUCIVE).

Con el objetivo de calcular las emisiones del sector Vehicular se utilizó información de SUCIVE relativa a la flota vehicular nacional.

SUCIVE mantiene actualizada la flota vehicular nacional (SUCIVE, 2018), informando la cantidad de vehículos de acuerdo al año de los modelos comercializados y por Departamento agrupados en cuatro categorías:

- Categoría A: autos, camionetas, incluidos los vehículos sin chofer o de alquiler, ambulancias, casas rodantes con propulsión propia, carrozas fúnebres, furgones, ómnibus y micros.
- Categoría B: camiones.
- Categoría C: motos, ciclomotores, motonetas, triciclos, cuatriciclos, etc.
- Categoría E: zorras, remolques, casas rodantes sin propulsión propia e industrial-agrícola.

A partir del estudio de las categorías vehiculares utilizadas por SUCIVE, se entendió necesario obtener información de la Categoría A con un mayor nivel de detalle. Esto se debió a la diferencia apreciable entre vehículos livianos y ómnibus en relación con sus emisiones atmosféricas. Esta información fue proporcionada directamente por SUCIVE, a través de su fiduciaria, República Afisa.

En definitiva, se utilizó el parque vehicular proporcionado por SUCIVE, con fecha de actualización 09/03/2018⁸ para la obtención de las flotas vehiculares correspondientes a las Categorías B, C y E, y por otra parte información directamente proporcionada por República Afisa, para el año 2017, para la obtención de las flotas vehiculares correspondientes a la Categoría A (con la distinción entre vehículos livianos y ómnibus).

En el parque vehicular obtenido directamente de SUCIVE se informa el “año modelo” del vehículo. Por otro lado, los datos obtenidos de República Afisa informan el año del primer empadronamiento de los vehículos. En el marco del presente estudio, estas variables se asumieron idénticas.

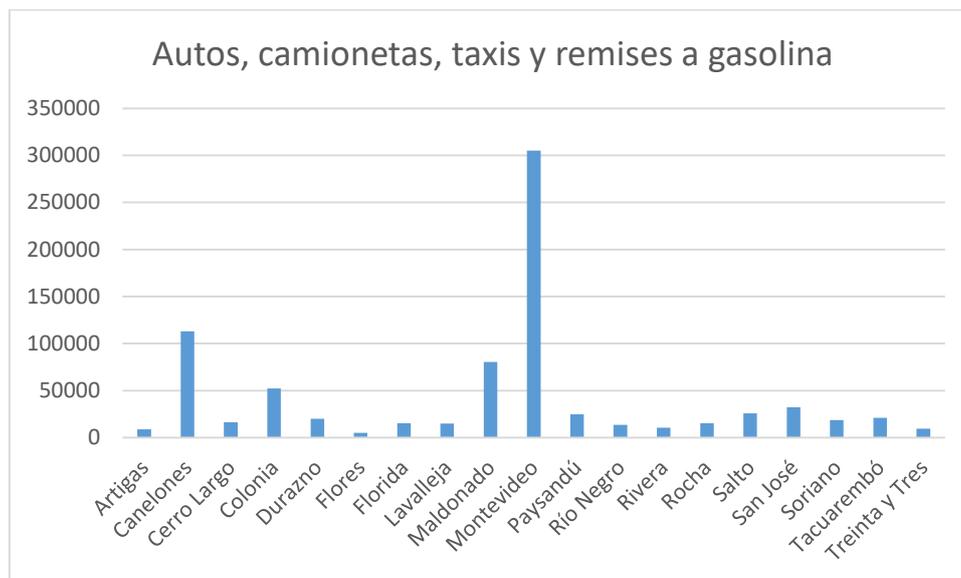


Ilustración 18: Flota departamental de la categoría vehicular denominada Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina. Fuente: elaboración propia a partir de (SUCIVE, 2018).

Para el cálculo de las emisiones vehiculares, en el presente estudio se aplicó el método Tier 2 de la Unión Europea (descrito en la sección 4.2.4 del presente documento). Para su aplicación, fue necesario determinar las fracciones de las flotas de las categorías vehiculares pertenecientes a las distintas normas de emisiones de la Unión Europea. Para realizar esto último, fue necesario definir el período temporal de aplicación de cada norma de emisiones⁹ (Tabla 5). Por último, se asignó a cada norma de emisiones la cantidad de vehículos empadronados en cada Departamento dentro del período temporal de aplicación de cada una de ellas¹⁰ (Ilustración 19).

⁸ De acuerdo a conversaciones personales mantenidas con integrantes de República Afisa, se consideró razonable utilizar esta información para la estimación de la flota vehicular al año 2015.

⁹ Asignado de acuerdo al período temporal de validez de cada norma en la Unión Europea.

¹⁰ Este procedimiento fue evaluado a través de un análisis de sensibilidad, presentado como anexo a este documento (Anexo N°1).

Tabla 5: Período temporal de aplicación de las normas EURO para la categoría vehicular denominada Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina. Fuente: elaboración propia.

Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina	
Norma EURO	Período temporal de aplicación
Pre ECE	Hasta 1971
ECE-15.00 y ECE-15.01	1972-1977
ECE-15.02	1978-1980
ECE-15.03	1981-1985
ECE-15.04	1986-1992
Euro 1	1993-1995
Euro 2	1996-1999
Euro 3	2000-2004
Euro 4	2005-2009
Euro 5	2010-2014
Euro 6	2015 en adelante

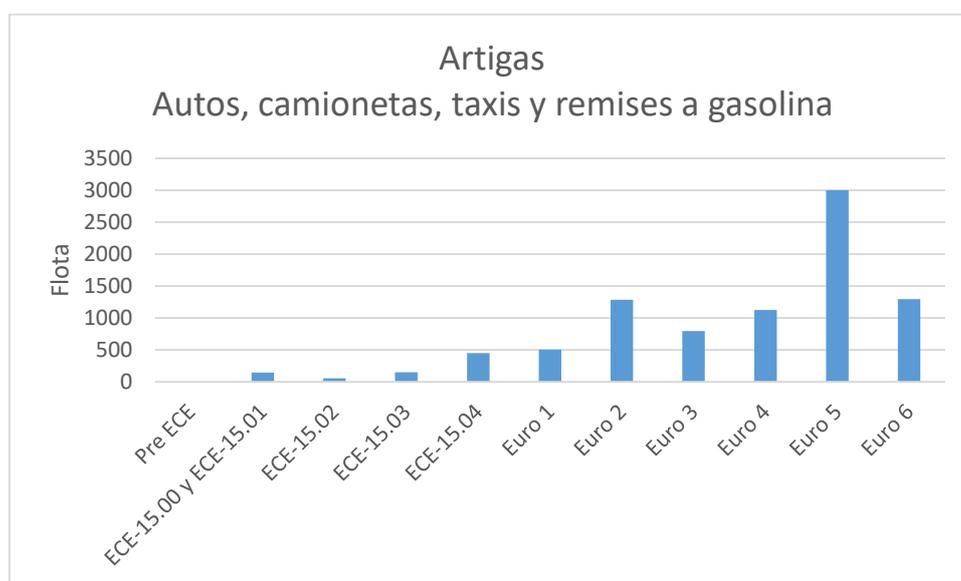


Ilustración 19: Flota de la categoría vehicular denominada Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina, discriminada por tecnología de control de emisiones para el Departamento de Artigas. Fuente: elaboración propia a partir de (SUCIVE, 2018).

Tal cual se mencionó, en el Anexo Nº1 del presente documento se realiza un análisis de sensibilidad de las emisiones de vehículos livianos, con respecto a la hipótesis de cálculo que asigna la norma de emisiones a un vehículo en función de su año de empadronamiento.

Para realizar este análisis de sensibilidad, se supuso que la flota de vehículos livianos presenta una antigüedad mayor a la informada en el año del primer empadronamiento. Luego, se calcularon las emisiones atmosféricas resultantes y se efectuó una comparación con las emisiones obtenidas utilizando la información disponible.

Para el peor escenario evaluado, en el cual la flota nacional de vehículos livianos presentaba una antigüedad 5 años mayor a la informada en el año del primer

empadronamiento, se obtuvo que las emisiones de partículas aumentaron en un 10%, las de NO_x en un 8%, las de CO en un 38% y las de COV_s en un 32%.

Se destaca en este punto que estos incrementos experimentados en las emisiones vehiculares, considerando que los vehículos livianos presentan una antigüedad 5 años mayor a la informada en el año del primer empadronamiento, no modifican sensiblemente los resultados del cálculo de emisiones para cada contaminante bajo estudio.

De acuerdo con lo anterior, se entendió que la hipótesis considerada resulta razonable.

4.7. Documentación de la información.

Siguiendo la metodología utilizada en el Inventario 2006, en este estudio la información de base, los cálculos y los resultados se presentan en planillas electrónicas.

Se ha elaborado una planilla electrónica por sector considerado para todos los sectores salvo el Industrial. Para este sector se ha elaborado una planilla para cada rubro industrial.

Las planillas de cálculo se estructuran en diferentes hojas de cálculo. En general¹¹, las hojas de cálculo presentes en las planillas se denominan de la siguiente forma:

- Información Básica: se presenta información general necesaria para el cálculo de emisiones o para la distribución de las emisiones calculadas entre los distintos Departamentos.
- Producción y Consumo: en esta hoja figuran las cantidades consumidas de diferentes combustibles y, en algunos casos, los volúmenes de producción, en caso que los mismos afecten las emisiones atmosféricas generadas.
- Factores de Emisión: se presentan los factores de emisión utilizados para el cálculo (agrupados por contaminante y actividad emisora).
- Hipótesis de Cálculo: se listan las hipótesis de cálculo consideradas.
- Sistemas de Control: si existen, se presentan las eficiencias de remoción de los sistemas de control, para cada contaminante.
- Cálculos: en esta hoja se realiza el cálculo de emisiones por el método de factores de emisión.
- Mediciones: en caso de existir, en esta hoja se presentan los resultados de mediciones de emisiones atmosféricas.
- Resumen: aquí se resumen las emisiones atmosféricas generadas por el sector o rubro industrial en cuestión (medidas y calculadas por factores de emisión), y se presentan algunos gráficos ilustrativos.

¹¹ Algunos sectores emisores presentan hojas de cálculo diferentes en función de la información necesaria para la estimación de emisiones.

Más allá de la descripción anterior, en la sección 5.2 de este documento se presenta una descripción más detallada de la estructura de las planillas de cálculo elaboradas. Además, en el Anexo N°2 del presente informe se presenta un manual de uso de las planillas de cálculo. Este manual constituye una guía detallada de uso de las planillas que permitirá efectuar tanto la actualización del presente estudio como la evaluación de escenarios futuros de emisiones atmosféricas.

4.8. Evaluación de la congruencia de los resultados.

En el marco del presente estudio se han seguido cinco estrategias diferentes tendientes a evaluar la congruencia de los resultados obtenidos:

- Teniendo en cuenta que la información para el cálculo de emisiones del sector Industrial se obtuvo de la DINAMA, se realizó la comparación entre el consumo de energía del sector Industrial informado por DINAMA y el que figura en el Balance Energético Nacional 2015.
- En los casos para los que se contó con mediciones de emisiones, se realizó la comparación entre dichas mediciones y las estimaciones de emisiones calculadas con el método de factores de emisión.
- Se realizó un análisis de sensibilidad de las emisiones calculadas para hipótesis de cálculo carentes de respaldo bibliográfico.
- En los distintos cálculos de emisión, se observa el dato calculado de forma de verificar que este se encuentra dentro del orden de magnitud para el rubro o el sector particular considerado, a modo de verificación del cálculo efectuado.
- Se realizó la comparación entre las emisiones calculadas de CO, NO_x y SO₂ y aquellas reportadas en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) 2014 (MVOTMA & SNRCC, 2017) para los mismos contaminantes.

En los capítulos que siguen se presentarán las mencionadas estrategias, comentándose los resultados obtenidos.

Cabe destacar que las planillas de cálculo elaboradas fueron evaluadas en detalle, atendiendo a la lógica de cálculo y al correcto ingreso de los factores de emisión utilizados. En este punto se remarca el apoyo, por parte de la Dirección Nacional de Medio Ambiente, en la revisión de la información ingresada en las planillas para el cálculo de emisiones del sector Industrial.

5. Emisiones Atmosféricas Sectoriales.

5.1. Introducción.

En este capítulo se presentan las emisiones atmosféricas calculadas a partir del método de factores de emisión para los sectores considerados (Agropecuario, Industrial, Residencial, Servicios y Comercios, Vehicular, Erosión Eólica y Rodadura).

Previamente a la presentación de los resultados se detalla, en las siguientes secciones de este capítulo, el funcionamiento general de la herramienta de cálculo utilizada y la información de base y las hipótesis de cálculo genéricas. Luego, en las secciones correspondientes a cada sector emisor en particular, se detalla la información de base, las hipótesis de cálculo propias de cada sector (incluyendo la consideración de sistemas de control de emisiones), las actividades emisoras (incluyendo los niveles de producción y de consumo de combustibles relevantes para el cálculo de emisiones) y se presentan los resultados obtenidos.

Como se verá en el análisis de las emisiones estimadas para cada sector, el contaminante con mayor presencia resulta ser el CO. Sin embargo, los niveles de concentración de inmisión de CO registrados resultan ser significativamente menores a los valores de referencia de concentración de inmisión de CO aceptados y disponibles en la actualidad. Por tal motivo, su análisis no resultaría de interés, siendo más relevante el análisis de algún otro contaminante emitido para cada sector que genere mayores efectos sobre el ambiente.

5.2. Descripción de la herramienta de cálculo.

Los cálculos presentados en este capítulo se han llevado a cabo en planillas electrónicas elaboradas a tales fines.

Las planillas elaboradas se dividen en tres grupos diferentes, en función del nivel de agregación de la información:

- Emisiones totales.
- Emisiones sectoriales.
- Emisiones por rubro industrial.

La planilla de emisiones totales resume los resultados obtenidos a partir del cálculo de emisiones sectoriales, no presentando una metodología propia de cálculo de emisiones. Por otra parte, en términos generales, las planillas de cálculo elaboradas para el reporte de emisiones sectoriales y de emisiones de rubros industriales presentan la misma

estructura general¹². Esta estructura divide las planillas de cálculo en diferentes hojas de cálculo con características específicas, las cuales se resumen a continuación¹³.

5.2.1. Hoja de cálculo N°1: Información Básica.

En las planillas de cálculo correspondientes a los distintos rubros del sector Industrial, la hoja de cálculo N°1 contiene información descriptiva de las industrias del rubro, a saber: razón social de la empresa, número de identificación en DINAMA¹⁴, año de la información reportada, Departamento, horario de funcionamiento, características de las unidades emisoras existentes (tipo, coordenadas de localización, potencia, horas anuales de funcionamiento y caudal de emisión) y potencia máxima de todas las unidades emisoras existentes.

En las planillas de cálculo correspondientes a los demás sectores, la hoja de cálculo N°1 contiene la información necesaria para la asignación a nivel departamental de las emisiones estimadas para todo el territorio nacional.

5.2.2. Hoja de cálculo N°2: Producción y Consumo.

En esta hoja se incluye la información necesaria para el cálculo de emisiones atmosféricas. Este tipo de información se resume a continuación:

- Consumos de combustible a nivel nacional.
- Consumos de combustible a nivel de industria para el sector Industrial.
- Niveles de producción asociados a actividades generadoras de emisiones en industrias (por ejemplo, producción de cerveza en el rubro Bebidas, o elaboración de pasta de celulosa en el rubro Celulosa y Papel).
- Cobertura superficial por Departamento para el sector Erosión Eólica.
- Tránsito en caminería sin pavimentar para el sector Rodadura.

5.2.3. Hoja de cálculo N°3: Factores de Emisión.

En esta hoja se listan los factores de emisión utilizados en el cálculo de emisiones (se hace referencia a las secciones 4.2.3 y 4.2.4 de este documento para una descripción

¹² Existen sectores emisores que presentan planillas de cálculo con una estructura levemente diferente. De todas formas, la lógica de cálculo se mantiene.

¹³ Más allá de la descripción aquí presentada, para efectuar un correcto uso de las planillas de cálculo se recomienda la lectura del manual de uso de planillas, elaborado a tales fines y que forma parte de los archivos anexos del presente documento (Anexo N°2).

¹⁴ Denominado número de enlace.

detallada de estos parámetros). Existen distintos factores de emisión para los diferentes contaminantes atmosféricos considerados y para cada actividad emisora evaluada (cuyos niveles de actividad son ingresados en la hoja Producción y Consumo). En la Tabla 6 se muestra un ejemplo de los factores de emisión incluidos en las planillas.

Tabla 6: Factores de emisión de CO para la actividad denominada Caldera Leña. Fuente: elaboración propia.

Fuente	Calidad	Valor	Unidad	Por	De
EPA	A	5.8281	lbm	Mg	Leña

Lo expresado en la Tabla 6 significa que por cada Mg de Leña consumido en una caldera que utiliza Leña como combustible, se emiten 5.8281 lbm de CO.

5.2.4. Hoja de cálculo N°4: Hipótesis de Cálculo.

En esta hoja se listan las hipótesis consideradas en la realización de los cálculos de emisiones. Existen hipótesis de cálculo genéricas (descriptas en la sección 5.4 de este documento) y particulares de cada sector emisor (descriptas en las secciones 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11 de este documento).

5.2.5. Hoja de cálculo N°5: Sistemas de Control.

Esta hoja de cálculo permite la incorporación de rendimientos de remoción para la emisión de todos los contaminantes atmosféricos bajo estudio, y para todas las actividades emisoras consideradas. Los mencionados rendimientos deben ingresarse como un porcentaje de reducción de emisiones. Esta hoja de cálculo se encuentra presente solamente en las planillas de los rubros del sector Industrial, ya que su inclusión radica en la posibilidad de asignar la existencia de sistemas de control a fuentes emisoras puntuales lo cual es únicamente posible en el sector industrial, debido al nivel de detalle de la información recolectada para este sector.

5.2.6. Hoja de cálculo N°6: Cálculos.

En esta hoja se realizan los cálculos de emisiones, de acuerdo a la metodología descrita en la sección 4.2.5 de este documento.

5.2.7. Hoja de cálculo N°7: Mediciones.

En el marco de las planillas de los rubros del sector Industrial se implementó una hoja de cálculo denominada Mediciones. En esta hoja se incluyen los registros de emisiones medidos por las distintas industrias y reportados a DINAMA. En la sección 6.4.3 del presente documento se realiza una comparación preliminar entre las emisiones medidas y las calculadas por el método de factores de emisión, para las industrias que cuentan con registros de emisiones medidas.

5.2.8. Hoja de cálculo N°8: Resumen.

En esta hoja se resumen los resultados obtenidos en la hoja Cálculos y se presentan algunos gráficos descriptivos. En el caso del sector Industrial también se resumen los valores de emisiones medidos por las industrias. Por otra parte, debido a la simplicidad en el cálculo de emisiones, se juzgó innecesaria la existencia de una hoja Cálculos en el sector Erosión Eólica. En este caso, los cálculos de emisiones se efectúan directamente en la hoja Resumen.

5.3. Información de base genérica.

Se identificaron dos tipos de información de base compartida por dos o más sectores emisores:

5.3.1. Información demográfica.

Los sectores Servicios y Comercios y Residencial utilizan la información referente a la población total por Departamento y a la población abastecida por gas natural por Departamento. Esta información fue presentada en la sección 4.6.4 del presente documento, más específicamente en la Ilustración 14 y en la Tabla 4.

5.3.2. Poder calorífico.

En el marco del cálculo de emisiones de los sectores Vehicular, Servicios y Comercios, Residencial y Agropecuario se utilizó el poder calorífico inferior de los combustibles considerados. Esta información fue presentada en la sección 4.6.2 del presente documento, más específicamente en la Tabla 2.

5.4. Hipótesis de cálculo genéricas.

A continuación se listan las hipótesis de cálculo genéricas:

- A los efectos del desglose de los resultados por Departamento, para la mayoría de los combustibles se supone que sus consumos son directamente proporcionales a la población total del Departamento. Las excepciones se encuentran justificadas en los capítulos específicos de cada sector.
- En los sectores Residencial y Servicios y Comercios, el valor total de consumo de Gas Natural se distribuye por Departamento en forma proporcional a la suma de la población de las localidades de cada Departamento que cuentan con servicio de abastecimiento de Gas Natural. En el caso del sector Residencial, se especifica la cantidad de Gas Natural consumida en Montevideo, por lo que la hipótesis anterior aplica solamente para el interior del país.
- En relación con lo anterior, en algunos casos los datos de consumo de combustible se presentan desglosados en dos categorías: Montevideo e interior del país. En esos casos, se asigna a Montevideo el valor proporcionado, y el valor correspondiente al interior del país se asigna a cada Departamento de forma proporcional a la población total de cada uno de ellos.
- Cuando la información de consumo de combustible se presenta en unidades de ktep, se realizó la conversión a unidades de peso o volumen empleando los poderes caloríficos inferiores de los distintos combustibles.
- Se supuso que el porcentaje de azufre del Queroseno es similar al del Gas Oil.
- En relación con lo anterior, los factores de emisión asociados al consumo de Gas Oil se asumieron iguales para el consumo de Queroseno.
- Para el cálculo de emisiones de las calderas que utilizan Fuel Oil como combustible, se utilizaron los factores de emisión correspondientes a caldera a Fuel Oil N° 6, quemador normal (sin control) según la clasificación de la USEPA.
- Para el cálculo de emisiones de las calderas que utilizan Gas Oil como combustible, se utilizaron los factores de emisión correspondientes a “distillate oil”, caldera industrial (sin control) según la clasificación de la USEPA.

- En el caso de no conocer la diferencia de nivel de actividad de una industria entre el verano y el invierno, se supone el mismo nivel de actividad a lo largo de todo el año.
- Para las calderas a Leña se asumió la quema de madera húmeda con corteza según la clasificación de la USEPA.
- Para los sectores Residencial y Servicios y Comercios, en el caso de la cocción con Leña, se asume que se lleva a cabo en estufa en cualquier parte del país.
- Emisión de SO₂ (gSO₂/gS)= 2 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).
- Porcentaje en peso de azufre del Fuel Oil (%)= 3 (ANCAP).
- Porcentaje en peso de azufre del Gas Oil (%)= 0.005 (ANCAP).
- Porcentaje en peso de azufre de la Gasolina (%)= 0.003 (ANCAP).
- Contenido de azufre para GLP, Gas Propano y Gas Butano (g/100ft³)= 0.96 (ANCAP).
- Densidad del CO (kg/m³)= 1.14 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).
- Densidad del Fuel Oil (ton/m³)= 1 (ANCAP).
- Densidad de la Gasolina (kg/L)= 0.85 (ANCAP).
- Densidad del Gas Oil (kg/L)= 0.84 (ANCAP).
- Densidad del GLP (ton/m³)= 0.54 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).
- Proporción de Butano en GLP industrial (% en volumen)= 15 (ANCAP).
- Proporción de Butano en GLP residencial, comercial y agropecuario (% en volumen)= 40 (ANCAP).
- Proporción de Propano en GLP industrial (% en volumen)= 85 (ANCAP).
- Proporción de Propano en GLP residencial, comercial y agropecuario (% en volumen)= 60 (ANCAP).
- No se tomó en cuenta, para el cálculo de emisiones, la diferencia existente entre tonelada corta y tonelada métrica (1 tonelada corta = 0,9 toneladas métricas).

- 1 libra (kg)= 0.453592.
- 1 HP*h (MMBtu)= 0.00254106.
- 1 galón estadounidense (m³)= 0.00378541.
- 1 Btu (kcal)= 0.252164.
- 1 tep (kcal)= 10000000.

5.5.Sector Vehicular.

5.5.1. Información Básica.

En el sector Vehicular, la información de base considerada fue la flota vehicular por Departamento y por tecnología de control de emisiones para seis categorías vehiculares (Tabla 7). En la sección 4.6.8 del presente documento se describe la obtención de esta información con mayor detalle.

Tabla 7: Flota nacional de cada categoría vehicular considerada. Fuente: elaboración propia.

Categoría Vehicular	Flota
Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina	801096
Ómnibus a gasolina	189
Motos a gasolina	1250845
Autos, camionetas, taxis y remises a gas oil	145103
Ómnibus a gas oil	4620
Camiones a gas oil	70522

5.5.2. Producción y Consumo.

En esta hoja de cálculo figuran los consumos de combustible de cada una de las categorías vehiculares bajo estudio para el año 2015 y a nivel nacional (Tabla 8).

Tabla 8: Consumo de combustible a nivel nacional para cada categoría vehicular considerada. Fuente: elaboración propia.

Categoría Vehicular	Consumo de combustible (tep)
Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina	504700
Ómnibus a gasolina	452
Motos a gasolina	93000
Autos, camionetas, taxis y remises a gas oil	150700
Ómnibus a gas oil	83300
Camiones a gas oil	378000

5.5.3. Actividades Emisoras.

La actividad emisora considerada en este sector es el consumo de combustible en vehículos, para cada categoría vehicular considerada y para cada tecnología de control de emisiones (Tabla 9).

Tabla 9: Listado de actividades emisoras consideradas. Fuente: elaboración propia.

Categoría Vehicular	Cantidad de normas de emisiones consideradas (EURO 1, EURO 2, etc.)
Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina	11
Ómnibus a gasolina	1
Motos a gasolina	6
Autos, camionetas, taxis y remises a gas oil	7
Ómnibus a gas oil	7
Camiones a gas oil	7
Cantidad total de actividades emisoras consideradas	39

Para cada una de las actividades emisoras presentadas en la Tabla 9 se tiene un conjunto específico de factores de emisión de los contaminantes atmosféricos bajo estudio.

5.5.4. Hipótesis de Cálculo.

A continuación se listan las hipótesis de cálculo específicas del sector Vehicular:

- La flota vehicular de cada Departamento se considera integrada por los vehículos empadronados en él, y es sabido que no necesariamente se trata de vehículos que circulan habitual o únicamente en ese Departamento.

- Para distribuir el consumo de combustible por Departamento, se asume que es proporcional al número de vehículos que emplean ese combustible que integran la flota vehicular del Departamento en cuestión.¹⁵
- Se considera que todos los vehículos de una misma categoría consumen la misma cantidad de combustible al año, independientemente del Departamento en que se encuentren empadronados.
- No se consideran emisiones de barcos, aviones y trenes¹⁶.
- Se asume que las motos consumen únicamente Gasolina.
- Se asume que los camiones consumen únicamente Gas Oil.
- Se consideraron una serie de hipótesis relativas a la aplicación de la metodología de cálculo de emisiones Tier 2 de la Unión Europea (sección 4.2.4 de este documento) (Ntziachristos & Samaras, 2017) (Mellios & Ntziachristos, 2016):
 - Rango diario de temperatura ambiente: 10 °C – 25 °C.
 - Categoría equivalente de la Unión Europea para la categoría vehicular Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina: Petrol Medium.
 - Categoría equivalente de la Unión Europea para la categoría vehicular Ómnibus a gasolina: Petrol > 3.5 ton.
 - Categoría equivalente de la Unión Europea para la categoría vehicular Motos a gasolina: 4-stroke < 250 cm³.
 - Categoría equivalente de la Unión Europea para la categoría vehicular Autos, camionetas, taxis y remises a gas oil: Diesel Medium.
 - Categoría equivalente de la Unión Europea para la categoría vehicular Ómnibus a gas oil: Urban Buses Standard.
 - Categoría equivalente de la Unión Europea para la categoría vehicular Camiones a gas oil: Diesel > 32 ton.
- No se consideró la existencia de variación en el rendimiento del combustible para los vehículos con distintas tecnologías de control de emisiones dentro de una misma categoría vehicular.
- Consumo de combustible para la categoría vehicular Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina: 13 km/L (DNE-MIEM, 2014).
- Consumo de combustible para la categoría vehicular Autos, camionetas, taxis y remises a gas oil: 14 km/L (DNE-MIEM, 2014).
- Consumo de combustible para la categoría vehicular Motos a gasolina: 32 km/L (DNE-MIEM, 2014).
- Consumo de combustible para la categoría vehicular Ómnibus a gas oil: 2.5 km/L¹⁷.

¹⁵ Los consumos de combustible por Departamento calculados utilizando esta hipótesis se condicen razonablemente con los reportados en el Anuario Estadístico de Transporte 2016 (MTOP, 2016).

¹⁶ Esta decisión se basa en el bajo consumo energético de estos modos de transporte en comparación con el carretero (en el BEN 2015, el modo carretero representó el 98% del consumo energético total del sector transporte (DNE-MIEM, 2015)) y además se considera que una fracción importante de las emisiones de barcos y aviones se generan fuera del territorio nacional.

¹⁷ Comunicaciones personales con la Intendencia de Montevideo.

- Consumo de combustible para la categoría vehicular Camiones a gas oil: 6.3 km/L (DNE-MIEM, 2014).
- Se asumió que el rendimiento del combustible para la categoría vehicular Ómnibus a gasolina es el mismo que el correspondiente a la categoría Ómnibus a gas oil.
- Las emisiones fugitivas se estimaron utilizando el método de cálculo Tier 1 de la Unión Europea (Mellios & Ntziachristos, 2016).
- En cuanto a la información de la flota vehicular nacional utilizada se realizaron las siguientes hipótesis:
 - Se supuso que los vehículos informados con un año de empadronamiento anterior a 1975 fueron empadronados en el año 1974.
 - Se supuso que los vehículos informados con un año de empadronamiento igual o mayor al 2019 fueron empadronados en el año 2019.
 - A cada vehículo se le asignó la norma de control de emisiones de la Unión Europea vigente al año de su primer empadronamiento¹⁸.

5.5.5. Sistemas de Control.

En el sector Vehicular, la existencia de sistemas de control de emisiones está implícita en las actividades emisoras consideradas (Ilustración 20), por lo tanto, no se dispone de una hoja de cálculo específica a este respecto en el sector bajo estudio.

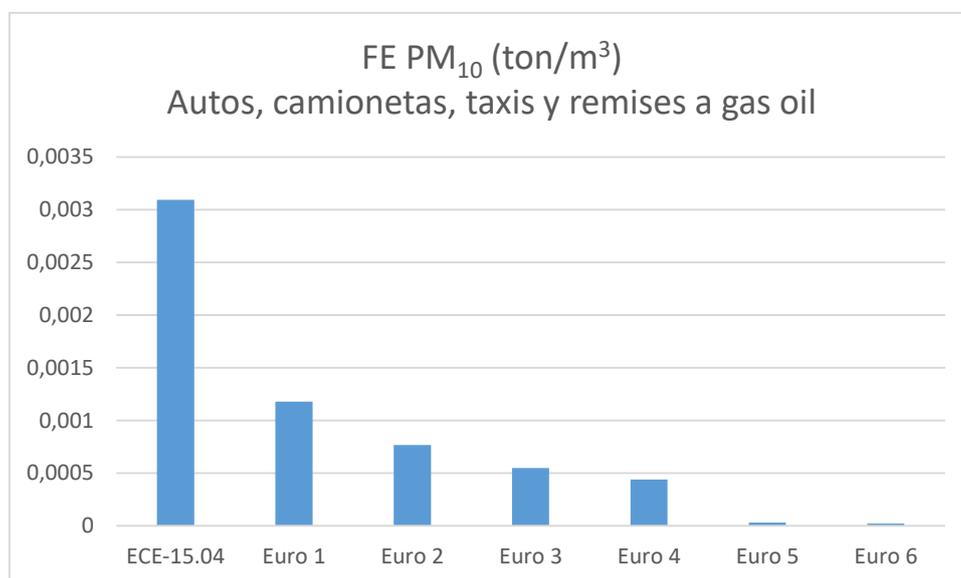


Ilustración 20: Evolución normativa de los factores de emisión de PM₁₀ para la categoría vehicular Autos, camionetas, taxis y remises a gas oil. Fuente: elaboración propia a partir de (Ntziachristos & Samaras, 2017).

¹⁸ Por considerarse esta una hipótesis de cálculo fuerte, en el Anexo N°1 del presente documento se realiza una evaluación preliminar de su efecto en los resultados de emisiones obtenidos a partir de un análisis de sensibilidad.

Más allá que la Ilustración 20 muestra la tendencia evolutiva general de los factores de emisión a lo largo del proceso normativo, en algunos casos se presenta un leve aumento de los factores de emisión para normas de emisiones modernas.

5.5.6. Resultados Preliminares.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego del cálculo de emisiones en el sector Vehicular para los contaminantes SO_x Calculado, COV_s , NO_x , CO, PST Calculado y PM_{10} ¹⁹. Considerando la totalidad de los contaminantes analizados, las emisiones del sector Vehicular ascienden a 127676 ton/año.

Si bien el contaminante que presenta las mayores emisiones para este sector es el CO, se destaca que los valores de referencia de inmisión de CO admitidos en la Propuesta de Estándares de Calidad de Aire (Grupo GESTA Aire, 2012b) resultan ampliamente superiores a los registrados en el ambiente para este contaminante. Por tal motivo, a continuación se analiza el origen de las emisiones del segundo contaminante más emitido por el sector bajo estudio, que es NO_x , y que resulta el más significativo de este sector debido a los efectos que induce. En este sentido, en la Ilustración 21 se presenta la distribución de las emisiones de NO_x por Departamento.

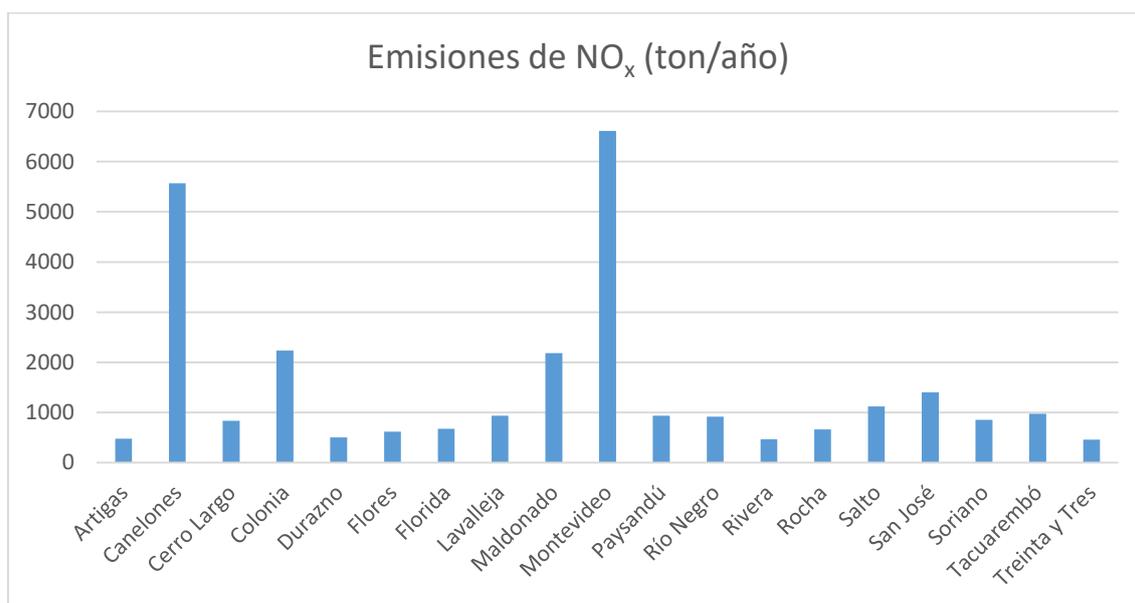


Ilustración 21: Emisiones de NO_x por Departamento para el sector Vehicular. Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se desprende que las mayores emisiones de NO_x se registraron en Montevideo. Continuando con este análisis, en la Ilustración 22 se presentan las emisiones de NO_x calculadas para el Departamento de Montevideo para cada una de las categorías vehiculares consideradas.

¹⁹ Los resultados obtenidos para el resto de los contaminantes calculados pueden apreciarse en la planilla de cálculo del sector Vehicular.

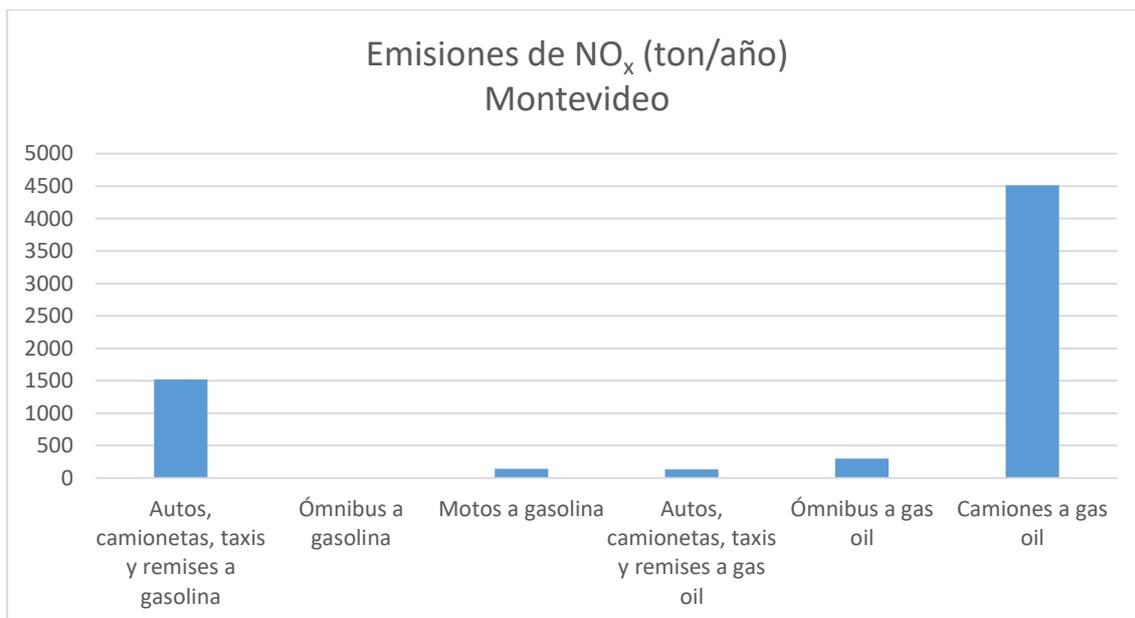


Ilustración 22: Emisiones de NO_x para el Departamento de Montevideo para cada categoría vehicular. Fuente: elaboración propia.

A partir de la Ilustración 22 se concluye que la categoría vehicular responsable de las mayores emisiones de NO_x en el Departamento de Montevideo es la denominada Camiones a Gas Oil.

5.6. Sector Agropecuario.

5.6.1. Información Básica.

En primer lugar, en este sector se utilizan los valores de población rural por Departamento (Ilustración 23) con el fin de distribuir las emisiones nacionales calculadas entre los diferentes Departamentos.

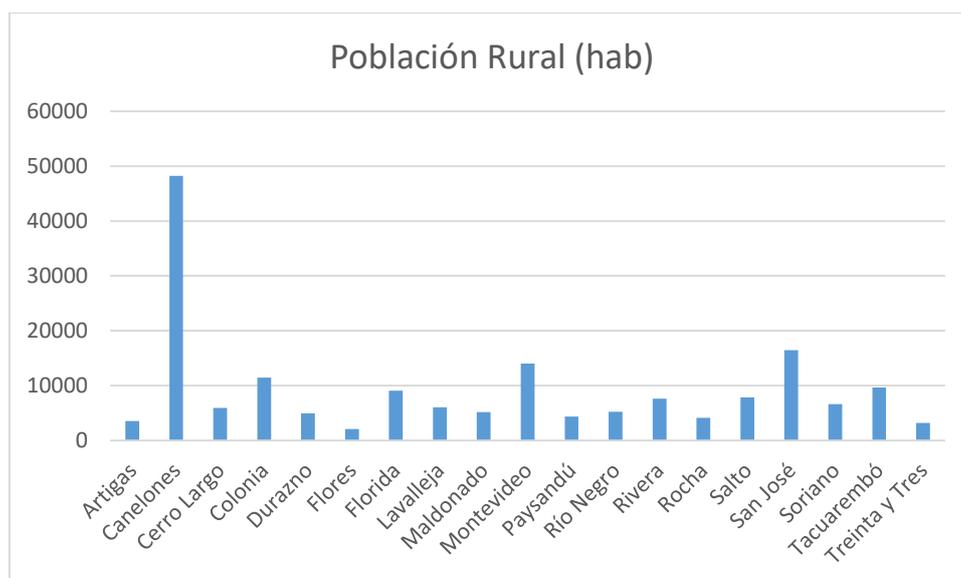


Ilustración 23: Población rural por Departamento (Censo 2011). Fuente: (INE, n.d.).

Por otra parte, para algunos de los combustibles considerados (Gas Oil, Queroseno y Gasolina) es necesario contar con la información de consumo discriminada entre los diferentes usos, ya que los factores de emisión varían en este sentido. En este caso no se contó con esta información, por lo que se asumió la misma distribución de consumos por usos utilizada en el Inventario 2006 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010) (Tabla 10). Además de lo anterior, en el caso del sector bajo estudio, la información contenida en el Balance Energético Nacional 2015 (DNE-MIEM, 2015) agrupa los consumos de combustible de los sectores Agropecuario y Minería. Debido a la imposibilidad de obtener esta información con un nivel mayor de desagregación, se utilizan los consumos de los dos sectores informados en conjunto.

Tabla 10: Distribución del consumo de combustibles entre los distintos usos. Fuente: (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).

Usos	Supergás (%)	Gas Oil (%)	Fuel Oil (%)	Leña (%)	Gasolina (%)
Iluminación	0	0	0	0	0
Calor	57.5	0.1	0	79.9	0
Fuerza Motriz Móvil	0.7	97.3	0	0	6.3
Fuerza Motriz Fija	0	0.2	100	0	79.7
Frío de Proceso	0	0	0	0	0
Riego y Bombeo	0	2.5	0	0	14
Viviendas Colectivas	41.8	0	0	20.1	0

5.6.2. Producción y Consumo.

En la Tabla 11 se informan los consumos de combustible reportados por el Balance Energético Nacional 2015 (DNE-MIEM, 2015) para el sector Agro y Minería, utilizados en el marco del presente estudio para el cálculo de emisiones del sector Agropecuario.

Tabla 11: Consumos de combustible del sector Agropecuario. Fuente: (DNE-MIEM, 2015).

Combustible	Consumo 2015 (tep)
Supergás	5400
Gas Oil	121600
Fuel Oil	700
Leña	35000
Gasolina	4000

5.6.3. Actividades Emisoras.

Las actividades emisoras consideradas para el cálculo de emisiones del sector Agropecuario son aquellas vinculadas al consumo de los combustibles que figuran en la Tabla 11, asociados a los diferentes usos de los mismos en el sector bajo estudio.

5.6.4. Hipótesis de Cálculo.

A continuación se listan las hipótesis de cálculo específicas del sector Agropecuario:

- Se supone que la distribución departamental del consumo de combustibles es proporcional a la población rural de cada Departamento.
- Para las emisiones generadas por el consumo de Gasolina y Gas Oil en el marco de las actividades Riego y Bombeo y Fuerza Motriz Fija, se asumieron los factores de emisión correspondientes a motores de combustión estacionarios alimentados por el combustible correspondiente.
- Sólo se consideran emisiones provenientes del consumo de combustibles. No se han tenido en cuenta otras emisiones, como las provenientes de las quemas a cielo abierto, la emisión por rodadura de los vehículos (incluidas en el sector Rodadura del presente Inventario), entre otras.
- Se asume que la distribución de los consumos de combustible entre los distintos usos es igual a la utilizada en el Inventario 2006.
- No se considera la existencia de emisiones fugitivas de COV_s (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).
- Se considera que los factores de emisión asociados al consumo del combustible Residuos de Biomasa son iguales a los asociados al consumo del combustible Leña (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).
- El consumo del combustible GLP se asigna al combustible Supergás (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).

5.6.5. Sistemas de Control.

Tal cual se expresó en la sección 5.2.5 de este documento, en este sector no se considera la existencia de sistemas de control ya que, con el nivel de desagregación de la información disponible, no es posible asignar consumos de combustible a fuentes emisoras puntuales.

5.6.6. Resultados Preliminares.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego del cálculo de emisiones en el sector Agropecuario para los contaminantes SO_x Calculado, COV_s, NO_x, CO, PST Calculado y PM₁₀²⁰. Considerando la totalidad de los contaminantes analizados, las emisiones del sector Agropecuario ascienden a 36204 ton/año.

El contaminante que presenta las mayores emisiones para este sector es el CO. De todas maneras, teniendo en cuenta que los límites de inmisión de CO admitidos en la Propuesta de Estándares de Calidad de Aire son ampliamente superiores a los niveles de CO registrados, y que en dicha Propuesta no se incluyen estándares para el contaminante COV_s (Grupo GESTA Aire, 2012b), a continuación se analiza el origen de las emisiones del tercer contaminante más emitido por el sector bajo estudio: NO_x. En este sentido, en la Ilustración 24 se presenta la distribución de las emisiones de NO_x por Departamento.

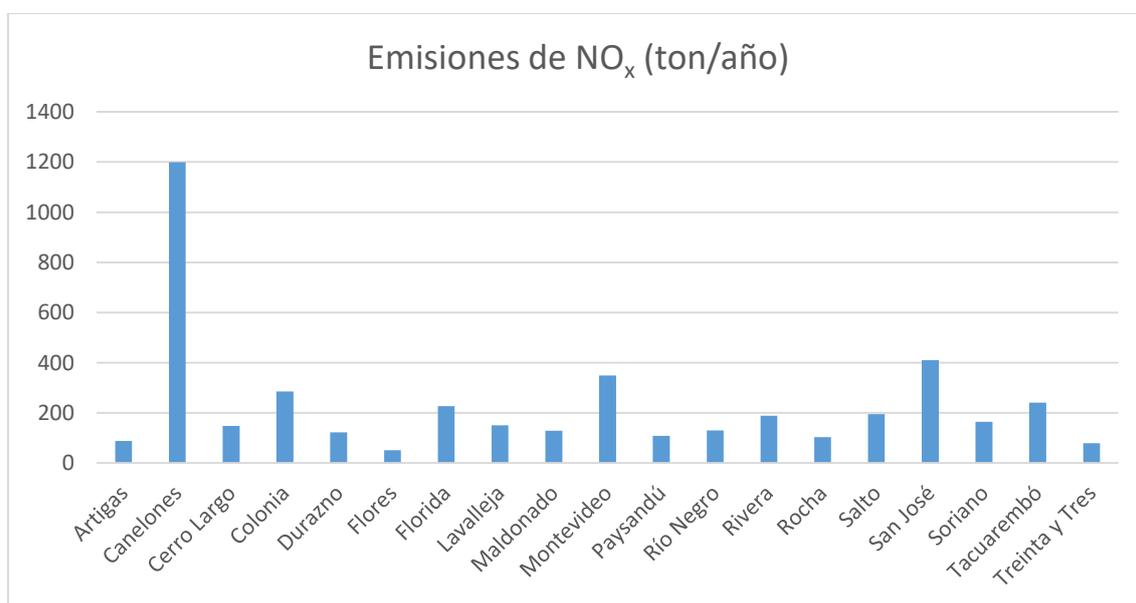


Ilustración 24: Emisiones de NO_x por Departamento para el sector Agropecuario. Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se desprende que las mayores emisiones de NO_x se registraron en Canelones. Continuando con este análisis, en la Ilustración 25 se presentan las emisiones

²⁰ Los resultados obtenidos para el resto de los contaminantes calculados pueden apreciarse en la planilla de cálculo del sector Agropecuario.

de NO_x calculadas para el Departamento de Canelones para cada uno de los combustibles considerados.

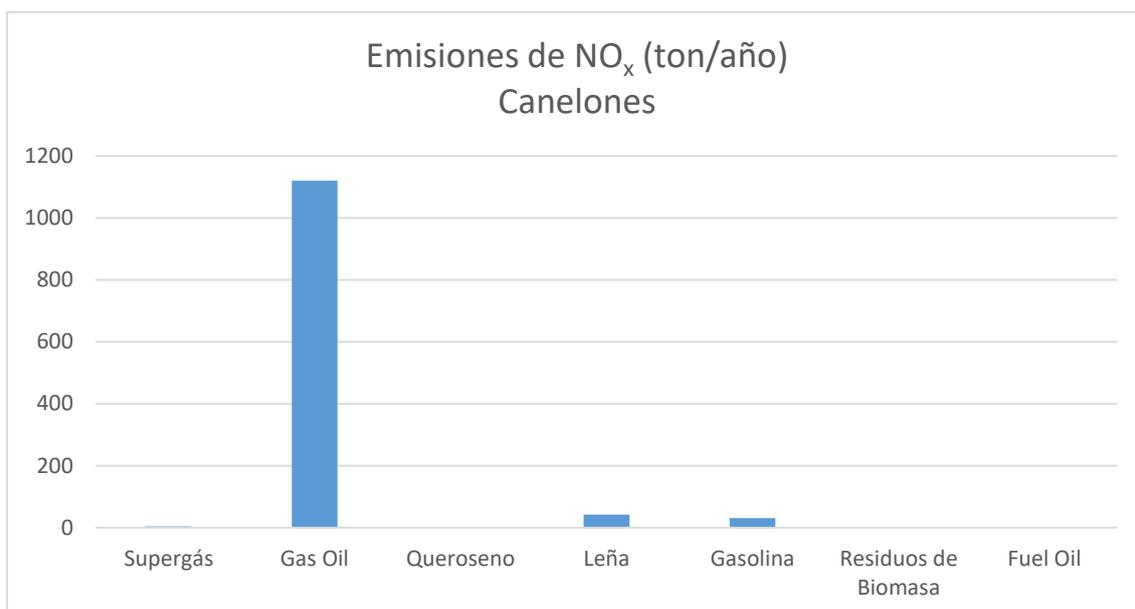


Ilustración 25: Emisiones de NO_x para el Departamento de Canelones para cada combustible. Fuente: elaboración propia.

A partir de la Ilustración 25, se concluye que las actividades responsables de las mayores emisiones de NO_x en el Departamento de Canelones son aquellas vinculadas con el consumo del combustible Gas Oil.

5.7. Sector Residencial.

5.7.1. Información Básica.

En primer lugar, y con el objetivo de asignar a los diferentes Departamentos los consumos de combustible informados a nivel nacional, en este sector se utiliza la información de población por Departamento (Ilustración 14). En este mismo sentido, y en particular para el consumo del combustible Gas Natural, se utilizó la información de población abastecida por este combustible por Departamento y Localidad (Tabla 4).

Por otra parte, en función de los factores de emisión considerados, fue necesario contar con información relativa a la distribución del consumo de Gas Natural entre los distintos usos, y con la discriminación del consumo de Leña entre los artefactos estufa y caldera. Esta información fue solicitada a la Dirección Nacional de Energía a través de comunicaciones personales, obteniéndose la discriminación del consumo de Gas Natural por usos (Ilustración 26) pero no la identificación de las proporciones del consumo de Leña utilizadas en estufa y en caldera. Para este último caso, se asumieron

válidas las proporciones utilizadas en el Inventario 2006 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).

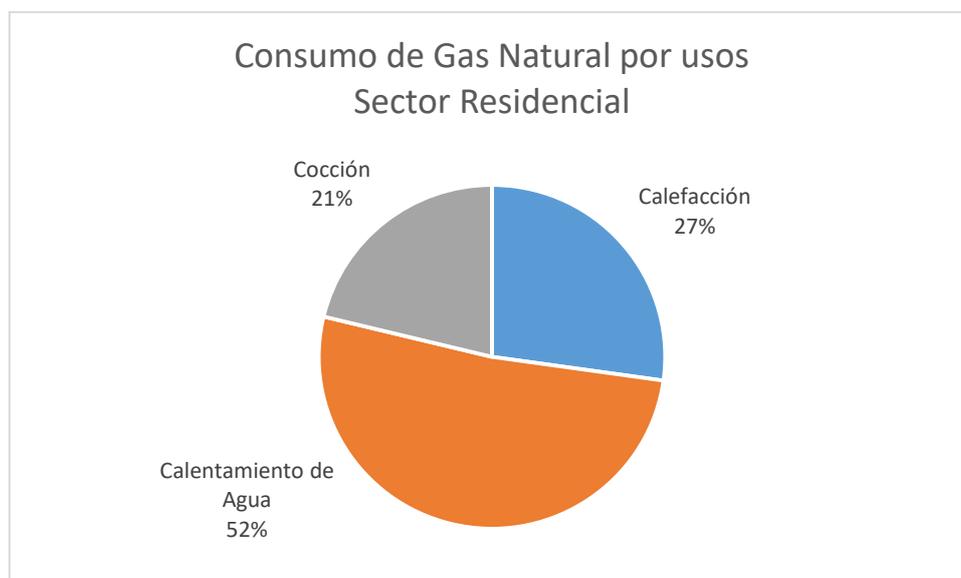


Ilustración 26: Consumo de Gas Natural por usos. Fuente: DNE (comunicaciones personales).

Para todos los combustibles considerados, con excepción del Gas Natural, se asumió válida la distribución del consumo entre los distintos usos utilizada en el Inventario 2006 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010) (Tabla 12).

Tabla 12: Distribución del consumo de combustibles entre los distintos usos. Fuente: (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).

Usos	Supergás (%)	Gas Propano (%)	Gas Oil (%)	Diesel Oil (%)	Fuel Oil (%)	Queroseno (%)	Leña (%)	Carbón Vegetal (%)	Gasolina (%)	Residuos de Biomasa (%)
Iluminación	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0
Cocción	79	72	0	0	0	8	37	92	0	41
Calentamiento de Agua	6	9	24	0	1	2	4	0	0	9
Calefacción	14	19	76	100	99	77	59	8	0	50
Conservación de Alimentos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Refrigeración y Ventilación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bombeo de Agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuerza Motriz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros Artefactos	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0

5.7.2. Producción y Consumo.

En la Tabla 13 se informan los consumos de combustible reportados por el Balance Energético Nacional 2015 (DNE-MIEM, 2015) para el sector Residencial, utilizados en el marco del presente estudio para el cálculo de emisiones del sector bajo análisis.

Tabla 13: Consumos de combustible del sector Residencial. Fuente: (DNE-MIEM, 2015).

Combustible	Consumo 2015 (tep)
Gas Natural	21200
Supergás	99600
Gas Propano	2000
Gas Oil	4500
Diesel Oil	0
Fuel Oil	12000
Queroseno	4300
Leña	283500
Carbón Vegetal	1500
Gasolina	300
Residuos de Biomasa	7600

Para algunos de los combustibles considerados en este sector, en el Balance Energético Nacional (DNE-MIEM, 2015) la información de consumo se presenta desagregada entre Montevideo y el interior del país. Esta información (Tabla 14) se utilizó para la distribución de los consumos a nivel departamental, con un nivel de prioridad mayor a la información censal del Instituto Nacional de Estadística (INE, n.d.).

Tabla 14: Distribución del consumo de combustible entre Montevideo y el interior del país. Fuente: (DNE-MIEM, 2015).

Combustible	Consumo Montevideo 2015 (tep)	Consumo Interior 2015 (tep)
Gas Natural	19200	2000
Leña	55500	228000
Residuos de Biomasa	0	7600
Queroseno	1300	3000

5.7.3. Actividades Emisoras.

Al igual que en el sector Agropecuario, las actividades emisoras consideradas para el cálculo de emisiones del sector Residencial son aquellas vinculadas al consumo de los combustibles que figuran en la Tabla 13, asociados a los diferentes usos de los mismos en el sector bajo estudio (Tabla 12).

5.7.4. Hipótesis de Cálculo.

A continuación se listan las hipótesis de cálculo específicas del sector Residencial:

- Los factores de emisión asociados al consumo de Gas Oil se asumen también válidos para el cálculo de las emisiones asociadas al consumo de Gasolina y Diesel Oil.
- Se asume que el 50 % de la Leña consumida en Montevideo para calefacción se quema en estufa (el 50 % restante se quema en caldera) (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).
- Se asume que la totalidad de la Leña utilizada para calefacción en el interior del país se quema en estufa (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).
- El consumo de Leña para calentamiento de agua se supone que se realiza en caldera para Montevideo y en estufa para el interior del país (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).
- Se asume que la distribución del consumo de combustible entre los distintos usos (con excepción del combustible Gas Natural) se mantiene con respecto al Inventario 2006.

5.7.5. Sistemas de Control.

Tal cual se expresó en la sección 5.2.5 de este documento, en este sector no se considera la existencia de sistemas de control ya que, con el nivel de desagregación de la información disponible, no es posible asignar consumos de combustible a fuentes emisoras puntuales.

5.7.6. Resultados Preliminares.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego del cálculo de emisiones en el sector Residencial para los contaminantes SO_x Calculado, COV_s, NO_x, CO, PST Calculado y PM₁₀²¹. Considerando la totalidad de los contaminantes analizados, las emisiones del sector Residencial ascienden a 244841 ton/año.

El contaminante que presenta las mayores emisiones para este sector es el CO. De todas maneras, teniendo en cuenta que los límites de inmisión de CO admitidos en la Propuesta de Estándares de Calidad de Aire son ampliamente superiores a los niveles ambientales de CO registrados, y que en dicha Propuesta no se incluyen estándares para el contaminante COV_s (Grupo GESTA Aire, 2012b), a continuación se analiza el origen de

²¹ Los resultados obtenidos para el resto de los contaminantes calculados pueden apreciarse en la planilla de cálculo del sector Residencial.

las emisiones del tercer contaminante más emitido por el sector bajo estudio: PST Calculado.

En este sentido, en la Ilustración 27 se presenta la distribución de las emisiones de PST Calculado por Departamento.

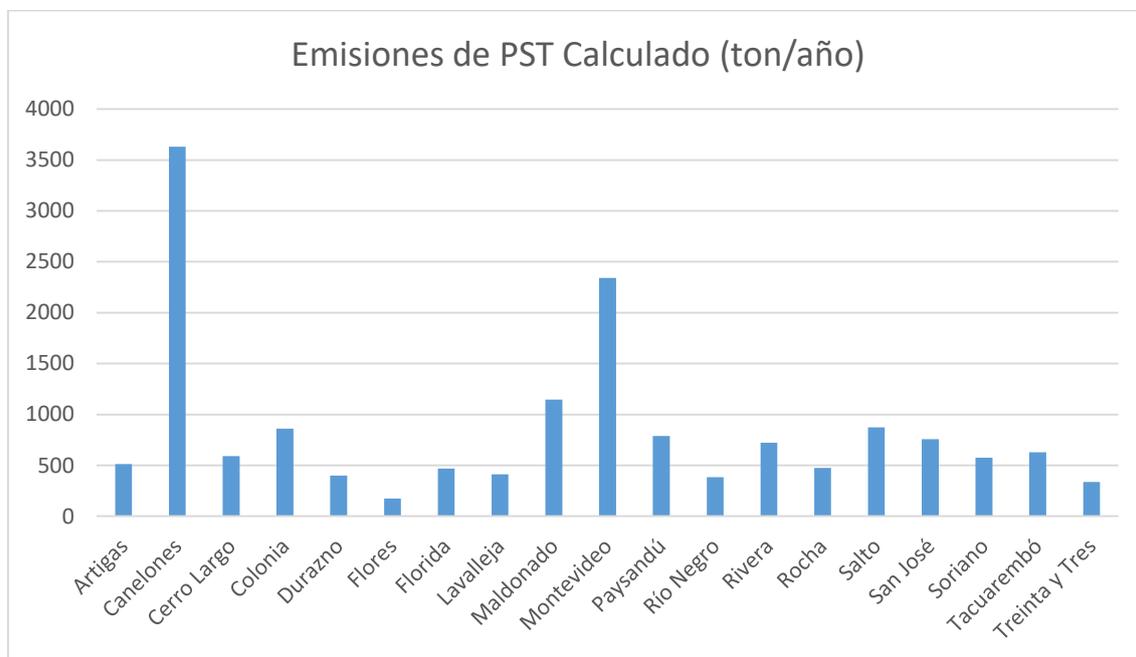


Ilustración 27: Emisiones de PST Calculado por Departamento para el sector Residencial. Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se desprende que las mayores emisiones de PST Calculado se registraron en Canelones. Continuando con este análisis, en la Ilustración 28 se presentan las emisiones de PST Calculado calculadas para el Departamento de Canelones para cada uno de los combustibles considerados.

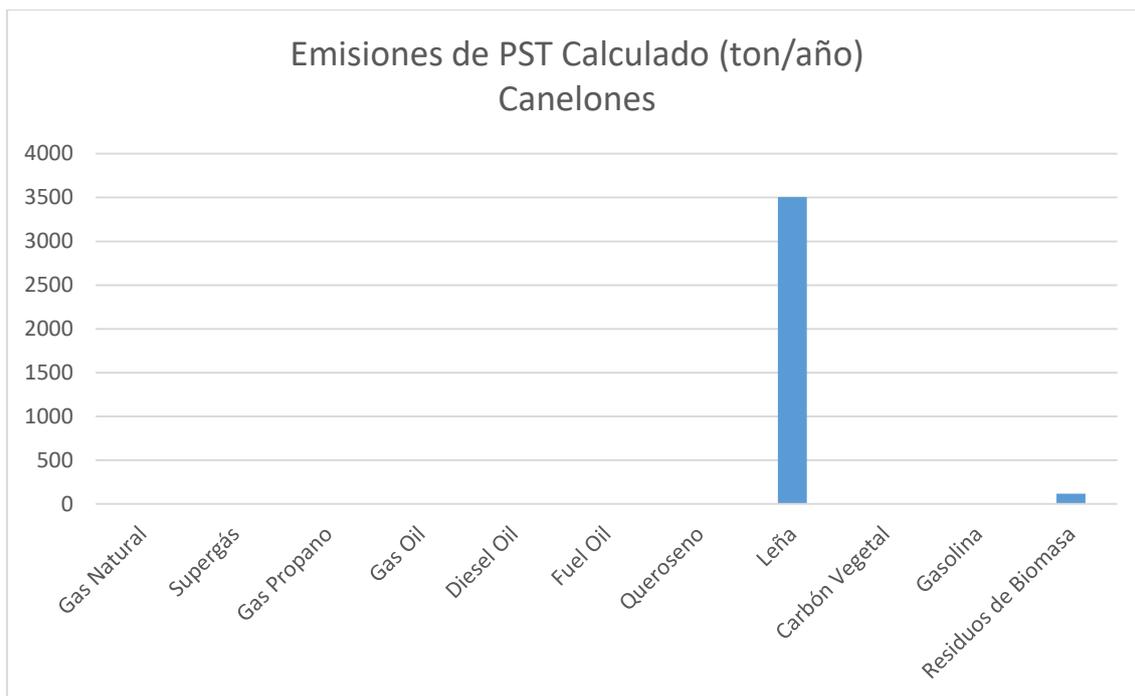


Ilustración 28: Emisiones de PST Calculado para el Departamento de Canelones para cada combustible. Fuente: elaboración propia.

A partir de la Ilustración 28, se concluye que las actividades responsables de las mayores emisiones de PST Calculado en el Departamento de Canelones son aquellas vinculadas con el consumo del combustible Leña.

5.8. Sector Servicios y Comercios.

5.8.1. Información Básica.

En primer lugar, y con el objetivo de asignar a los diferentes Departamentos los consumos de combustible informados a nivel nacional, en este sector se utiliza la información de población por Departamento (Ilustración 14). En este mismo sentido, y en particular para el consumo del combustible Gas Natural, se utilizó la información de población abastecida por este combustible por Departamento y Localidad (Tabla 4).

Por otra parte, en función de los factores de emisión considerados, fue necesario contar con información relativa a la distribución del consumo de Gas Natural, Gas Oil, Diesel Oil, Leña, Gasolina y Residuos de Biomasa entre los distintos usos. Esta información fue solicitada a la Dirección Nacional de Energía a través de comunicaciones personales, obteniéndose la discriminación del consumo de Gas Natural, Gas Oil, Leña y Gasolina por usos. Para el resto de los combustibles utilizados en el sector bajo estudio, se asumió como válida la distribución del consumo por usos realizada en el Inventario 2006 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010) (Tabla 15).

Tabla 15: Distribución del consumo de combustibles entre los distintos usos. Fuente: elaboración propia y (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).

Usos	Gas Natural (%)	Supergás (%)	Gas Propano (%)	Gas Oil (%)	Diesel Oil (%)	Fuel Oil (%)	Queroseno (%)	Leña (%)	Gasolina (%)
Iluminación	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cocción	34	72	49	41	0	0	0	60	0
Calentamiento de Agua	44	12	27	40	46	70	0	15	0
Calefacción	12	16	0	7	49	27	91	24	0
Conservación de Alimentos	0	0	0	0	0	0	9	0	0
Refrigeración y Ventilación	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bombeo de Agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuerza Motriz	0	0	0	0	0	0	0	0	63
Otros Artefactos	10	0	24	13	5	3	0	0	37

5.8.2. Producción y Consumo.

En la Tabla 16 se informan los consumos de combustible reportados por el Balance Energético Nacional 2015 (DNE-MIEM, 2015) para el sector Servicios y Comercios, utilizados en el marco del presente estudio para el cálculo de emisiones del sector bajo análisis.

Tabla 16: Consumos de combustible del sector Servicios y Comercios. Fuente: (DNE-MIEM, 2015).

Combustible	Consumo 2015 (tep)
Gas Natural	10800
Supergás	6100
Gas Propano	5500
Gas Oil	5800
Diesel Oil	0
Fuel Oil	6600
Queroseno	100
Leña	22100
Carbón Vegetal	0
Gasolina	1000
Residuos de Biomasa	0

5.8.3. Actividades Emisoras.

Al igual que en los sectores Agropecuario y Residencial, las actividades emisoras consideradas para el cálculo de emisiones del sector Servicios y Comercios son aquellas vinculadas al consumo de los combustibles que figuran en la Tabla 16, asociados a los diferentes usos de los mismos en el sector bajo estudio (Tabla 15).

5.8.4. Hipótesis de Cálculo.

A continuación se listan las hipótesis de cálculo específicas del sector Servicios y Comercios:

- Se asume que la distribución del consumo de combustible entre los distintos usos (con excepción de los combustibles Gas Natural, Gas Oil, Leña y Gasolina) se mantiene con respecto al Inventario 2006.
- No se consideran las emisiones fugitivas de COV_s (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).
- Se asume que los usos del combustible Leña denominados calentamiento de agua y calefacción se llevan a cabo en calderas (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).

5.8.5. Sistemas de Control.

Tal cual se expresó en la sección 5.2.5 de este documento, en este sector no se considera la existencia de sistemas de control ya que, con el nivel de desagregación de la información disponible, no es posible asignar consumos de combustible a fuentes emisoras puntuales.

5.8.6. Resultados Preliminares.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego del cálculo de emisiones en el sector Servicios y Comercios para los contaminantes SO_x Calculado, COV_s, NO_x, CO, PST Calculado y PM₁₀²². Considerando la totalidad de los contaminantes analizados, las emisiones del sector Servicios y Comercios ascienden a 12552 ton/año.

El contaminante que presenta las mayores emisiones para este sector es el CO. De todas maneras, teniendo en cuenta que los límites de inmisión de CO admitidos en la

²² Los resultados obtenidos para el resto de los contaminantes calculados pueden apreciarse en la planilla de cálculo del sector Servicios y Comercios.

Propuesta de Estándares de Calidad de Aire son ampliamente superiores a los niveles ambientales registrados para este contaminante, y que en dicha Propuesta no se incluyen estándares para el contaminante COVs (Grupo GESTA Aire, 2012b), a continuación se analiza el origen de las emisiones del tercer contaminante más emitido por el sector bajo estudio: PST Calculado. En este sentido, en la Ilustración 29 se presenta la distribución de las emisiones de PST Calculado por Departamento.

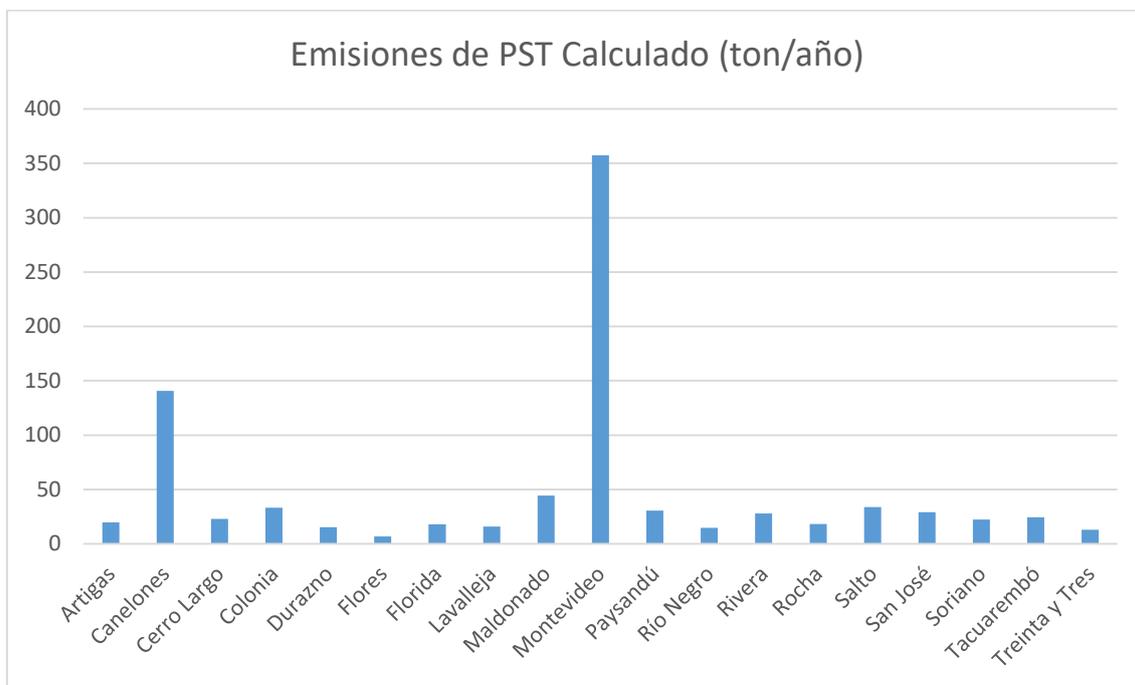


Ilustración 29: Emisiones de PST Calculado por Departamento para el sector Servicios y Comercios. Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se desprende que las mayores emisiones de PST Calculado se registraron en Montevideo. Continuando con este análisis, en la Ilustración 30 se presentan las emisiones de PST Calculado calculadas para el Departamento de Montevideo para cada uno de los combustibles considerados.

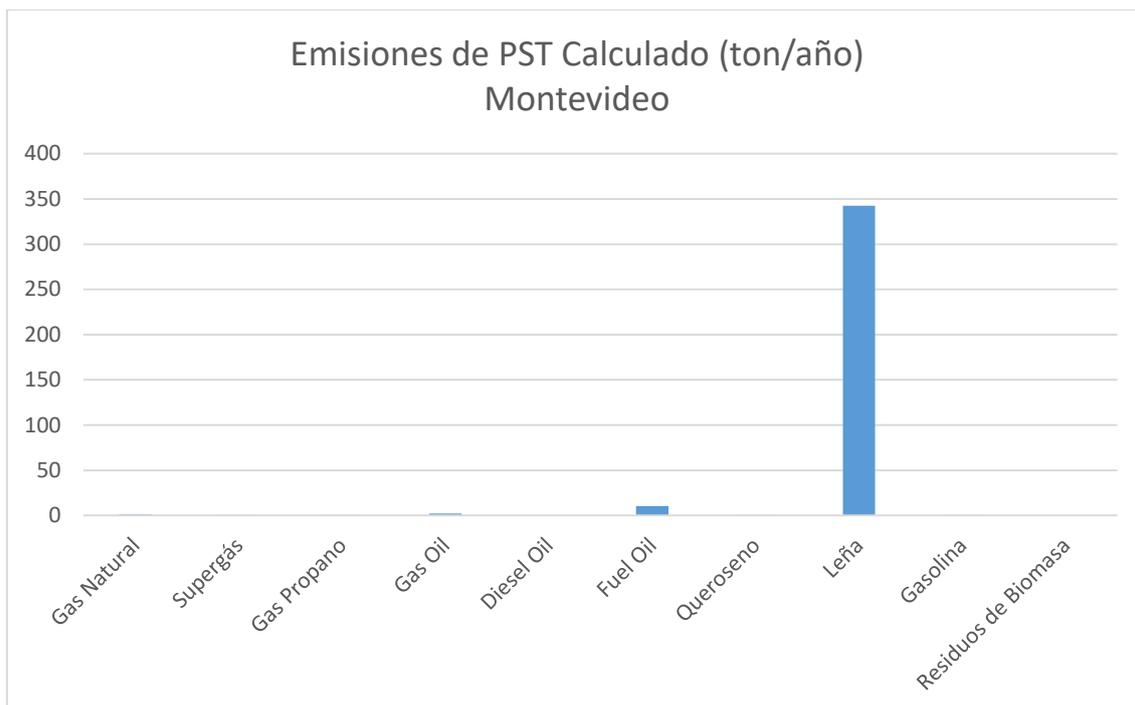


Ilustración 30: Emisiones de PST Calculado para el Departamento de Montevideo para cada combustible. Fuente: elaboración propia.

A partir de la Ilustración 30, se concluye que las actividades emisoras responsables de las mayores emisiones de PST Calculado en el Departamento de Montevideo son aquellas vinculadas con el consumo del combustible Leña.

5.9. Sector Erosión Eólica.

5.9.1. Información Básica.

En primer lugar, para el cálculo de emisiones del sector bajo estudio se requiere contar con la distribución de la superficie de cada Departamento entre cinco tipos de suelo diferentes. En la sección 4.6.5 del presente documento se muestra la información de base utilizada para realizar la distribución antes mencionada, ejemplo de la cual se muestra en la Ilustración 31 para el Departamento de Salto.

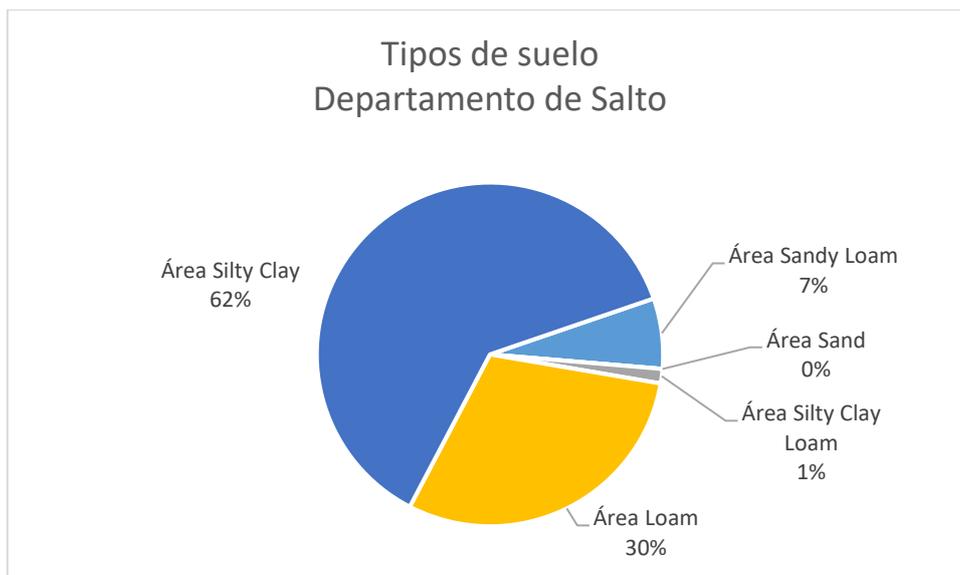


Ilustración 31: Distribución de tipos de suelo para el Departamento de Salto (la cobertura de la superficie total del Departamento asciende al 98%). Fuente: (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2015).

Por otra parte, también es necesaria la información acerca de la cobertura del suelo para cada Departamento. La fuente de información utilizada a este respecto se describe en la sección 4.6.7 del presente documento, presentándose un ejemplo de los datos utilizados en la Ilustración 32 para el Departamento de Salto.

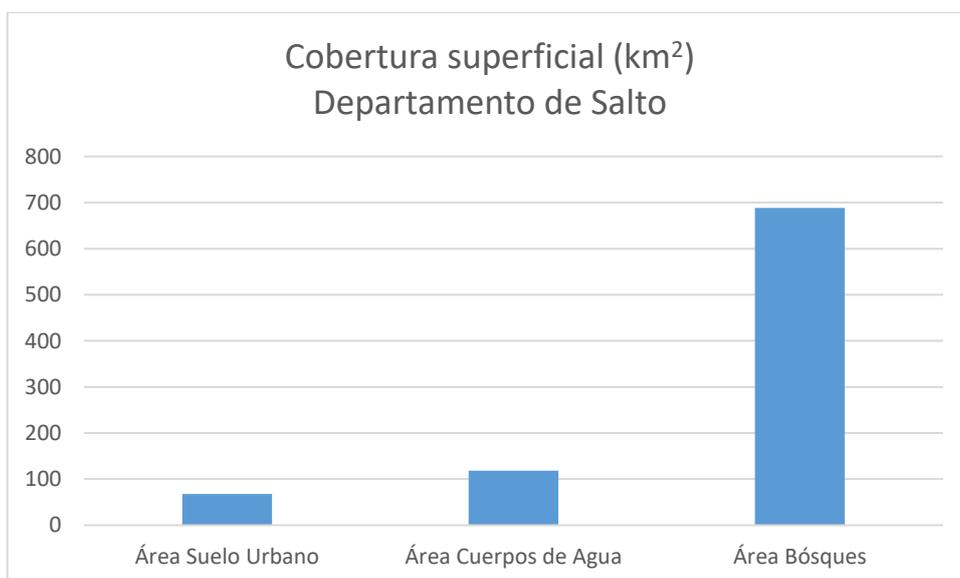


Ilustración 32: Cobertura superficial de interés para el cálculo de emisiones correspondiente al Departamento de Salto. Fuente: (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2015).

5.9.2. Producción y Consumo.

Teniendo en cuenta que las emisiones del sector bajo estudio son de origen natural, no se requieren datos de actividades productivas o de consumo de combustibles para el cálculo de emisiones.

5.9.3. Actividades Emisoras.

La actividad emisora considerada en el sector bajo estudio es el arrastre eólico de partículas.

5.9.4. Hipótesis de Cálculo.

A continuación se listan las hipótesis de cálculo específicas del sector Erosión Eólica:

- La distribución del tamaño de partículas del suelo se extrajo de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (sección 4.6.5 del presente documento).
- La profundidad de suelo considerada alcanzó el horizonte superior (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2015).
- La superficie correspondiente a los distintos tipos de suelo para cada Departamento se consideró constante en el tiempo.
- La cobertura del suelo se extrajo del Mapa de Cobertura del Suelo 2015 (sección 4.6.7 del presente documento).
- Las siguientes categorías de cobertura se asociaron a Suelo Urbano: Equipamiento Urbano, Áreas Urbanas Dispersas y Área Urbana.
- Las siguientes categorías de cobertura se asociaron a Cuerpos de Agua: Aguas Artificiales, Aguas Naturales y Áreas Naturales Inundadas.
- Las siguientes categorías de cobertura se asociaron a Bosques: Plantación Forestal, Palmares, Monte Nativo y Frutales.
- Se asume que la distribución de la cobertura del suelo entre los distintos tipos de suelo es uniforme.
- Los valores de diámetros de granos de arena considerados para el fenómeno de saltación se encontraron en el rango comprendido entre 60 μm y 1000 μm (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2015).
- Los datos de viento utilizados en el cálculo fueron registrados en la Estación Cerro Colorado (UTE) para el año 2012 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2015).
- Los datos de precipitación utilizados en el cálculo fueron registrados en la Estación La Estanzuela (INIA) para el año 2012 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2015).
- No se consideró la variación de los factores de emisión utilizados ante posibles cambios futuros en la cobertura del suelo.

5.9.5. Sistemas de Control.

No se considera la existencia de sistemas de control de emisiones en este sector, ya que sus emisiones son de origen natural.

5.9.6. Resultados Preliminares.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego del cálculo de emisiones en el sector Erosión Eólica para los contaminantes PST Calculado y PM₁₀, ya que estos son los únicos contaminantes atmosféricos considerados en el sector bajo estudio. De hecho, en este sector sólo se calculan emisiones para el contaminante PM₁₀, resultando las emisiones de PST Calculado iguales a estas. Considerando la totalidad del territorio nacional, las emisiones del sector Erosión Eólica ascienden a 4817512 ton/año. En la Ilustración 33 se aprecia la distribución de las emisiones totales por Departamento.

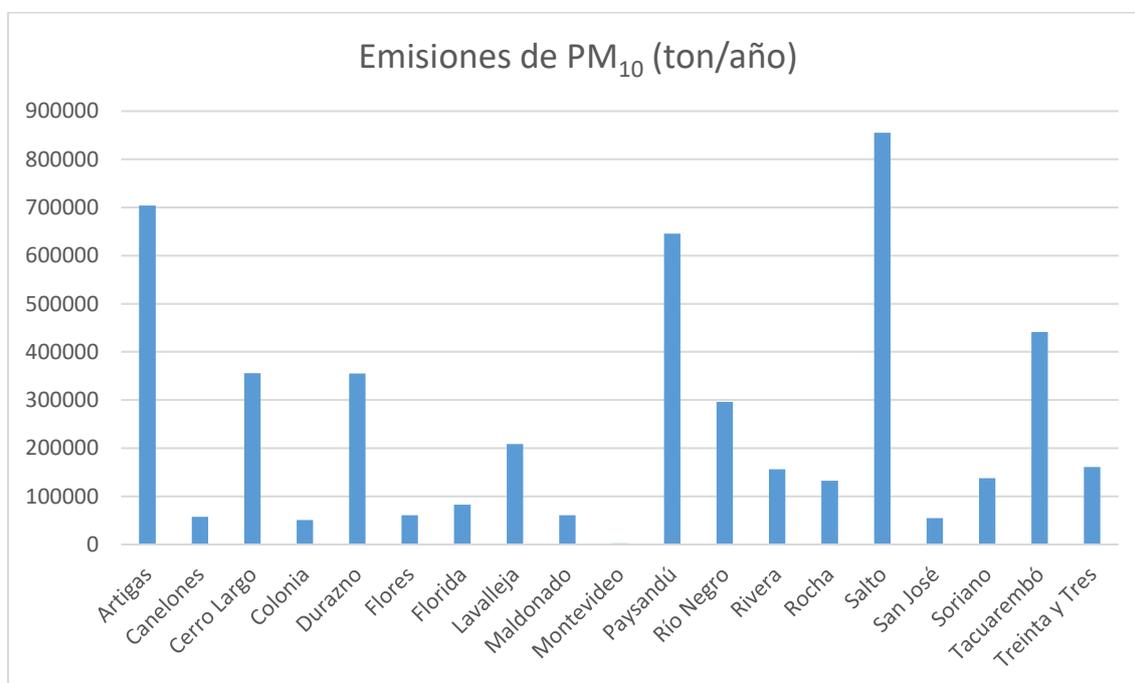


Ilustración 33: Emisiones de PM₁₀ por Departamento para el sector Erosión Eólica. Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se desprende que las mayores emisiones de PM₁₀ se registraron en Salto.

5.10. Sector Rodadura.

5.10.1. Información Básica.

En primer lugar, para el cálculo de emisiones del sector bajo estudio fue necesario contar con la información relativa a la longitud de red vial en pavimento de tosca y al TPDA²³

²³ Tránsito Promedio Diario Anual.

sobre pavimento de tosca para cada Departamento. La fuente de esta información se menciona en la sección 4.6.3 del presente documento, y en la Ilustración 34 se presenta, a modo de ejemplo, la longitud de red vial en pavimento de tosca para el interior del país.

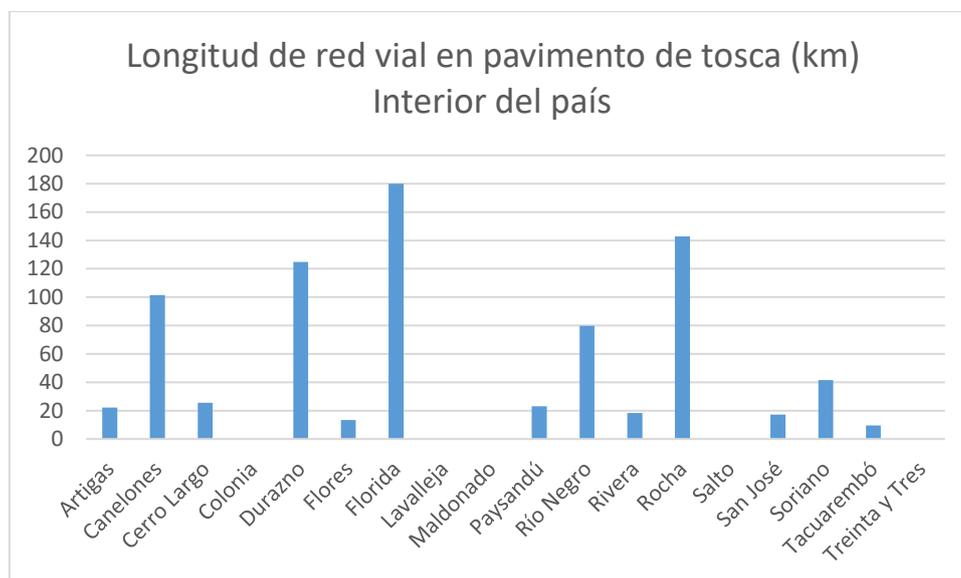


Ilustración 34: Longitud de red vial en pavimento de tosca para el interior del país. Fuente: (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).

Luego, para cada tramo de caminería departamental, fue necesario contar con diversa información relativa a sus características y uso, la cual se describe en la sección 4.6.6 de este documento. También fue necesario disponer de información referente a la capacidad de carga de los camiones utilizados habitualmente para el transporte de la producción nacional en materia de madera, granos, ganado y leche. Por último, utilizando información descripta en la sección 4.6.4, se estimó el valor del tránsito en Montevideo (que incluye el tránsito urbano).

5.10.2. Producción y Consumo.

En el sector Rodadura, la información necesaria para la aplicación del método de factores de emisión resulta ser el tránsito en la caminería nacional y departamental sin pavimentar por Departamento. A modo de ejemplo, en la Ilustración 35 se muestra el valor del tránsito en caminería nacional sin pavimentar para el interior del país²⁴.

²⁴ No se incluye el valor para Montevideo debido a los diferentes métodos de cálculo utilizados para Montevideo y para el interior del país (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).



Ilustración 35: Tránsito en caminería nacional sin pavimentar para el interior del país. Fuente: (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).

5.10.3. Actividades Emisoras.

La actividad emisora considerada en el sector bajo estudio es el tránsito de vehículos sobre caminería nacional y departamental sin pavimentar.

5.10.4. Hipótesis de Cálculo.

A continuación se listan las hipótesis de cálculo específicas del sector Rodadura:

- Se asume que el tránsito en la caminería departamental proviene del transporte de la producción agropecuaria a las rutas nacionales (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).
- Se considera que el factor de emisión de un Departamento es el promedio de los factores de emisión de los tramos de camino contenidos en este (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).
- Se asume que el material de construcción de un tramo de camino es el de la geología de la cantera más cercana al mismo (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).
- Se asume nula la emisión en días con precipitación mayor a un milímetro²⁵ (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).
- Se considera que el tránsito en Montevideo es el resultado del flujo de vehículos livianos al centro de la localidad (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).

²⁵ En la planilla del sector Rodadura se presenta la cantidad de días por año con precipitación mayor a 1 mm por Departamento.

- Se asume el contenido porcentual de material fino para caminos sin pavimentar de diversos materiales (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).
- Se asumen valores de peso bruto y peso neto para diversos tipos de vehículos (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).
- Se considera un valor porcentual para la proporción de tránsito liviano en la caminería departamental (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2017).

5.10.5. Sistemas de Control.

En el sector emisor bajo estudio no se considera la existencia de sistemas de control de emisiones atmosféricas.

5.10.6. Resultados Preliminares.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego del cálculo de emisiones en el sector Rodadura para los contaminantes PST Calculado y PM₁₀, ya que estos son los únicos contaminantes atmosféricos considerados en el sector bajo estudio. En función de lo anterior, las emisiones totales del sector Rodadura ascienden a 1858697 ton/año.

El contaminante que presenta las mayores emisiones para este sector es el PST Calculado. En este sentido, en la Ilustración 36 se presenta la distribución de las emisiones de PST Calculado por Departamento.

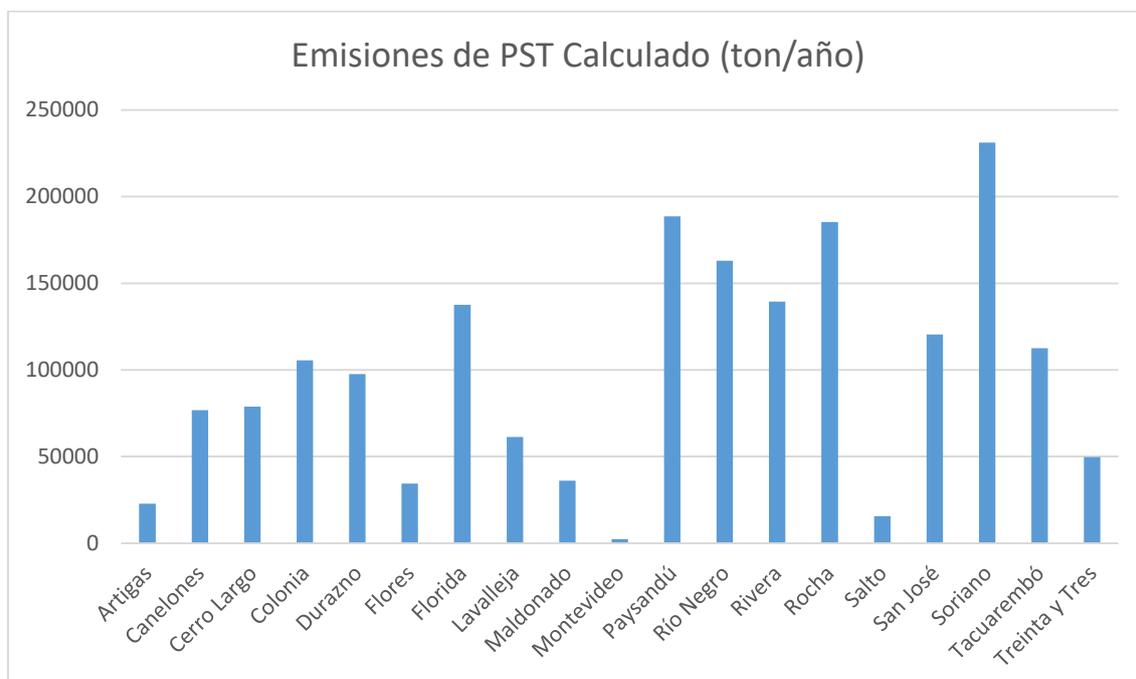


Ilustración 36: Emisiones de PST Calculado por Departamento para el sector Rodadura (se incluyen las emisiones de PM₁₀ dentro de la emisión de PST Calculado). Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se desprende que las mayores emisiones de PST Calculado se registraron en Soriano.

5.11. Sector Industrial.

5.11.1. Información Básica.

A efectos de realizar las estimaciones de emisiones a la atmósfera provenientes del sector Industrial, se solicitó información a la División Control y Seguimiento Ambiental de DINAMA. Para ello, se consultó el listado de industrias nacionales que cuentan o han contado con algún tipo de control o seguimiento por la mencionada División (y que, por lo tanto, tienen asignado un número de enlace) y que estaban identificadas como activas en el año 2015. A partir de este universo de industrias, se realizó la clasificación por rubro industrial y se consultó la información necesaria para el cálculo de las emisiones. Para una porción de estas industrias se contó con información digital, y para la mayor parte de las restantes se accedió a información física. No obstante, para un número menor de industrias no se pudo obtener información.

La información de base considerada para cada industria fue su ubicación, régimen de funcionamiento, y la existencia de unidades emisoras. Asimismo, se registró el año de la información obtenida a partir de los documentos relevados, a saber: Informe Ambiental de Operación, Solicitud de Autorización de Desagüe Industrial, Plan de Gestión de Residuos Sólidos, Autorización Ambiental de Operación, entre otros.

En la Tabla 17 se presenta la clasificación del sector por rubro, y el número de industrias pertenecientes a cada categoría.

Tabla 17: Clasificación de industrias por rubro. Fuente: elaboración propia.

Rubro industrial	Nº Industrias
Alcohol	4
Alimenticias	77
Azúcares	2
Bebidas	52
Cárnicas	138
Celulosa y Papel	13
Centrales Térmicas	8
Curtiembres	30
Extractivas	276
Lácteas	69
Metalúrgicas	33
Minerales no Metálicos	17
Molinos	58
Oleaginosas	10
Pescado	12
Petróleo y Carbón	9
Producción Agropecuaria	198
Químicas	177
Textiles	21
Total	1204

Por otra parte, se analizó la cobertura de información obtenida para el sector Industrial. Es decir, el porcentaje de industrias para las cuales se pudo obtener información en base al universo de industrias. De las 1204 industrias identificadas como activas en el 2015, se pudo obtener información para un total de 912 industrias, resultando en una cobertura global del 76%. Cabe destacar que las industrias no relevadas fueron identificadas como de contribución no relevante para el Inventario por parte de técnicos de DINAMA. Los porcentajes de cobertura por rubro se pueden apreciar en el gráfico de la Ilustración 37.

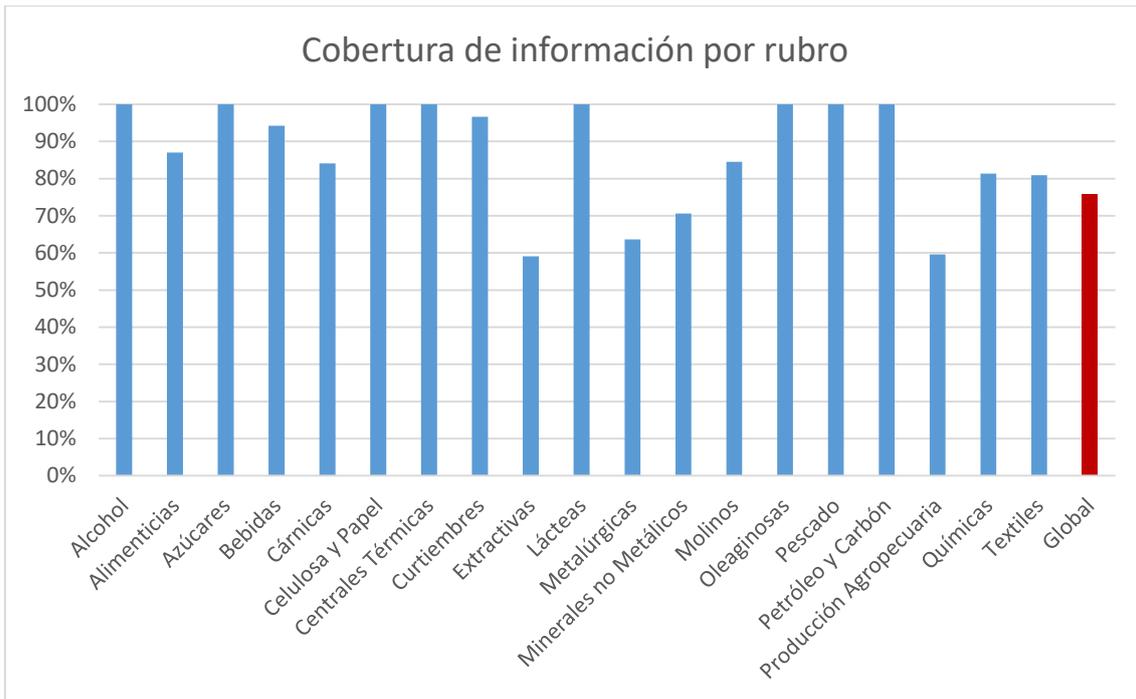


Ilustración 37: Porcentaje de cobertura de información por rubro y global. Fuente: elaboración propia.

En caso de contar con información disponible, la información relevada de cada industria fue la perteneciente al año 2015. De lo contrario, se priorizó la información temporalmente más cercana al 2015, y en caso de existir dos opciones con la misma diferencia temporal, se optó por la más antigua.

En la Ilustración 38 se aprecian los porcentajes referidos al año de información de cada industria sobre el total de industrias relevadas. Según se puede apreciar, para el 30% de las industrias relevadas se contó con información de 2015, mientras que para el 68% de las industrias se contó con información de entre 2014 y 2016.

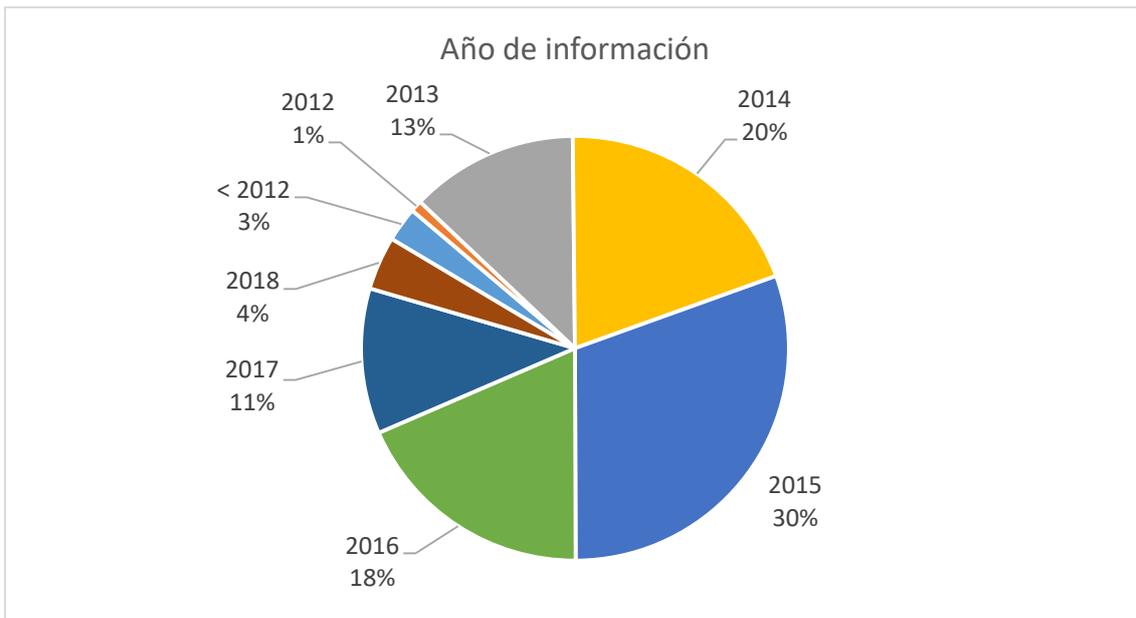


Ilustración 38: Año de información de cada industria relevada. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la distribución geográfica, Montevideo es el Departamento que alberga la mayor cantidad de industrias, 313 sobre un total de 1204. En el gráfico de la Ilustración 39 se puede apreciar el número de industrias por Departamento.

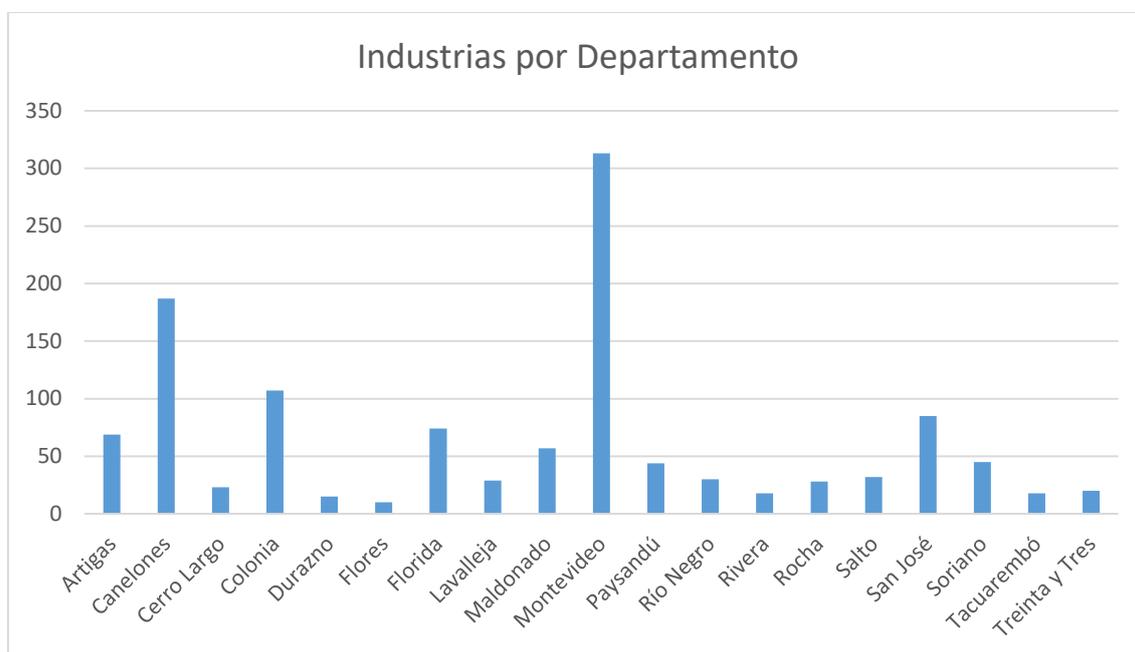


Ilustración 39. Número de industrias por Departamento. Elaboración propia.

5.11.2. Consumo de Combustibles.

El consumo de combustibles representa una parte de las actividades emisoras del sector industrial, las cuales son comunes a todos los rubros. En la Tabla 18 se presentan los consumos totales de combustibles del sector Industrial de acuerdo a la información relevada.

Tabla 18: Consumo de combustible a nivel nacional en el sector industrial. Fuente: elaboración propia.

Combustible	Consumo anual
Gas Oil (m ³)	261050
Leña y Biomasa ⁽¹⁾ (ton)	5373790
Fuel Oil (m ³)	203864
Gas Natural (m ³)	12371287
GLP (m ³)	16848

⁽¹⁾ En esta categoría se incluye los consumos reportados como "Leña" o "Biomasa". No obstante, en todos los casos se utilizaron los Factores de Emisión correspondientes al consumo de Leña, al carecer de Factores de Emisión para el consumo de Biomasa. Existen dos excepciones a esta regla: consumo de Bagazo en el rubro Azúcares y consumo de Licor Negro en el rubro Celulosa y Papel.

A efectos de evaluar el consumo de combustibles del sector Industrial relevado durante la elaboración del Inventario de Emisiones Atmosféricas, se realizó una comparación con

el consumo de combustibles reportado en el Balance Energético Nacional para el año 2015 (DNE-MIEM, 2015). En la Ilustración 40 se presenta un gráfico de barras que muestra la relación entre el consumo de combustibles del sector Industrial relevado en el presente trabajo y el reportado por la DNE. Para realizar la conversión de unidades, se utilizaron los factores de conversión del BEN, considerando para el caso de Biomasa el promedio de los factores de conversión de aserrín, chips, residuos forestales, licor negro, bagazo, cáscara de arroz, cáscara de girasol y casullo de cebada. Adicionalmente, a los valores de la Tabla 18 se les descontó los respectivos consumos del rubro Producción Agropecuaria. Por último, para el consumo de licor negro en el rubro Celulosa y Papel se consideró una eficiencia del proceso igual a 60%, debido a que en el BEN se informa la energía generada y los datos relevados en DINAMA corresponden al consumo bruto de este combustible.

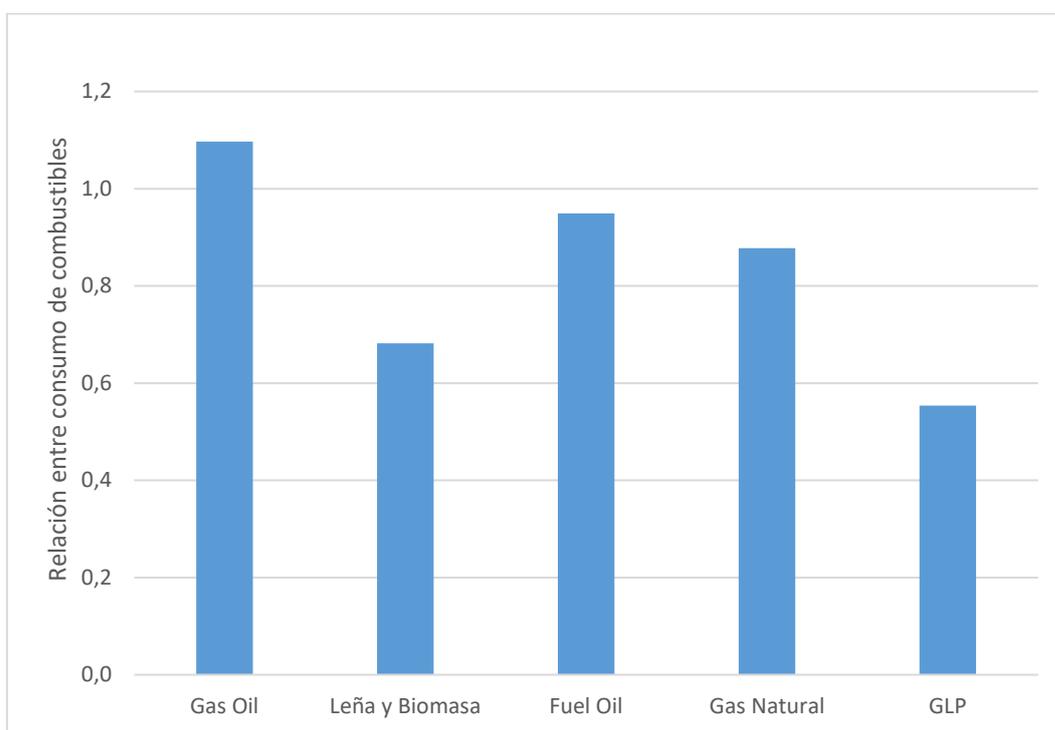


Ilustración 40: Relación entre el consumo de combustibles considerado en la elaboración del Inventario de Emisiones Atmosféricas y el consumo de combustibles reportado en el Balance Energético Nacional, del año 2015 en el sector Industrial (IEA/BEN). Fuente: elaboración propia.

Del gráfico se puede apreciar como el consumo relevado en el sector Industrial de Gas Oil, Fuel Oil y Gas Natural se encuentra próximo al reportado por la DNE para el mismo sector. Mientras que el consumo de GLP relevado fue 0.6 veces el reportado en el BEN.

Por otra parte, el consumo de Leña y Biomasa en el sector Industrial considerado en este trabajo es aproximadamente 0.7 veces el consumo de Leña y Biomasa reportado en el BEN. Al respecto, cabe destacar que según los datos de la DNE, el consumo de Biomasa es significativamente mayor que el consumo de Leña (87% y 13% respectivamente en términos energéticos para el año 2015). En algunos casos, el consumo de Biomasa reportado por las industrias fue considerado como consumo de Leña a efectos del cálculo de emisiones, al no contar con Factores de Emisión específicos.

Es preciso señalar que en algunos casos el consumo de Biomasa fue omitido, pero no así sus emisiones. Esto sucede, por ejemplo, en la producción de cemento portland, donde las emisiones se estiman a partir del cemento producido y no de los combustibles utilizados (lo mismo sucede en la generación de energía eléctrica en motores a Fuel Oil, donde las emisiones se estiman a partir de la energía generada).

Cabe destacar que además de estos casos particulares, existen otros elementos que pueden provocar diferencias entre los consumos de combustible relevados en este trabajo y aquellos reportados en el BEN: la falta de información para algunas industrias, ya sea porque no se obtuvo información o porque la información digital no especifica el consumo de combustible; la heterogeneidad en el año de información considerado; la utilización de máximos mensuales cuando no se cuenta con el dato exacto o errores en los valores reportados.

5.11.3. Actividades Productivas.

La fracción restante de las actividades emisoras del sector industrial la conforman las actividades productivas, específicas de cada rubro. En la Tabla 19 se presentan las distintas actividades productivas, se indican a qué rubro pertenecen y se informa su nivel de actividad anual relevado.

Tabla 19: Listado de actividades emisoras consideradas (S/D: Sin Dato). Fuente: elaboración propia.

Descripción	Rubro	Actividad anual
Producción de Azúcar (ton)	Azúcares	164832
Producción de Vino Tinto y Rosado (m ³)	Bebidas	110376
Producción de Vino Blanco (m ³)	Bebidas	10406
Producción de Cerveza (m ³)	Bebidas	98868
Consumo de Granos (m ³)	Bebidas	272036
Producción de Sangre Seca (ton)	Cárnicas	949
Elaboración de Pulpa Kraft (ton)	Celulosa y Papel	2465260
Producción de Energía con Fuel Oil (MWh)	Centrales Térmicas	380113
Manipulación, Transferencia y Almacenamiento de Arena (ton)	Extractivas	1908749
Cribado de Arena (ton)	Extractivas	472181
Trituración Primaria de Piedra (ton)	Extractivas	1396135
Trituración Secundaria de Piedra (ton)	Extractivas	621386
Trituración Terciaria de Piedra (ton)	Extractivas	321715
Trituración Fina de Piedra (ton)	Extractivas	436158
Tamizado de Piedra (ton)	Extractivas	1270408
Tamizado Fino de Piedra (ton)	Extractivas	S/D
Descarga de Piedra de Cinta Transp. (ton)	Extractivas	1012298
Perforación Húmeda en Roca Sana (ton)	Extractivas	36382
Descarga de Roca Fragmentada (ton)	Extractivas	4529346

Descripción	Rubro	Actividad anual
Descarga de Roca Triturada (ton)	Extractivas	1643567
Producción de Queso Seco (ton)	Lácteas	51615
Producción de Suero Seco (ton)	Lácteas	145443
Aluminio Procesado (ton)	Metalúrgicas	10599
Cloro Utilizado en el Proc. de Aluminio (ton)	Metalúrgicas	S/D
Cobre Procesado (ton)	Metalúrgicas	336
Acero Procesado (ton)	Metalúrgicas	137378
Arena Utilizada en el Proc. de Acero (ton)	Metalúrgicas	359
Producción de Clinker en Proceso Seco (ton)	Minerales no Metálicos	1141637
Producción de Clinker en Proceso Húmedo (ton)	Minerales no Metálicos	186096
Molienda de Materias Primas en la Producción de Clinker (ton)	Minerales no Metálicos	2031613
Producción de Cal en Horno Rotatorio a Carbón (ton)	Minerales no Metálicos	54000
Hidratación Atmosférica de Cal (ton)	Minerales no Metálicos	54000
Recepción de Granos (ton)	Molinos	6251555
Limpieza de Granos (ton)	Molinos	3130144
Secado de Granos (ton)	Molinos	3474675
Manipulación Interna de Granos (ton)	Molinos	6078238
Almacenamiento de Granos (ton)	Molinos	2247980
Despacho de Granos (ton)	Molinos	3678438
Molienda de Ración para Animales (ton)	Molinos	95419
Enfriado de Pellets (ton)	Molinos	919
Molienda de Trigo (ton)	Molinos	143592
Molienda de Arroz (ton)	Molinos	790037
Aspirador de Cáscara de Arroz (ton)	Molinos	156486
Manejo de Cáscara de Arroz (ton)	Molinos	877860
Pescado Secado (ton)	Pescado	3960
Petróleo Refinado (ton)	Petróleo y Carbón	2169277
Producción de Azufre en Planta Desulfuradora (ton)	Petróleo y Carbón	1680
Secado de Detergente (ton)	Químicas	1178
Producción de Pintura (ton)	Químicas	45562
Producción de Pigmentos de Pintura (ton)	Químicas	2519
Producción de Baterías (unidades)	Químicas	29700
Producción de Ácido Sulfúrico (ton)	Químicas	88781
Producción de PET (ton)	Químicas	136620

5.11.4. Hipótesis de Cálculo.

A continuación se listan las hipótesis de cálculo específicas del sector Industrial:

General:

- Cuando se informa consumo de “GAS” en volumen, se asume que el combustible consumido es Gas Natural. Por el contrario, cuando se informa consumo de “GAS” en peso, se asume que el combustible consumido es GLP.

Bebidas:

- Volumen de barril de cerveza: 31 galones.
- Cuando no se especifica, se asume que el vino producido es vino tinto/rosado.

Celulosa y Papel:

- Densidad del SO₂: 2.86 kg/m³.
- Densidad del NO₂: 2.05 kg/m³.

Centrales Térmicas:

- 1 MWh = 3.6 GJ.

Extractivas:

- Densidad aparente de la arena: 1.5 ton/m³.
- Densidad aparente de la roca: 1.5 ton/m³.
- Densidad de roca sana: 2.65 ton/m³.
- Se supone que la trituración primaria se realiza en triturador de mandíbulas.

Lácteas:

- Cuando no se especifica, se asume que el queso producido es queso seco.

Metalúrgicas.

- Eficiencia de control de filtro de mangas: 99%.

Minerales no Metálicos:

- Contenido de cenizas del aceite: 1% en masa.
- Contenido de azufre del aceite: 3.4% en masa.

Molinos:

- Cuando no se especifica, se asume que el modo de recepción o despacho de granos es con camión.
- Cuando no se especifica, se asume que la cantidad de grano manipulada en cada etapa es igual a la cantidad de grano recibido.
- Cuando no se especifica, se asume que el secado de granos es tipo columna.

Petróleo y Carbón:

- Densidad del azufre recuperado en planta desulfurizadora: 2 ton/m³.

- Relación entre agua consumida en torres de enfriamiento e ingreso de petróleo crudo: 40.
- Recuperación de azufre en planta desulfuradora: 99 %.

Químicas:

- Densidad del SO₂: 2.86 kg/m³.
- Densidad de la pintura: 1.18 kg/L.
- Peso de botella de PET: 50 g.
- Peso de batería: 20 kg.
- Cuando no se especifica el tipo de detergente, se asume que es detergente en polvo.

Comentarios de industrias específicas:

- Alimenticia N° 20: el consumo de cáscara de arroz informado se ingresa como consumo de Leña. Las horas se calcularon con el tiempo de operación de la caldera.
- Alimenticia N° 45: se informa un consumo de GAS, unidad OTROS. Se asume que son toneladas de GLP.
- Alimenticia N°77: se informa consumo de Leña en "kcal/h", se ingresa el valor como kg/h.
- Bebidas N° 29: se informa consumo de Fuel Oil, unidad OTROS. Se asume que son litros.
- Bebidas N° 30: el consumo de Biomasa informado se ingresa como consumo de Leña.
- Bebidas N° 35: se informa consumo de GAS, unidad OTROS. Se asume que son metros cúbicos de Gas Natural.
- Cárnicas N° 17: el consumo de Biomasa informado se ingresa como consumo de Leña.
- Cárnicas N° 68: el consumo de Biomasa informado se ingresa como consumo de Leña.
- Celulosa y Papel N° 1: la elaboración de pulpa de celulosa informada en ADT (toneladas secas al aire) se ingresó en toneladas. Los datos del monitoreo de emisiones de NO₂ se ingresaron como NO_x. No se consideró el consumo de lodo primario en caldera. El consumo de licor negro informado corresponde al año 2016.
- Celulosa y Papel N° 11: la elaboración de pulpa de celulosa informada en ADT (toneladas secas al aire) se ingresó en toneladas. El consumo de licor negro informado corresponde al año 2016.
- Centrales Térmicas N° 1: el consumo de Biomasa informado se ingresa como consumo de Leña.
- Lácteas N° 43: se informa consumo de Leña en metros cúbicos. Para realizar la conversión se supone una densidad de Leña de 0.5 ton/m³.

- Metalúrgicas N° 15: en aluminio fundido se ingresa la producción de perfiles de aluminio.
- Metalúrgicas N° 16: en acero fundido se ingresa la producción de laminado, hierros de construcción cortado y doblado, mallas electrosoldadas y palanquillas.
- Minerales no Metálicos N° 1: se asume condiciones húmedas del clinker al ingresar al horno.
- Minerales no Metálicos N° 6: el consumo de Fuel Oil se estimó en base a información de DINAMA de mayo de 2017 evaluando producción, a partir de información presentada por la empresa en 2016.
- Molinos N° 3, 9, 10: la cantidad de grano procesado se estimó en base a las capacidades de la planta.
- Molinos N° 18: se asume molino descamador.
- Molinos N° 19: el consumo de Gas Oil que se ingresa corresponde a remolcadores y vehículos.
- Molinos N° 37: se estima la producción anual en base a la capacidad de producción diaria y una producción de 5 días por semana.
- Oleaginosas N° 4: el consumo de Biomasa informado se ingresa como Leña.
- Producción Agropecuaria N° 15, 104 y 130: el consumo de combustible informado se ingresa como Gas Oil.
- Producción Agropecuaria N° 98: los consumos ingresados corresponden a 6 establecimientos distintos.
- Químicas N° 26: el consumo de Biomasa informado se ingresa como Leña.
- Químicas N° 32: se asume densidad de gas butano de 0.582 ton/m³.
- Químicas N° 123: se asume que la UE²⁶ 5 funciona la misma cantidad de horas que la UE 4, la UE 1 la misma cantidad de horas que la UE 2 y las UE 9, 10 y 11 la misma cantidad de horas que las UE 12, 13, 14 y 15.
- Químicas N° 142: se asume un peso medio de batería de 20 kg.
- Textiles N° 11: el consumo de Biomasa informado se ingresa como Leña.

5.11.5. Sistemas de Control.

En el sector Industrial, parte de los sistemas de control están implícitos en las actividades productivas. Asimismo, algunas de las actividades emisoras cuentan con factores de emisión sin control, y/o con diversos sistemas de control. No obstante, las planillas incluyen una hoja para el ingreso de sistemas de control, en la cual pueden ingresarse rendimientos de control por actividad y por contaminante. No se incluyeron rendimientos de control en esta hoja para ningún rubro del sector Industrial.

²⁶ Unidad Emisora.

5.11.6. Resultados Preliminares.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego del cálculo de emisiones en el sector Industrial para los contaminantes SO_x Calculado, COV_s , NO_x , CO, PST Calculado y PM_{10} ²⁷. Considerando la totalidad de estos contaminantes, las emisiones del sector Industrial ascienden a 99118 ton/año.

El contaminante que presenta las mayores emisiones para este sector es el SO_x Calculado. En este sentido, en la Ilustración 41 se presenta la distribución de las emisiones de SO_x Calculado por Departamento.

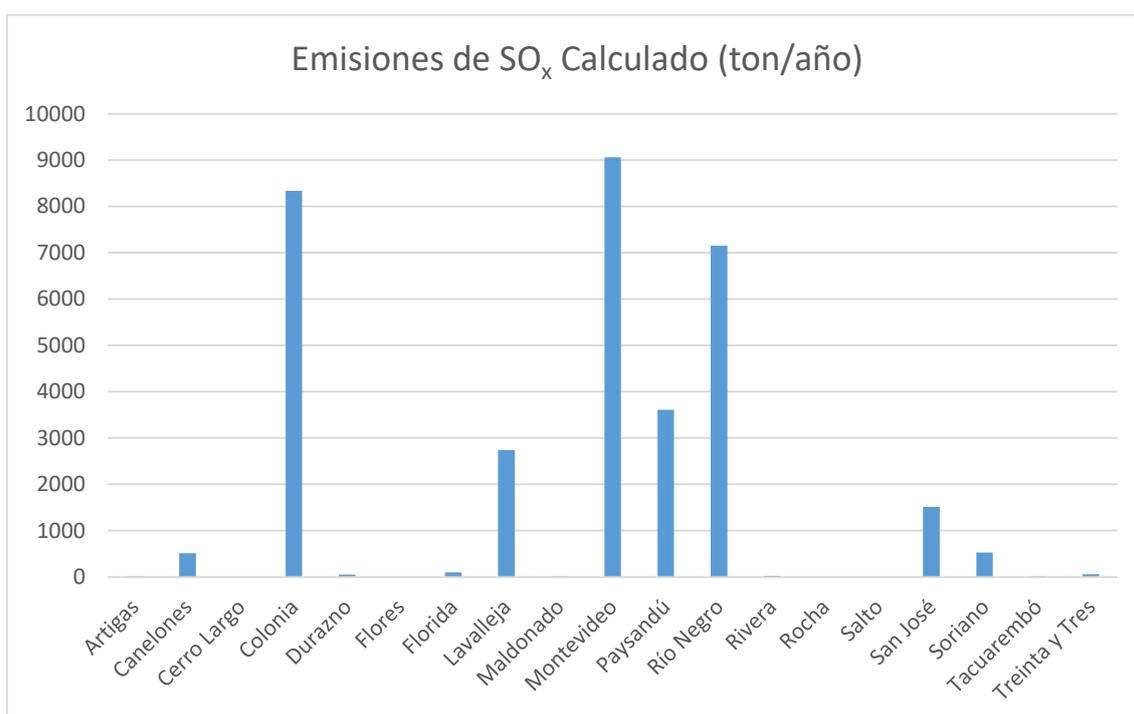


Ilustración 41: Emisiones de SO_x Calculado por Departamento para el sector Industrial. Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se desprende que las mayores emisiones de SO_x Calculado se registraron en Montevideo. Continuando con este análisis, en la Ilustración 42 se presentan las emisiones de SO_x Calculado para el Departamento de Montevideo, en cada uno de los rubros considerados.

²⁷ Los resultados obtenidos para el resto de los contaminantes calculados pueden apreciarse en la planilla de cálculo del sector Industrial.

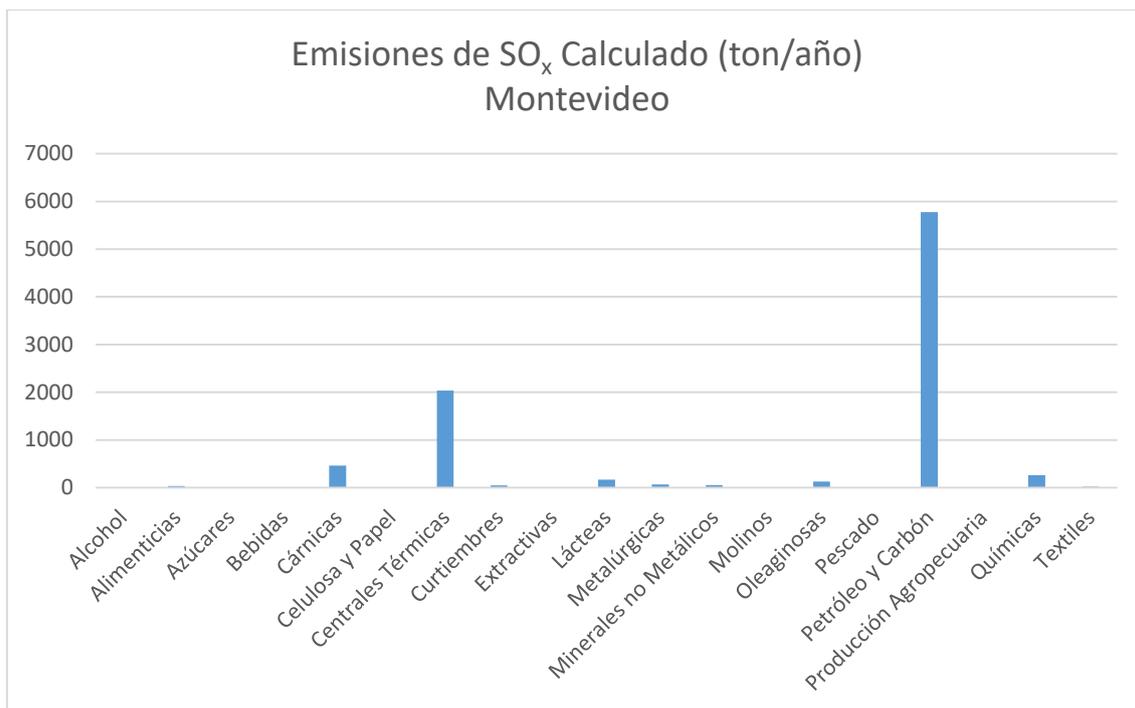


Ilustración 42: Emisiones de SO_x Calculado para el Departamento de Montevideo para cada rubro del sector Industrial. Fuente: elaboración propia.

A partir de la Ilustración 42 se concluye que el rubro industrial responsable de las mayores emisiones de SO_x Calculado en el Departamento de Montevideo es el denominado Petróleo y Carbón. Al respecto, la industria N° 5 de este rubro es la que presenta las mayores emisiones de SO_x Calculado, con un valor estimado en 5779 ton/año.

Adicionalmente, se puede observar que para el sector Industrial, las emisiones de SO_x Calculado en los Departamentos de Colonia y Río Negro se encuentran próximas a las emisiones de SO_x Calculado para Montevideo. El rubro industrial responsable de las mayores emisiones de SO_x Calculado en ambos Departamentos es el denominado Celulosa y Papel, siendo este el rubro más emisor de este contaminante. Cabe destacar que el rubro Minerales no Metálicos también genera aportes significativos de SO_x Calculado, principalmente en los Departamentos de Paysandú y Lavalleja.

6. Análisis de Resultados.

En este capítulo se efectúan diversos análisis a partir de los resultados presentados en las secciones 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11 del presente documento.

6.1. Principales contaminantes emitidos.

Teniendo en cuenta los contaminantes atmosféricos analizados en el capítulo 5 del presente documento: SO_x calculado, NO_x, PST calculado, PM₁₀, CO y COV_s, la emisión atmosférica total calculada asciende a 7196350 ton/año.

El contaminante atmosférico que presenta las mayores emisiones es el PM₁₀ (76.6%) seguido del PST Calculado (16.8%). Más allá de esto, en este punto se remarca la relevancia en las emisiones totales de los sectores Erosión Eólica y Rodadura, con un aporte del 66.9% y del 25.8% respectivamente. Es decir, estos dos sectores aportan en conjunto el 92.8% de las emisiones totales. Es por esto que, en los análisis que siguen se tendrán en cuenta solamente aquellos sectores emisores considerados en la versión 2006 del Inventario, a los efectos de poder comparar ambas versiones del trabajo. De todas maneras, queda aquí destacada la relevancia de los sectores Erosión Eólica y Rodadura en las emisiones atmosféricas nacionales totales.

Considerando entonces los sectores emisores presentes en ambas versiones del Inventario (Vehicular, Agropecuario, Residencial, Servicios y Comercios e Industrial), las emisiones atmosféricas totales ascienden a 520141 ton/año.

De este total, se destaca que el contaminante atmosférico que presenta las mayores emisiones es el CO (49.0%) seguido de los COV_s (26.5%).

6.2. Principales sectores emisores.

Entre la Ilustración 43 y la Ilustración 48 se presenta la distribución porcentual de las emisiones de los contaminantes atmosféricos bajo estudio entre los sectores considerados para el análisis (Vehicular, Agropecuario, Residencial, Servicios y Comercios e Industrial)²⁸.

²⁸ El rubro industrial denominado Producción Agropecuaria no aporta para las emisiones totales del sector Industrial en este análisis, ya que se entiende que las emisiones de dicho rubro se encuentran incluidas dentro de las emisiones del sector Agropecuario.

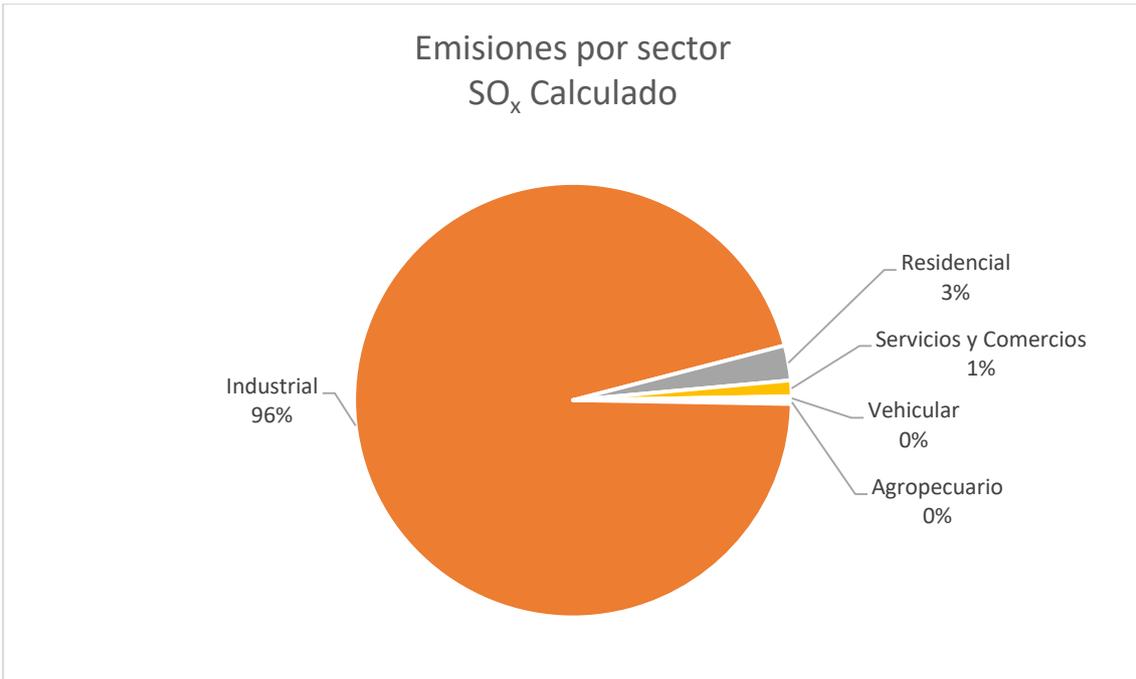


Ilustración 43: Distribución porcentual de las emisiones de SO_x Calculado entre los distintos sectores. Fuente: elaboración propia.

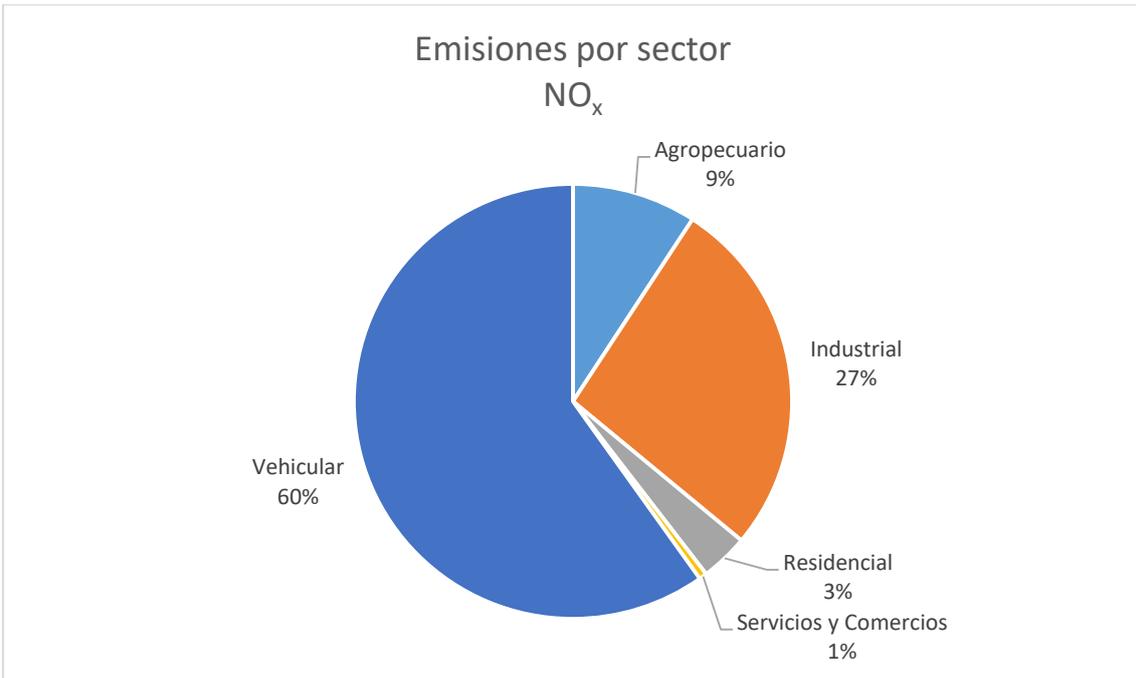


Ilustración 44: Distribución porcentual de las emisiones de NO_x entre los distintos sectores. Fuente: elaboración propia.

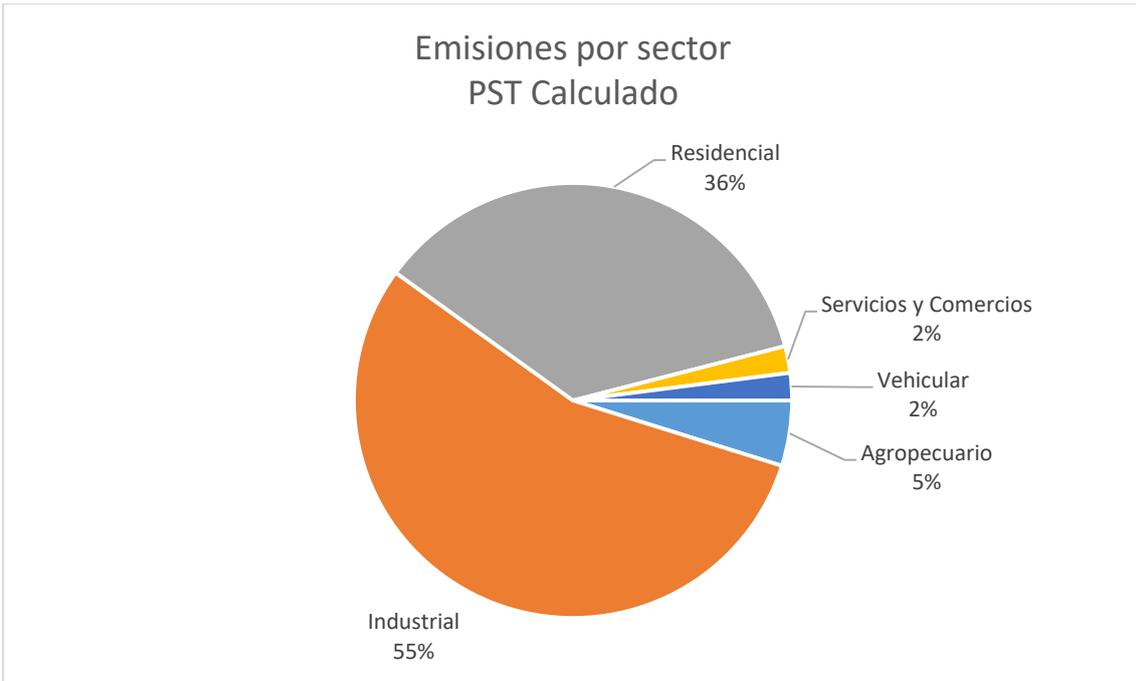


Ilustración 45: Distribución porcentual de las emisiones de PST Calculado entre los distintos sectores. Fuente: elaboración propia.

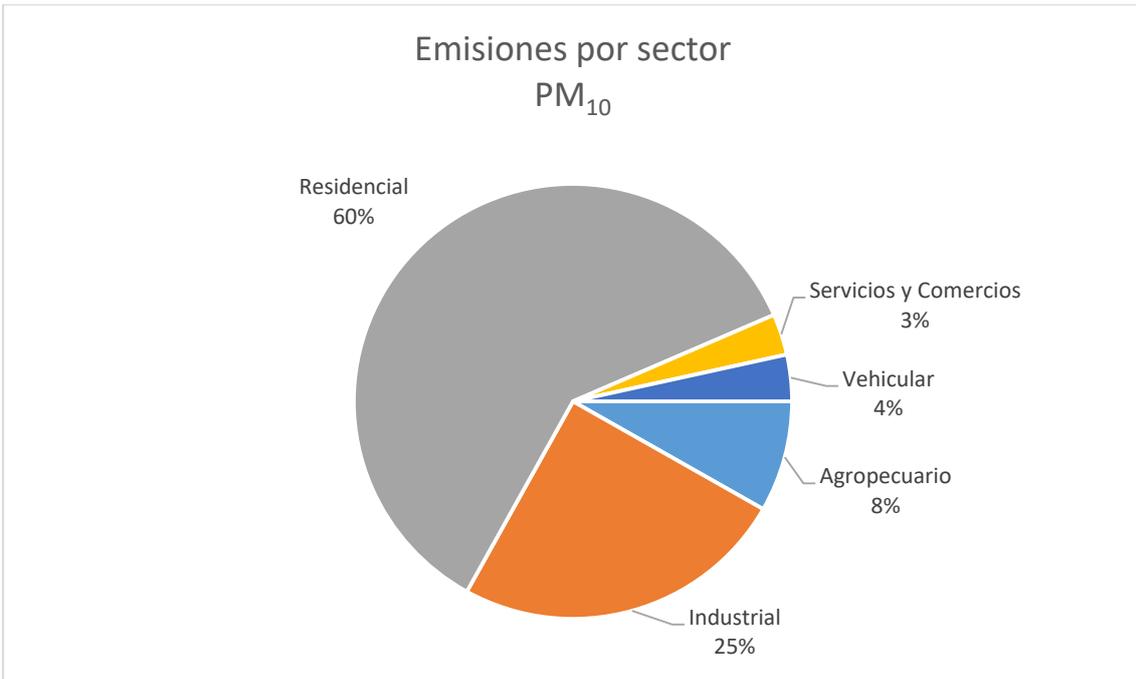


Ilustración 46: Distribución porcentual de las emisiones de PM₁₀ entre los distintos sectores. Fuente: elaboración propia.

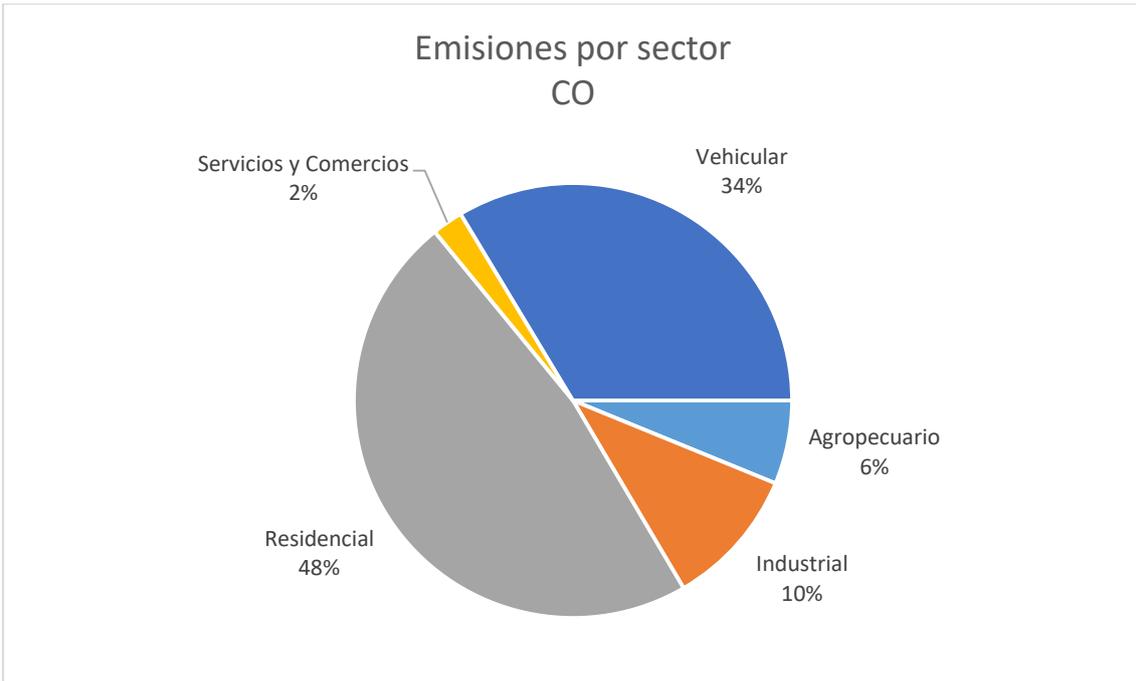


Ilustración 47: Distribución porcentual de las emisiones de CO entre los distintos sectores. Fuente: elaboración propia.

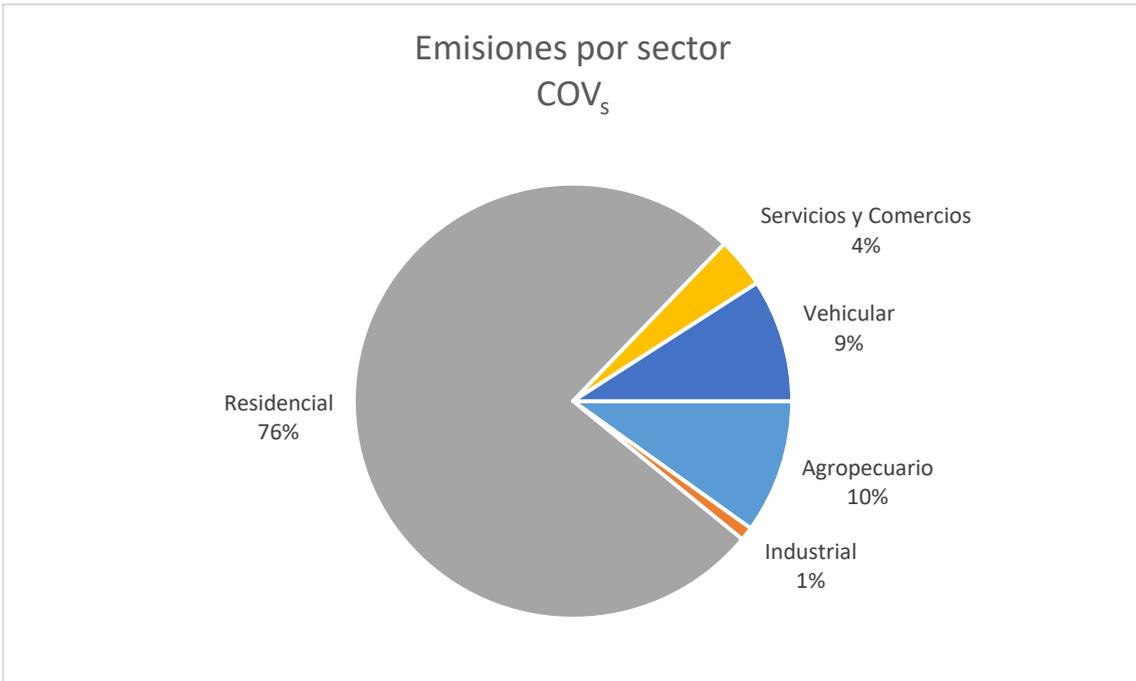


Ilustración 48: Distribución porcentual de las emisiones de COV_s entre los distintos sectores. Fuente: elaboración propia.

A partir de los resultados presentados, en primer lugar se observa que las mayores emisiones de SO_x Calculado y de PST Calculado se generan en el sector Industrial. En este sentido, en la Ilustración 49 y en la Ilustración 50 se presentan las emisiones de SO_x Calculado y de PST Calculado para cada rubro Industrial respectivamente.

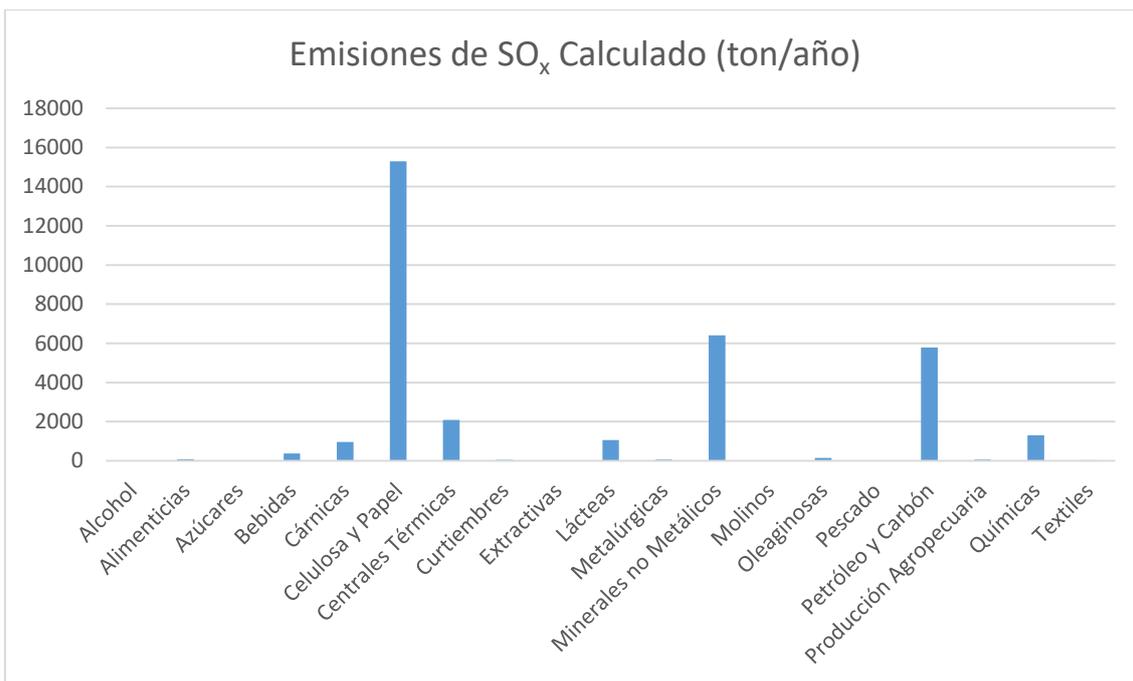


Ilustración 49: Emisiones de SO_x Calculado para los distintos rubros del sector Industrial. Fuente: elaboración propia.

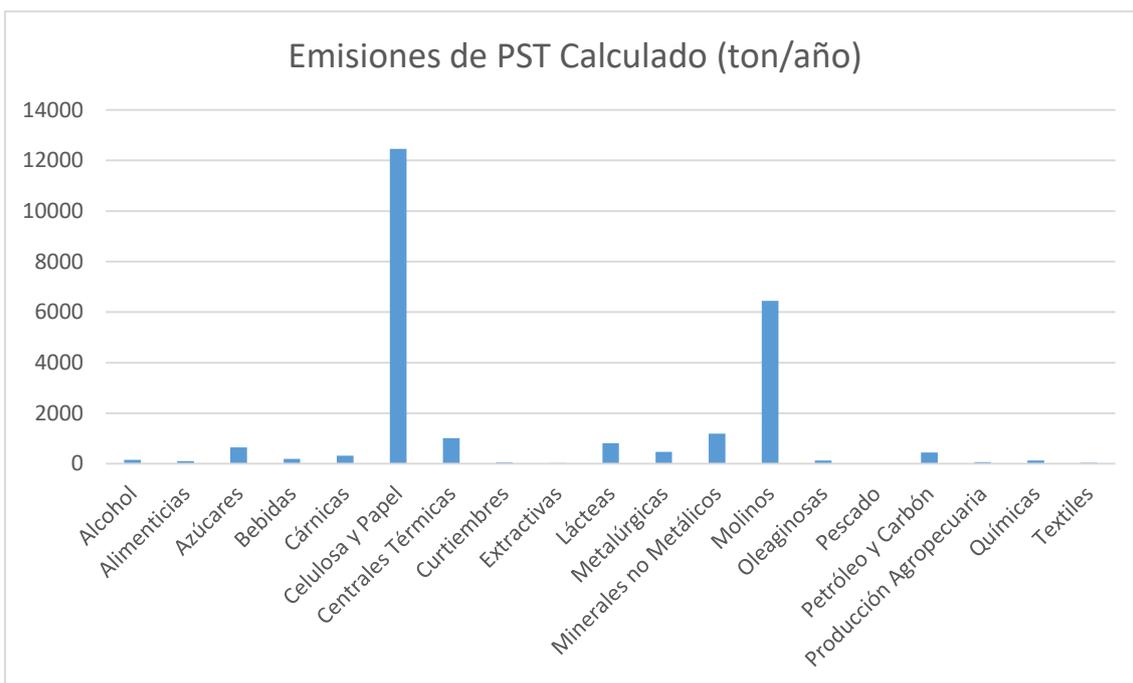


Ilustración 50: Emisiones de PST Calculado para los distintos rubros del sector Industrial. Fuente: elaboración propia.

A partir de lo anterior se observa que el rubro Celulosa y Papel del sector Industrial es el que presenta las mayores emisiones de SO_x Calculado y de PST Calculado.

Por otra parte, se señala que el sector Residencial es responsable de las mayores emisiones nacionales de los contaminantes PM₁₀, CO y COV_s. Con el objetivo de analizar el origen de estas emisiones, en la Ilustración 51 se presentan las emisiones de estos contaminantes en función del consumo, en el sector Residencial, de los combustibles considerados.

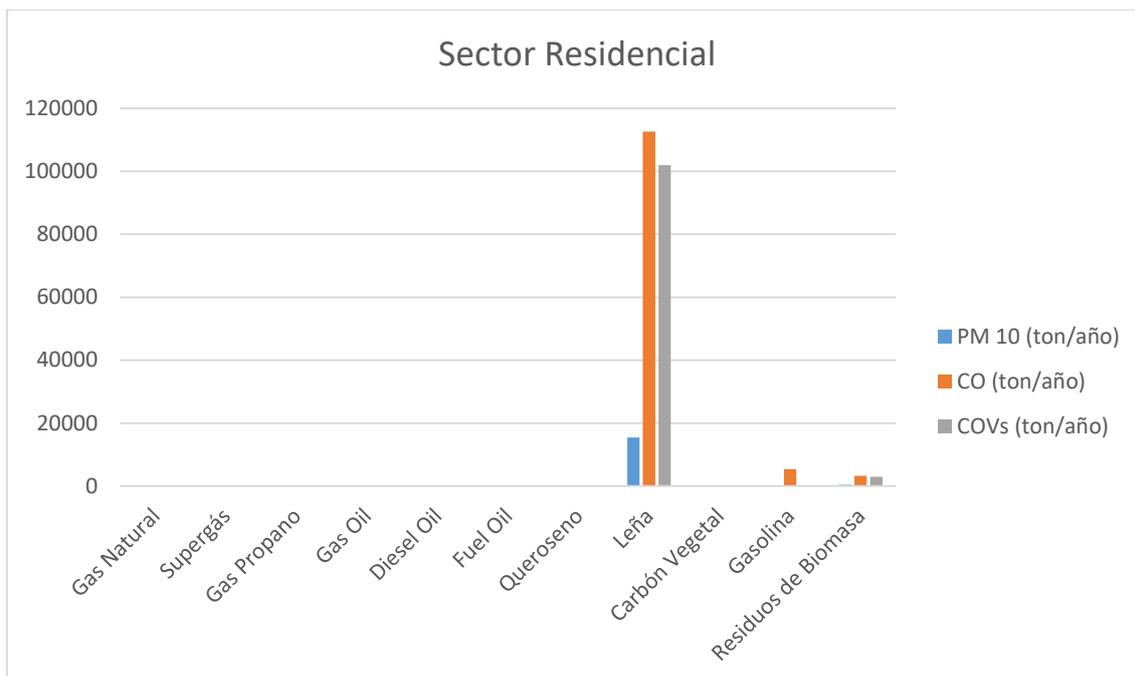


Ilustración 51: Emisiones de PM₁₀, CO y COVs asociadas al consumo de los combustibles considerados (sector Residencial). Fuente: elaboración propia.

A partir de la Ilustración 51 se concluye que las emisiones de PM₁₀, CO y COVs en el sector Residencial se asocian, principalmente, al consumo del combustible Leña.

Por último, en la Ilustración 44 se observa que las mayores emisiones de NO_x son originadas en el sector Vehicular. En este sentido, en la Ilustración 52 se presentan las emisiones de NO_x para cada categoría vehicular considerada en este sector.

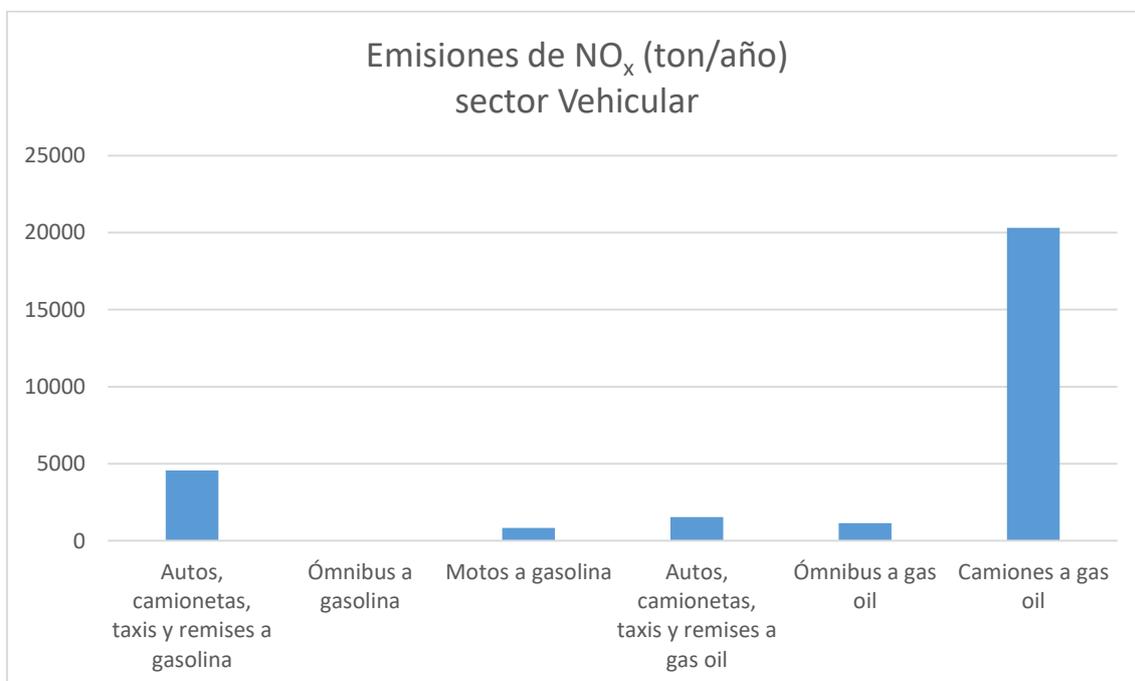


Ilustración 52: Emisiones de NO_x para cada categoría vehicular considerada en el sector Vehicular. Fuente: elaboración propia.

A partir de la Ilustración 52 se concluye que la categoría vehicular denominada Camiones a gas oil es la responsable de las mayores emisiones de NO_x en el sector Vehicular.

6.3. Emisiones por Departamento.

En la presente sección se analiza la distribución geográfica de las emisiones calculadas para los contaminantes atmosféricos considerados y para los sectores bajo estudio (Vehicular, Agropecuario, Residencial, Servicios y Comercios e Industrial). Esta distribución departamental de emisiones se presenta de forma gráfica entre la Ilustración 53 y la Ilustración 58. Para facilitar la visualización de los resultados, las emisiones departamentales se han agrupado en cuatro rangos para cada contaminante: menores al percentil 0.25; entre el percentil 0.25 y el percentil 0.5; entre el percentil 0.5 y el percentil 0.75; y mayores al percentil 0.75.

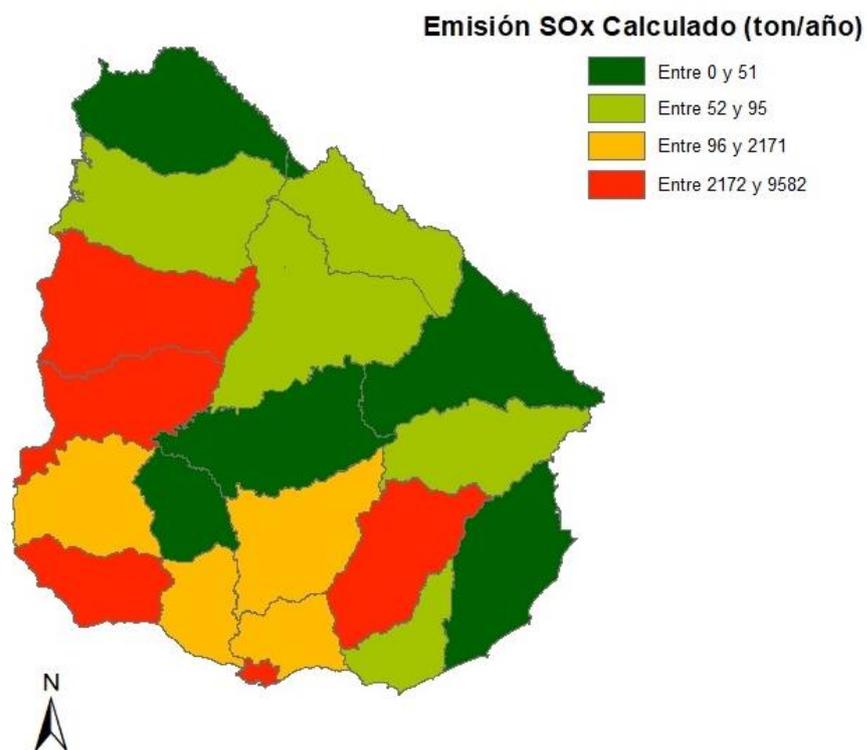


Ilustración 53: Distribución geográfica de las emisiones de SO_x Calculado. Fuente: elaboración propia.

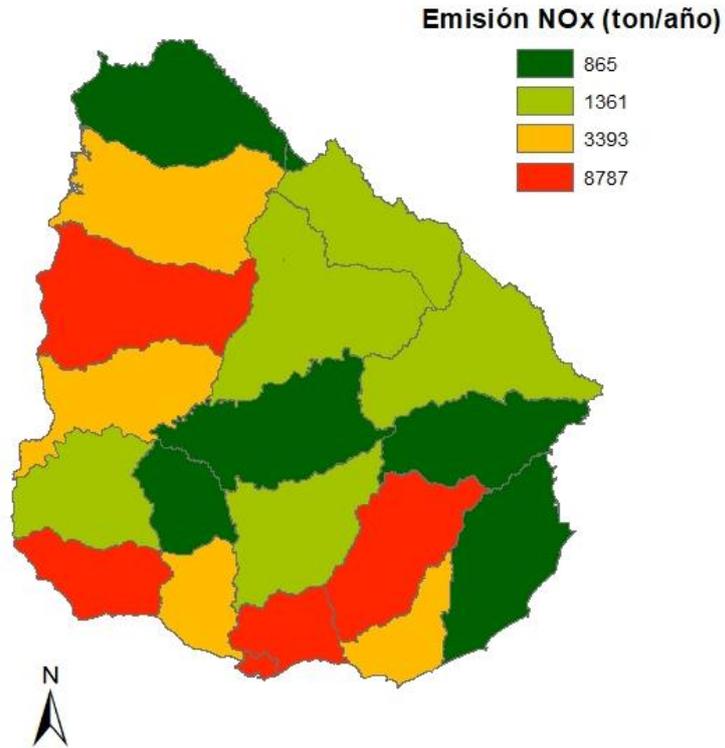


Ilustración 54: Distribución geográfica de las emisiones de NO_x. Fuente: elaboración propia.

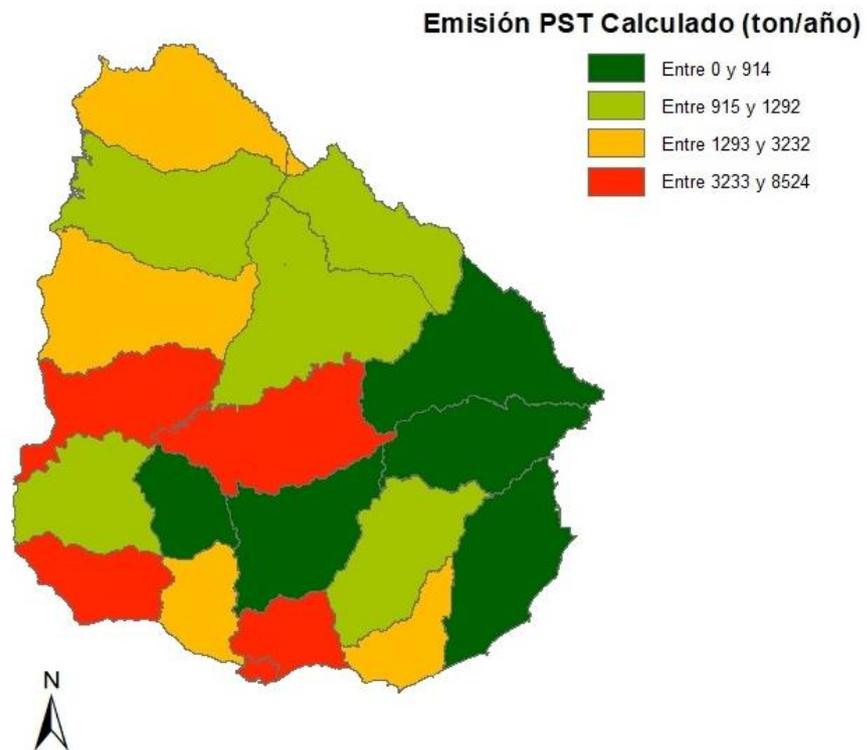


Ilustración 55: Distribución geográfica de las emisiones de PST Calculado. Fuente: elaboración propia.

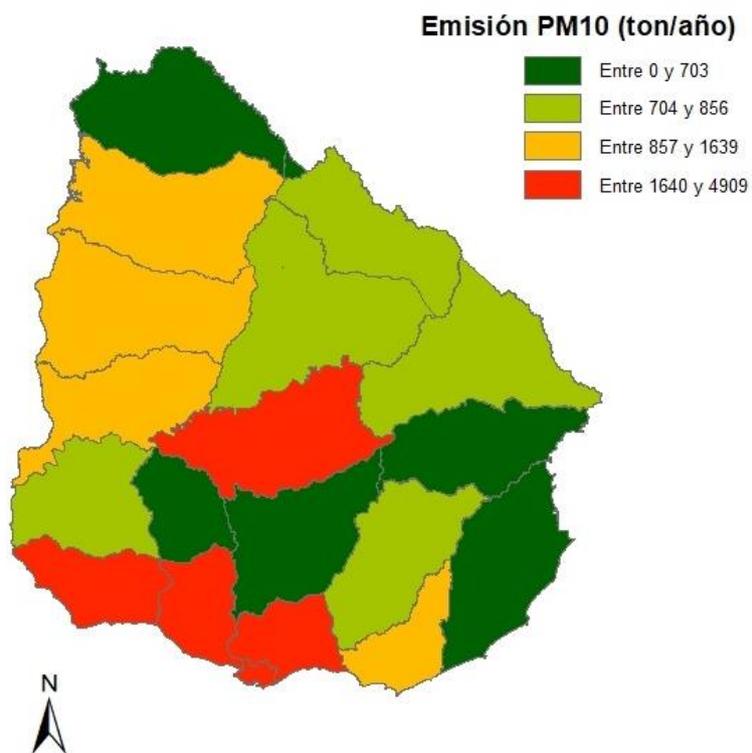


Ilustración 56: Distribución geográfica de las emisiones de PM₁₀. Fuente: elaboración propia.

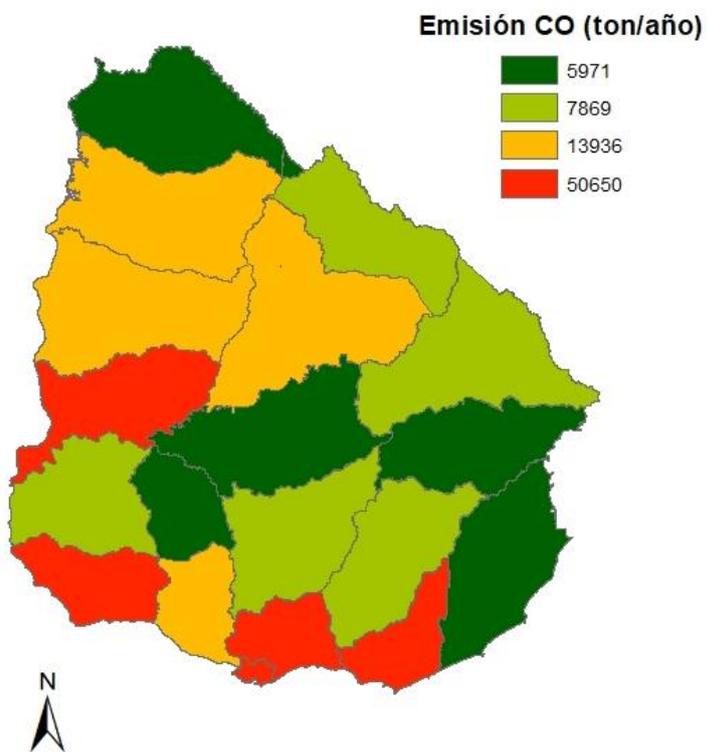


Ilustración 57: Distribución geográfica de las emisiones de CO. Fuente: elaboración propia.

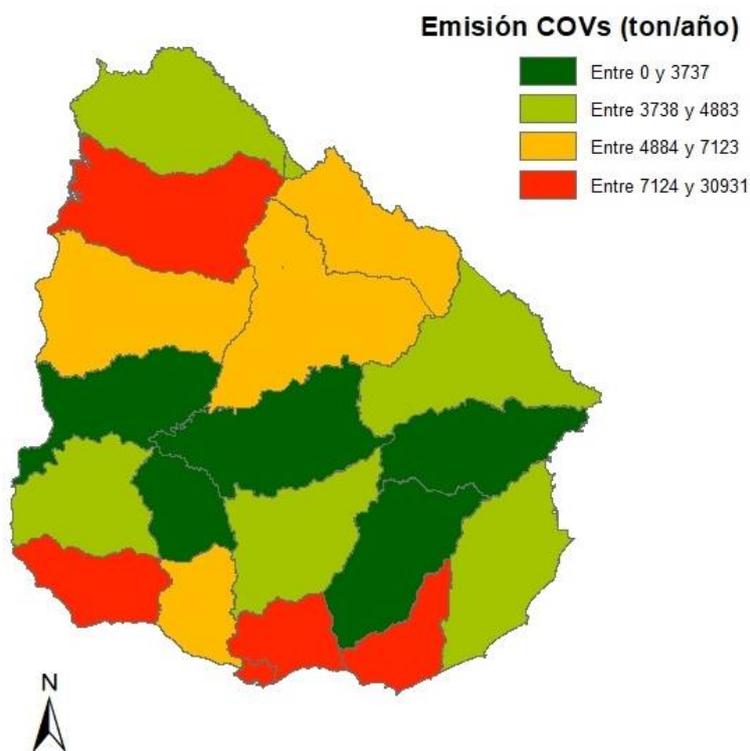


Ilustración 58: Distribución geográfica de las emisiones de COVs. Fuente: elaboración propia.

A partir de lo anterior, se destaca que la zona sur del país presenta emisiones elevadas para todos los contaminantes considerados. Con un menor grado de importancia, la zona litoral del país también presenta elevadas emisiones atmosféricas.

A modo de complemento del análisis anterior, en la Tabla 20 se presentan las emisiones departamentales para todos los contaminantes evaluados, resaltándose al Departamento más emisor para cada uno de ellos.

Tabla 20: Emisiones departamentales. Fuente: elaboración propia.

Departamento	E SO _x Calc (ton/año)	E NO _x (ton/año)	E PST Calc (ton/año)	E PM ₁₀ (ton/año)	E CO (ton/año)	E COV _s (ton/año)
Artigas	44	724	1297	658	5501	3962
Canelones	777	7312	5458	4909	50650	30931
Cerro Largo	44	1061	794	748	7678	4883
Colonia	8401	4548	8524	2370	25883	7710
Durazno	31	678	3563	2011	4698	3326
Flores	18	693	239	224	2450	1478
Florida	133	976	666	630	6185	4169
Lavalleja	2769	4003	1160	822	7869	3635
Maldonado	95	2431	1336	1327	17433	9454
Montevideo	9582	8787	4380	3532	41285	21240
Paysandú	3663	4596	1797	1207	10527	6153
Río Negro	7182	2784	6491	1484	16054	3316
Rivera	77	906	1292	856	7640	5722
Rocha	35	823	594	571	5757	3838
Salto	66	1496	1102	1042	11818	7169
San José	1574	2528	2900	1794	10800	7078
Soriano	566	1131	1265	839	7582	4819
Tacuarembó	57	1361	1030	807	10117	5927
Treinta y Tres	83	700	798	449	5188	2795

A partir de la Tabla 20, se destaca que los Departamentos que presentan las mayores emisiones de los contaminantes bajo estudio son: Montevideo (SO_x Calculado y NO_x), Colonia (PST Calculado) y Canelones (PM₁₀, CO y COV_s).

En el caso de Montevideo, las emisiones de SO_x Calculado provienen mayoritariamente del sector Industrial (95%) mientras que las mayores emisiones de NO_x provienen del sector Vehicular (75%). Por otra parte, las emisiones de PST Calculado en el Departamento de Colonia provienen mayoritariamente del sector Industrial (87%). Por último, las emisiones de PM₁₀, CO y COV_s en el Departamento de Canelones se atribuyen principalmente al sector Residencial (74%, 54% y 77% respectivamente).

6.3.1. Emisiones por habitante.

En la Ilustración 59 se presentan las emisiones totales por habitante para cada Departamento. A nivel nacional, se emiten 0.2 ton/hab*año.

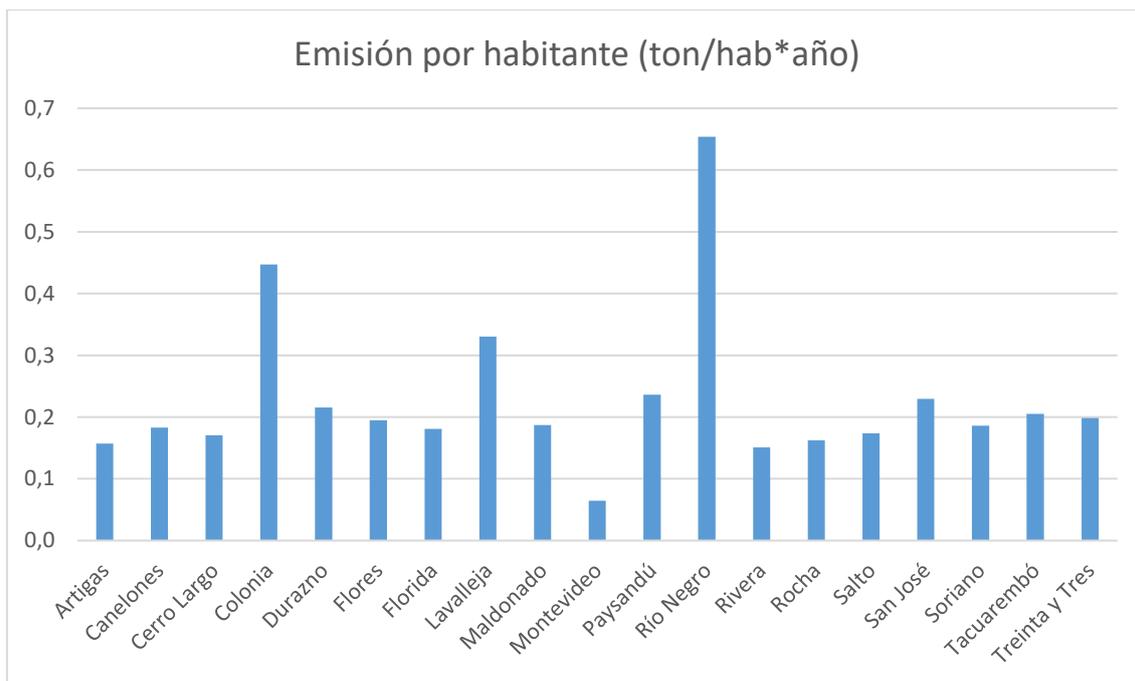


Ilustración 59: Emisión total por habitante para cada Departamento. Fuente: elaboración propia.

A partir de lo anterior se destaca que las mayores tasas de emisión por habitante se producen en los Departamentos de Río Negro, Colonia y Lavalleja. Para el Departamento de Río Negro, se presentan a continuación las tasas de emisión por habitante para cada uno de los contaminantes atmosféricos analizados:

- SO_x Calculado: 0.13 ton/hab*año.
- NO_x: 0.05 ton/hab*año.
- PST Calculado: 0.12 ton/hab*año.
- PM₁₀: 0.03 ton/hab*año.
- CO: 0.29 ton/hab*año.
- COV₅: 0.06 ton/hab*año.

6.3.2. Emisiones por unidad de área.

En la Ilustración 60 se presentan las emisiones totales por unidad de área para cada Departamento. A nivel nacional, se emiten 3.0 ton/km²*año.

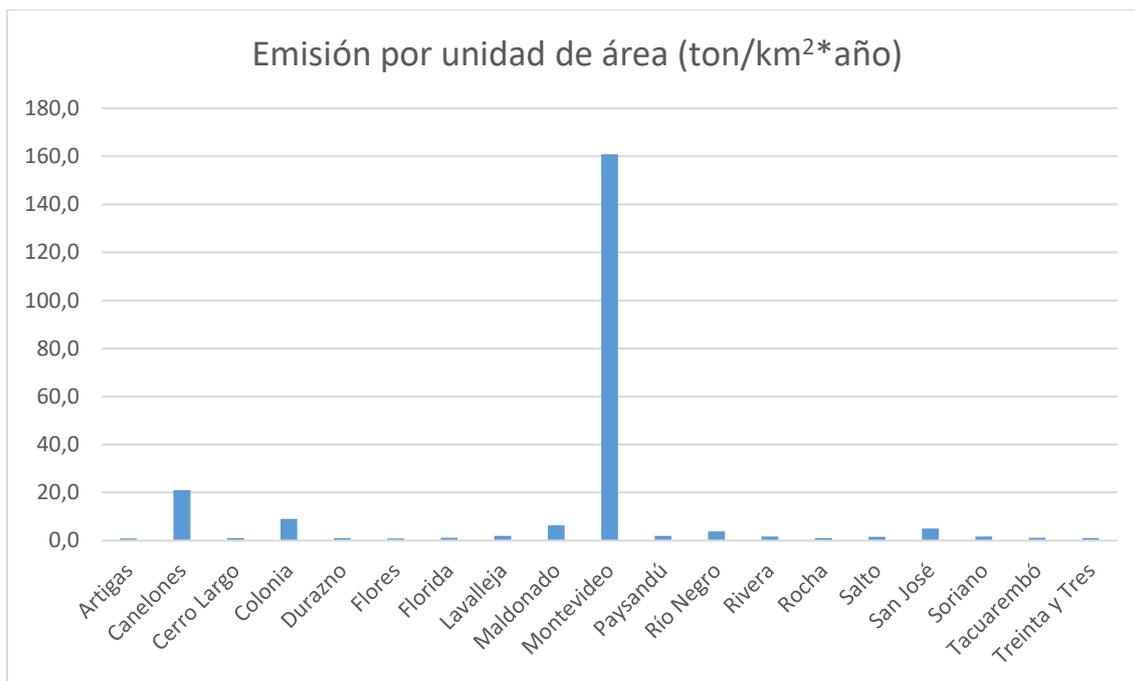


Ilustración 60: Emisión total por unidad de área para cada Departamento. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo esperado, la mayor densidad superficial de emisiones se produce en el Departamento de Montevideo. Para este Departamento, se presentan a continuación las tasas de emisión superficiales para cada uno de los contaminantes atmosféricos analizados:

- SO_x Calculado: 18.1 ton/km²*año.
- NO_x: 16.6 ton/km²*año.
- PST Calculado: 8.3 ton/km²*año.
- PM₁₀: 6.7 ton/km²*año.
- CO: 77.9 ton/km²*año.
- COV₅: 40.1 ton/km²*año.

6.4. Análisis Adicionales.

6.4.1. Comparación con el Inventario 2006.

En esta sección se comparan, de forma gráfica entre la Ilustración 61 y la Ilustración 65, las emisiones atmosféricas calculadas en este documento con aquellas determinadas en el Inventario 2006 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010).

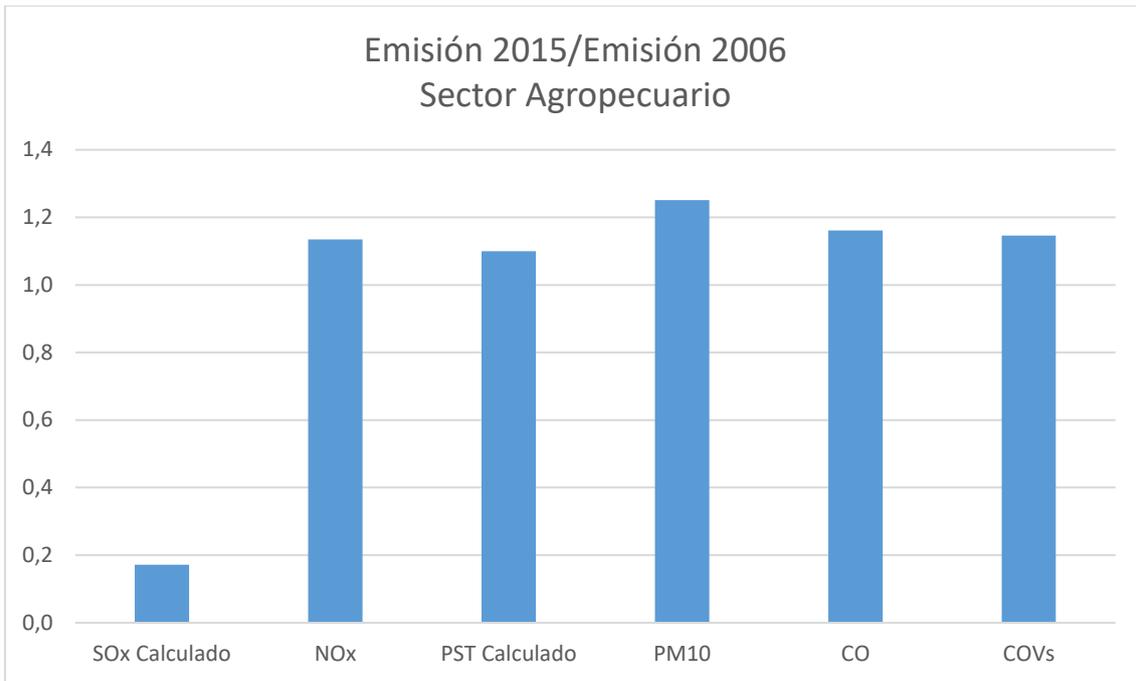


Ilustración 61: Comparación 2006-2015 entre las emisiones calculadas para el sector Agropecuario. Fuente: elaboración propia.

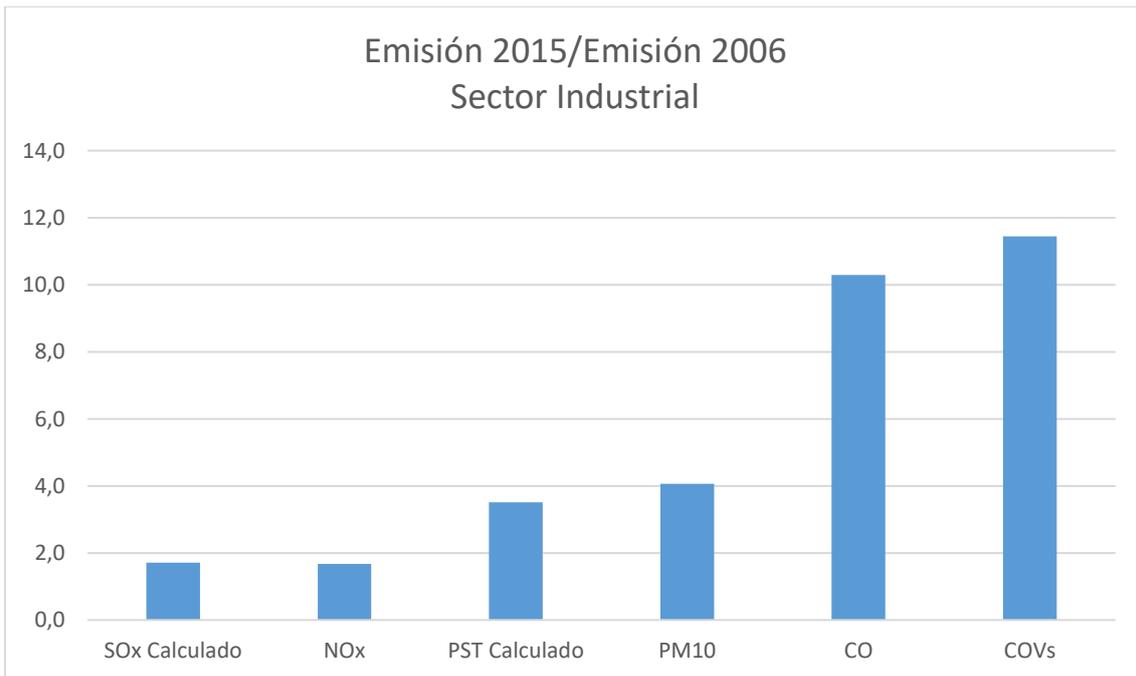


Ilustración 62: Comparación 2006-2015 entre las emisiones calculadas para el sector Industrial. Fuente: elaboración propia.

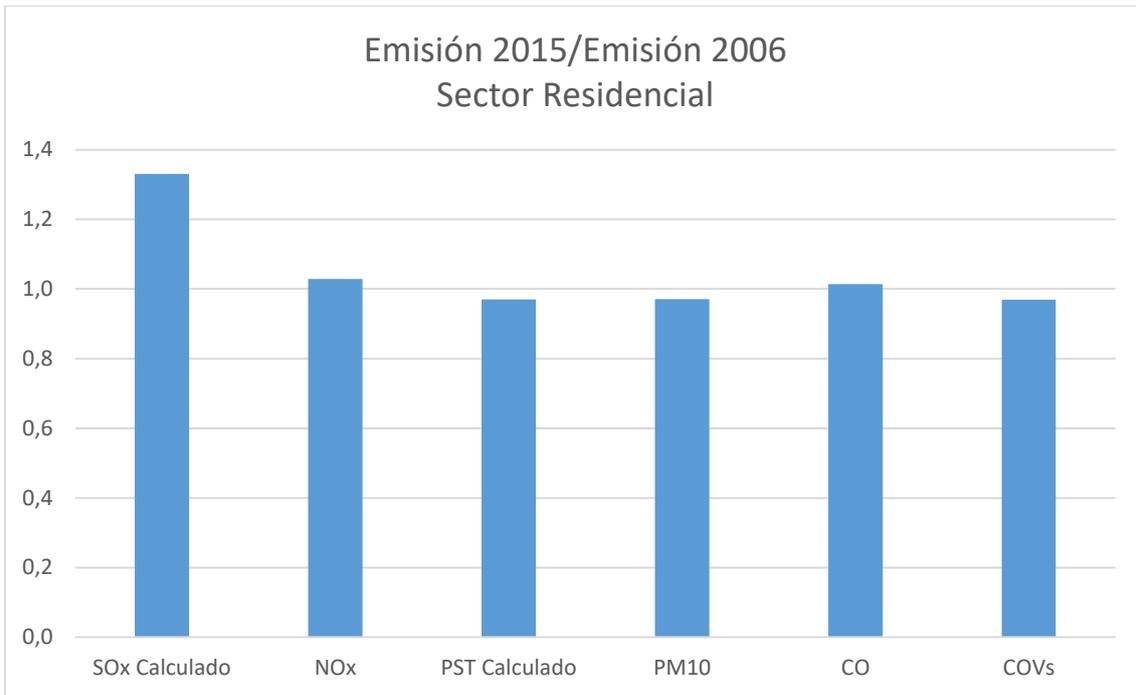


Ilustración 63: Comparación 2006-2015 entre las emisiones calculadas para el sector Residencial. Fuente: elaboración propia.

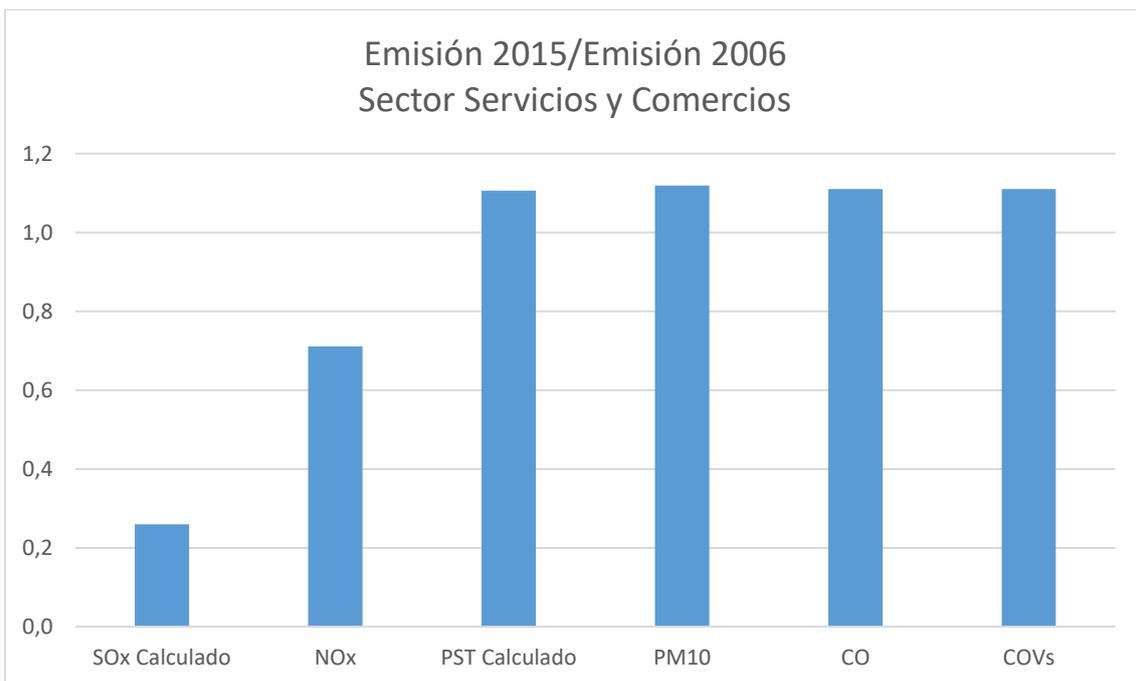


Ilustración 64: Comparación 2006-2015 entre las emisiones calculadas para el sector Servicios y Comercios. Fuente: elaboración propia.

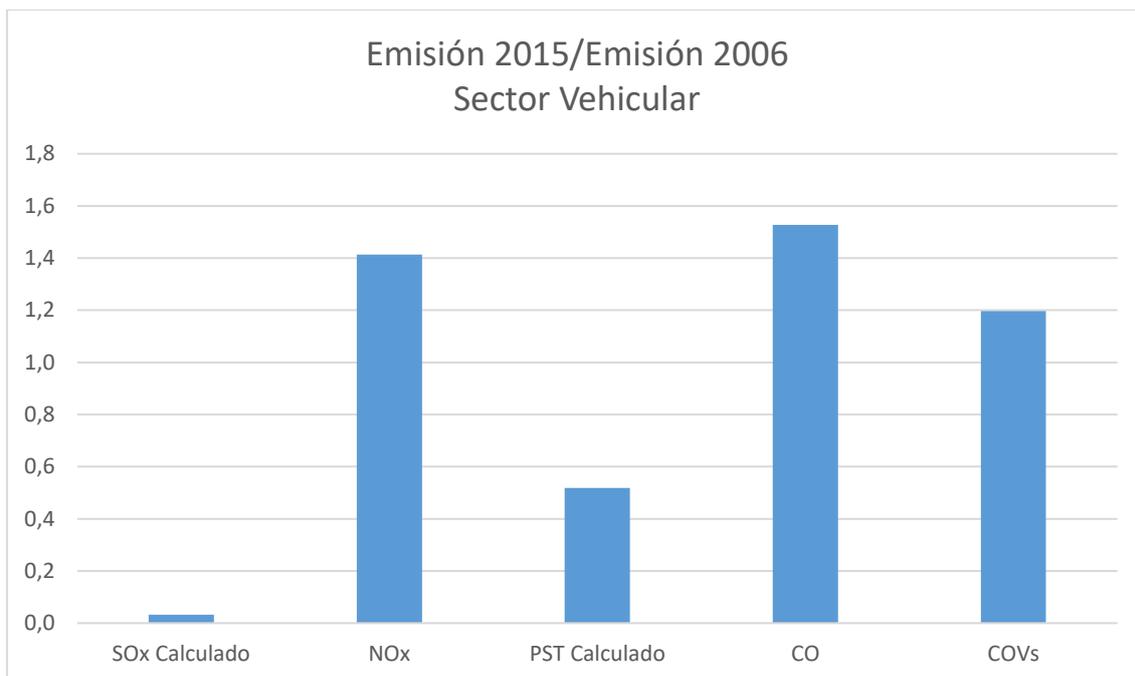


Ilustración 65: Comparación 2006-2015 entre las emisiones calculadas para el sector Vehicular. Fuente: elaboración propia.

A partir de lo anterior surgen los siguientes comentarios:

- Sector Agropecuario: se produce un leve aumento en las emisiones de todos los contaminantes con excepción del SO_x Calculado, para el cual se tiene un marcado descenso en las emisiones para el período 2006-2015. El aumento experimentado en las emisiones se condice con el incremento en el consumo de combustible del sector. Por otra parte, el descenso en el contenido de azufre de los combustibles Gas Oil y Gasolina explica el descenso en las emisiones de SO_x Calculado.
- Sector Industrial: se produce un aumento en las emisiones de todos los contaminantes bajo análisis. El incremento del consumo energético de este sector en el período 2006-2015 (Ilustración 12) podría estar explicando el aumento experimentado en sus emisiones atmosféricas.
- Sector Residencial: las emisiones se mantienen aproximadamente estables para todos los contaminantes con excepción del SO_x Calculado, para el cual se experimenta un leve aumento en el período 2006-2015. Este aumento se explica debido a un incremento en el consumo de Fuel Oil con destino a uso para calefacción. Las emisiones de SO_x Calculado del sector Residencial están estrechamente vinculadas a la quema de este combustible.
- Sector Servicios y Comercios: las emisiones de SO_x Calculado y NO_x experimentaron un descenso en el período 2006-2015, mientras que las emisiones de los restantes contaminantes mostraron un leve aumento en el mismo período.
- Sector Vehicular: las emisiones de SO_x Calculado cayeron notablemente en el período 2006-2015. Por otra parte, las emisiones de NO_x, CO y COVs, presentaron un leve aumento en el mismo período. Por último, las emisiones de PST

Calculado se redujeron en el período considerado. Se destaca que en el marco del Inventario 2006 no se calcularon emisiones para el contaminante PM₁₀ en el sector Vehicular, por lo tanto, en este caso la comparación no pudo efectuarse. Estos resultados parecen razonables atendiendo al descenso del contenido de azufre de los combustibles y al incremento del parque automotor.

Por otra parte, se destaca que la distribución porcentual de la emisión total entre los distintos contaminantes atmosféricos se ha mantenido, en términos generales, en el período 2006-2015 (Ilustración 66).

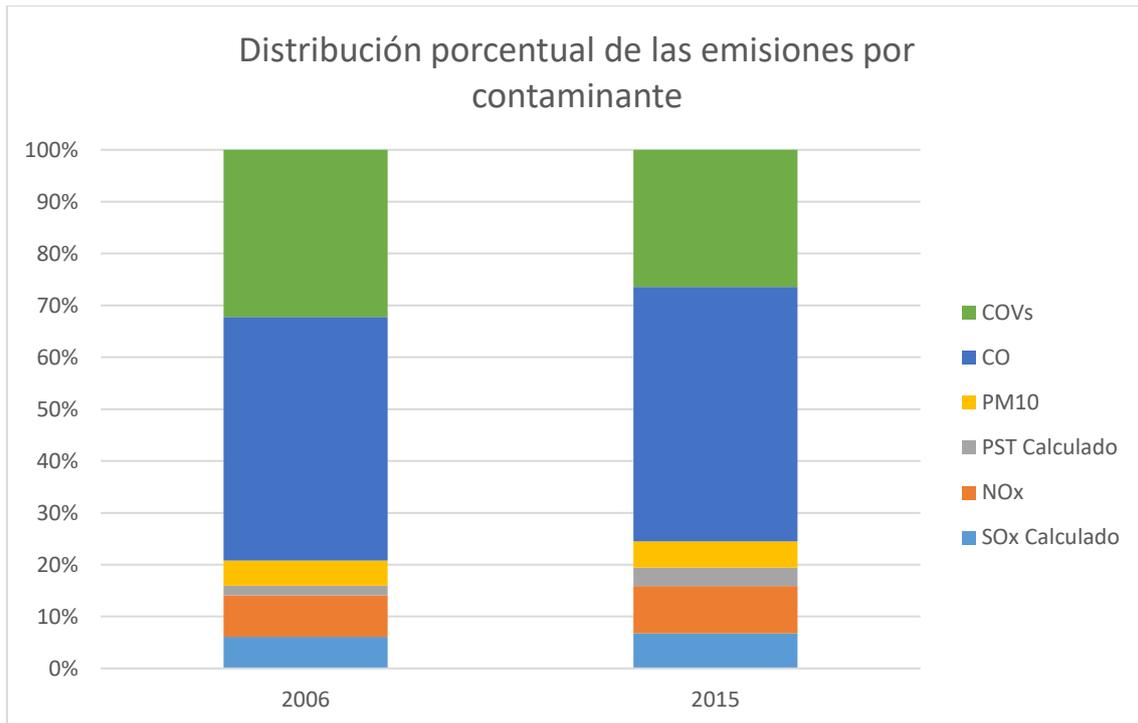


Ilustración 66: Variación de la distribución porcentual de la emisión total entre los distintos contaminantes para el período 2006-2015 (las emisiones de PST Calculado no incluyen a las emisiones de PM₁₀). Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de la Ilustración 67 se pueden apreciar las emisiones a la atmósfera por contaminante para los años 2006 y 2015 en términos absolutos.

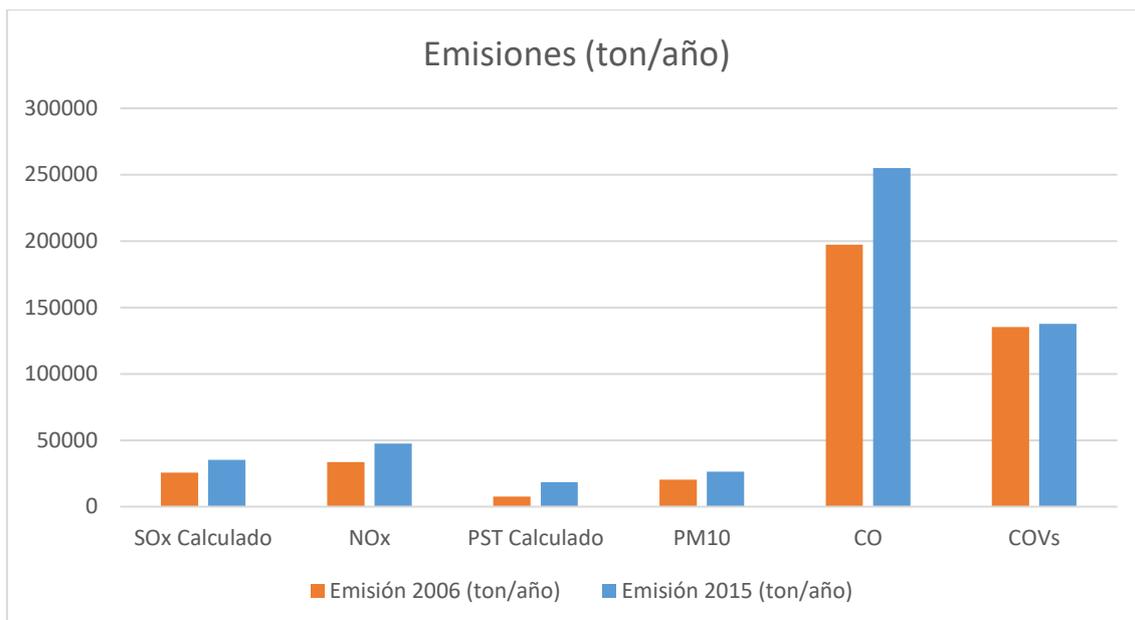


Ilustración 67. Emisiones absolutas a la atmósfera en toneladas anuales por contaminante. Comparación 2006 y 2015.

6.4.2. Comparación con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2014.

En el marco del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2014 (MVOTMA & SNRCC, 2017) se calcularon emisiones para tres de los contaminantes atmosféricos analizados en el presente documento. A modo de comparación preliminar, en la Tabla 21 se presentan las emisiones calculadas por ambos trabajos para los contaminantes CO, NO_x y SO₂²⁹. Es relevante destacar que si bien los dos trabajos tienen base en años distintos, el consumo de combustibles no presenta diferencias sustanciales entre ambos años de acuerdo a los datos de la DNE.

Tabla 21: Emisiones de CO, NO_x y SO₂ calculadas en el presente documento y en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Fuente: elaboración propia.

Contaminante	Emisión Inventario Gases de Efecto Invernadero (ton/año)	Emisión Inventario (ton/año)
CO	627500	255117
NO _x	52890	47539
SO ₂	41700	35195

Obsérvese que en todos los casos, los valores estimados en el INGEI 2014 superan a los estimados en el Inventario. No obstante, las emisiones de NO_x y de SO₂ calculadas en

²⁹ En esta comparación se tuvieron en cuenta los sectores emisores del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero que resultaron similares a los considerados en el presente documento.

ambos trabajos se asemejan de forma razonable. Sin embargo, las emisiones de CO calculadas en el marco del INGEI 2014 resultan ser iguales a dos veces y media las calculadas en el presente trabajo.

Al respecto, si se analiza en ambos casos las emisiones sectorizadas de monóxido de carbono, se puede observar como las diferencias más significativas se encuentran en los sectores Industrial y Vehicular (Ilustración 68). Las emisiones de este contaminante en el sector Industrial son sensiblemente superiores en el INGEI 2014 respecto a las estimadas en este Inventario. Adicionalmente, en términos absolutos, la mayor diferencia se encuentra en el sector Vehicular, al ser el sector de mayor contribución de este contaminante según el INGEI 2014. Esto no ocurre en el presente trabajo, donde las mayores emisiones de CO tienen lugar en el sector Residencial.

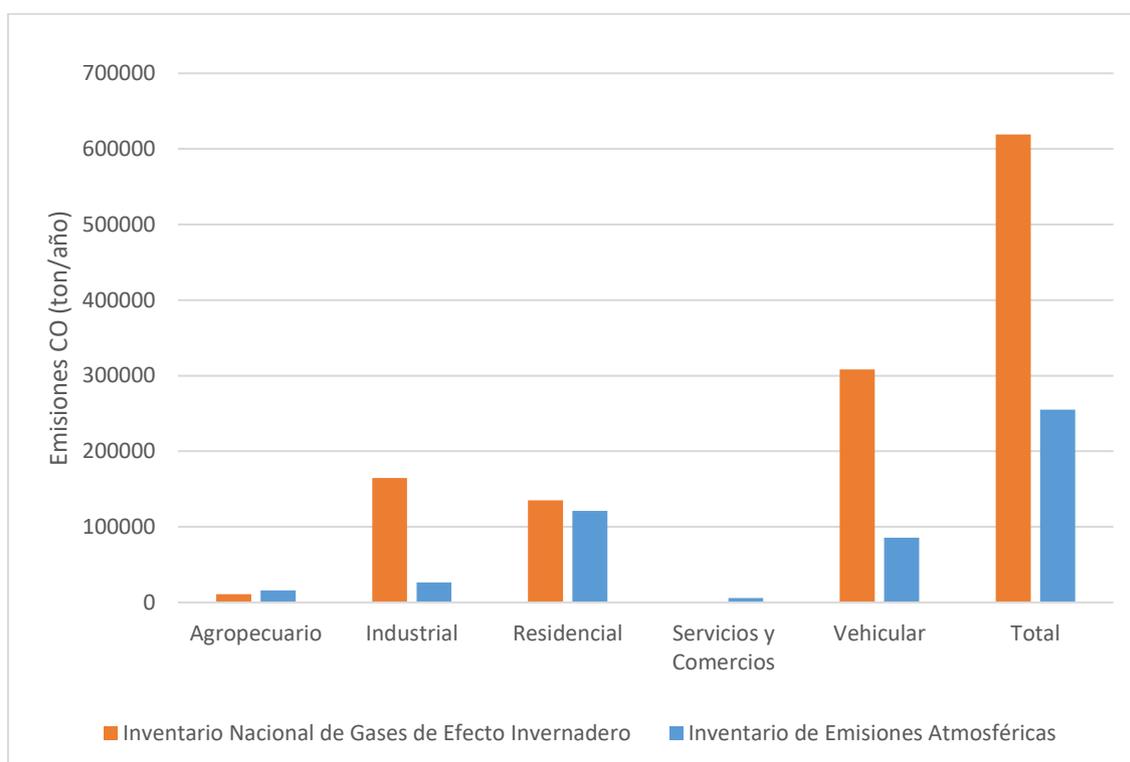


Ilustración 68. Comparación de emisiones anuales de CO por sector, entre el Inventario de Emisiones Atmosféricas y el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

Al considerar las emisiones de CO calculadas en el INGEI 2014, las actividades de quema de combustibles predominan ampliamente, representando un 97% de las emisiones totales de este contaminante. Según este estudio, el combustible generador de las mayores emisiones de monóxido de carbono dentro del sector Industrial resulta ser la Biomasa (97%), seguido de la Leña (3%). En relación a las emisiones totales de CO, estos combustibles representan el 24% y el 1%, respectivamente. Asimismo, la Gasolina consumida en el modo carretero del sector Transporte provoca el 97% de las emisiones del sector, y el 47% de las emisiones totales. Los consumos de combustibles por sector fueron tomados del BEN.

Para estimar las emisiones el INGEI utiliza, principalmente, Factores de Emisión del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) del año 1996 (IPCC, 1996), mientras que en algunos casos se utilizan Factores de Emisión específicos del país. En referencia al primer caso, los Factores de Emisión utilizados pueden ser de Nivel 1 o Nivel 2. Los métodos de Nivel 1 son los métodos simples, donde todas las fuentes de emisión son estimadas a partir de factores de emisión promedio. Por otra parte, la aplicación de métodos de Nivel 2 es más detallada, al contemplar diferentes tecnologías de combustión y la posibilidad de incorporar al cálculo distintas eficiencias de control.

El INGEI 2014 aplica el método de Nivel 1 para calcular las emisiones generadas de la quema de Biomasa en el sector Industrial. En consecuencia, el FE utilizado es 4000 kgCO/TJ de energía consumida (el FE de quema Leña en sector Industrial es 2000 kgCO/TJ según el método de Nivel 1, mientras que en el método de Nivel 2 existen distintos FE, siendo el mayor de ellos 590 kgCO/TJ de energía consumida). En el presente trabajo no se cuenta con FE para consumo de Biomasa, a excepción del consumo de Bagazo en el rubro Azúcares, el consumo de Licor Negro en el rubro Celulosa y Papel u otros FE dependientes de la producción y no del combustible. En consecuencia, se utilizan principalmente el FE de calderas de Leña: 5.83 lbmCO/ton de Leña y el FE de consumo de Licor Negro: 1.65 kgCO/ton de Licor Negro (no se cuenta con FE de CO para el consumo de Bagazo). Realizando la conversión, estos equivalen a 234 kgCO/TJ de energía consumida y 135 kgCO/TJ de energía consumida, respectivamente. Nótese la implicancia de la diferencia entre ambos conjuntos de FE, mayor aún si se tiene en cuenta que la biomasa es el combustible más consumido del sector en términos energéticos.

Las emisiones calculadas para el sector Transporte provienen de aplicar el método de Nivel 2 del IPCC de 1996, para vehículos europeos. En ese sentido, el FE empleado para el consumo de Gasolina en automóviles es el correspondiente a las emisiones sin ningún tipo de control: 13000 kgCO/TJ de energía consumida. El método incluye otros FE en función de la existencia de distintas tecnologías de control, siendo el utilizado el más conservador. A efectos de realizar la comparación se determina el FE de CO medio asociado al consumo de Gasolina en el sector Vehicular. Esto se realiza calculando el cociente entre el consumo de Gasolina y las emisiones de monóxido de carbono del sector, lo que resulta en 0.10 tonCO/m³ de Gasolina. Realizando la conversión con el PCI de la Gasolina, el valor obtenido equivale a 3247 kgCO/TJ de energía consumida. Este valor es cuatro veces menor que el FE empleado en el INGEI.

Si en el Inventario se emplearan los FE de la norma Euro ECE-15.00 y ECE-15.01 a toda la flota nacional de autos, camionetas, taxis y remises a Gasolina y los FE de la norma Euro 1 a toda la flota nacional de motos, se obtendrían resultados similares en ambos trabajos.

En síntesis, el principal factor que explica las principales diferencias entre las emisiones de monóxido de carbono entre ambos trabajos es la aplicación de FE sensiblemente

distintos. En menor medida, el consumo de Biomasa en el sector Industrial también es responsable de las diferencias encontradas.

6.4.3. Comparación con medición de emisiones.

En el marco del relevamiento de información con el objetivo del cálculo de emisiones del sector Industrial, se obtuvo información relativa a mediciones de emisiones atmosféricas industriales contratadas por las empresas y reportadas a la Dirección Nacional de Medio Ambiente, para un pequeño número de industrias.

En términos totales, únicamente 28 industrias relevadas (2%) contaban con mediciones de emisiones atmosféricas (los porcentajes por rubro se aprecian en la Ilustración 69).

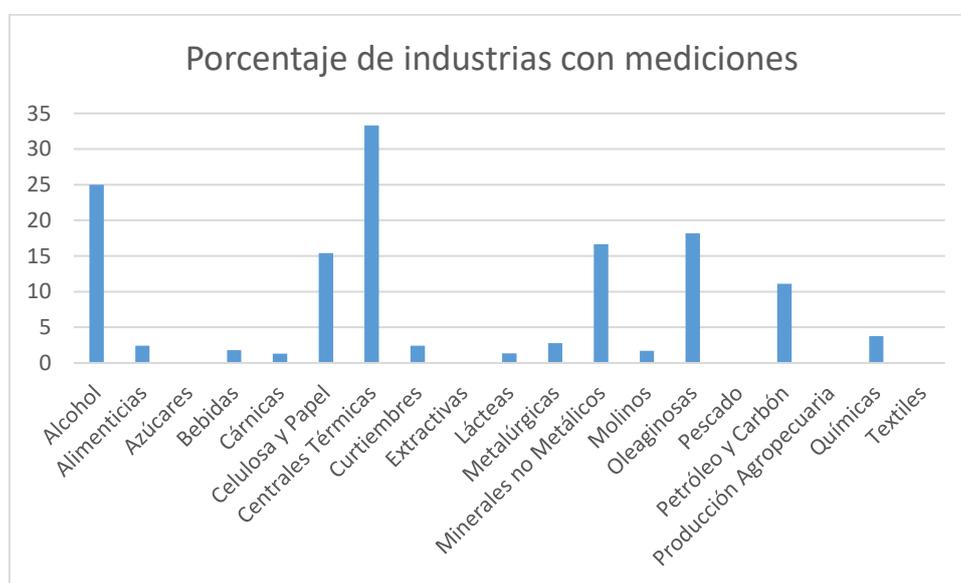


Ilustración 69: Porcentaje de industrias con información sobre medición de emisiones atmosféricas por rubro industrial. Fuente: elaboración propia.

A partir de los registros aportados por las empresas a la Dirección Nacional de Medio Ambiente, las cargas emitidas anuales de contaminantes atmosféricos de estas 28 industrias se estimaron utilizando la siguiente ecuación:

$$E_i(\text{ton/año}) = \sum_{j=1}^{j=n} \bar{Q}_j(\text{m}^3/\text{h}) * \bar{C}_{i,j} \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) * \Delta t_j(\text{h/año})$$

Donde:

- E_i : emisión del contaminante i (ton/año).
- \bar{Q}_j : caudal de emisión medio de la fuente emisora j (m^3/h).
- $\bar{C}_{i,j}$: concentración media informada del contaminante i emitido por la fuente emisora j (ton/m^3).
- Δt_j : horas anuales de funcionamiento de la fuente emisora j ($\text{h}/\text{año}$).

De lo anterior se desprende que, en el marco de este análisis preliminar, se trabajó con el promedio de los valores de concentración de contaminantes en la emisión informados por las empresas. Además, a la hora del cálculo de la emisión total de una empresa, se sumaron los registros efectuados en las distintas fuentes emisoras existentes en el emprendimiento industrial bajo estudio. Por último, se destaca que en los casos en donde no se contó con el valor de caudal de emisión, este se estimó como el producto de la velocidad de emisión y el área de la chimenea y que, cuando no se contó con las horas anuales de operación de una fuente emisora, estas se estimaron utilizando los horarios típicos de funcionamiento anual del emprendimiento informados.

A partir de la aplicación del método de cálculo descrito se obtuvieron estimativos para las emisiones anuales de los contaminantes analizados, utilizando las mediciones de emisiones realizadas por las 28 industrias. Las emisiones estimadas por contaminante para estas industrias se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22: Emisiones totales estimadas a partir del monitoreo realizado por las industrias. Fuente: elaboración propia.

Contaminante	Emisión estimada (ton/año)
PM ₁₀	0.6
PST	4134.9
SO ₂	2381.6
NO _x	6297.9
CO	2949.8
COV _s	0.03

Luego, en la Ilustración 70 se presentan los cocientes entre las emisiones calculadas por el método de factores de emisión y aquellas estimadas utilizando datos medidos, para las emisiones estimadas de mayor cuantía (PST, SO₂, NO_x y CO), para el conjunto de industrias que reportaron registros de emisiones.

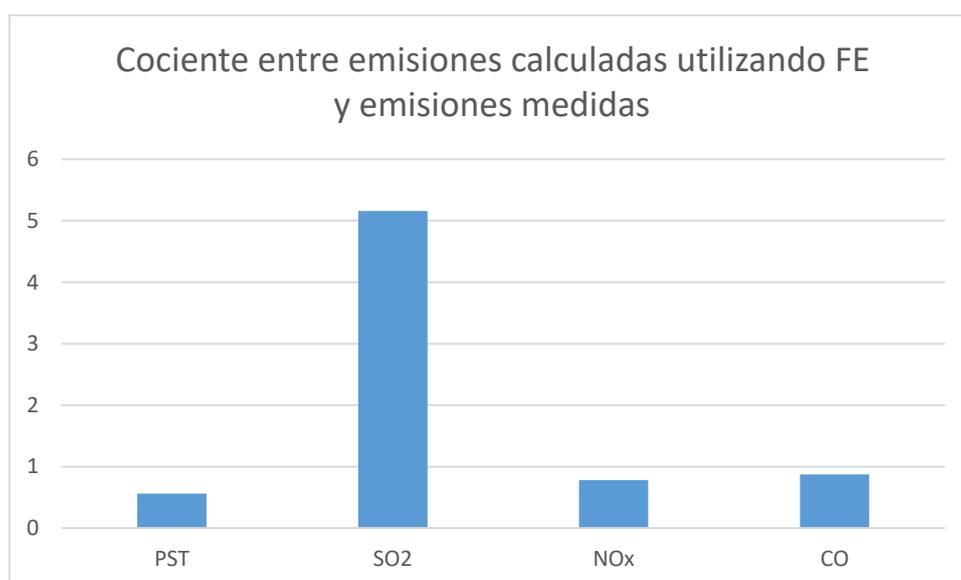


Ilustración 70: Cociente entre emisiones calculadas con el método de factores de emisión y emisiones estimadas utilizando datos de monitoreo. Fuente: elaboración propia.

A partir de la Ilustración 70 se observa que, en términos totales, el método de factores de emisión reproduce de forma satisfactoria los valores obtenidos utilizando datos de monitoreo para los contaminantes NO_x y CO. Por otra parte, a partir de este análisis, el método de factores de emisión parecería estar sobreestimando las emisiones de SO₂ y subestimando las emisiones de PST. En este punto se aclara que no se incluyó en este análisis a las emisiones medidas y estimadas derivadas del consumo de Licor Negro en plantas de celulosa, ya que los FE utilizados son generados a partir del monitoreo propio de las industrias.

Sin embargo, si se analizan los cocientes entre las emisiones de CO calculadas con el método de factores de emisión y aquellas estimadas utilizando los datos del monitoreo para cada industria, la precisión del método de factores de emisión se reduce (resultado coherente con la descripción del método efectuada en la sección 4.2.3 de este documento).

De todas maneras, teniendo en cuenta el relevamiento exhaustivo de información realizado en el marco del cálculo de emisiones del sector Industrial, se concluye que los resultados obtenidos a partir del empleo del método de factores de emisión son satisfactorios, atendiendo al alcance del presente estudio.

Es preciso señalar el nivel de incertidumbre asociado a la estimación de emisiones a partir de los datos de mediciones de las industrias. En efecto, en muchos casos las emisiones anuales fueron estimadas a partir de datos de concentración obtenidos en pocos días de medición (sino un único día) a lo largo de todo el año, que posiblemente no sean representativos de la emisión media anual. Adicionalmente, a falta de información específica, se realizaron estimaciones gruesas de las horas de operación de las unidades emisoras. Al respecto, cabe destacar que existe gran heterogeneidad en el grado de precisión de la información reportada por estas industrias.

7. Metodología de Actualización.

Más allá que el presente documento constituye la actualización del Inventario de Emisiones del año 2006, se considera necesario sentar las bases para la elaboración de sus futuras actualizaciones, aspirando a incrementar su frecuencia temporal³⁰, de forma tal que el Inventario de Emisiones represente una herramienta de gestión ambiental de mayor impacto.

7.1. Aspectos a evaluar.

En términos generales, al momento de realizar la actualización del Inventario de Emisiones deben evaluarse y cuantificarse los siguientes aspectos:

- Cambios en el dominio de fuentes inventariadas (los establecimientos considerados pueden detener parcial o totalmente sus procesos, y a su vez nuevos establecimientos pueden instalarse).
- Cambios en la operación de fuentes existentes (en lo que se refiere al decrecimiento o aumento de producción de un establecimiento determinado, cambios en el proceso productivo, cambios en lo que se refiere a las materias primas utilizadas, cambios en los consumos de combustible, etc.).
- Crecimiento de población o modificaciones de otros datos asociados a las actividades de la población (crecimiento y/o modernización de la flota vehicular, aumento de actividades emisoras asociadas a comercios y servicios, etc.).
- Cambios en regulaciones nacionales (subsídios o aumentos de precio en combustibles, etc.).
- Desarrollo de nuevas urbanizaciones y/o modernización de la red vial nacional existente.
- Modificaciones en las características de los combustibles (modificación del contenido medio de azufre, cambio en los poderes caloríficos, etc.).
- Cambios en los factores de emisión (modificación de los valores de los factores de emisión usados, cambios en lo que respecta a la actividad a la que se refieren, desarrollo de factores de emisión nacionales, etc.).
- Requerimiento de una modificación en el alcance de la herramienta, con el objetivo de incluir contaminantes atmosféricos y/o actividades emisoras no consideradas hasta el momento (por ejemplo, la incineración y la disposición final de residuos sólidos, el tratamiento de aguas residuales, las quemas controladas a cielo abierto o las emisiones de barcos y aviones, entre otras).

³⁰ A modo de referencia, los países de la Unión Europea reportan sus Inventarios de Emisiones con frecuencia anual (European Environment Agency, n.d.).

7.2. Metodología de actualización.

Para la actualización del Inventario se debe disponer, en primer lugar, de la información de base necesaria. En este sentido se destaca que, como mínimo, se debe contar con la información detallada en la sección 4.6 de este documento. A este respecto, se entiende que la información correspondiente al consumo de combustibles en el sector Industrial considerada en este trabajo presenta un nivel de desagregación óptimo para el cálculo de emisiones. Sin embargo, se considera deseable la obtención de la información relativa al consumo de combustibles de los demás sectores con un mayor nivel de desagregación geográfica.

En segundo lugar, deben revisarse las hipótesis de cálculo genéricas (sección 5.4 de este documento) y específicas de cada sector emisor (secciones 5.5.4, 5.6.4, 5.7.4, 5.8.4, 5.9.4, 5.10.4 y 5.11.4 de este documento), realizando las modificaciones que se entiendan pertinentes.

Por último, debe consultarse la existencia de actualizaciones en cuanto a los factores de emisión considerados, pudiéndose a estos efectos verificar la posible existencia de nuevas versiones de los documentos utilizados como referencia para este trabajo (listados en la sección 4.2.3 de este documento).

Una vez recolectada la información necesaria, debe utilizarse el Manual para el uso de planillas, presentado como anexo a este documento (Anexo N°2), para la actualización del cálculo de emisiones atmosféricas.

Al momento de actualizar el Inventario de Emisiones, las conclusiones de este trabajo (presentadas en el capítulo 8 del presente documento) pueden ser de utilidad para optimizar los recursos disponibles para la realización del trabajo, atendiendo con mayor prioridad las áreas geográficas, las actividades emisoras y los contaminantes atmosféricos juzgados como más relevantes en este documento.

7.3. Recomendaciones para futuras actualizaciones.

Con respecto a las recomendaciones para la primera actualización del Inventario de Emisiones formuladas en el Inventario 2006 (DINAMA-MVOTMA & IMFIA-FIng, 2010) se destaca la incorporación, dentro de los Informes Ambientales de Operación presentados por las empresas ante la Dirección Nacional de Medio Ambiente, de un módulo específico destinado al reporte de mediciones de emisiones atmosféricas, útil tanto para la elaboración de Inventarios de Emisiones, como para la verificación de cálculos de emisiones realizados con el método de factores de emisión (sección 6.4.3 del presente documento). Asimismo, se destaca que en estos Informes ambientales se cuenta con la información de producción y consumo de combustibles necesaria para la aplicación del método de factores de emisión para el sector Industrial.

Siguiendo con estas recomendaciones, se destaca que el nivel de desagregación de la información de consumo de energía presentada en el Balance Energético Nacional sigue siendo insuficiente para el desarrollo del Inventario, debiéndose realizar consultas particulares a esta Dirección Nacional a efectos de su cálculo (ver sección 4.6.2 de este documento). Se recomienda el reporte periódico de la información del consumo energético en el Balance Energético Nacional, atendiendo al nivel de desagregación necesario para la elaboración de Inventarios de Emisiones.

Asimismo, y también referido a las recomendaciones efectuadas en el Inventario 2006 para la actualización del trabajo, se comenta que se ha avanzado en el desarrollo de factores de emisión locales para el sector Vehicular (sección 2.2.4 de este documento) pero, debido al carácter preliminar de estos estudios, se han utilizado referencias internacionales para el cálculo de emisiones del sector Vehicular en este trabajo. En este punto también se destaca que, hasta el momento, no se han desarrollado factores de emisión locales para las emisiones de partículas resultantes de la quema de Leña en estufas, en el marco del sector Residencial. Se recomienda avanzar en este sentido, teniendo en cuenta que el sector Residencial es el principal emisor de PM₁₀ a nivel nacional (Ilustración 46 e Ilustración 51).

8. Conclusiones.

A continuación se señalan las principales conclusiones del trabajo realizado. Además, también se destacan algunas posibles líneas de trabajo futuras identificadas:

- Teniendo en cuenta los contaminantes atmosféricos considerados (SO_x Calculado, NO_x , PST Calculado, PM_{10} , CO y COV_s), la emisión atmosférica total calculada asciende a 7196350 ton/año. En este sentido, el contaminante atmosférico que presenta las mayores emisiones es el PM_{10} (76.6%) seguido del PST Calculado (16.8%)³¹. Dicho esto, se destaca la relevancia de los sectores Erosión Eólica y Rodadura en el marco de las emisiones atmosféricas nacionales (66.9% y 25.8% respectivamente). Esto sugiere la importancia, como línea de trabajo a futuro, de evaluar estas emisiones con mayor precisión, mediante técnicas de monitoreo y modelación.

Teniendo en cuenta lo anterior, y con el objetivo de efectuar comentarios comparables con el Inventario 2006, las conclusiones y recomendaciones de líneas de acción futuras que siguen se basan en los resultados obtenidos para los sectores emisores considerados en el Inventario 2006 y en el presente trabajo de forma simultánea (Vehicular, Agropecuario, Residencial, Servicios y Comercios e Industrial):

- Las emisiones atmosféricas totales ascienden a 520141 ton/año. Esto implica un 24% de aumento en relación al Inventario 2006 aproximadamente. Este aumento no se vincula directamente al experimentado en términos de consumo de energía (80% de aumento entre 2006 y 2015). En la sección 6.4.1 del presente documento se realiza un análisis detallado de la evolución de las emisiones atmosféricas nacionales en el período 2006-2015.
- El contaminante atmosférico que presenta las mayores emisiones es el CO (49.0%) seguido de los COV_s (26.5%). Según se aprecia en la Ilustración 66, en términos cualitativos la distribución porcentual de la emisión total entre los distintos contaminantes parece haberse mantenido entre 2006 y 2015.
- Las mayores emisiones de SO_x Calculado se generan en el sector Industrial. Los rubros del sector Industrial más relevantes en el marco de las emisiones de este contaminante son: Celulosa y Papel, Minerales no Metálicos y Petróleo y Carbón. Con el objetivo de controlar las emisiones atmosféricas de este contaminante a futuro, debería prestarse especial atención a las emisiones generadas por los rubros industriales mencionados.
- Las mayores emisiones de PST Calculado ocurren en el sector Industrial. Los rubros del sector Industrial más relevantes en el marco de las emisiones de este contaminante son: Celulosa y Papel y Molinos. Con el objetivo de controlar las emisiones atmosféricas de este contaminante a futuro, debería prestarse

³¹ Las emisiones de PST Calculado no incluyen a las emisiones de PM_{10} .

especial atención a las emisiones generadas por los rubros industriales mencionados.

- En el caso del Inventario 2006, el sector Industrial es el principal emisor de SO_x Calculado pero el segundo mayor emisor de PST Calculado (siendo el sector Residencial el mayor emisor de este contaminante en el Inventario 2006).
- El sector Residencial es responsable de las mayores emisiones nacionales de PM_{10} , CO y COV_s . Estas emisiones se asocian, principalmente, al consumo doméstico del combustible Leña. Este resultado reafirma la necesidad de contar con factores de emisión nacionales de estufas a Leña, debido a la importancia de sus emisiones en el marco de las emisiones atmosféricas nacionales, y de analizar el ingreso al mercado de equipos de calefacción residencial de mayor eficiencia. Este resultado coincide con el obtenido en el marco del Inventario 2006 en este aspecto.
- Las mayores emisiones de NO_x son originadas en el sector Vehicular. En orden de prioridad, las categorías vehiculares mayormente asociadas con las emisiones de este contaminante son: Camiones a gas oil y Autos, camionetas, taxis y remises a gasolina. Este resultado coincide con el informado en el Inventario 2006 a este respecto.
- En cuanto a la distribución geográfica de las emisiones calculadas, se destaca que la zona sur del país presenta emisiones elevadas para todos los contaminantes considerados. Con un menor grado de importancia, la zona litoral del país también presenta elevadas emisiones atmosféricas. En particular, el Departamento que presenta las mayores emisiones atmosféricas es Canelones (principal contaminante atmosférico: CO; sector más emisor: Residencial). Se entiende que estos resultados pueden ayudar en la definición de zonas geográficas prioritarias para el control de las emisiones atmosféricas y de la calidad de aire. En el Inventario 2006 se señalaban como áreas geográficas prioritarias para el control de emisiones a los Departamentos de Montevideo, Canelones y Lavalleja. Con excepción del Departamento de Lavalleja, e incorporando al Departamento de Colonia, estos resultados se mantienen para el presente documento.
- El Departamento que presenta la mayor densidad poblacional de emisiones es Río Negro (0.7 ton/hab*año), seguido de Colonia (0.4 ton/hab*año).
- De acuerdo con lo esperado, la mayor densidad superficial de emisiones se produce en Montevideo (161 ton/km²*año).
- En general, se presentaron variaciones en cuanto a las emisiones sectoriales para el período 2006-2015 (los comentarios detallados se muestran en la sección 6.4.1 del presente documento).
- En comparación con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2014, en el presente documento se estimaron emisiones similares de NO_x y SO_2 y emisiones sustancialmente inferiores de CO. A futuro sería de interés unificar criterios en cuanto a las fuentes de información y en cuanto a los factores de emisión utilizados para el cálculo de emisiones de CO en ambos trabajos.

- En términos totales, el método de factores de emisión reproduce de forma satisfactoria las emisiones medidas de NO_x y CO. Sin embargo, la precisión del mencionado método se reduce cuando las emisiones calculadas y medidas son comparadas a nivel de industria.

Referencias Bibliográficas.

- Cai, S., Li, Q., Wang, S., Chen, J., Ding, D., Zhao, B., ... Hao, J. (2018). Pollutant emissions from residential combustion and reduction strategies estimated via a village-based emission inventory in Beijing. *Environmental Pollution*, 238, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.036>
- Congreso de Intendentes. (2015). Retrieved October 29, 2018, from <http://www.ci.gub.uy/>
- D'Angelo, M., González, A. E., & Rezzano Tizze, N. (2018). First approach to exhaust emissions characterization of light vehicles in Montevideo, Uruguay. *Science of the Total Environment*, 618. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.115>
- D'Angelo Taibo, M. (2016). *Caracterización de las emisiones atmosféricas del transporte en Montevideo*. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad de la República.
- DINAMA-MVOTMA. (2015). *Calidad del aire en exteriores—Versión 2015*.
- DINAMA-MVOTMA, & IMFIA-FIng. (2010). *Inventario de Emisiones Atmosféricas 2006. Informe Final*.
- DINAMA-MVOTMA, & IMFIA-FIng. (2015). *Estimación de Emisiones de PM10 por Erosión Eólica. Informe Final*.
- DINAMA-MVOTMA, & IMFIA-FIng. (2017). *Emisiones de Partículas por Efecto de Rodadura en Caminos sin Pavimentar. Informe Final*.
- DNE-MIEM. (2014). *Encuesta de Usos, Consumos y Rendimientos del Sector Transporte*.
- DNE-MIEM. (2015). *Balance Energético Nacional 2015*.
- EEA. (2016). Energy industries. Combustion in energy and transformation industries. *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016*, 1–124.
- EMEP/CEIP. (n.d.). Present state of emission data. Retrieved October 16, 2018, from http://www.ceip.at/webdab_emepdatabase/reported_emissiondata/
- European Environment Agency. (n.d.). Countries data reporting — related reporting obligations. Retrieved April 9, 2019, from <https://www.eea.europa.eu/themes/air/reporting-obligations>
- Grupo GESTA Aire. (2012a). *Propuesta de Estándares Emisiones Gaseosas de Fuentes Fijas*.
- Grupo GESTA Aire. (2012b). *Propuesta Estándares Calidad de Aire*.
- Grupo GESTA Aire. (2012c). *Propuesta Estándares Emisiones de Fuentes Móviles*.
- IM. (2017). *Informe de Calidad de Aire. Año 2017*.
- IMFIA-FIng, & DINAMA-MVOTMA. (2015). *Informe Final. Caracterización de Emisiones de Vehículos Pesados en Circulación*.

- INE. (n.d.). *Resultados del Censo de Población 2011: población, crecimiento y estructura por sexo y edad*. Instituto Nacional de Estadística.
- Iodice, P., Cardone, M., Senatore, A., & Migliaccio, M. (2010). Emission Inventory for the Road Transport Sector in the Urban Area of Naples: Methodology and Results. *Highway and Urban Environment*, 17, 387–395. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3043-6>
- IPCC. (1996). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Korc, M. E., & Hill, M. (2000). *Formulación Del Plan Nacional De Calidad Del Aire Para Uruguay*. CEPIS/OPS/OMS (Vol. 503).
- Mellios, G., & Ntziachristos, L. (2016). *EMEP EEA Guidebook 2016 - Gasoline Evaporation*.
- MTOP. (2016). *Anuario Estadístico de Transporte 2016*.
- MVOTMA. (n.d.). Sistema de Información Territorial. Retrieved November 13, 2018, from <http://sit.mvotma.gub.uy/>
- MVOTMA. (2018). *Plan Ambiental Nacional para el Desarrollo Sostenible (Propuesta Borrador)*.
- MVOTMA, & SNRCC. (2017). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2014*.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2017). *EMEP EEA Guidebook 2016 - Exhaust Emission Calculation*.
- OMS. (2002). *Evaluación de fuentes de contaminación del aire. Parte 1: Técnicas para el inventario rápido de la contaminación ambiental*.
- Pachón, J. E., Galvis, B., Lombana, O., Carmona, L. G., Fajardo, S., Rincón, A., ... Henderson, B. (2018). Development and evaluation of a comprehensive atmospheric emission inventory for air quality modeling in the megacity of Bogotá. *Atmosphere*, 9(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/atmos9020049>
- Poder Legislativo. (2000). *Ley 17283*. Uruguay.
- Presidencia. (1979). *Decreto 253/979*. Uruguay.
- Presidencia. (2002). *Decreto 154/002*. Uruguay.
- Presidencia. (2003). *Decreto 373/003*. Uruguay.
- Presidencia. (2008). *Decreto 111/008*. Uruguay.
- Presidencia. (2009). *Decreto 586/2009*. Uruguay.
- SUCIVE. (2018). *Detalle del Parque Automotor*.
- USEPA. (n.d.). 2014 National Emissions Inventory (NEI) Data - Facility Mapping. Retrieved November 20, 2018, from <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data>
- USEPA. (1995a). *EPA AP-42: 10.2 Chemical Wood Pulping*.

- USEPA. (1995b). *EPA AP-42: 11.6 Portland Cement Manufacturing.*
- USEPA. (1995c). *EPA AP-42: 12.15 Storage Battery Production.*
- USEPA. (1995d). *EPA AP-42: 12.8 Secondary Aluminum Operations.*
- USEPA. (1995e). *EPA AP-42: 6.1 Carbon Black.*
- USEPA. (1995f). *EPA AP-42: 6.4 Paint And Varnish.*
- USEPA. (1995g). *EPA AP-42: 6.6.2 Poly(ethylene Terephthalate).*
- USEPA. (1995h). *EPA AP-42: 6.8 Soap And Detergents.*
- USEPA. (1995i). *EPA AP-42: 8.10 Sulfuric Acid.*
- USEPA. (1995j). *EPA AP-42: 9.12.2 Wines And Brandy.*
- USEPA. (1995k). *EPA AP-42: 9.13.1 Fish Processing.*
- USEPA. (1995l). *EPA AP-42: 9.5.3 Meat Rendering Plants.*
- USEPA. (1995m). *USEPA AP-42 Introducción.*
- USEPA. (1996a). *EPA AP-42: 1.10 Residential Wood Stoves.*
- USEPA. (1996b). *EPA AP-42: 1.11 Waste Oil Combustion.*
- USEPA. (1996c). *EPA AP-42: 1.8 Bagasse Combustion In Sugar Mills.*
- USEPA. (1996d). *EPA AP-42: 1.9 Residential Fireplaces.*
- USEPA. (1996e). *EPA AP-42: 3.3 Gasoline And Diesel Industrial Engines.*
- USEPA. (1996f). *EPA AP-42: 9.12.1 Malt Beverages.*
- USEPA. (1997). *EPA AP-42: 9.10.1.1 Sugarcane Processing.*
- USEPA. (1998). *EPA AP-42: 1.4 Natural Gas Combustion.*
- USEPA. (2003). *EPA AP-42: 1.6 Wood Residue Combustion In Boilers.*
- USEPA. (2008). *EPA AP-42: 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion.*
- USEPA. (2010). *EPA AP-42: 1.3 Fuel Oil Combustion.*
- USEPA. (2015). *EPA AP-42: 5.1 Petroleum Refining.*
- USEPA. (2017). *Profile of Version 1 of the 2014 National Emissions Inventory.*
- Winther, M., Rypdal, K., Sørensen, L., Kalivoda, M., Bukovnik, M., Kilde, N., ... Whiteley, M. (2016). *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016*, (21), 1–52.