



Universidad de la República  
Facultad de Ingeniería  
Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental

Tesis para optar al Título de  
Magister en Ingeniería Ambiental

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA  
DEBIDAS AL CONSUMO DE ENERGÍA

Autor: NICOLÁS GUILLERMO REZZANO TIZZE  
Tutor: Dr. Ing. Elizabeth González Fernández

Montevideo, Uruguay,  
2014

## **Página de aprobación**

FACULTAD DE INGENIERÍA

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la Tesis de Investigación:

Título: INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA  
DEBIDAS AL CONSUMO DE ENERGÍA

Autor/s: Ing. Nicolás Rezzano Tizze

Tutor: Dra. Ing. Alice Elizabeth González

Carrera: Maestría en Ingeniería Ambiental

Puntaje:

.....  
.....

Tribunal:

Profesor.....  
(Nombre y firma).

Profesor.....  
(Nombre y firma)

Profesor.....  
(Nombre y firma)

Fecha:

## INDICE

Resumen .....	v
Palabras clave .....	vii
Siglas, acrónimos, y abreviaturas.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ESTADO DEL ARTE.....	3
2.1 Contaminación atmosférica.....	3
2.1.1 Definición .....	3
2.1.2 Perspectiva histórica acerca de calidad de aire y desarrollo .....	5
2.2 Contaminantes atmosféricos.....	11
2.2.1 A modo de introducción.....	11
2.2.2 Contaminantes criterio.....	11
2.3 Herramientas de gestión de la calidad de aire .....	18
2.3.1 Marco legal.....	18
2.3.2 Monitoreo de emisiones y calidad de aire .....	20
2.3.3 Índices de calidad de aire .....	21
2.3.4 Modelación de calidad de aire.....	21
2.3.5 Inventarios de emisiones.....	22
<i>El proceso de evaluación rápida.....</i>	<i>32</i>
<i>Métodos de estimación de emisiones.....</i>	<i>32</i>
<i>Factores de emisión.....</i>	<i>36</i>
<i>Calidad de los factores de emisión.....</i>	<i>38</i>
<i>Método de cálculo.....</i>	<i>41</i>
3. ANTECEDENTES NACIONALES .....	42
3.1 Introducción.....	42
3.2 Normativa .....	42
3.3 Actores clave a nivel nacional en materia de gestión de la calidad de aire .....	56
3.4 Antecedentes de gestión de calidad de aire.....	64
3.5 Primer Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera .....	68
4. CASO DE APLICACIÓN: INVENTARIO DE EMISIONES DE CONSUMO DE ENERGÍA.....	90

4.1	Objetivos del Inventario.....	90
4.2	Matriz Energética Uruguaya .....	90
4.3	Metodología adoptada: Factores de Emisión .....	105
4.4	Contaminantes considerados .....	105
4.5	Tipos y categorías de fuentes consideradas .....	105
4.6	Características temporales y año base .....	108
4.7	Fuentes de información .....	108
4.8	Forma de documentación de la información.....	108
4.9	Hipótesis de cálculo .....	109
4.10	Resultados.....	116
4.10.1	Emisión nacional .....	116
4.10.2	Emisión residencial .....	122
4.10.3	Comercios y Servicios .....	126
4.10.4	Agropecuaria.....	130
4.10.5	Transporte .....	134
4.10.6	Industrial .....	137
4.10.7	Pesca.....	140
4.10.8	Construcción .....	141
4.10.9	Minería .....	142
4.10.10	Aportes principales por contaminante y por combustible .....	143
4.10.11	Análisis de sensibilidad .....	148
4.10.12	Incertidumbre de los resultados .....	149
5.	A MODO DE SINTESIS.....	152
5.1	Resultados finales .....	152
5.2	Potencial uso de la herramienta generada.....	156
5.3	Análisis crítico .....	157
5.4	Líneas de investigación .....	159
	BIBLIOGRAFÍA.....	161



## Resumen

Este documento corresponde a la tesis para obtener el título de Magister en Ingeniería Ambiental, en el que se presenta el primer Inventario nacional de emisiones a la atmósfera debidas al consumo de energía.

La información de base surge de la Dirección Nacional de Energía del Ministerio de Industria y Energía, sobre consumos energéticos de los sectores residencial, comercios y servicios, agropecuario, transporte, industrial, pesca, construcción y minería, en su trabajo " Estudios de base para el diseño de estrategias y políticas energéticas: relevamiento de consumos de energía sectoriales en términos de energía útil a nivel nacional" (DNE-MIEM, 2008) . Se aplica la metodología de factores de emisión, tomando factores de emisión EPA del documento "Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (Usepa, 1997) y factores de emisión CORINAIR del documento "EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook" (CORINAIR, 2002).

En lo que respecta a los resultados globales, en todos los casos existe un sector que aporta más del 50 % de cada contaminante y que bastan dos sectores para explicar el 80 % o más de la emisión de cada contaminante. Por otra parte, el sector residencial es el mayor emisor de PST, PM<sub>10</sub>, CO; el transporte lo es de NO<sub>x</sub> y el sector industrial de SO<sub>x</sub>, los demás sectores no tienen prácticamente incidencia (aportan menos del 10 %) en ningún caso; sólo el sector Comercios y Servicios alcanza a aporta un 10 % de la emisión total de SO<sub>x</sub>.

Las tasas de emisión por habitante expresadas en kilogramos por habitante por año son las siguientes: 7.2 para PM<sub>10</sub>, 8.2 para PST, 4.8 para SO<sub>x</sub>, 9.2 para NO<sub>x</sub> y 67.8 para CO. Los resultados del inventario de consumo de energía son comparables con los resultados del primer inventario nacional de emisiones a la atmósfera: las diferencias obtenidas se encuentran en el entorno de un 15 %, a menos del SO<sub>2</sub> donde las emisiones de proceso tienen un peso notorio.

Debido a las modificaciones a corto plazo de la matriz energética y la modificación de la calidad de combustibles a nivel país, es esperable que los resultados del inventario de emisiones a la atmósfera debido al consumo de energía evolucionen de la siguiente manera:

- Reducción de emisiones en los distintos contaminantes criterio del sector generación de energía debido a la penetración especialmente de energía eólica y otras energías renovables (menor consumo de FO y GO para generación de energía).
- Menores emisiones de SO<sub>x</sub> por consumos de GO y NF debido a la mejora de la calidad de combustibles por reducción de los tenores de azufre (GO, NF) en especial en el sector Transporte, Industria y generación de energía (Desulfurizadora ANCAP)
- Menores emisiones del sector residencial debido al aumento de participación de Gas Natural (GASSAYAGO).

En lo que sigue se sintetizan las líneas de investigación que emergen de los resultados obtenidos:

El uso de inventario de emisiones a nivel nacional es incipiente, por lo que se encuentra desaprovechado como herramienta de gestión. Resulta de interés profundizar en sus aplicaciones, jerarquizándolas de modo de simplificar también su actualización. Por otra parte a partir del desarrollo del presente inventario, es posible generar escenarios de evolución de las emisiones del sector consumo de energía nacional a los efectos de evaluar en forma predictiva los efectos de la implementación de distintas medidas de gestión y actuar en consecuencia. Debido a la falta de ensayos sobre las emisiones vehiculares que permitan conocer objetivamente las tasas de emisión reales de la flota vehicular uruguaya actual, no es posible contar con estándares para vehículos en circulación. Por otra parte, el desarrollo de factores de emisión basados en estos ensayos será un insumo que permitirá aplicar distintas herramientas de gestión de la calidad del aire con menor incertidumbre en la toma de decisiones. En el caso del uso de calefacción y cocción en el sector residencial, debido al peso relativo de la leña a nivel nacional, es necesario desarrollar factores de emisión a partir de datos experimentales hoy inexistentes, con el fin de mejorar la precisión de los resultados y la aplicabilidad de distintas políticas. Este tipo de proyecto de investigación pueden tomar en consideración temas técnicos actualmente en discusión a nivel internacional como por ejemplo el efecto del uso de la leña para calefacción en la calidad de aire interior (PM2.5).

Vale mencionar que en el marco de esta tesis fue desarrollada una herramienta de cálculo, que acompañada del balance de emisiones

nacional, permite calcular las emisiones de contaminante criterio de cada rubro considerado.

**Palabras clave**

Inventario de emisiones, Gestión de la calidad de aire, Contaminantes criterio

## Tabla de cuadros

Tabla 3. 1: Propuesta GESTA Aire de estándares en inmisión (DINAMA-MVOTMA, 2012a) .....	48
Tabla 3. 2: Evolución de las normas EURO .....	50
Tabla 3. 3: Normas propuestas para emisiones de vehículos nuevos EURO 2 (DINAMA-MVOTMA, 2012c) .....	52
Tabla 3. 4: Normas propuestas para emisiones de vehículos nuevos EURO 4 (DINAMA-MVOTMA, 2012c) .....	53
Tabla 3. 5: Parámetros determinados en cada estación (IDM, 2011 <sup>3</sup> ) .....	67
Tabla 3. 6: Síntesis de fuentes de información para los distintos emisores no naturales de contaminantes atmosféricos .....	71
Tabla 4. 1: Poderes caloríficos de los combustibles (Fuente: DNE-MIEM, 2008) .....	109
Tabla 4. 2: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados por uso .....	110
Tabla 4. 3: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector residencial .....	111
Tabla 4. 4: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Comercios y Servicios .....	112
Tabla 4. 5: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Agropecuario .....	113
Tabla 4. 6: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Industrial .....	113
Tabla 4. 7: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Pesca .....	115
Tabla 4. 8: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Construcción .....	115
Tabla 4. 9: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Minería .....	115
Tabla 4. 10: Emisiones nacionales totales y por sector (ton/año y porcentaje) .	116
Tabla 4. 11: Emisiones del sector Residencial, totales y por uso (ton/año y porcentaje) .....	122
Tabla 4. 12: Emisiones del sector Comercios y Servicios, totales y por uso (ton/año y porcentaje) .....	126
Tabla 4. 13: Emisiones del sector Agropecuario, totales y por uso (ton/año y porcentaje) .....	130
Tabla 4. 14: Emisiones del sector Transporte, totales y por uso (ton/año y porcentaje) .....	134
Tabla 4. 15: Emisiones del sector Industrial, totales y por uso (ton/año y porcentaje) .....	137

Tabla 4. 16: Emisiones del sector Pesca, totales y por uso (ton/año y porcentaje)	140
Tabla 4. 17: Emisiones del sector Construcción, totales y por uso (ton/año y porcentaje)	141
Tabla 4. 18: Emisiones del sector Minería, totales y por uso (ton/año y porcentaje)	142

## Tabla de ilustraciones

Figura 2. 1: Contaminación de aire en Londres, Inglaterra durante el episodio de 1892 .....	8
Figura 2. 2: Contaminación de aire en Londres, Inglaterra durante el episodio de 1952 .....	10
Figura 2. 3: Contaminación de aire en Nueva York durante el episodio de 1953 .....	10
Figura 2. 4: Costo y confiabilidad de los distintos métodos de estimación de emisiones atmosféricas .....	34
Figura 3. 1: Ubicación de las estaciones (IDM, 2011).....	67
Figura 3. 2: Aportes relativos de los sectores a las emisiones nacionales en distintos contaminantes (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008) .....	75
Figura 3. 3: Ejemplo de análisis de resultados (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008).....	76
Figura 3. 4: Aportes de SO <sub>x</sub> de cada sector en cada departamento, como porcentaje de la emisión país (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008) .....	77
Figura 3. 5: Aportes de NO <sub>x</sub> de cada sector en cada departamento, como porcentaje de la emisión país (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008) .....	78
Figura 3. 6: Aportes de PST de cada sector en cada departamento, como porcentaje de la emisión país (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008) .....	79
Figura 3. 7: Aportes de CO de cada sector en cada departamento, como porcentaje de la emisión país (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008) .....	80
Figura 3. 8: Emisiones industriales por rubro, aporte superior al 5 % del total del sector en el contaminante PST (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008) .....	83
Figura 3. 9: Emisiones industriales por rubro, aporte superior al 5 % del total del sector en el contaminante SO <sub>x</sub> . (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008) .....	84
Figura 3. 10: Emisiones industriales por rubro, aporte superior al 5 % del total del sector en el contaminante NO <sub>x</sub> . (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008) .....	84
Figura 3. 11: Emisiones vehiculares por departamento, aporte superior al 10 % del total del sector en el contaminante NO <sub>x</sub> (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008).....	85
Figura 3. 12: Aporte promedio país en los contaminantes considerados expresado en kg/hab/año (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008). 87	

Figura 4. 1: Abastecimiento de energía por fuente - 2006 (Fuente: DNE-MIEM, 2006) .....	91
Figura 4. 2: Evolución 1990-2006 abastecimiento de energía por fuente (Fuente: DNETN-MIEM, 2006).....	92
Figura 4. 3: Evolución 1990-2006 consumo final total de energía .....	92
Figura 4. 4: Evolución 1990-2006 consumo energético por fuente.....	93
Figura 4. 5: Estructura de consumo por sector - 2006 (Fuente: DNETN-MIEM, 2006) .....	94
Figura 4. 6: Consumo final de energía neta y útil por sectores - 2006 (Fuente: DNE-MIEM, 2008) .....	97
Figura 4. 7: Consumo final de energía neta y útil por fuentes - 2006 (Fuente: DNE-MIEM, 2008) .....	97
Figura 4. 8: Consumo final de energía neta por usos - 2006 (Fuente: DNE-MIEM, 2008) .....	98
Figura 4. 9: Sector residencial. Rendimientos de utilización por fuentes, año 2006 en %. (Fuente: DNE-MIEM, 2008).....	99
Figura 4. 10: Sector residencial. Rendimientos de utilización por usos, año 2006 en %. (Fuente: DNE-MIEM, 2008).....	100
Figura 4. 11: Sector residencial. Importancia de factores de sustitución (izquierda: Urbano, derecha: Rural) (Fuente: DNE-MIEM, 2008) .....	101
Figura 4. 12: Sector residencial. Energía útil potencial a sustituir por el gas natural (Fuente: DNE-MIEM, 2008).....	102
Figura 4. 13: Sector industrial. Rendimientos de utilización de las fuentes de energía (Fuente: DNE-MIEM, 2008) .....	103
Figura 4. 14: Sector industrial. Rendimientos de utilización según usos de energía (Fuente: DNE-MIEM, 2008) .....	104
Figura 4. 15: Distribución por sectores de la emisión de PM10 por sector (ton/año, porcentaje).....	117
Figura 4. 16: Distribución por sectores de la emisión de PM10 por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje).....	117
Figura 4. 17: Distribución por sectores de la emisión de PST (ton/año, porcentaje) .....	118
Figura 4. 18: Distribución por sectores de la emisión de PST por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje).....	118
Figura 4. 19: Distribución por sectores de la emisión de SO <sub>x</sub> (ton/año, porcentaje) .....	119
Figura 4. 20: Distribución por sectores de la emisión de SO <sub>x</sub> por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje).....	119
Figura 4. 21: Distribución por sectores de la emisión de NO <sub>x</sub> (ton/año, porcentaje) .....	120

Figura 4. 22: Distribución por sectores de la emisión de NO <sub>x</sub> por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje).....	120
Figura 4. 23: Distribución por sectores de la emisión de CO (ton/año, porcentaje) .....	121
Figura 4. 24: Distribución por sectores de la emisión de CO por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje).....	121
Figura 4. 25: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de PM10 (ton/año, porcentaje).....	123
Figura 4. 26: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de PST (ton/año, porcentaje).....	123
Figura 4. 27: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de SO <sub>x</sub> (ton/año, porcentaje).....	124
Figura 4. 28: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de NO <sub>x</sub> (ton/año, porcentaje).....	124
Figura 4. 29: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de CO (ton/año, porcentaje).....	125
Figura 4. 30: Distribución de emisiones de PM10 dentro del sector Comercios y Servicios (ton/año, porcentaje) .....	127
Figura 4. 31: Distribución de emisiones de PST (dentro del sector Comercios y Servicios ton/año, porcentaje).....	127
Figura 4. 32: Distribución de emisiones de SO <sub>x</sub> dentro del sector Comercios y Servicios (ton/año, porcentaje) .....	128
Figura 4. 33: Distribución de emisiones de NO <sub>x</sub> dentro del sector Comercios y Servicios (ton/año, porcentaje) .....	129
Figura 4. 34: Distribución de emisiones de CO dentro del sector Comercios y Servicios (ton/año, porcentaje) .....	129
Figura 4. 35: Distribución de emisiones de PM10 dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje).....	131
Figura 4. 36: Distribución de emisiones de PST dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje).....	131
Figura 4. 37: Distribución de emisiones de SO <sub>x</sub> dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje).....	132
Figura 4. 38: Distribución de emisiones de NO <sub>x</sub> dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje).....	132
Figura 4. 39: Distribución de emisiones de CO dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje).....	133
Figura 4. 40: Distribución de emisiones de PST dentro del sector Transporte (ton/año, porcentaje).....	135
Figura 4. 41: Distribución de emisiones de SO <sub>x</sub> dentro del sector Transporte (ton/año, porcentaje).....	135
Figura 4. 42: Distribución de emisiones de NO <sub>x</sub> dentro del sector Transporte (ton/año, porcentaje).....	136



Figura 4. 43: Distribución de emisiones de CO dentro del sector Transporte (ton/año, porcentaje).....	136
Figura 4. 44: Distribución de emisiones de PM10 dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje).....	138
Figura 4. 45: Distribución de emisiones de PST dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje).....	138
Figura 4. 46: Distribución de emisiones de SO <sub>x</sub> dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje).....	139
Figura 4. 47: Distribución de emisiones de NO <sub>x</sub> dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje).....	139
Figura 4. 48: Distribución de emisiones de CO dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje).....	140
Figura 4. 49: Distribución de emisiones de PM10 por sector, uso y combustible (porcentaje) .....	143
Figura 4. 50: Distribución de emisiones de PST por sector, uso y combustible (porcentaje) .....	144
Figura 4. 51: Distribución de emisiones de SO <sub>x</sub> por sector, uso y combustible (porcentaje) .....	145
Figura 4. 52: Distribución de emisiones de NO <sub>x</sub> por sector, uso y combustible (porcentaje) .....	146
Figura 4. 53: Distribución de emisiones de CO por sector, uso y combustible (porcentaje) .....	147
Figura 4. 54: Consumo de energía anual per cápita (tep/cápita) .....	148
Figura 4. 55: Emisiones anuales de contaminantes criterio per cápita (kg/año)	149
Figura 4. 56: Factores que determinan la incertidumbre de los resultados del inventario .....	150
 Figura 5. 1: Porcentajes de participación de los distintos sectores en los contaminantes considerados. ....	152
Figura 5. 1: Tasa de emisión en cada sector por contaminante (kg/hab/año) ..	153
Figura 5. 3: Distribución del peso de cada sector en PM10 y PST (emisión y porcentaje).....	154
Figura 5. 4: Distribución del peso de cada sector en SO <sub>x</sub> Y NO <sub>x</sub> (emisión y porcentaje).....	154
Figura 5. 5: Distribución del peso de cada sector en CO (emisión y porcentaje).....	155

## **Siglas, acrónimos, y abreviaturas**

a.C.	Antes de Cristo
ANCAP	Administración Nacional de Combustibles Alcohol y Portland
BEN	Balance Energético Nacional
BOE	Boletín Oficial del Estado Español
CH <sub>4</sub>	Metano
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COP	Compuestos orgánicos persistentes
CORINAIR	Core Inventory Air emissions
CORINE	Coordination of Information on the Environment
COT	Compuestos Orgánicos Totales
COTAMA	Comisión Técnica Asesora de la Protección del Medio Ambiente
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CV	Carbón Vegetal
d.C.	Después de Cristo
DINAMA	Dirección Nacional de Medio Ambiente
DINAMA	Dirección Nacional de Medio Ambiente - MVOTMA
DINOT	Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial
DNT	Dirección Nacional de Transporte del MTOP
DO	Diesel oil
EEA	European Environment Agency
EEUU	Estados Unidos de Norteamérica
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
ER	Eficiencia de Remoción
FE	Factor de Emisión
FING	Facultad de Ingeniería
FO	Fuel oil
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GESTA	Grupo de Estandarización

GN	Gas Natural
GO	Gas oil
GP	Gas propano
IDM	Intendencia departamental de Montevideo
IET	Instituto de Estructuras y Transporte de FING
IF	Instituto de Física de FING
IIMPI	Instituto de Mecánica y Producción Industrial de FING
IIQ	Instituto de Ingeniería Química de FING
IMFIA	Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de FING
INE	Instituto Nacional de Estadística
KE	Kerosene
ktep	kilotonelada equivalente de petróleo
LATU	Laboratorio Tecnológico del Uruguay
LE	Leña
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MEC	Ministerio de Educación y Cultura
MERCOSUR	Mercado Común del Sur
MI	Ministerio del Interior
MIEM	Ministerio de Industria y Energía
MIPYMES	Micro, pequeñas y medianas empresas
MSP	Ministerio de Salud Pública
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
MVOTMA	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
NF	Nafta
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
NMCOV	Compuestos Orgánicos Volátiles distintos del metano
NO	Óxido de Nitrógeno
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrógeno
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrógeno
O <sub>3</sub>	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organización no Gubernamental
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

OPP	Oficina de Planeamiento y Presupuesto
Pb	Plomo
PECA	Programa de Evaluación de la Calidad del Aire
PIT-CNT	Plenario Intersindical de Trabajadores - Convención Nacional de Trabajadores
PM10	Partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 µm
PM2.5	Partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 2.5 µm
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ppm	Partes por millón
PS	Partículas Suspendidas
PST	Partículas Suspendidas Totales
RAE	Real Academia Española
RB	Residuos de Biomasa
RETEMA	Red Temática de Medio Ambiente de la UdelaR
SG	Supergás
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SUCTA	Sociedad Uruguaya de Control Técnico de Automotores ...
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
UB	Unidades Bacharach
UdelaR	Universidad de la República
UE	Unión Europea
UNICEMA	Unidad Central de Medio Ambiente
UR	Unidades Ringelmann
URSEA	Unidad Reguladora de Energía y Agua
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UTE	Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas
WHO	World Health Organization

## **1. INTRODUCCIÓN**

Este documento corresponde a la tesis para obtener el título de Magister en Ingeniería Ambiental, en el que se presenta el primer Inventario nacional de emisiones a la atmósfera debidas al consumo de energía.

Uruguay cuenta con vasta experiencia en lo que respecta a la gestión de la calidad del aire, desde el punto de vista de herramientas como el monitoreo o la modelación. En lo que respecta a los inventarios de emisiones, los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI) se vienen realizando en el Uruguay desde la década del 90'. Por otra parte, el primer Inventario Nacional de Contaminantes criterio fue realizado durante el año 2008 en el marco de un convenio entre la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) del Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) y la Facultad de Ingeniería (FING) de la Universidad de la República (Udelar).

A los efectos de orientar políticas ambientales sólidas, se debe conocer el punto de partida y priorizar en forma objetiva las acciones a tomar. En el inventario desarrollado en el marco de la tesis, es posible identificar rubros protagonistas en cuanto a emisión de distintos contaminantes y, a partir de ello, esbozar políticas de gestión aplicables a los efectos de mejorar el desempeño de distintos sectores.

La cuantificación de las emisiones se realiza mediante la metodología de factores de emisión, en la cual se determinan las cargas de emisión a partir de valores de la actividad del rubro considerado. Un factor de emisión es un promedio de la carga contaminante emitida por volumen de producción u otro dato relevante de fácil obtención como kilometraje recorrido, consumo de combustible, etc. En lo que respecta a las actividades se cuenta con un balance energético desglosado, el que se toma como base para calcular las emisiones por rubro y destino de la energía.

A continuación se presenta la organización de los capítulos de la tesis:

- En el primer capítulo se introduce el documento.
- El capítulo segundo presenta el estado del arte en lo que respecta a herramientas de gestión de la calidad del aire.
- En el tercer capítulo se presentan los antecedentes sobre gestión de la calidad de aire a nivel nacional.
- El cuarto capítulo presenta el caso de aplicación correspondiente al primer Inventario nacional de emisiones a la atmósfera debidas al consumo de energía.
- Finalmente en el capítulo quinto se presentan las conclusiones y posibles líneas de acción e investigación a futuro.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Contaminación atmosférica

#### 2.1.1 Definición

De acuerdo a la definición de la Real Academia Española (RAE, 2001), contaminar implica: *"alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de una cosa o un medio por agentes químicos o físicos"*.

Siguiendo la definición de la toxicóloga mexicana Lilia Albert (2004), se puede decir que *"se designa como contaminación a la introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes o sustratos a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las propias de dichos sustratos, por un tiempo suficiente y bajo condiciones tales que sean capaces de interferir con la salud y la comodidad de las personas, dañar los recursos naturales o alterar el equilibrio ecológico de la zona"*.

En consecuencia, se puede afirmar que un agente (químico, biológico, físico) se convierte en contaminante cuando está en un ámbito (un sustrato) inadecuado, o cuando aún estando en un ámbito (un sustrato) adecuado se presenta en cantidades excesivas y su presencia se prolonga durante el tiempo necesario para generar efectos adversos (interferencias o daños a la salud humana, interferencias con su comodidad o bienestar, daño a los recursos naturales o alteración de los ecosistemas aún cuando éstos no tengan un valor económico inmediato –o sea, no estén considerados como "recursos"-).

Una posible línea de actuación ante episodios de contaminación es la de dar respuesta "a demanda", es decir, atender cada caso una vez que éste se manifiesta. Pero a esta altura es conocido que a través de técnicas de planificación y evaluación ambiental temprana, los posibles impactos negativos de las actividades humanas sobre el ambiente se pueden reducir en forma significativa. Para capitalizar esto, resulta necesario realizar un diagnóstico de situación de forma de identificar

los problemas más críticos y seleccionar las más efectivas entre las posibles estrategias de acción.

Según la Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de Brasil (CETESB, 2013) contaminante del aire es *"...cualquier forma de materia o energía con intensidad y en cantidad, concentración, tiempo o características en desacuerdo con los niveles establecidos en el marco normativo, y que tornan o puedan tornar el aire nocivo u ofensivo a la salud, inconveniente al bienestar público, dañino a los materiales, la fauna y la flora, o perjudicial a la seguridad, al uso y gozo de la propiedad y las actividades normales de la comunidad"*.<sup>1</sup>

De acuerdo al marco normativo español, Ley 34/2007 del Boletín Oficial del Estado de España (BOE, 2007), de calidad del aire y protección de la atmósfera, la prevención vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica tiene por finalidad *"evitar y cuando esto no sea posible, aminorar los daños que de ésta puedan derivarse para las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza"*.

Una posible definición de la United States Environmental Protection Agency (Usepa, 2012) de contaminación atmosférica es: *"una medida de la presencia en el aire ambiente de uno o varios contaminantes, como polvo, vapores, gas, niebla, olor, humo o vapor en cantidades y de características y duración tales como para dañar la salud del ser humano, la vida vegetal, animal o la propiedad o interferir de forma no razonable con el disfrute de la vida y la propiedad"*<sup>2</sup>.

Cualquiera sea la clasificación que se adopte, es necesario tener presente que se trata de una categorización abierta, condicionada al estado del arte y los avances de la ciencia, especialmente en medicina y tecnología.

---

<sup>1</sup> Poluente atmosférico é toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

<sup>2</sup> "A measure of the presence in the outdoor atmosphere of one or more contaminants, such as dust, fumes, gas, mist, odor, smoke or vapor in quantities and of characteristics and duration such as to be injurious to human, plant or animal life or to property or to interfere unreasonably with the comfortable enjoyment of life and property"



### 2.1.2 Perspectiva histórica acerca de calidad de aire y desarrollo

La contaminación del aire es un tema que históricamente se ha tratado en distintas sociedades. Las primeras en considerarlo, según consignan los estudiosos del tema, han sido la romana y la griega.

Entre el S V a.C. y S IV a.C., el "Hippocratic Corpus" plantea en forma pionera la relación entre calidad de aire y salud. En efecto, en el S IV a.C. la calidad del ambiente de trabajo y su relación con la salud del trabajador fue enunciada por Hipócrates en sus primeros trabajos sobre exposición a plomo en la industria minera.

En el S III a.C. Teofrasto, discípulo de Aristóteles, menciona en sus escritos el olor desagradable que proviene de la quema de carbón.

En Roma, hacia el año 100 a.C. los fenómenos de contaminación de aire fueron descritos como aire infame<sup>3</sup> y aire pesado<sup>4</sup>. Horacio, poeta romano, menciona en sus escritos quejas sobre el humo y ruido de Roma, y describe el hecho de que el humo estaba tornando las edificaciones de color negro. En ese mismo siglo el filósofo romano Séneca, menciona las características del "aire pesado" en Roma.

En el S I d.C., Gayo Plinio Segundo plantea los riesgos de aquellas personas que trabajaban con zinc. Éste diseña una máscara a partir de vejiga animal para proteger de las emisiones a los trabajadores.

También en esa época, Vitrubio enuncia en sus escritos las enfermedades ocupacionales en los trabajadores de las minas de mercurio y plomo de la Roma antigua. Plutarco recomienda que no se utilicen esclavos para trabajar en las minas de plomo y mercurio, sino que se utilicen exclusivamente esclavos criminales para ello.

En el S II d.C el físico griego Galeno, describe la patología de intoxicación por plomo y reconoce los riesgos de la exposición ocupacional a nieblas acidas en minas de cobre.

---

<sup>3</sup> *"infamis aer"*

<sup>4</sup> *"gravioris caeli"*

El emperador romano Justiniano enuncia en el S IV d.C en el Código Legal de Roma, en la sección sobre las leyes de las cosas: "*Según la Ley de la naturaleza estas cosas son comunes a la humanidad: el aire, el agua que escurre, el mar, y por consiguiente las orillas del mar.*"

En el año 1306 Eduardo I prohíbe la quema de carbón marino en los hornos de los artesanos en Inglaterra, debido a las emisiones de humos y olores. Luego Elizabeth I de Inglaterra prohíbe la quema de carbón durante las sesiones del parlamento inglés.

En SXVI el alemán Georgius Agrícola, describe en su libro "De Re Metallica" las enfermedades de los mineros y medidas preventivas a implementar. El libro incluye criterios de ventilación de minas y protección de los trabajadores; presenta asimismo la descripción de varias enfermedades ocupacionales de los trabajadores debido a los contaminantes presentes en el aire en su ambiente de trabajo, tal como silicosis.

En 1661 el inglés John Evelyn escribe su libro bajo el título "Fumifugium", en el que convoca a la limpieza de la ciudad de Londres. Evelyn menciona: "*apenas se pueden ver las calles y hay partículas en el aire tan grandes que apenas se puede respirar*". Propone la relocalización de industrias fuera de la ciudad a los efectos de prevenir la sedimentación de hollín en la ciudad y la plantación de flores para que la ciudad reciba los aromas que éstas emanan.

En el área de la higiene ocupacional se produjo un avance relevante en 1700 cuando Bernardo Ramazzini, conocido como "el padre de medicina ocupacional", publica en Italia el primer libro sobre medicina laboral, "De Morbis Artificum Diatriba" (Las Enfermedades de los Trabajadores). El libro contiene descripciones exactas de las enfermedades profesionales de la mayor parte de los trabajadores de su tiempo. Ramazzini incidió en forma significativa en el futuro de la Higiene Industrial al sentenciar que el abordaje de las enfermedades profesionales debe ser realizado en el entorno de trabajo antes que en el entorno hospitalario.

En Inglaterra, en el año 1788, como consecuencia de los estudios sobre los efectos negativos del hollín sobre los deshollinadores (vinculación entre cáncer y exposición a hollín), se publica la normativa sobre limpiadores de chimenea, éstos fueron los primeros actos legislativos en el campo de seguridad industrial. Las primeras normativas planteaban la

compensación de los daños realizados antes que el control de las causas. Más tarde, distintas naciones europeas desarrollaron los reglamentos de compensación de los trabajadores, que estimularon la adopción de precauciones en el área ocupacional y el establecimiento de servicios médicos dentro de plantas industriales.

En el marco de la reglamentación de Alkali (1869) en Inglaterra, Robert Angus Smith, el primer inspector de esa reglamentación, diseña una red de muestreo de agua de lluvia en distintas zonas de Gran Bretaña (1869 a 1870). De acuerdo a sus escritos "*el principal objetivo de la lluvia es purificar el aire y no fertilizar el suelo*"<sup>5</sup>.

En 1840 en Auckland se presentan problemas de olores en toda la ciudad debido al vertido de residuos en las zonas portuarias de esta ciudad.

Como consecuencia de la Revolución Industrial, las emisiones eran vistas como un símbolo de avance económico y tecnológico. Una de las causas más relevantes en lo que respecta al aumento de emisiones de partículas y óxidos de azufre en la trama urbana era la combustión de carbón para la producción de energía. Hacia comienzos del siglo XX la principal medida adoptada para mitigar los efectos de la quema de carbón sobre la calidad de aire urbano fue el aumento de la altura de las chimeneas. Estas emisiones, asociadas a situaciones de inversiones atmosféricas prolongadas en el tiempo, llevaron a situaciones comprometidas desde el punto de vista de la calidad de aire.

Algunos hitos de contaminación atmosférica fueron los siguientes:

### **Londres, Inglaterra, 1873-1892**

La Revolución Industrial en el siglo XIX causó problemas de contaminación a gran escala en Europa. A nivel doméstico e industrial el carbón era el principal combustible. En consecuencia durante los meses de invierno las emisiones causadas por la quema de este combustible, tales como partículas y óxidos de azufre, le daban un color amarillo a negro al cielo que se percibía desde la ciudad. En el caso particular de Londres, muchas personas sufrieron problemas respiratorios y ocurrieron muertes en la población más vulnerable. Las primeras muertes (500 personas) relacionadas con la niebla tóxica fueron registradas en 1873. Londres tuvo una de sus experiencias peores de niebla tóxica en

---

<sup>5</sup> "*The purpose of rain is primarily to purify the air and not to fertilize the soil*"

diciembre de 1892: duró tres días y causó aproximadamente 1000 muertes.



**Figura 2. 1: Contaminación de aire en Londres, Inglaterra durante el episodio de 1892**

**(Fuente: California online digital collection, 2013)**

### **Valle de Meuse, Bélgica, 1930**

En diciembre de 1930 una gruesa capa de niebla se mantuvo sobre distintas zonas de Bélgica. En la zona densamente poblada del Valle de Meuse, donde se encontraban distintas industrias, el síntoma inicial registrado en las víctimas de exposición fue disnea y el número de muertos superó los 60. Actualmente se estima que las posibles causas fueron dos: exposición a dióxido de azufre de las industrias y exposición a fluoruros.

### **Donora, EEUU, 1948**

El 30 de octubre de 1948 en Donora, EEUU, 20 muertes fueron ocasionadas por las emisiones de fluoruros de fundiciones de zinc. Se incrementaron las concentraciones ambientales de óxidos de azufre, monóxido de carbono y partículas metálicas debido a condiciones de estratificación atmosférica que duraron más de 4 días.

Las bajas temperaturas a nivel del suelo y la alta presión atmosférica generaron condiciones de fuerte inversión térmica. La topografía de la zona limitó la dispersión de los contaminantes. En consecuencia, aproximadamente 14.000 personas resultaron con afecciones respiratorias. Los principales efectos fueron goteo de las narinas, constricción de la garganta, irritación de garganta, etc.

### **Poza Rica, México, 1950**

El caso de Poza Rica ocurrió en noviembre de 1950. Esta ciudad era y sigue siendo uno de los principales centros de producción de combustibles de México. Entre los distintos establecimientos, se contaba con una planta de recuperación del azufre presente en el combustible como impureza.

El accidental apagado del quemador de ácido sulfhídrico resultó en la liberación de este gas durante una situación de estabilidad atmosférica. Fue transportado por el viento hacia el área residencial cercana a la planta; en consecuencia, durante un período de 3 horas de exposición 22 personas murieron y 320 fueron hospitalizadas.

### **Londres, Inglaterra, 1948-1962**

En el período entre 1948 y 1962 se registraron ocho episodios de contaminación atmosférica en Londres. El principal episodio conocido de diciembre de 1952 denominado como "La Niebla Tóxica Asesina" se inició el 4 de diciembre de 1952 cuando una masa de aire de alta presión generó una inversión de temperatura en Inglaterra del Sur. Las fuentes eran: la quema de carbón para calefacción doméstica de, la generación eléctrica y los vehículos diesel. La capa de inversión se mantuvo instalada durante cinco días en la zona. En este período de tiempo los efectos no fueron solamente sobre la salud, sino también sobre la visibilidad de acuerdo a lo que se observa en las siguientes fotografías de la época.



**Figura 2. 2: Contaminación de aire en Londres, Inglaterra durante el episodio de 1952**

**(Fuente: Edinburgh University, 2013)**

La máxima concentración diaria de  $\text{SO}_2$  registrada en ese momento fue de aproximadamente  $4000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y los niveles de partículas suspendidas totales fueron de casi  $4500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### **Nueva York, Estados Unidos, 1953 a 1966**

De acuerdo con la información histórica, en este período se registraron tres eventos significativos de contaminación atmosférica en la ciudad de Nueva York y alrededores:

- 1953, que dejó entre 170 y 260 personas fallecidas
- 1963, con aproximadamente 200 personas fallecidas
- 1966, con aproximadamente 170 personas fallecidas

En los distintos casos mencionados las causas aparentes fueron la alta concentración de dióxido de azufre y la persistencia de un smog ácido de alta densidad.



**Figura 2. 3: Contaminación de aire en Nueva York durante el episodio de 1953**

**(Fuente: Edinburgh University, 2013)**

## **2.2 Contaminantes atmosféricos**

### **2.2.1 A modo de introducción**

Existe contaminación del aire cuando ocurre la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que puedan afectar la salud y comodidad humana, de animales, de plantas, el equilibrio ecológico, la calidad de bienes materiales, o interferir con el goce de la vida, de la propiedad o el ejercicio de las actividades.

El daño a la salud o al ambiente depende del tipo de contaminante, los tiempos de exposición y la susceptibilidad de los receptores. El aire "*limpio*" se considera un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Las guías de calidad del aire de la OMS tienen por objetivo ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud, no teniendo sin embargo valor legal. Los valores guía se elaboran directamente a partir de la información epidemiológica y toxicológica acerca de los contaminantes.

Es relevante mencionar que los valores guía no aseguran una protección completa de la población frente a los potenciales efectos adversos asociados a la calidad de aire, sino que consideran un cierto porcentaje de riesgo para un porcentaje de la población.

### **2.2.2 Contaminantes criterio**

En este capítulo se han tomado como referencia los siguientes documentos:

- Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial (OMS, 2005)
- Air Quality Guidelines for Europe (WHO, 2000)
- Environmental Health Criteria 213, carbon monoxide, second edition (WHO, 2004)

Los "contaminantes criterio" son aquellos que se encuentran comúnmente en la tropósfera y son perjudiciales para la salud o el

bienestar de los seres humanos. El nombre "criterio" deriva de que han sido tomados como referencia en estudios sobre calidad de aire. Los contaminantes considerados criterio a nivel internacional son:

- PST (en sus distintas fracciones)
- NO<sub>x</sub>
- SO<sub>2</sub>
- CO
- O<sub>3</sub>
- Plomo

### **Partículas suspendidas Totales (PST)**

Las PST consisten en una compleja dispersión de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas en el aire.

Las partículas se clasifican en función de su diámetro aerodinámico en PTS (partículas suspendidas totales, corresponden a partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 100 µm), PM10 (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 µm) y PM2.5 (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 2,5 µm). La fracción PM2.5 supone un mayor peligro para la salud porque, al inhalarlas, estas partículas finas pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio de gases a nivel pulmonar.

De acuerdo a la OMS, el material particulado como contaminante en inmisión afecta a más personas que cualquier otro contaminante criterio debido a la abundancia y multiplicidad de las fuentes emisoras. Las principales fuentes antropogénicas de emisión de partículas son:

- Combustión de derivados del petróleo (con énfasis en Diesel y Fuel Oil)
- Combustión de leña
- Secado y manejo de granos
- Rodadura en pavimentos de tosca

Sus principales componentes son sulfatos, nitratos, cloruro de sodio, carbón, polvo mineral y agua. Vale destacar que el PM10 se forma básicamente por medio de procesos de erosión eólica de material de



superficie del suelo, pavimentos, pilas, etc. mientras que el PM<sub>2.5</sub> procede sobre todo de procesos de combustión, condensación, etc. La exposición crónica a altas concentraciones de partículas es pasible de incrementar principalmente el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón. En particular, los principales efectos potenciales debido a la exposición a niveles elevados de partículas son:

- Empeoramiento del asma, enfermedades cardíacas y pulmonares
- Síntomas respiratorios agudos, incluyendo dolor de pecho intenso, jadeo y empeoramiento de la tos
- Reducción de la función pulmonar, que puede experimentarse como falta de aire
- Bronquitis crónica
- Muerte prematura

Tomando como base los efectos conocidos en la salud, se necesitan guías de calidad de aire tanto para exposición aguda (24 horas) como para exposición crónica (media anual).

### **Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

En el término genérico para describir la suma de NO, NO<sub>2</sub> y otros óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub> es un grupo de gases altamente reactivo que tiene un rol preponderante en la formación de ozono. Muchos de estos compuestos son incoloros e inodoros. Sin embargo, el NO<sub>2</sub> puede observarse en presencia de partículas en el aire como una capa rojiza a marrón en zonas urbanas.

El proceso más habitual de formación de estos compuestos inorgánicos es la combustión a altas temperaturas, proceso en el cual habitualmente el aire es el comburente, como resultado no deseado el nitrógeno y el oxígeno presentes en el aire se combinan para formar NO<sub>x</sub>. Pueden formarse también en la fabricación de ácido nítrico y en el decapado de metales, así como en la detonación de explosivos. Sin embargo, las principales fuentes de emisiones antropogénicas de NO<sub>2</sub> son procesos de combustión tales como calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos y barcos.

El NO, gas incoloro y poco soluble en agua, también forma parte de los NO<sub>x</sub>. Sin embargo, en lo que respecta a contaminantes criterio, NO<sub>2</sub> es el componente de mayor interés y el indicador de un grupo significativo de óxidos de nitrógeno.

El NO<sub>2</sub>, en concentraciones elevadas y ante exposiciones de corta duración, es un gas tóxico que causa una importante irritación de las vías respiratorias. Es además, la fuente principal de los aerosoles de nitratos (componente importante en la fracción PM2.5) y es precursor de la formación de O<sub>3</sub> (en presencia de luz ultravioleta) en los procesos de smog fotoquímico.

Los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan con la exposición prolongada a este gas. Se asocia también la disminución del desarrollo de la función pulmonar con la exposición a altas concentraciones de NO<sub>2</sub>. Finalmente, en el caso de exposiciones crónicas, es posible el desarrollo de enfisema<sup>6</sup> y ocurrencia de infecciones respiratorias.

### **Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso es un gas incoloro, más denso que el aire, soluble en agua y que se forma cuando el azufre se oxida en presencia de oxígeno.

La principal fuente antropogénica de emisión de SO<sub>2</sub> es la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre como impureza, en general las fracciones más pesadas resultantes de la destilación de petróleo son las más ricas en S. Estos combustibles son utilizados en la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos con motor diesel, en centrales térmicas para la generación de energía y por otra parte en el ramo industrial, principalmente en la producción de ácido sulfúrico y sulfito de sodio.

Este gas puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, además de causar irritación ocular. Se trata de un gas irritante primario para las vías respiratorias superiores y los bronquios;

---

<sup>6</sup> Tumefacción producida por aire o gas en el tejido pulmonar. (RAE, consultado en 201<sup>3</sup>)

produce: rinitis, laringitis, bronquitis y conjuntivitis. A su vez puede provocar la inflamación del sistema respiratorio, provoca tos, secreción mucosa y agravamiento de procesos asmáticos. La exposición a concentraciones elevadas de este gas, puede aumentar la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio. En presencia de agua, el  $\text{SO}_2$  se convierte en ácido sulfúrico, ácido fuerte, que es el principal componente de la lluvia ácida.

### **Ozono ( $\text{O}_3$ )**

El ozono a nivel troposférico se forma por la reacción catalizada por la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y los compuestos orgánicos volátiles (COV). Por ser principalmente producidos por una reacción fotoquímica, los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado.

El  $\text{O}_3$  puede ser formado por emisiones biogénicas (por ejemplo, COV de la vegetación) de precursores del ozono en los horarios que ocurre mayor radiación solar y puede provenir por difusión del ozono estratosférico.

Niveles elevados de  $\text{O}_3$  en el aire pueden producir efectos adversos de consideración en la salud humana. De acuerdo a la OMS, la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan ante incrementos en la concentración ambientales de ozono. Los principales efectos que refiere la USEPA son los siguientes:

- Irritación del sistema respiratorio, provocando tos, irritación en la garganta y/o sensación de molestia en el pecho.
- Reducción de la función pulmonar dificultando la respiración normal
- Inflamación y daño de los alvéolos pulmonares
- Empeoramiento de enfermedades pulmonares crónicas tales como el enfisema y la bronquitis, reduciendo la capacidad del sistema inmunológico para defender al sistema respiratorio de las infecciones bacterianas.

- Daños permanentes al pulmón. Repetido daño a corto plazo en los pulmones en desarrollo de los niños puede resultar en una función pulmonar reducida en edad adulta.

La USEPA (2014) lista la población que se encuentra en riesgo ante exposiciones a altos niveles de ozono O<sub>3</sub>:

- Los niños activos son el grupo de mayor riesgo por exposición al O<sub>3</sub> porque en general pasan una gran parte del tiempo jugando al aire libre. Los niños tienen una mayor probabilidad de padecer asma, la que puede empeorar debido a la exposición al ozono.
- Los adultos físicamente activos que hacen ejercicios o trabajan arduamente al aire libre están más expuestos al O<sub>3</sub> que las personas que son menos activas.
- Las personas con asma u otras enfermedades de las vías respiratorias son más vulnerables a los efectos del O<sub>3</sub> y por lo general sienten efectos en la salud de manera más temprana y a niveles de ozono más bajos que los individuos menos sensibles.

### **Monóxido de carbono (CO)**

Es un gas incoloro e inodoro, no irritante, de densidad muy poco menor que la del aire. Es un constituyente traza de la tropósfera producido por procesos naturales y antropogénicos. El monóxido de carbono antropogénico es producto de la combustión incompleta de materia carbonácea orgánica, aunque puede ser generado como contaminante secundario a partir de la oxidación de metano o hidrocarburos emitidos por otras fuentes.

El monóxido de carbono no es detectable sensorialmente por las personas a través de la vista, gusto u olfato. La vía de entrada al organismo del monóxido de carbono es la inhalatoria, absorbiéndose posteriormente en las membranas alveolares.

Entre sus efectos, el monóxido de carbono es un asfixiante químico; la acción tóxica más importante es la sustitución de la oxihemoglobina en carboxihemoglobina.

Las concentraciones no elevadas y esporádicas de este contaminante producen persistentes dolores de cabeza, mientras que exposiciones prolongadas pueden causar problemas de aprendizaje, destreza manual o percepción visual. En casos de exposición aguda, la manifestación más importante es la depresión del sistema nervioso central, lo que conduce a náuseas, dolores de cabeza, vértigo, confusión, etc. Ante una exposición crónica severa puede ocurrir insomnio, anorexia, síndrome de Parkinson, cardiopatías y aterosclerosis. Es fatal a altas concentraciones.

Vale mencionar que las poblaciones de mayor riesgo ante una exposición a monóxido de carbono son las que puedan padecer de anginas o cardiopatías preexistentes.

## **Plomo**

El plomo es un metal cuyas mayores fuentes de emisión históricas han sido los vehículos y fuentes industriales. En las últimas tres décadas se han realizado esfuerzos a nivel internacional para evitar el agregado de plomo en los combustibles, por lo que la fuente de combustión ha minimizado su aporte. En efecto, el uso de tetraetilo de plomo como antidetonante en naftas se ha reducido en forma significativa.

Las fuentes estacionarias son usualmente fundiciones de plomo, incineradores de residuos, y fábricas de baterías plomo-ácido.

En lo que respecta a los efectos sobre la salud, una vez que el plomo ingresa al cuerpo debido a su similitud en lo que refiere a la respuesta del cuerpo con el calcio, se distribuye mediante la sangre y se acumula en los huesos del cuerpo. En cuanto a los efectos, el plomo puede afectar el sistema nervioso central, el sistema cardiovascular, etc. En el caso de los niños, uno de los principales efectos crónicos son: dificultades de aprendizaje, problemas de comportamiento, etc. Los efectos agudos suelen ocurrir a nivel ocupacional y se dan principalmente sobre el aparato digestivo.

## **2.3 Herramientas de gestión de la calidad de aire**

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, existe contaminación del aire cuando ocurre la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que puedan afectar la salud y comodidad humana, de animales, de plantas, el equilibrio ecológico, la calidad de bienes materiales, o interferir con el goce de la vida, de la propiedad o el ejercicio de alguna actividad.

La contaminación atmosférica constituye un riesgo ambiental para la salud y se estima que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo. De acuerdo a la OMS (2005), la exposición a los contaminantes atmosféricos se halla fuera del control de los individuos y exige la actuación de las autoridades a escala nacional, regional e incluso internacional. El daño a la salud o al ambiente depende del tipo de contaminante, los tiempos de exposición, y la susceptibilidad de los individuos.

Como principales herramientas de gestión de la calidad de aire normalmente se consideran: el marco legal, el monitoreo de la calidad de aire, la realización de inventarios de emisiones y la modelación a partir de las emisiones de la calidad de aire.

### **2.3.1 Marco legal**

En esta sección, es de interés establecer las diferencias entre los términos: parámetros, criterios, estándares y objetivos.

Parámetros de calidad de aire: Permiten cuantificar características o propiedades del aire, en forma directa o indirecta.

Criterios de calidad de aire: Los criterios de calidad de aire son valores numéricos o enunciados descriptivos recomendados para mantener un determinado uso del aire (o un determinado nivel de calidad el mismo, que se asocia con tal uso). Estos valores resultan de investigaciones

científicas o tecnológicas, y no tienen fuerza legal, salvo que les sea conferida explícitamente a través de algún acto jurídico.

Objetivos de calidad de aire: Se refieren a metas de mejora en materia de calidad de aire, que se fijan voluntariamente asociándoles planes de acción, recursos y plazos. Son más bien de corte político, ya que implica la evaluación de las prioridades nacionales, la asignación de recursos y demás.

Estándares de calidad de aire: Son valores que tienen fuerza legal. La generación de estándares no sólo toma en cuenta estudios epidemiológicos y toxicológicos, sino también el contexto local: la posibilidad de aplicación de medidas preventivas ó correctivas y en especial las condiciones sociales, económicas y culturales. Se debe diferenciar los estándares de emisión de los estándares de inmisión. Los niveles de contaminación varían de acuerdo a la naturaleza del contaminante y al tipo de evaluación que se desea realizar; son dos tipos de valores los que tienen interés: **niveles de emisión** y **niveles de inmisión**.

Se denomina **emisión** al vertido de contaminantes a la atmósfera que se realiza desde una fuente. La misma se caracteriza a través de los caudales de contaminantes liberados desde el o los puntos correspondientes en la fuente considerada.

Las normas de emisión procuran acotar la cantidad de contaminantes que emiten las fuentes, tanto fijas como móviles, a la atmósfera. El no cumplimiento o violación de los estándares de emisión está sujeto a las puniciones que prevea la ley.

Se denomina **inmisión** al contenido del agente considerado que presenta la atmósfera en un sitio dado. Aunque históricamente el término se asociaba con los primeros dos metros de altura sobre el suelo, actualmente el concepto se ha ampliado al contenido del agente en cualquier punto del ambiente. La misma se caracteriza a través de la concentración de tal contaminante en ese lugar.

Las normas de inmisión están fundamentadas en criterios técnicos y epidemiológicos para garantizar la preservación de la salud de las personas, de otras especies animales y vegetales, y para evitar el

daño a bienes materiales. Expresan valores de concentración máxima admisible de diversos contaminantes que no deben ser sobrepasados si se desea respetar los criterios mencionados. Las normas de inmisión permiten evaluar la calidad del aire pero no asociarla con ninguna causa en particular, porque los valores de inmisión son el resultado de la incidencia acumulada de todas las fuentes de emisión del contaminante en cuestión. A su vez permiten definir criterios para estados de riesgo o de alerta a la población, que en las grandes ciudades están en general asociados con la densidad del tránsito y las condiciones atmosféricas.

Por otra parte a los efectos de controlar los niveles de exposición ocupacional también existen estándares específicos.

Finalmente, vale mencionar que un hito histórico en materia de calidad de aire fue el Clean Air Act de la USEPA, cuya primera publicación corresponde al año 1963. En ese documento se plantean las actividades fundamentales a llevar a cabo en lo que respecta al control y monitoreo de la calidad de aire.

### **2.3.2 Monitoreo de emisiones y calidad de aire**

El principal objetivo del monitoreo es diagnosticar las emisiones así como la calidad del aire mediante la determinación de los valores de ciertos parámetros y su comparación con estándares o valores guía. Sus principales aplicaciones son:

- evaluar el cumplimiento de estándares de emisión,
- evaluar el cumplimiento de estándares de inmisión,
- diseñar redes de monitoreo de calidad de aire,
- verificar redes de monitoreo de calidad de aire,
- determinar concentraciones representativas en áreas de alta densidad de población para evaluar posibles impactos sobre la salud,
- generar índices de calidad de aire a los efectos de la comunicación a la población de la calidad en un sitio y momento determinado,
- validar y calibrar los inventarios de emisiones, y



- validar y calibrar modelos de dispersión de contaminantes para la predicción de la calidad del aire.

### **2.3.3 Índices de calidad de aire**

Los índices de calidad del aire son una herramienta usada por las agencias encargadas del monitoreo para proveer al público información fácil de comprender sobre la calidad del aire local.

También permite advertir al público si la condición del aire amerita alguna precaución para preservar su salud. Permite informar de forma clara, directa y rápida sobre la calidad del aire que se respira y garantizar con efectividad el derecho de los ciudadanos de acceder a la información ambiental.

Normalmente un índice de calidad de aire se construye con distintos parámetros pero suele centrarse en las concentraciones de los contaminantes criterio. En general, para cada uno de los contaminantes considerados se establece un índice parcial, de forma que el peor valor de ellos es el que definirá el índice final y, por lo tanto, la calidad del aire. Aunque en algunos casos como en Montevideo, puede tener interés publicar el valor del Índice a posteriori, la verdadera utilidad viene dada por su uso como advertencia en tiempo real.

En general, los índices se obtienen a partir de los valores de concentración de algunos de los siguientes parámetros: CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PTS.

### **2.3.4 Modelación de calidad de aire**

Los modelos de dispersión de contaminantes de la atmósfera constituyen una herramienta para calcular concentraciones de inmisión en un área determinada. Son herramientas físico-matemáticas que permiten simular las condiciones de transporte y dispersión de los contaminantes como producto de la interacción de las condiciones meteorológicas y las propias de las fuentes de emisión.

La fidelidad de los resultados depende de diversos factores tales como:

- Exactitud de la aproximación teórica a los fenómenos de emisión,
- Precisión de la representación matemática de los procesos físico-químicos que sufren los contaminantes durante su transporte,
- Calidad y representatividad de los datos meteorológicos,
- Calidad y representatividad de los datos de caracterización de emisiones,
- Calidad y representatividad de la información con la que se haya calibrado el modelo, y
- Validez del modelo para representar situaciones en las que se lo desea aplicar.

### **2.3.5 Inventarios de emisiones**

Un inventario es (RAE, 2001):

- *Un asiento de los bienes y demás cosas pertenecientes a una persona o comunidad, hecho con orden y precisión.*
- *Un papel o documento en que están escritas dichas cosas.*

Un inventario de emisiones atmosféricas es *"una estimación de todos los contaminantes de interés emitidos a la atmósfera por las diversas actividades humanas y por fuentes de origen natural, para un período y área geográfica determinada"* (PNUMA, 2000).

En un inventario de emisiones a la atmósfera se debe obtener una identificación exhaustiva de emisiones en el período y área de interés de modo de poder realizar la estimación de referencia en forma confiable en función del objetivo buscado. Si bien puede incluir información adicional, como los efectos de los contaminantes considerados sobre la salud y el ambiente, el único capítulo que no se

puede omitir es justamente la estimación de las emisiones para el período considerado.

El desarrollo internacional de las técnicas de evaluación rápida y de los inventarios de emisiones surgió hace más de 30 años. En efecto, desde que se empezó a asignar importancia a las técnicas predictivas y de planificación, reconociendo que a veces un dato menos preciso es mucho más útil que la ausencia de datos, entonces las técnicas de evaluación rápida comenzaron a ganar confiabilidad y espacios.

## **Antecedentes**

Originalmente se pensaba que la falta de datos medidos concretos era una limitante casi imposible de salvar. Sin embargo, la bibliografía internacional incluye desde la década de los años '70 – '80 comienza a mencionar la aplicación de factores de emisión como una técnica útil y rápida para la evaluación de emisiones cuando no se dispone –o no se justifica intentar disponer- de mediciones, balances de masa u otros métodos más precisos para hacerlo. De la misma época datan los primeros inventarios de emisiones que aparecen referenciados, cuya metodología y alcance era aún particular en cada caso.

En lo que respecta a la realización de inventarios de emisiones, sin dudas la publicación pionera fue el documento AP - 42 "Compilation of Air Emission Factors" - anterior a la política ambiental de la EPA- cuya primera versión fue publicada en 1968 por la USEPA, Office of Air Quality Planning and Standards. Esta publicación ha sido posterior y periódicamente actualizada por esa Agencia hasta nuestros días, y de hecho la metodología y factores de emisión que se emplean en este documento son compatibles con la versión actual (2009) de esa publicación.

Vale destacar que en 1978, la USEPA desarrolla un software de modelación emisiones vehiculares (MOBILE 1), cuya última versión disponible es la 6.2.

En Europa, desde la década del 80 existe el inventario EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) respaldado por la

European Environment Agency (EEA). Este inventario considera las emisiones antropogénicas y las emisiones biogénicas. Los contaminantes controlados son CO, NO<sub>x</sub>, NMCOV, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y PST. Otra singularidad de los inventarios EMEP es que presentan proyecciones de emisiones a futuro.

En los países en desarrollo, las dificultades y costos que encerraba realizar mediciones precisas y comparables de acuerdo con normas de procedimiento internacionales, también hicieron virar la forma de pensar hasta llegar a concluir que *“...la planificación adecuada reduce significativamente el impacto de las actividades humanas sobre el ambiente...”* (Economopolus, 1993). *“En los países en desarrollo, las dificultades para formular programas adecuados de gestión ambiental son mayores y existe la necesidad de contar con herramientas prácticas que permitan la implementación generalizada y la estandarización de las etapas iniciales críticas del proceso de planificación”* (Economopolus, 2002).

Es así que entonces, en 1982, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó el libro *“Rapid Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution”* (Evaluación rápida de fuentes de contaminación del aire, agua y suelo, publicación N° 62, 1982). Este documento se centró principalmente en los inventarios de fuentes y el procedimiento de evaluación rápida, como herramientas para el diseño de políticas y estrategias de control ambiental.

En 1986, la Organización Mundial de la Salud se unió a otros tres organismos de las Naciones Unidas, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), con el fin de crear un Proyecto Interinstitucional sobre Gestión de Riesgos. El objetivo de ese proyecto era desarrollar un enfoque integrado para la identificación, definición de prioridades y minimización de riesgos industriales significativos en un área determinada.

En 1989 la OMS actualizó y amplió las técnicas de evaluación rápida y publicó *Management and Control of the Environment* (Gestión y control del ambiente, WHO/PEP/89.1), en que enfatizó los capítulos sobre

inventarios, proporcionó listas integrales de las opciones de control y modelos de dispersión para cada tipo de fuente de contaminación del aire o agua. Resulta un pasaje de herramientas de gestión preventiva a nivel de políticas hacia una gestión correctiva en la fuente al indicar formas de control en cada caso.

En 2002, en el marco del Proyecto Interinstitucional de Gestión de Riesgos, CEPIS-OPS-OMS publicaron el libro *“Evaluación de fuentes de contaminación del aire”* que representa la contribución de la OMS al proyecto interinstitucional de referencia y es en este momento la publicación general sobre este tema más actual de CEPIS.

A nivel de Europa la Convention on Long-range Transboundary Air fue desarrollada en 1979, y resultó en el primer acuerdo a nivel internacional para tratar la contaminación del aire y su relación con la salud humana. Posteriormente en 1991 se establece un foro técnico a nivel europeo de intercambio de información y armonización de inventarios de emisiones, incluyendo factores de emisión, metodologías y guías de acción.

Vale mencionar que en 1985, a partir de la Directiva 85/338/EEC se establece un programa de trabajo para un proyecto experimental de recolección, análisis y aseguramiento de la consistencia de la información en el estado del ambiente y recursos naturales en la comunidad europea. Este proyecto se designa como CORINE (Coordination of Information on the Environment) e incluye un proyecto para actuar sobre la organización de la información de emisiones al aire y deposición ácida (CORINAIR). Este proyecto se inició en 1986, teniendo por objetivo realizar en forma consistente y coordinada el inventario de emisiones atmosféricas de 12 estados miembros de la comunidad en 1985.

Posteriormente se unificaron los distintos inventarios de Europa y se encuentran actualmente bajo la realización de conjunta de EMEP/CORINAIR.

En América del Norte, tanto Estados Unidos como Canadá y México cuentan con inventarios de emisiones desde hace varias décadas. La propuesta de homogeneización en América del Norte es tomar como

referencia el año 1999 y compatibilizar técnicas de cálculo y contaminantes que se consideran.

En América Central ya son varios los países que cuentan con el desarrollo de su inventario de emisiones atmosféricas (por ejemplo, Cuba, Puerto Rico) y son escasos los países en América del Sur que no cuentan con un inventario aunque sea de las áreas urbanas más críticas o a propósito de los emisores de mayor porte.

En América del Sur es particularmente remarcable la trayectoria de Chile y de Brasil en materia de inventarios de emisiones atmosféricas.

Actualmente los inventarios de emisiones atmosféricas tanto para fuentes fijas como móviles, puntuales, o de área, constituyen técnicas de aceptación generalizada. La mayor preocupación remanente a propósito de inventarios es la necesidad de que los mismos sean comparables independientemente del país en que se realicen. La armonización de las aplicaciones de esta metodología aún no se ha logrado en el plano internacional y a veces ni siquiera en el plano regional. Aspectos como la elección del año base, fuentes a considerar o forma de obtener y procesar datos, etc. pueden hacer que los resultados de inventarios realizados con la misma metodología no resulten comparables.

También vale la pena destacar que, cuando se han empezado a realizar otros inventarios (por ejemplo, inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero –GEI-, Contaminantes Orgánicos Persistentes –COP-, Dioxinas y Furanos, etc.), se ha dedicado una muy especial atención a la metodología a emplear en cada caso y a la importancia de que todas las aplicaciones internacionales sean comparables; esto es más sencillo de implementar cuando se comienza a trabajar en un tema, que cuando ya hay antecedentes nacionales y metodologías *sui generis*.

### **Incertidumbre**

Al desarrollar inventarios de emisiones y proyecciones, se debe tener en cuenta que los resultados estarán afectados por errores e incertidumbres. Algunas de las fuentes de incertidumbre posibles son (Lumbreras et. al., 2009):

- *incertidumbre en la información histórica que se propaga en las emisiones*
- *interpretación de diferentes de categorías de contaminantes, hipótesis, definiciones*
- *simplificación de información que no tiene por qué representar completamente la información real*
- *incertidumbres de la información socioeconómica utilizada para los cálculos*
- *falta de consistencia en la información utilizada,*
- *políticas o medidas que estén bajo la influencia de políticas supranacionales, preferencias políticas, etc.*
- *uso de bases de datos predefinidas.*

En lo que refiere a incertidumbres, según indican Butler et al. (2008) pueden ser muy significativas: basado en opiniones de expertos, las emisiones globales de combustibles fósiles pueden tener un error del orden del 50 %, en lo que respecta a las emisiones de biocombustibles resultan del orden de 100 %, para emisiones de procesos industriales los inventarios presentan un error entre el 50 y el 100 %, y por otra parte en lo que respecta al manejo de residuos aproximadamente un 100 %.

Vale mencionar que distintos modelos de inventarios pueden conducir a distintos resultados, e incluso variar la asignación de responsabilidades por sector. (Butler et. al., 2008).

En lo que respecta a los resultados de las emisiones del país y las posibles comparaciones con otros países, es necesario trabajar con reglas en común entre los distintos países con el fin de tener resultados comparables. (Butler et. al., 2008)

## **Usos de un inventario de emisiones**

Los usuarios de un inventario de emisiones suelen ser instituciones estatales, municipales, académicas, industriales, ONGs y consultores ambientales.

La definición del objetivo del inventario es clave a los efectos de la determinación de su desarrollo y características.

De acuerdo a SERMANAT (2005), algunos de los propósitos más comunes para el desarrollo de un inventario de emisiones son los siguientes:

- *Estimar los efectos de las emisiones atmosféricas en la calidad del aire a través de estudios de modelación.*
- *Cumplir los requerimientos de reporte de emisiones como la cédula de operación anual y determinar el grado en que una fuente cumple con las condiciones de la licencia ambiental y las normas de emisiones.*
- *Estimar los cambios en las emisiones de las fuentes bajo distintos esquemas de regulación ambiental.*
- *Determinar especificaciones técnicas de equipos de control de emisiones.*
- *Detectar variaciones de los niveles de emisión en el tiempo.*
- *Identificar la contribución en las emisiones totales por las diferentes categorías de fuente de emisión o por fuentes específicas.*
- *Identificar oportunidades y requerimientos para la introducción de derechos de emisión comercializables.*
- *Desarrollar inventarios de emisiones integrados por sector económico o zonas geográficas.*

Por otra parte deseablemente durante la identificación del propósito del inventario debe hacerse un esfuerzo por considerar las necesidades futuras de la gestión de la calidad del aire, si bien algunas veces pueden ser difíciles de proyectar. En otros casos, sin embargo, estas necesidades serán evidentes, y una pequeña



ampliación de los recursos puede incrementar de manera significativa la utilidad final del inventario.

De acuerdo a SERMANAT (2005) los principales usos de los inventarios de emisiones incluyen:

- *Identificar posibles medidas para la reducción de emisiones a considerarse en los programas de gestión de la calidad del aire;*
- *Estimar la calidad del aire futura a través de modelación y datos sobre distribución espacial y temporal de las emisiones;*
- *Determinar tendencias en los niveles de emisiones;*
- *Determinar los efectos de las medidas de control en las tasas de emisiones de una región;*
- *Apoyar el establecimiento de programas de intercambio de emisiones;*
- *Dar a conocer el reporte de emisiones de las fuentes.*

Un inventario de emisiones resulta un componente clave de todo programa de gestión de la calidad del aire, ya que se considera un paso previo al desarrollo de estrategias para mejorar la calidad del aire, la recolección de información sobre las emisiones para determinar los tipos de fuentes de emisiones, cargas de contaminantes emitidos, características temporales y espaciales de las fuentes, procesos y prácticas de control de emisiones que usan las fuentes en un sitio determinado.

Un inventario puede ser utilizado para identificar fuentes que estén sujetas a posibles medidas de control, a los efectos de evaluar la efectividad en los planes de control y predecir niveles de contaminación en inmisión por modelación. Normalmente un inventario a nivel local puede servir también para evaluar el permiso ambiental de instalación de una planta determinada. En tanto, un inventario a nivel país puede servir para diseñar un plan regional de calidad de aire.

Un inventario puede a su vez servir para evaluar las causas del no cumplimiento con las normas de calidad del aire.

Vale mencionar que se suelen aplicar diferentes criterios para distribuir geográficamente las emisiones mediante supuestos (distribución de población, distribución de comercios, etc.) puede llevar a errores significativos de la cuantificación de emisiones locales (Butler et. al., 2008). Por otra parte, la totalidad de las emisiones de un país pueden ser distribuidas de acuerdo a la población (total, rural, urbana), la localización de emprendimientos individuales, o alguna combinación de estos (Butler et. al., 2008).

#### Diagnóstico de calidad de aire (emisión, modelación y calidad)

En el área de emisiones, el inventario permite la priorización de las acciones por rubros y por contaminantes. Por otra parte en conjunto con otras herramientas de calidad de aire, permite controlar el cumplimiento de los permisos de emisión, y a partir de los datos geográficos de las empresas, permite identificar posibles zonas críticas, evaluarlas y en consecuencia jerarquizar medidas de acción.

Vinculado a lo anterior, un diagnóstico de calidad de aire en general se realiza mediante el monitoreo de la calidad en un sitio determinado; sin embargo, el monitoreo no se puede realizar en todos los sitios de estudio que lo requieran y menos aún en forma simultánea. En consecuencia la modelación de la dispersión de contaminantes a partir de las tasas de emisión del inventario, datos meteorológicos y de terreno, resultan en una descripción ajustada de la calidad de aire, que puede después ser calibrada/verificada mediante la consideración de datos de monitoreo.

En lo que respecta al ordenamiento de tránsito, el inventario de emisiones puede permitir identificar distintas zonas de calidad de aire en función de la densidad y tipología del tránsito y la evaluación del efecto de cambios en la movilidad urbana.

A nivel de ordenamiento territorial, la utilización de un diagnóstico de calidad de aire parece básico a los efectos de definir la capacidad de acogida (planificación física) de distintos sitios para distintos tipos de actividades, vinculado esto al uso preferencial de distintas zonas urbanas o rurales.

Finalmente el desarrollo de bases de datos de emisiones y calidad de aire, es relevante a los efectos del desarrollo de normativas "realistas" locales.

#### Evaluación de tendencias/proyecciones en la calidad de aire

A partir de una proyección de alguno de los rubros considerados, es posible evaluar tendencias en lo que respecta a emisiones o evaluación de la calidad de aire. Esto puede servir a los efectos de las siguientes aplicaciones:

- Desarrollo de planes de mejora de calidad de aire
- Insumo para la planificación estratégica
- Evaluación de la aplicación de sistemas de control de emisiones
- Evaluación de capacidad de acogida de un sitio determinado
- Priorizar inversiones y líneas de acción

#### Divulgación

En lo que respecta a comunicación, el inventario puede servir como herramienta para proporcionar información a distintos grupos de usuarios, con objetivos como:

- Asentar las bases para campañas de educación ambiental.
- Comunicar y discutir con la población distintas posibles líneas de acción.

Entre la información que suele socializarse, cabe mencionar:

- datos de emisiones de distintos rubros
- datos de factores de emisión elaborados
- datos de calidad a partir de un escenario actual o futuro

#### **Información para el desarrollo de inventarios de emisiones**

Un inventario de emisiones tiene características específicas de acuerdo al objetivo que se pretenda alcanzar. Entre estas características se pueden mencionar:

- Tipos de contaminantes a considerar
- Tipos de fuentes a considerar

- Año base.
- Fuentes de información
- Forma de documentación de la información
- Método de evaluación de la congruencia de los resultados
- Aseguramiento de la calidad

Es crucial para que los inventarios de emisión tengan baja incertidumbre que las categorías de fuente sean correctamente considerados y en consecuencia definidas (Lubkert, 1989).

#### Metodología adoptada: Factores de Emisión

##### ***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), y utilizar esta información para predecir las cargas emitidas.

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 de resultados de diferente precisión. Es por eso que el objetivo del inventario condiciona fuertemente la metodología que se seleccione para su realización.

##### ***Métodos de estimación de emisiones***

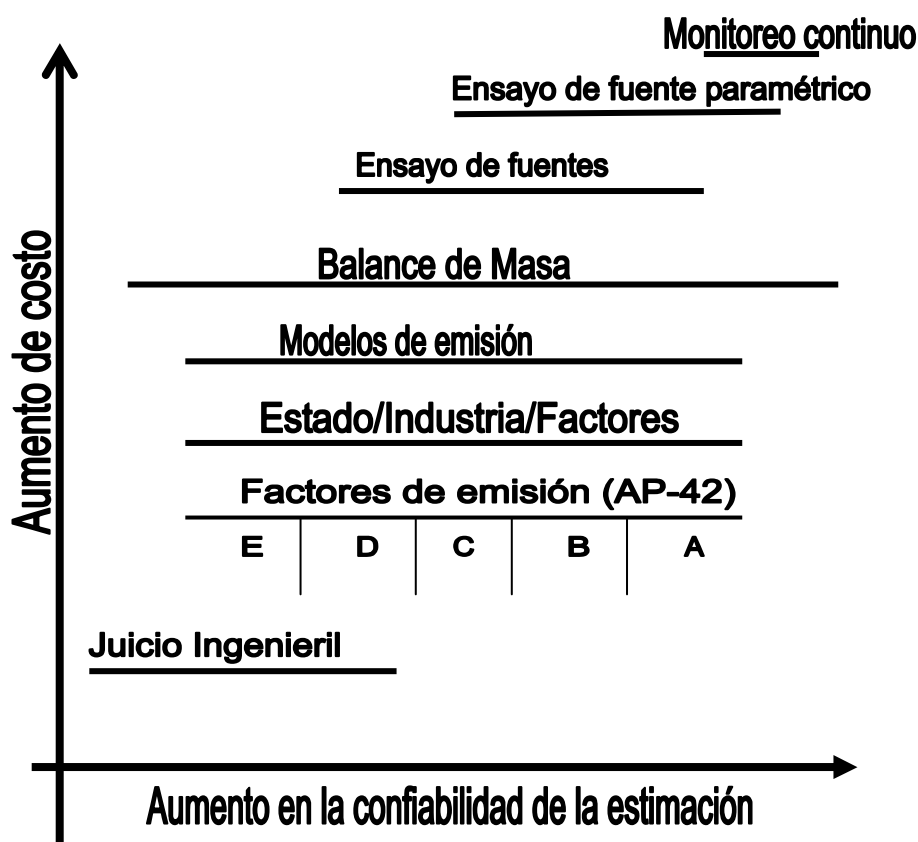
Entre los diferentes métodos que pueden aplicarse para determinar las emisiones de una cierta fuente, y en orden decreciente de confiabilidad de la estimación, cabe citar el monitoreo continuo, ensayo de fuentes,

balance de masas, factores de emisión y juicio ingenieril<sup>7</sup>. La figura siguiente presenta en forma esquemática la relación entre esos métodos desde el punto de vista de costo de implementación y confiabilidad del resultado.

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.

---

<sup>7</sup> EPA AP - 42 indica: "Engineering Judgement".



**Figura 2. 4: Costo y confiabilidad de los distintos métodos de estimación de emisiones atmosféricas**

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. Además, los datos de emisión a partir del análisis en cortos períodos de tiempo sólo pueden ser extrapolados para la estimación de

las emisiones anuales si el proceso y las técnicas de control operan en las condiciones en las cuales fueron efectuadas las mediciones.

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 provenientes de fuentes evaporativas se estiman usando este método. 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. Aún 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. Éste es el método que se propone emplear; se desarrolla más extensamente en el punto siguiente.

Los principales inventarios a nivel país, se basan en la metodología de EPA para el análisis de fuentes fijas puntuales. Esto no es casualidad, sino que se encuentra relacionado con que ésta es la más antigua, y que es considerada la base de las otras metodologías de análisis por ser confiable, consistente y completa. En consecuencia, debido a la posibilidad de la utilización de los factores de emisión de EPA para fuentes puntuales (lo que en el caso de fuentes móviles no es posible debido a las diferencias entre las flotas vehiculares de ambos países), se adopta esta metodología para la estimación de emisiones anuales de las fuentes fijas puntuales del Uruguay.

Sin embargo, cabe destacar que se estudiaron otros inventarios así como guías de realización de inventarios que no se encuentran directamente basados en la metodología de la EPA, de forma de tener una visión más amplia del análisis de las fuentes puntuales. En todos los casos se vio que, una vez reconocido que la aplicación de la evaluación rápida por factores de emisión es un método eficaz y eficiente para los objetivos que debe satisfacer, el método de EPA que viene perfeccionándose desde 1968 es sin dudas el referente principal e ineludible.

Debido a que por lo general un pequeño porcentaje del total de las fuentes son responsables de la mayoría de las emisiones, ninguna de las fuentes de gran porte puede ser omitida en el inventario. Peor aún, cuando se trabaja sobre un primer inventario en que no se puede predecir a priori cuáles serán los contaminantes más relevantes, es necesario procurar la obtención de la mayor cantidad de información posible para minimizar las posibilidades de omisión o error.

### ***Factores de emisión***

El método de **factores de emisión** es una de las herramientas disponibles más útiles para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales. 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.) en un cierto período de tiempo, asociado con la 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 e importantes.

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, control de la



técnica de remoción, materias primas, condiciones ambientales y 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 real.

Cabe destacar que el uso de los 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. Por ejemplo, no es viable la utilización de factores USEPA para estimar las emisiones de la flota vehicular en el Uruguay, debido a la diferencia existente entre las flotas vehiculares de Estados Unidos y Uruguay. El parque vehicular de Estados Unidos utiliza convertidores catalíticos e incluye vehículos de mayor porte que los que circulan en nuestro país.

Existen distintos tipos de modelos desarrollados para determinar las emisiones del sector vehicular (MOBILE, EMFAC, COPERT, QGEPA, and IVEM) dependiendo de los tipos de vehículos, las categorías de los combustibles, los kilómetros recorridos, estándares de emisión y factores de corrección. Sin embargo estos modelos están asociados con severas limitaciones al intentar aplicarlos a países en desarrollo. La razón es que estos modelos han sido desarrollados en países en economías avanzadas. (Nagpure A. et. al, 2012)

Por otra parte el modelo IVE que fue desarrollado para países en desarrollo presenta asimismo un importante nivel de complejidad y la necesidad de bases de datos de insumos confiables. (Nagpure A. et. al, 2012)

En este caso particular, fue necesario recurrir a los factores de emisión de CORINAIR (Europa) para países pertenecientes a los grupos CC4, BC y NIS (Rusia, Ucrania, Kazajstán, Bielorrusia, Uzbekistán, Kirgizstán,

Moldava, Armenia, Azerbaijón, Georgia, Rumania, Bulgaria, Croacia y Turquía, entre otros).

### ***Calidad de los factores de emisión***

De acuerdo a la metodología de EPA, todos los factores de emisión vienen acompañados de indicadores de calidad, clasificados de “A” a “E”, siendo “A” el de mayor calidad; también se publican grados de incertidumbre:  $U_1$  a  $U_5$ . 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 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, aún 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 y qué tan representativo es el factor de la emisión de la fuente.

La **calidad de los factores** de emisión se califica según:

- 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 esta 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:

U<sub>1</sub> - Balance de masa.

U<sub>2</sub> – Ensayo de fuentes deficientes.

U<sub>3</sub> – Transferencia tecnológica.

U<sub>4</sub> – Juicio Ingenieril.

U<sub>5</sub> – 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).

Vale destacar que los factores de emisión pueden variar de un país a otro, aunque esto no implica que un factor esté correcto y otro esté equivocado (Lubkert, 1989).

En lo que respecta a la calidad de los factores de emisión de CORINAIR aplicados para calcular las emisiones de la flota vehicular, existen dos calidades, siendo la primera en la que las evaluaciones de los factores de emisión son necesarias y posibles para obtenerlos, y la segunda en la que los valores presentados son estimaciones de menor calidad. Los factores de emisión referidos a los contaminantes CO, COV, NO<sub>x</sub> y PST corresponden a la primera de las categorías mencionadas, en tanto el resto de los factores de emisión que aplica esta metodología están incluidos en la categoría de menor calidad.

### ***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 eficiencia de remoción (en tanto por ciento) para cada contaminante específico (ER).

La emisión (E) se estima entonces como:

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

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.

La efectividad de control es el producto de la eficiencia en la técnica de remoción y la eficiencia en la técnica de control. La eficiencia en la técnica de remoción indica la proporción de contaminante que sale del proceso y que es llevado al sistema de control. La eficiencia en la técnica de control indica la proporción de contaminante que es removido de la corriente de gases, previo a su salida a la atmósfera. Habitualmente, la información disponible se refiere a la Eficiencia de Remoción ER y o a cada uno de los factores que la definen.

### **3. ANTECEDENTES NACIONALES**

#### **3.1 Introducción**

En este capítulo se introducen las principales consideraciones sobre los antecedentes nacionales en lo que respecta a la gestión de la calidad de aire. Se inicia presentando la normativa nacional; posteriormente se introducen los actores clave y los principales antecedentes, el primer inventario nacional de emisiones a la atmósfera.

#### **3.2 Normativa**

##### **Constitución de la República**

Uruguay es un país unitario y tiene una estructura institucional basada en la separación en tres poderes independientes (Ejecutivo, Legislativo y Judicial), que tienen competencia nacional. A su vez, existe una descentralización territorial materializada en la división en 19 departamentos. En cada uno de ellos hay, a su vez, un poder legislativo - Junta Departamental- y un Poder Ejecutivo -Intendente-. En la jurisdicción

de las autoridades departamentales tienen vigencia tanto las normas municipales como las nacionales. Ninguna normativa departamental puede ser más permisiva que la disposición nacional correspondiente.

En la Constitución de la República actualizada a la reforma del 2004, en el artículo 47, se establece que *"la protección del ambiente es de interés general. Las personas deberán abstenerse de cualquier acto que cause depredación, destrucción o contaminación graves al medio ambiente. La ley reglamentará esta disposición y podrá prever sanciones para los transgresores"*.

En el Artículo 44 se plantea: *"El Estado legislará en todas las cuestiones relacionadas con la salud e higiene públicas, procurando el perfeccionamiento físico, moral y social de todos los habitantes del país."*

En el artículo 274 se plantea entre las funciones del Intendente y las atribuciones del Gobierno departamental: *"Velar por la salud pública ... proponiendo a las autoridades competentes los medios adecuados para su mejoramiento"*.

### **Ley 16.112, Creación MVOTMA (1990)**

El 8 de junio de 1990, a través de la Ley 16.112 se crea el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, y se definen sus competencias. En su Artículo 3 se enumeran las funciones del Ministerio:

- *La formulación, ejecución, supervisión y evaluación de los planes de vivienda y la instrumentación de la política nacional en la materia.*
- *La reglamentación de las condiciones que deban reunir las áreas urbanas y suburbanas para el afincamiento de viviendas que se construyan de acuerdo a la Ley 13.728, de 17 de diciembre de 1968.*
- *La regulación y control de las actividades de las entidades que actúan en materia de vivienda, procurando su coordinación y la promoción de las de interés social.*
- *El otorgamiento de la personalidad jurídica y la promoción y control de las cooperativas de vivienda e instituciones afines.*

- *La centralización de toda la información relativa al mercado de arrendamiento urbano y, especialmente confeccionar el Registro Patronímico de Propietarios de Inmuebles Urbanos.*
- *La formulación, ejecución, supervisión y evaluación de los planes nacionales de desarrollo urbano y territorial y la instrumentación de la política nacional en la materia.*
- *La formulación, ejecución, supervisión y evaluación de los planes nacionales de protección del medio ambiente y la instrumentación de la política nacional en la materia.*
- *La coordinación con los demás organismos públicos, nacionales o departamentales, en la ejecución de sus cometidos.*
- *La celebración de convenios con personas públicas o privadas, nacionales o extranjeras, para el cumplimiento de sus cometidos, sin perjuicio de las competencias del Ministerio de Relaciones Exteriores.*
- *La relación con los organismos internacionales de su especialidad.*

### **Decreto 261/993, Creación de la COTAMA**

La Comisión Técnica Asesora de la Protección del Medio Ambiente (COTAMA), es un organismo interinstitucional y multisectorial, de asesoramiento y coordinación en materia de política y gestión ambiental, que funciona en la órbita del MVOTMA. Fue creada por el Decreto 261/993, de 4 de junio de 1993, funciona en base a un Plenario, presidido por el Sr. Ministro, un Comité de Coordinación y una Secretaría Permanente, asignada a la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA). Se integra, además de los jefes del MVOTMA, por los Directores Nacionales de Medio Ambiente y de Ordenamiento Territorial; por delegados de entidades públicas (comisiones parlamentarias de medio ambiente, demás Ministerios, OPP, Universidad de la República, Congresos de Intendentes y de Ediles); y por delegados de entidades de la sociedad civil (Cámaras de Industrias y de Comercio y Servicios, Asociación y Federación Rural, PIT-CNT y ONGs).

La COTAMA adopta decisiones de distinta naturaleza y asesora al MVOTMA y, por su intermedio, al Poder Ejecutivo, en diversas materias ambientales. Algunas de sus actividades se presentan a continuación:

- *el análisis y presentación de proyectos normativos, como el anteproyecto de la Ley General de Protección del Ambiente (luego*



*aprobado como Ley N° 17.283, de 28 de noviembre de 2000), la reformulación del proyecto de Ley de Protección contra la Contaminación Acústica, la reglamentación de la Ley de creación del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas o el anteproyecto de incentivos fiscales en materia ambiental;*

- la elaboración y seguimiento de las posiciones nacionales en convenios y organismos internacionales relacionados con la temática ambiental,*
- el desarrollo de los procedimientos de formulación y revisión de estándares ambientales, a través de Grupos Técnicos de Estandarización Ambiental (GESTA), en aire, agua, suelo y ruido;*
- la actuación como ámbito de debate y análisis sobre el desarrollo sostenible, en su carácter de Comité Nacional de Desarrollo Sostenible;*
- la preparación y consulta de programas y disposiciones específicas, como las relativas a residuos sólidos industriales.*

### **Creación de los grupos GESTA**

Desde el año 1999, se crean y entran en funcionamiento los Grupos de Estandarización (GESTA) en el marco de la Comisión Técnica Asesora en Medio Ambiente creada en 1993. 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 primer 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 el funcionamiento del Grupo se detuvo. 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 calidad Euro III. 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.

Concretamente en la versión 2012 se elevó a la COTAMA una propuesta integral que incluye estándares de emisión, de emisiones de fuentes móviles y de emisiones de fuentes fijas.

#### **Ley 9.515, Ley Orgánica Municipal (1935)**

De acuerdo a la Ley N° 9.515, (Ley Orgánica Municipal), se entiende de competencia del municipio el dictado de normas generales y ejercer las funciones administrativas necesarias para el cumplimiento de dichas leyes en su ámbito territorial.

#### **Ley 16.466, Ley de Evaluación de Impacto Ambiental (1994)**

La Ley N° 16.466 (Ley de Evaluación de Impacto Ambiental) declara de interés general *"la protección del medio ambiente contra cualquier tipo de depredación, destrucción o contaminación"*, y plantea la obligatoriedad del estudio de impacto ambiental para ciertas actividades o construcciones.

#### **Ley 17.283, Ley General de Protección del Medio Ambiente (2000)**

La Ley N° 17.283 (Ley General de Protección del Medio Ambiente) declara de interés general (en conformidad a lo establecido en el artículo 47 de la Constitución de la República): *"la protección del ambiente, de la calidad del aire, del agua, del suelo y del paisaje; la conservación de la diversidad biológica y de la configuración y estructura de la costa; la reducción y el adecuado manejo de las sustancias tóxicas o peligrosas y*

*de los desechos cualquiera sea su tipo; la prevención, eliminación, mitigación y la compensación de los impactos ambientales negativos".*

En el artículo 17 de esta ley, se establece la prohibición de emitir directa o indirectamente sustancias, materiales o energía por encima de los límites máximos o en contravención de las condiciones que establezca el MVOTMA. Plantea asimismo que el Ministerio tendrá en cuenta los niveles o situaciones que puedan poner en peligro la salud humana, animal o vegetal, deteriorar el ambiente o provocar riesgos, daños o molestias graves a seres vivos o bienes.

### **Ley 18.308, Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible (2008)**

La ley Nº 18.308 (Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible) establece el marco regulador general para el ordenamiento territorial en todo el país, sin perjuicio de las demás normas aplicables y de las regulaciones, que por remisión de ésta, establezcan el Poder Ejecutivo y los Gobiernos Departamentales. A tal fin:

- a) Define las competencias e instrumentos de planificación, participación y actuación en la materia.*
- b) Orienta el proceso de ordenamiento del territorio hacia la consecución de objetivos de interés nacional y general.*
- c) Diseña los instrumentos de ejecución de los planes y de actuación territorial.*

Define esa ley: *"el ordenamiento territorial es el conjunto de acciones transversales del Estado que tienen por finalidad mantener y mejorar la calidad de vida de la población, la integración social en el territorio y el uso y aprovechamiento ambientalmente sustentable y democrático de los recursos naturales y culturales".* Y declara de interés general el ordenamiento del territorio y de las zonas sobre las que la República ejerce su soberanía y jurisdicción.

### **Ley 18.191, Ley Nacional de Seguridad Vial y Tránsito (2007)**

De acuerdo con la Ley Nacional de Seguridad Vial y Tránsito (Ley 18.191), las condiciones del buen uso y funcionamiento de los vehículos se acreditarán mediante un certificado a expedir por la autoridad competente o el concesionario de inspección técnica.

## **Propuestas de GESTA Aire**

### Calidad de aire

El grupo Gesta Aire realizó en el año 2005 una propuesta estándares de calidad de aire en la que revisaba la propuesta inicial elevada en 2001 a la COTAMA.

La propuesta 2005 no llegó a sancionarse como decreto aunque desde que se elevó a COTAMA ha sido el documento de referencia.

En febrero de 2012, se eleva a COTAMA una nueva propuesta de estándares de calidad de aire, cuyos valores se presentan en la Tabla 3. 1. La propuesta específica, para cada parámetro considerado, el período de muestreo, la forma de monitoreo, la metodología de análisis, la frecuencia con que los máximos pueden ser excedidos en un período determinado, el número mínimo de mediciones necesarias en ese período y el valor umbral de alerta.

**Tabla 3. 1: Propuesta GESTA Aire de estándares en inmición  
(DINAMA-MVOTMA, 2012a)**

Contaminante	Período de muestreo	Concentración (µg/m3)***	Frecuencia de excedencia permitida
Monóxido de carbono	1 h	30000	No debe superarse en más de tres veces al año
	8 hs móviles	10000 *	No debe superarse más de tres días al año
Dióxido de Azufre	24 hs	125 *	Percentil 95 (**)
	24 hs	365*	No debe superarse más de una vez al año
	Anual	60 *	
Dióxido de nitrógeno	1 h	320	No debe superarse más de cuatro horas corridas
	Anual	75 *	
Ozono	8 hs móviles	120 *	No debe superarse en más de tres días al año
Partículas totales en suspensión (PTS)	24 hs	240 *	No debe superarse más de una vez al año
	Anual	75 *	
PM10	24 hs	150 *	No debe superarse más de una vez al año
	Anual	50 *	
Plomo	3 meses móviles	1.5 *	No debe superarse más de una vez al año
Compuestos de Azufre Reducido Total (expresado en H2S)	1h	15	No debe superarse más de tres veces al año
	24 hs	10	No debe superarse más de una vez al año
Metales pesados	De acuerdo a lo establecido por las Guías de Calidad de Aire de la Organización Mundial de la Salud para compuestos no cancerígenos		

Partículas Sedimentables y Olores	En aquellas actividades que generen partículas sedimentables y olores desagradables se deberán implementar medidas para minimizar el impacto de estas emisiones en el entorno
-----------------------------------	---

### Emisiones vehiculares

Previo a la descripción de la propuesta del GESTA, vale mencionar el decreto 111/08 según el cual a partir del 1 de julio del año 2008 se determina que la DNT del MTOP no expedirá certificados de necesidad de importación, ni registrará y habilitará vehículos pesados del tipo "0 km" autopropulsados con motores de ciclo Diesel, destinados al transporte de pasajeros y cargas, si las emisiones de gases y partículas contaminantes y la opacidad de los humos procedentes de sus motores, no cumplen con los valores límite EURO III o los especificados en la norma EPA 98.

En lo que respecta a las fuentes móviles, la propuesta actual data de febrero de 2012. De acuerdo al contenido de dicha propuesta:

*“Actualmente las carencias en materia de reglamentación y medidas de control, sumado a un gran aumento del parque automotor en el país, hacen pensar que la problemática ambiental ocasionada por las emisiones gaseosas requiere el diseño de un plan de acción. La normativa que regule el control de las emisiones de fuentes móviles,*

*deberá formularse sobre la base de las capacidades de monitoreo con las que cuentan los organismos competentes en el país, al mismo tiempo que deberá existir un acompasamiento con el mejoramiento de la calidad de los combustibles que se utilizan. A su vez se debe insistir en la necesidad de invertir en el desarrollo de tecnología para el monitoreo y control de los vehículos.”*

Por otra parte, propone adoptar los límites de emisión pautados en las normas Euro como producto de una serie de modificaciones de una primera normativa sobre emisiones de fuentes móviles. Esto responde tanto a la capacidad de implementación, así como también a las características de la flota de vehículos, los avances tecnológicos en su fabricación, entre otros. Las normas Euro fijan los valores límite de las emisiones contaminantes de los vehículos nuevos. Las emisiones de gases contaminantes tienen un papel muy importante porque la carga impositiva depende también de la clasificación que establecen las diferentes normas Euro. A nivel de Europa, el código indicado en el permiso de circulación ofrece información sobre el nivel de emisión de contaminantes del vehículo. Las disposiciones legislativas son cada vez más exigentes: el Parlamento Europeo fijó nuevos valores límite para la emisión de contaminantes de los vehículos. La UE ha fijado ya los valores de la norma Euro 6.

**Tabla 3. 2: Evolución de las normas EURO**

ETAPA EURO	FECHA
1	jul-92
2	ene-96
3	ene-00
4	ene-05
5 <sup>a</sup>	sep-09
5B	sep-11
6	sep-14

La norma Euro 5 se aplica desde el 1 de septiembre de 2009 en lo que respecta a la homologación y se aplica desde 1 de enero de 2011 en lo que se refiere a la matriculación y venta de las nuevas clases de vehículos;

Por otra parte la norma Euro 6 será aplicable a partir del 1 de septiembre de 2014 en lo que respecta a la homologación, y del 1 de septiembre de

2015 en lo que se refiere a la matriculación y venta de las nuevas clases de vehículos.

Desde la etapa Euro 1, los reglamentos de la UE introducen diferentes límites de emisiones para los vehículos diesel y afa. Los diesel tienen estándares más estrictos para CO pero se les permite mayores emisiones de NO<sub>x</sub>.

De acuerdo a la propuesta actual de normativa sobre emisiones vehiculares, las unidades para transporte público de pasajeros (de línea, interdepartamentales, internacionales, y escolares) y vehículos para transporte de carga y vehículos pesados empleados para otros usos, deberán tener la salida del caño de escape por encima del techo de los mismos.

Para los vehículos livianos, las normas se definen en g/km, mientras que para los vehículos pesados se definen según la potencia del motor en g/kWh y por lo tanto no son comparables.

Tomando en cuenta la realidad de los combustibles en nuestro país, en la propuesta del GESTA Aire se toma como referencia las normas Euro 2 (ene-96) y Euro 4 (ene-05) ya que son las que pueden ser alcanzables con los combustibles anteriores a la desulfurización del combustible (Euro 2) y con los combustibles con bajo contenido de azufre<sup>8</sup> (Euro 4).

Finalmente, en lo que sigue se presentan los principales conceptos de la propuesta:

- A todos los vehículos nuevos se les exigirá el uso de convertidores catalíticos u otros dispositivos que garanticen el cumplimiento del control de todas sus emisiones.

---

<sup>8</sup> Esto sucede debido a la modificación de los procesos en ANCAP La Teja. Se incorpora una planta de desulfurización de gas oil de ANCAP cuyo propósito es reducir significativamente el contenido de azufre del gasoil comercializado por ANCAP, de forma de adecuar este parámetro a las especificaciones de los combustibles manejados en el mercado internacional. Se plantea la reducción del contenido de azufre en un 99,4%. Por otra parte también se cuenta con una planta de desulfurización selectiva de gasolinas, de forma de adecuar este parámetro a las especificaciones de los combustibles manejados en el mercado internacional, el contenido de azufre en gasolinas se reducirá entre un 94 y 99% alcanzando una concentración máxima de 30 ppm.

- Todos los vehículos 0 km con combustible nafta o gasoil que se comercialicen en el país deberán ajustarse a la siguiente normativa, para lo cual será obligatorio la presentación de certificados de emisiones emitidos por organismos autorizados para ello. Los procedimientos que se deberán llevar a cabo para esta certificación serán los que se establecen en el Decreto 96/69/CEE y modificativos, o los que se definan por los organismos competentes.
- Se estimulará la inclusión de tecnologías de carter cerrado a los efectos de evitar las emisiones de los gases de carter a la atmósfera

Sobre el marco regional en la propuesta del GESTA Aire se plantea:

- La nafta y el diesel tienden a 50 ppm de azufre en toda la región y en (algunas zonas de Brasil y Argentina) a 10 ppm.
- Los parámetros de calidad y límites actuales y futuros en la región mayoritariamente se basan en los establecidos en los países con altos estándares ambientales: Estados Unidos y Unión Europea.
- La mayoría de los países de la región están usando biocombustibles: bioetanol y/o biodiesel.
- El transporte de carga y pasajeros con tecnologías Euro 5 que se traslade entre los países del Mercosur / limítrofes requerirá tanto de Diesel de bajo azufre como la disponibilidad de reductores de NO<sub>x</sub>.

### **Estándares para vehículos nuevos**

Mientras no exista en el mercado combustible nafta con 30 ppm de azufre o gasoil con 50 ppm de azufre todos los vehículos que entren al mercado, ya sea por importación o fabricados en el país, deben cumplir con la norma Euro 2 para emisiones gaseosas.

**Tabla 3. 3: Normas propuestas para emisiones de vehículos nuevos  
EURO 2 (DINAMA-MVOTMA, 2012c)**



#### Comsustible DIESEL

Categoría Vehículo	CO (g/km)	HC + Nox (g/km)	PM (g/km)		
MI	1.0	0.7	0.08		
N1 I	1.0	0.7	0.08		
N1 II	1.3	1.0	0.12		
N1 III	1.5	1.2	0.17		
N2 y N3	CO g/k Whr	HC g/k Whr	Nox g/k Whr	PM g/k Whr	Humo m-1
	4.0	1.1	7.0	0.2	-

#### Comsustible NAFTA

Categoría Vehículo	CO (g/km)	HC + Nox (g/km)
MI	2.2	0.5
N1 I	2.2	0.5
N1 II	4	0.65
N1 III	5	0.8

A partir de la fecha en que se comercialicen combustibles nafta con 30 ppm de azufre y gasoil con 50 ppm de azufre, deberán cumplir con la norma Euro 4 para emisiones gaseosas.

**Tabla 3. 4: Normas propuestas para emisiones de vehículos nuevos EURO 4 (DINAMA-MVOTMA, 2012c)**

#### DIESEL

Categoría Vehículo	CO	HC+NOx	NOx	PM		
MI	0.50	0.30	0.25	0.025		
N1 I	0.50	0.30	0.25	0.025		
N1 II	0.63	0.39	0.33	0.04		
N1 III	0.95	0.86	0.78	0.10		
N2 y N3	CO g/k Whr	HC g/k Whr	Nox g/k Whr	PM g/k Whr	Humo m-1	
	1.5	0.46	3.5	0.02	0.5	

#### NAFTA

Categoría Vehículo	CO	HC	NOx
MI	1.0	0.10	0.08
N1 I	1.0	0.10	0.08
N1 II	1.81	0.13	0.10
N1 III	2.27	0.16	0.11

## **Estándares para vehículos en circulación**

Para los vehículos en circulación se implementará un plan de mediciones obligatorias sin sanciones asociadas, que permitirá definir, en un plazo no mayor a tres años, estándares adecuados a la realidad de nuestro país.

## **Emissiones industriales**

De acuerdo a lo mencionado en el objetivo de la propuesta, *"los estándares de emisión constituyen límites máximos permisibles de emisiones de gases y partículas al aire producidas por fuentes fijas, cuyo fin es proteger la salud de la población, los recursos naturales y la calidad del ambiente."* (DINAMA-MVOTMA, 2012b)

En el documento se prevé la aplicación de los estándares *"sobre toda instalación fija que tenga algún tipo de emisiones a la atmósfera con la excepción de los emisores del sector residencial y pequeños emisores"*. (DINAMA-MVOTMA, 2012b)

Se prevé en la propuesta *"la prohibición de la quema a cielo abierto (sin incluir las quemas con fines de cocción de alimentos y calefacción). Se prohíbe asimismo la dilución de las emisiones al aire desde una fuente fija con el fin de dar cumplimiento a los presentes estándares"*.(DINAMA-MVOTMA, 2012b)

Se plantea asimismo que *"el cumplimiento de los estándares se aplica a condiciones de operación en régimen, exceptuando situaciones transitorias tanto de operación, como las paradas o arranques de unidades de los procesos continuos. Por otra parte se prevé que "los procesos batch deban cumplir con los estándares de emisión durante todo el periodo en que se encuentren en funcionamiento"*. (DINAMA-MVOTMA, 2012b)

En la propuesta se separan los estándares para procesos de combustión con capacidad térmica hasta 5 MW. En este caso se prevé:

- Cumplimiento del estándar de opacidad para los gases de escape de la fuente, medida utilizando el método Ringelmann o Bacharach. Se establece como estándar el valor de 1 UR o 2 UB respectivamente.

- En el caso de calderas nuevas, la presentación de certificados del fabricante del equipo de combustión, en lo referente a los niveles de emisiones esperados, basándose en las características del combustible utilizado.
- Asimismo, mantener disponible el registro interno del cumplimiento de las prácticas de mantenimiento de los equipos de combustión y de los sistemas de tratamiento de emisiones al aire (si los tuviera), de acuerdo con los programas establecidos por el operador de la fuente y aquellos recomendados por el fabricante del equipo de combustión.

Los límites de emisión propuestos consideran las siguientes actividades

- combustión para generación de energía
- fabricación de clinker y cal, y coprocesamiento en hornos de clinker
- fabricación de pasta de celulosa y papel
- producción de ácido sulfúrico y fertilizantes
- refinación de petróleo
- fundición primaria y secundaria de metales, y acería
- incineradores de residuos
- otros emisores (los estándares propuestos en este punto serán de aplicación a toda actividad industrial excepto las actividades específicas que cuentan con estándares particulares)

En cada caso se presenta el tipo de contaminante, la concentración máxima y el porcentaje de oxígeno al que corresponde.

## **MERCOSUR**

Por decreto 159/997 se incorporó al orden jurídico interno la Resolución Nº 128/96 del Grupo Mercosur, relacionada con los límites máximos de emisión de gases contaminantes y ruido para vehículos automotores. Se establece en esta norma límites de emisión de contaminantes expresados en g/km, g/kwh y unidades Bosch (dependiendo de la flota y parámetro

considerado), los que se implementarían a partir de primero de enero del año 2000.

### **3.3 Actores clave a nivel nacional en materia de gestión de la calidad de aire**

#### **MVOTMA**

##### **DINAMA**

DINAMA es responsable de la formulación, ejecución, supervisión y evaluación de los planes nacionales de protección del ambiente y de proponer e instrumentar la política nacional en la materia, compatibilizando dichas necesidades de protección del medio ambiente con un desarrollo sostenible.

Entre sus objetivos se encuentra *“Formular, ejecutar, supervisar y evaluar planes para medir y evaluar el estado de la calidad de los recursos ambientales: recursos hídricos, aire y ecosistemas (...)”,* y *“Formular, ejecutar, supervisar y evaluar planes de control de las actividades públicas y privadas que incidan en la calidad de los recursos ambientales (...)”* (MVOTMA, 2014)

Entre los principales cometidos se encuentra:

- Elaboración de normativa
- Autorización de emprendimientos
- Monitoreo de calidad de aire a nivel nacional
- Monitoreo de emisiones de emprendimientos

##### **DINOT**

Su misión es formular, ejecutar, supervisar y evaluar los planes nacionales territoriales para el desarrollo sustentable en el marco regional, coordinar las políticas públicas en materia de ordenamiento y gestión del territorio, establecer una estrategia nacional y favoreciendo el desarrollo local social y ambientalmente sostenible, atender la

dimensión regional y la descentralización efectiva, con el objetivo último de mejorar la calidad de vida de la población. (MVOTMA, 2014).

## **MIEM**

El Ministerio de Industria, Energía y Minería es responsable de diseñar e instrumentar las políticas del Gobierno referidas a los sectores industrial, energético, minero, telecomunicaciones, micro, pequeñas y medianas empresas, destinadas a la transformación y el fortalecimiento del aparato productivo nacional, de su matriz energética y del sistema de comunicaciones, para el desarrollo sustentable con justicia social, en el marco de la integración regional.

En particular la Dirección Nacional de Energía del MIEM debe identificar y cuantificar las fuentes primarias de energía existentes en el país, siendo responsable de asesorar al Ministerio de Industria, Energía y Minería en la formulación de la política energética y de ejecutar las acciones de gestión que de ello se deriven. Sus cometidos sustantivos son:

- *Propiciar la realización de investigaciones para identificar y cuantificar las fuentes de energía primarias existentes, evaluar el resultado de dichas investigaciones y promover el desarrollo de su explotación.*
- *Procurar el abastecimiento de las necesidades energéticas en condiciones adecuadas de seguridad y al menor costo posible.*
- *Coordinar y orientar la acción de las entidades que operen en el sector.*
- *Proponer mecanismos de protección de los consumidores de productos y servicios energéticos y controlar su efectiva aplicación.*
- *Participar en la elaboración de normas de seguridad para instalaciones, productos y servicios asociados a las actividades energéticas y controlar su efectiva aplicación.*
- *Participar en la elaboración de los marcos normativos y regulatorios de las actividades energéticas y controlar su cumplimiento.*

- *Coordinar con instituciones nacionales e internacionales la ejecución de acciones específicas en la temática de energía.*
- *Identificar, proponer y operar un sistema de desarrollo de prestación de servicios para las personas, las empresas y otros organismos del estado, referidos al uso de la tecnología nuclear en las áreas que vinculan las radiaciones con la salud, el medio ambiente, la industria, la minería, la geología, los alimentos, etc.*
- *Implementar y ejecutar los contralores legales o reglamentarios asignados en relación a las concesiones otorgadas en el sector energético.*
- *Determinar los requisitos y supervisar el funcionamiento y condiciones de seguridad de los generadores de vapor instalados en el país a los efectos de otorgar la habilitación o inhabilitación correspondiente.*

(DNE-MIEM, 2014)

## **MSP**

En la visión del Ministerio de Salud Pública se considera:

- *Establecer las políticas y las estrategias para el cumplimiento de las funciones esenciales de salud pública, de modo de asegurar la salud colectiva como un derecho humano básico y un bien público responsabilidad del Estado.*
- *Orientar el funcionamiento del Sistema Nacional Integrado de Salud de acuerdo a un modelo de atención y gestión basado en los principios de la Atención Primaria en Salud.*

(MSP, 2014)

Se plantea a modo de visión la promoción de la salud de la población, a través de una estructura institucional transparente, eficaz e integradora y con vocación de servicio, para el correcto ejercicio de la Rectoría de la salud, logrando un modelo de atención basado en la prevención, que promueva en la población el cuidado de su salud y una atención sanitaria (con niveles de excelencia) que contribuya a una mejor calidad de vida.

## MTOP

### Dirección Nacional de Transporte

La Dirección Nacional de Transporte (DNT-MTOP) tiene por objetivo:

*"Establecer las condiciones para el funcionamiento eficaz, eficiente, seguro y confiable del transporte de personas y bienes en beneficio de la sociedad, a través de la propuesta e instrumentación de políticas, planificación, regulación, gestión y control, que atendiendo a los avances en materia de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, permitan desarrollar un sistema de transporte integral con participación de todos los modos disponibles "* (MTOP, 2014).

A su vez tiene a su cargo el servicio de inspección vehicular para transporte de cargas y pasajeros interdepartamental (SUCTA) actualmente tercerizado.

De acuerdo al Decreto N° 20/990, se establece la obligatoriedad del porte en condiciones de validez del Certificado de Aptitud Técnica para ómnibus que realizan servicios bajo jurisdicción del MTOP y vehículos con capacidad de carga mayor o igual a 5 toneladas. El decreto 21/990, establece validez del "Permiso de Circulación" y "Habilitación para Transporte de Pasajeros".

Por otra parte en el decreto 260/995, se modifica el artículo 3° del Decreto 20/990, referente a la Inspección técnica de vehículos con determinadas normas, que realicen servicios bajo jurisdicción del Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Se plantea que las inspecciones técnicas vehiculares para los vehículos de carga con capacidad igual o mayor a 5 (cinco) toneladas y los ómnibus que efectúan servicios de transporte de pasajeros bajo jurisdicción del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, se realicen en todas aquellas unidades con antigüedad mayor a un año y en las "cero kilómetro", previo a la obtención del Permiso de Circulación Vial o Habilitación para el Transporte de Pasajeros.

El MTOP entrega la constancia de haber registrado el vehículo de carga, en la Dirección Nacional de Transporte, sin el cual no podrá circular por rutas nacionales.

## INTENDENCIAS MUNICIPALES

Las intendencias tienen bajo su órbita los permisos de circulación vehicular donde se debería controlar las emisiones a la atmósfera a los efectos de autorizar o no la circulación de vehículos.

La Intendencia de Montevideo (IDM) cuenta con una Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, que tiene como objetivo determinar la concentración representativa de los principales contaminantes del aire del Departamento, fundamentalmente en las zonas donde la densidad de población es mayor. Los resultados de la red de monitoreo son compartidos por la IDM con la DINAMA.

## ANCAP

ANCAP es un ente autónomo vinculado al MIEM, cuyo objetivo es asegurar al país el abastecimiento de sus combustibles y proveer de portland, lubricantes y alcoholes de acuerdo a estándares regionales de calidad y a la necesidad de los clientes / usuarios.

ANCAP es responsable de la calidad de los combustibles a nivel país y cuenta con estaciones de monitoreo de la calidad del aire (ANCAP – La Teja). En lo que respecta a calidad de aire y emisiones, ANCAP es un emisor relevante de algunos de los contaminantes criterio, principalmente SO<sub>2</sub>.

## UTE

Este ente autónomo tiene por finalidad: *"Trabajar para que el servicio eléctrico, en un marco de sustentabilidad económica, social y ambiental, pueda llegar a todos los hogares y actividades del país, en forma confiable, con un nivel de calidad que satisfaga a nuestra sociedad y al menor precio posible."* (UTE, 2014)

En lo que respecta a calidad de aire y emisiones, UTE es un emisor relevante de algunos de los contaminantes criterio especialmente SO<sub>2</sub> y PTS y cuenta con monitoreo de la calidad del aire (UTE-Central Batlle).



## **LATU**

El LATU, como Laboratorio estatal, ofrece el servicio de medición en emisiones y en calidad de aire. Tiene antecedentes en el área de monitoreo y evaluación de la calidad de aire.

## **Universidad de la República**

En materia de emisiones y calidad de aire, distintas Facultades de la UdelAR han intervenido desde los tres pilares universitarios: extensión, docencia e investigación.

La Red Temática de Medio Ambiente es un área de interacción institucional y multidisciplinaria de la Universidad de la República, para el análisis y la intervención en la temática ambiental. Las redes temáticas se crean originalmente en la UDELAR a partir del año 2000 con el fin de coordinar la actividad de investigación. La Red Temática de Medio Ambiente fue creada en 2001, luego de un proceso de convocatoria a las unidades académicas de todos los servicios que mostraran interés. Esta comisión tiene como antecedentes históricos directos una Comisión Asesora en Medio Ambiente al Consejo Directivo Central (1987-1992) y la Unidad Central de Medio Ambiente (UNICEMA) (1992 – 2000).

En materia de investigación en el área de calidad de aire, no se han encontrado equipos interdisciplinarios en esta materia, siendo en general los equipos de investigación vinculados a la temática principalmente en el área de ingeniería y química analítica.

En Facultad de Química se han relevado equipos de trabajo en el área analítica. Se han realizado eventos en coordinación con la International Medical Geology Association que se dedica al análisis de aspectos toxicológicos vinculados al estudio de salud y ambiente.

En el caso de Facultad de Medicina, los equipos de trabajo se encuentran relacionados a la toxicología ocupacional y ambiental.

En la Facultad de Ingeniería el desarrollo es diferente en las distintas áreas de trabajo. Existe un Departamento de Transporte en el IET que se dedica fundamentalmente a la ingeniería de transporte, sin abordar en forma explícita los temas ambientales. En el IIMPI existe un grupo de trabajo en termodinámica aplicada, donde se trabaja en modelación

numérica de los fenómenos de combustión en motores y además cuenta con un laboratorio de combustibles completamente equipado. En el IFFI se trabaja en métodos ópticos de detección y cuantificación de contaminación atmosférica. En el IIQ el área de mayor trayectoria en temas relacionados a calidad de aire es la Sección Corrosión que desarrolló técnicas de monitoreo pasivo de calidad de aire.

Finalmente el IMFIA es el instituto con mayor experiencia en la temática, abordando desde modelación numérica de contaminantes en la atmósfera a mediciones ambientales y de emisiones. El primer Programa de Evaluación de la Calidad del Aire (PECA) fue desarrollado en el IMFIA hace más de una década y desde entonces se ha trabajado en forma continua en diferentes aspectos vinculados a la calidad de aire y su gestión. Un énfasis particular merece el desarrollo del Primer Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera en el marco de un convenio con MVTOMA - DINAMA, el que se llevó a cabo entre los años 2008 y 2010.

## **Actores de la sociedad civil (Cámaras y asociaciones comerciales, industriales y de servicios)**

### **Asociación de Concesionarias y Marcas de automotores**

La Asociación de Concesionarias y Marcas de automotores tiene como fin:

*“Propender a la obtención de las mejores condiciones para el desarrollo de la actividad de los concesionarios*

*Defender los intereses de los asociados promoviendo ante los organismos públicos y privados, la adopción de medidas que se consideren convenientes o necesarias para el desarrollo de la actividad automotriz*

*Difundir para el adecuado conocimiento de los asociados, las normas legales y reglamentarias vinculadas con aquella actividad, pudiendo asociarse a otras organizaciones similares nacionales o internacionales.*

*Para tales fines velará por el interés individual y colectivo de sus miembros asesorándolos en todos los asuntos inherentes a su actividad específica.”*

(Asociación de Concesionarias y Marcas de automotores, 2014)

### **Cámara de Industrias del Uruguay**

La Cámara de Industrias del Uruguay es la entidad empresarial representativa del sector industrial del país, creada en 1898 con el objeto de promover los intereses de la industria nacional.

En lo que respecta a su misión, la Cámara de Industrias se plantea:

- *Representar y defender los intereses de los socios ante entidades públicas o privadas nacionales, regionales e internacionales, buscando el fortalecimiento industrial.*
- *Orientar, relacionar y facilitar la inserción de nuestros socios en los mercados internacionales.*
- *Brindar servicios eficientes ajustados a las necesidades de sus socios y a los industriales en general, para consolidar su crecimiento empresarial.*

(Cámara de industrias del Uruguay, 2014)

### **Empresas privadas**

A partir de las propuestas de GESTA distintas empresas privadas de ingeniería y laboratorios ofrecen el servicio de monitoreo de emisiones, calidad de aire y dispersión de contaminantes.

### 3.4 Antecedentes de gestión de calidad de aire

#### Nivel nacional

En los últimos años la Dirección Nacional de Medio Ambiente del MVOTMA ha realizado significativos esfuerzos a los efectos de mejorar la gestión de la calidad del aire en Uruguay.

En 1995 se iniciaron las tareas de monitoreo de calidad del aire; con motivo de la instalación de la Central Termoeléctrica de Candiota a escasas decenas de kilómetros de la frontera con Brasil se instalaron los primeros sistemas de muestreo de partículas y dióxido de azufre en el departamento de Cerro Largo. Más tarde el plan de monitoreo se amplió y se incorporó otro punto de muestreo en el Departamento de Treinta y Tres, además de sustituirse los equipos de medición discreta por otros de medición continua.

Paralelamente a la elaboración del PECA por parte del IMFIA, DINAMA elabora un Plan Nacional de Calidad de aire por parte de Marcelo Kork - CEPIS/OMS y Magdalena Hill-DINAMA también en el año 2000. El objetivo de este plan era el de definir programas para mejorar la calidad de 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.

Los objetivos específicos del Plan fueron:

- *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. (Kork, 2000)*

El Plan Nacional fue estructurado en cinco áreas interrelacionadas:

- Políticas, normas y reglamentos
- Gestión de la calidad del aire
- Cuantificación del impacto de la contaminación del aire sobre la salud y el ambiente
- Educación, capacitación y sensibilización pública
- Financiamiento.

En el año 2001 DINAMA adquiere sistemas de muestreo para la medición de PTS y PM10 y se inicia un monitoreo en todo el país. El informe de monitoreo de Calidad del Aire 2002/2003 presentó una línea de base de concentración de polvo total en suspensión y partículas inhalables en todo el territorio nacional.

Aunque no se considera parte de la gestión de la calidad de aire, cabe acotar que, en lo relativo a Gases de Efecto Invernadero, desde la década del 90' se viene realizando los inventarios nacionales de GEI correspondientes.

### **Nivel departamental**

El desarrollo en materia de monitoreo ambiental a nivel departamental y municipal es escaso. Por lo general, las problemáticas locales suelen abordarse con apoyo de la DINAMA, que suele aportar el equipamiento, el procesamiento de las muestras cuando corresponde y la interpretación e informe de los resultados.

La única de las Intendencias con trayectoria en monitoreo de calidad de aire es la de Montevideo, por lo que esta sección se refiere a sus actividades.

El Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental dependiente del Departamento de Desarrollo Ambiental de la Intendencia de Montevideo (IDM), es el responsable de la vigilancia y evaluación de la

calidad del 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 del aire en el período 2003 -2004. Esta campaña fue realizada conjuntamente por DINAMA y el Laboratorio de Calidad Ambiental de la IDM, y sirvió de base para el diseño de la red de evaluación y vigilancia de la calidad del 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, operación y mantenimiento de la red.

En el año 2005 surge, como un producto del Proyecto URU/7/004 financiado por el Organismo Internacional de Energía Atómica, la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en Montevideo, que utiliza equipamiento de DINAMA y de la IDM, y es operada por personal técnico del Laboratorio de Calidad Ambiental (IDM). La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Montevideo consta de ocho estaciones: Ciudad Vieja, Centro, Tres Cruces, La Teja, Colón, Prado, Portones y Curva de Maroñas. Opera con equipos que permiten evaluar las partículas totales en suspensión en todas las estaciones y en cada una de ellas algunos de los contaminantes criterio definidos por la Organización Mundial de la Salud: monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, PTS y PM<sub>10</sub>.

El objetivo de la Red es determinar la concentración representativa de los principales contaminantes del aire de la ciudad, fundamentalmente en las zonas donde la densidad de población es mayor. Semanalmente se publican los resultados de las mediciones de la semana precedente en el sitio Web de la Intendencia Municipal de Montevideo, así como el valor del Índice de Calidad del Aire de Montevideo (ICAire), que no es otro valor que el más pobre de los índices que corresponderían a los diferentes contaminantes relevados en la estación y período de tiempo en cuestión.

En el año 2009 se incorporaron a la Red los registros obtenidos en una estación automática propiedad de la Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE) en la zona de Colón. En el 2011 se incorporaron, además, los datos provenientes de otra estación de UTE, ubicada en las inmediaciones del Palacio Legislativo.

Con estas incorporaciones y las modificaciones debidas a equipos que debieron salir de funcionamiento, la configuración desde mayo de 2011 puede ser considerada una red compuesta tanto por Estaciones Manuales como por Estaciones Automáticas.

**Figura 3. 1: Ubicación de las estaciones (IDM, 2011)**



**Tabla 3. 5: Parámetros determinados en cada estación (IDM, 2011<sup>3</sup>)**

Nº estación	Tipo de estación	CO	SO2	NO2	HN	PTS	PM10	Barrio	Referencia	Dirección
Estación 1	Manual							Ciudad Vieja	MEC – Museo Romántico	25 de Mayo y Zabala
Estación 1	Manual							Ciudad Vieja	AEBU - Club Social y Deportivo	Camacué y Reconquista
Estación 2	Manual							Centro	IM – Edificio Sede	Av. 18 de Julio y Ejido
Estación 3	Manual							La Teja	MI - Seccional 19, Jefatura de Policía	Av. Dr. C.Mª Ramírez 188
Estación 4	Manual							Tres Cruces	Universidad Católica del Uruguay	Cornelio Cantera y Garibaldi
Estación 5	Manual							Prado	IM - Museo Blanes	Av. Millán 4015
Estación 6	Manual							Curva de Maroñas	IMM - Centro Comunal Zonal 9.	Av. 8 de Octubre y Marcos Sastre
Estación 7	Manual							Portones de Carrasco	Portones Shopping	Av. Italia y Av. Bolivia
Estación 8	Manual							Colón	MTOP – Servicio de Máquinas	Av. Garzón y Colman
A1	Automática							Colón	UTE - Colón	Cno. Lecocq y A.Rubio
A2	Automática							Palacio Legislativo	UTE – Palacio Legislativo	F. Acuña de Figueroa y Guatemala

### **3.5 Primer Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera**

El primer inventario nacional de emisiones a la atmósfera fue realizado en el marco de un convenio entre la DINAMA-MVOTMA y FING-UdelaR. El propósito principal era establecer una línea de base cuantitativa con la que no se contaba previamente, para la toma de decisiones de las autoridades.

#### **Metodología utilizada**

La metodología utilizada es la de factores de emisión.

Cabe destacar que el uso de los 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.

Se utilizan factores USEPA para todos los sectores, con excepción del sector transporte, caso en que se utilizan factores CORINAIR.

#### **Factores de emisión utilizados**

En el inventario realizado, se utilizaron factores de emisión publicados por USEPA y CORINAIR, debido a la ausencia de factores de emisión locales.

En el caso particular de los vehículos, se utilizaron factores de emisión CORINAIR debido a la poca aplicabilidad de los factores de USEPA. Sin embargo, posiblemente exista alguna otra metodología con su conjunto de factores de emisión, que pudiera haber sido empleada con errores del mismo orden de los obtenidos.

Los factores USEPA no resultan aplicables para estimar las emisiones de la flota vehicular en el Uruguay debido a la diferencia existente entre las flotas vehiculares de Estados Unidos y Uruguay. El parque vehicular de Estados Unidos utiliza convertidores catalíticos e incluye vehículos de mayor porte y más nuevos que los que circulan en nuestro país. Por esto, en este caso particular, fue necesario recurrir a factores de emisión de



CORINAIR (Europa) para países pertenecientes a los grupos CC4, BC y NIS (Rusia, Ucrania, Kazajstán, Bielorrusia, Uzbekistán, Kirgizstán, Moldava, Armenia, Azerbaijón, Georgia, Rumania, Bulgaria, Croacia y Turquía, entre otros).

En lo que respecta a la flota vehicular de transporte no terrestre, en ese caso también se utilizan factores de emisión CORINAIR, debido a la falta de datos de actividad y a las características de la metodología utilizada.

Dado que se disponía de datos medidos por UTE, se contrastaron las emisiones reales de Central Batlle contra la emisión calculada por factores de emisión; ambos valores, calculados y medidos, resultaron similares.

El desarrollo de factores de emisión locales, por ejemplo para la emisión de material particulado suspendido total en la actividad de quema de leña en estufa, puede ser de gran utilidad para ajustar las emisiones del Sector Residencial en la actividad que tiene mayor incidencia en él, ya que se trata de un caso clave para evitar sobre- o sub-estimar estas emisiones cuya cuantía es de mucho peso a nivel nacional. Otros ejemplos posibles pueden ser la emisión de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono por parte de las distintas flotas vehiculares. De esta forma, el error cometido en la estimación de la emisión total podría ser reducido significativamente.

### **Contaminantes considerados**

En este inventario de emisiones de contaminantes criterio se consideran los siguientes contaminantes: CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PTS, PM<sub>10</sub>, COV, COT.

### **Tipos y categorías de fuentes consideradas**

El primer inventario nacional de emisiones a la atmósfera incluye fuentes no naturales resultantes del uso de distintos combustibles en actividades clasificadas en cinco rubros: Comercios y Servicios, Residenciales, Vehiculares (transporte terrestre), Agropecuarias, etc., así como las emisiones de proceso de los rubros industrias y generación de energía.

En el caso de las fuentes móviles, se consideran también las emisiones fugitivas.

### **Características temporales y año base**

Por tratarse del primer inventario, no se considera la variabilidad temporal, es decir, se calculan las 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 equidistribuida en el tiempo, sino que son claramente estacionales o zafrales.

Debido a la gran variabilidad de fechas en los datos a considerar y que ese inventario no se corresponde con una campaña de recolección de datos en algún año anterior, se establece el año 2006 para realizar la estimación. Esto quiere decir que los datos que se toman en cuenta se asignan al año 2006 aún si, a falta de información para ese año, corresponden a otros años.

### **Fuentes de información**

Normalmente, los datos necesarios para aplicar la metodología de factores de emisión se encuentran relacionados con el consumo de combustibles, actividades de los procesos, etc. La disponibilidad de información suele condicionar la calidad de las estimaciones efectuadas acerca de las emisiones.

Para la recolección de los datos a emplear en el Inventario, se priorizó la obtención de información oficial de las instituciones responsables de los distintos campos de actuación. En una primera aproximación se identificaron las siguientes fuentes oficiales de información:

**Tabla 3. 6: Síntesis de fuentes de información para los distintos emisores no naturales de contaminantes atmosféricos**

<b>Tipo de fuente emisora</b>	<b>Categoría</b>	<b>Información a consultar</b>	<b>Jurisdicción</b>	<b>Marco Reglamentario</b>
Vehículos automotores	Fuentes móviles	Control vehicular	Municipal / Nacional	Ordenanzas en el marco de la Ley Orgánica Municipal, SUCTA, Reglamento nacional de circulación
Chimeneas de emprendimientos industriales nuevos	Fuentes fijas puntuales	AAP, AAO, asesoramiento primario DNB, habilitación municipal	Nacional / municipal	Decreto 349/005, Decreto 272/93, ordenanzas en el marco de la Ley Orgánica Municipal
Chimeneas de emprendimientos industriales existentes	Fuentes fijas puntuales	AAE, AAO, asesoramiento primario DNB, habilitación municipal	Nacional / municipal	Decreto 349/005, Decreto 272/93, ordenanzas en el marco de la Ley Orgánica Municipal
Calderas y calderetas no incluidas en el caso anterior	Fuentes fijas puntuales	Habilitación municipal, asesoramiento primario DNB, Habilitación MIEM	Municipal / nacional	Ordenanzas en el marco de la Ley Orgánica Municipal, Decreto 272/93, Decreto 151/004
Vertederos de residuos sólidos y rellenos sanitarios	Fuentes fijas de área	Habilitación municipal, AAP y AAO (si son nuevos)	Municipal / nacional	Ordenanzas en el marco de la Ley Orgánica Municipal, Decreto 349/005
Acopios de materiales (áridos, arenas, fillers, etc.) en obras públicas	Fuentes fijas de área (pilas)	AAP, AAE, AAO, MTOP, MTSS	Nacional	Plan de seguridad en obra presentado ante el MTSS, plan de gestión ambiental presentado ante el MTOP, AAP, AAE y AAO de canteras vinculadas a las obras en cuestión.

**REFERENCIAS:**

Decreto 349/005	Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental
Decreto 272/93	Reglamento de Protección contra Incendios
Decreto 151/004	Reglamento de Habilitación de Generadores de Vapor

Se realiza la consulta de la información de población en la página web del Instituto Nacional de Estadística (INE).

### **Recolección de información y actualización**

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, para la realización de este inventario, no se realizó una campaña específica de recolección de información. En consecuencia, debido a la utilización de distintas fuentes de información - en especial para el rubro industrial - se tuvieron los siguientes problemas:

- información incompleta
- información incorrecta
- información desactualizada
- falta de información sobre los sistemas de control de emisiones
- dispersión de información en las distintas instituciones consultadas

A los efectos de prepararse para la actualización del Inventario, se recomienda la adaptación de las habilitaciones actuales o la creación de un formulario que esté relacionado con las emisiones a la atmósfera de la industria. De esta forma, se simplificará la tarea de obtención y manejo de datos en las futuras actualizaciones, y se podrá evaluar con menor incertidumbre la evolución de las cargas contaminantes emitidas por los distintos rubros.

En el caso de grandes emisores a nivel país, que cuentan con monitoreos continuos, es deseable solicitar a la empresa correspondiente los datos de cargas emitidas en el año considerado a los efectos de minimizar el error en la consideración de grandes emisores en el inventario.

Es recomendable lograr que el desglose con que se presentó el Balance Energético Nacional (BEN) para el año 2006 sea la forma habitual de presentar los balances energéticos nacionales a futuro. De esta forma es posible calcular las emisiones consideradas tal como se ha hecho en esa instancia, pero no lo sería con la información que usualmente se presenta en los BEN, que es mucho menos desagregada.

## **Hipótesis de distribución geográfica**

Agropecuarias: En este caso, se supone que la distribución departamental del consumo de combustibles es proporcional a la población rural de cada Departamento, tomada del Censo Nacional 2004 publicado por el INE.

Comercios y Servicios: Se supone una distribución del consumo del país proporcional a la población total de cada Departamento, con la excepción del gas natural, caso en el que se procedió del mismo modo que en el caso de consumos residenciales.

Vehiculares: A los efectos de distribuir geográficamente la flota vehicular supuesta por Fundación Bariloche para el año 2006, se asumió la distribución publicada por la Dirección Nacional de Transporte del MTOP en su Anuario Estadístico 2007, lo que permitió realizar los cálculos de emisiones por Departamento. Una premisa muy fuerte a tener en cuenta es que 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.

Residenciales: A los efectos del desglose de los resultados por Departamento, se supone que los consumos de los distintos combustibles son directamente proporcionales a la población total del Departamento, la que se toma de los datos procesados del Censo Nacional 2004 (INE).

Industriales: En este caso se contaba con la localización de los establecimientos.

## **Forma de documentación de la información**

Tanto la documentación de la información como los cálculos realizados posteriormente se han incluido en planillas electrónicas. De este modo, los datos de campo se organizan y documentan de manera concisa junto con los factores de emisión aplicables y los resultados del inventario. El empleo de una herramienta sencilla como la elegida, facilita el acceso y manejo de la información.

En esencia, para la estimación de emisiones atmosféricas se emplea una tabla de doble entrada para cada emisor, en donde:

- Cada fila describe el proceso que genera la emisión, su factor de emisión asociado dependiendo de la eficiencia en la técnica de remoción y la eficiencia de la técnica de control.
- Cada columna está asociada a un determinado contaminante; la emisión anual asociada a ese contaminante se obtiene multiplicando el nivel de la actividad por el factor de emisión correspondiente.

El nivel de actividad de cada fuente se debe expresar en unidades/año. Luego, ese valor de actividad se puede multiplicar directamente por los factores de emisión, que se expresan en masa/unidad de actividad para calcular las cargas contaminantes expresadas en toneladas/año.

Los cuadros de trabajo no sólo permiten enumerar los factores de emisión, el tipo y actividad de la fuente, sino también los resultados del inventario. Además, es posible proveer totales parciales o generales para las emisiones de un sector emisor, de un rubro industrial o de toda el área de estudio. Aunque no es la herramienta idónea para valorar emisiones de una fuente en particular, los cálculos están organizados por fuente, es decir que se puede tener una aproximación a las emisiones de una industria en particular, con los reparos del caso y sin perder de vista que la información de un inventario no debe emplearse directamente para aplicar sanciones ni para conceder permisos de emisión.

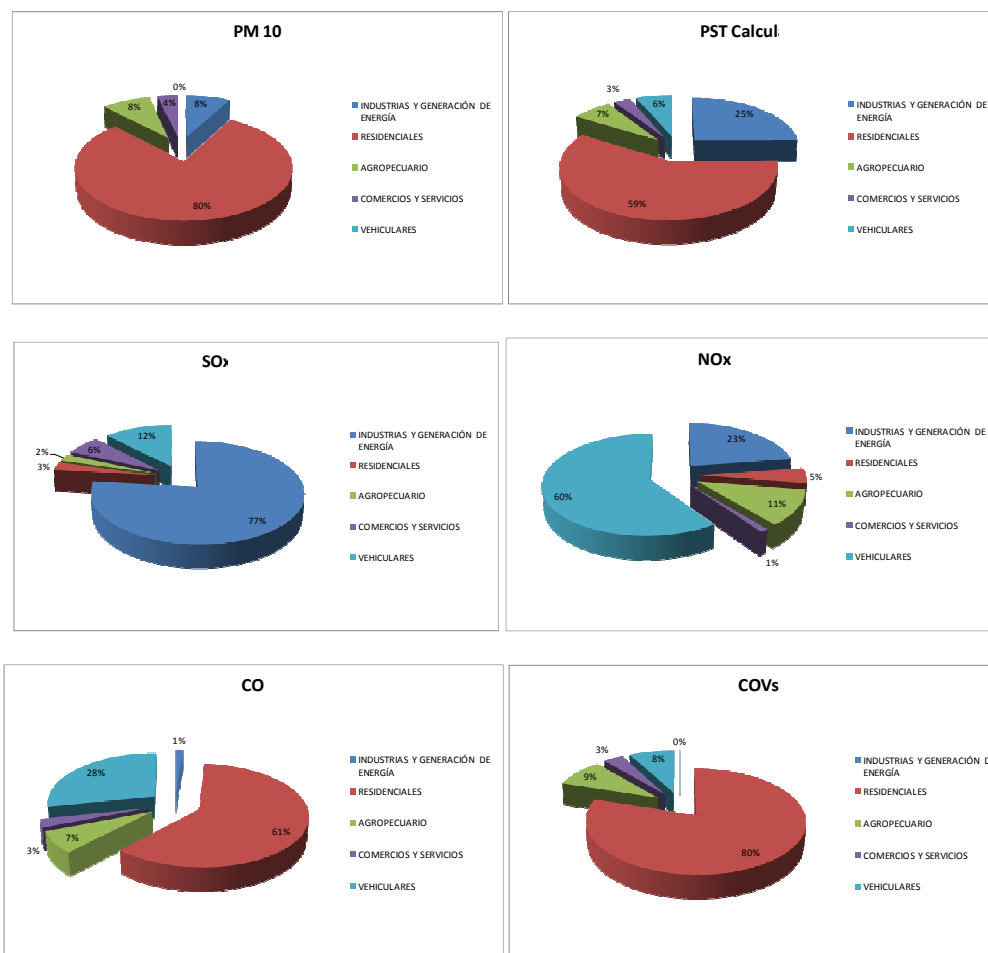
## **Principales resultados**

Cuando se analiza cuáles son los principales contaminantes emitidos por cada uno de los cinco Sectores emisores considerados, se tiene que:

- El Sector Industria y Energía es el principal emisor de  $\text{SO}_x$  y el segundo de PST.
- El Sector Transporte es el principal emisor de  $\text{NO}_x$  y el segundo de CO.
- El Sector Residencial es el principal emisor a nivel país de PST,  $\text{PM}_{10}$ , CO y COV.

- Los sectores Comercios y Servicios, y Agropecuario no son protagonistas en la emisión de ninguno de los contaminantes evaluados.

La Figura 3. 2 ilustra estas afirmaciones:



**Figura 3. 2: Aportes relativos de los sectores a las emisiones nacionales en distintos contaminantes (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008)**

## Aplicaciones del primer inventario

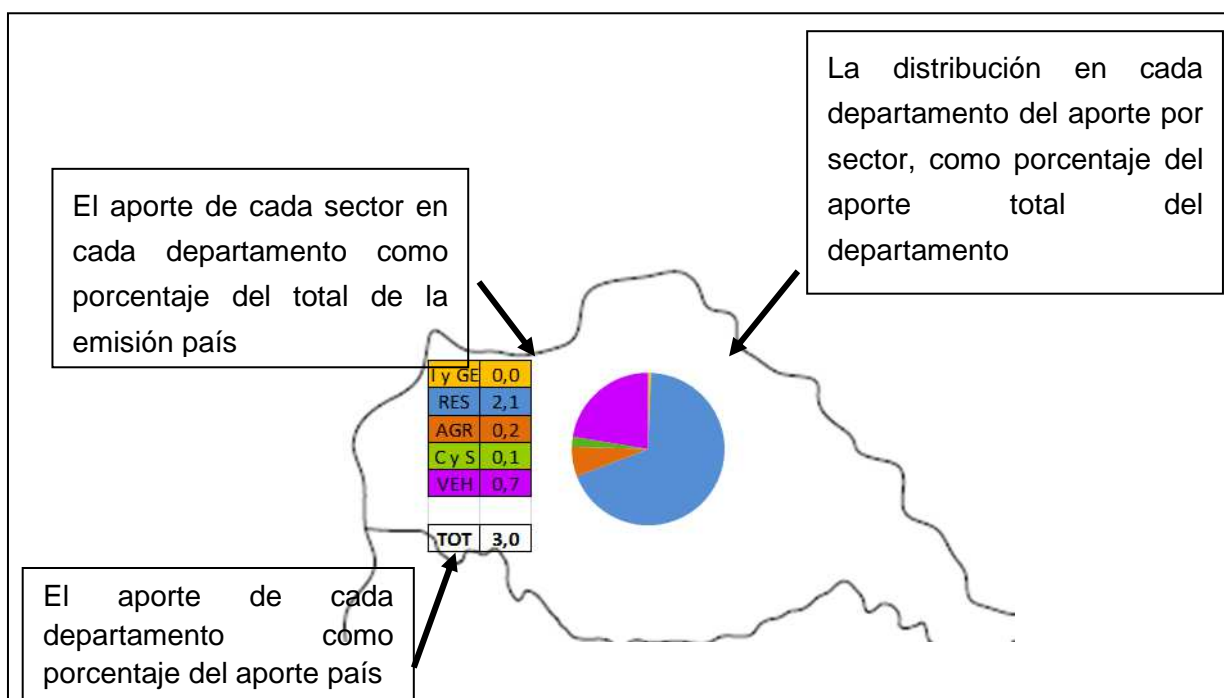
### Distribución geográfica de la emisión de los principales contaminantes emitidos

En lo que se refiere a la distribución geográfica y al aporte por departamento de los distintos sectores al aporte país (por contaminante),

se presentan a continuación esquemas (Figuras 3.4 a 3.7) donde se plantea para cada contaminante:

- El aporte de cada departamento como porcentaje del aporte país.
- El aporte de cada sector en cada departamento como porcentaje del aporte país.
- La distribución en cada departamento del aporte por sector como porcentaje del aporte total del departamento.

La presentación adoptada se presenta en la Figura 3. 3.

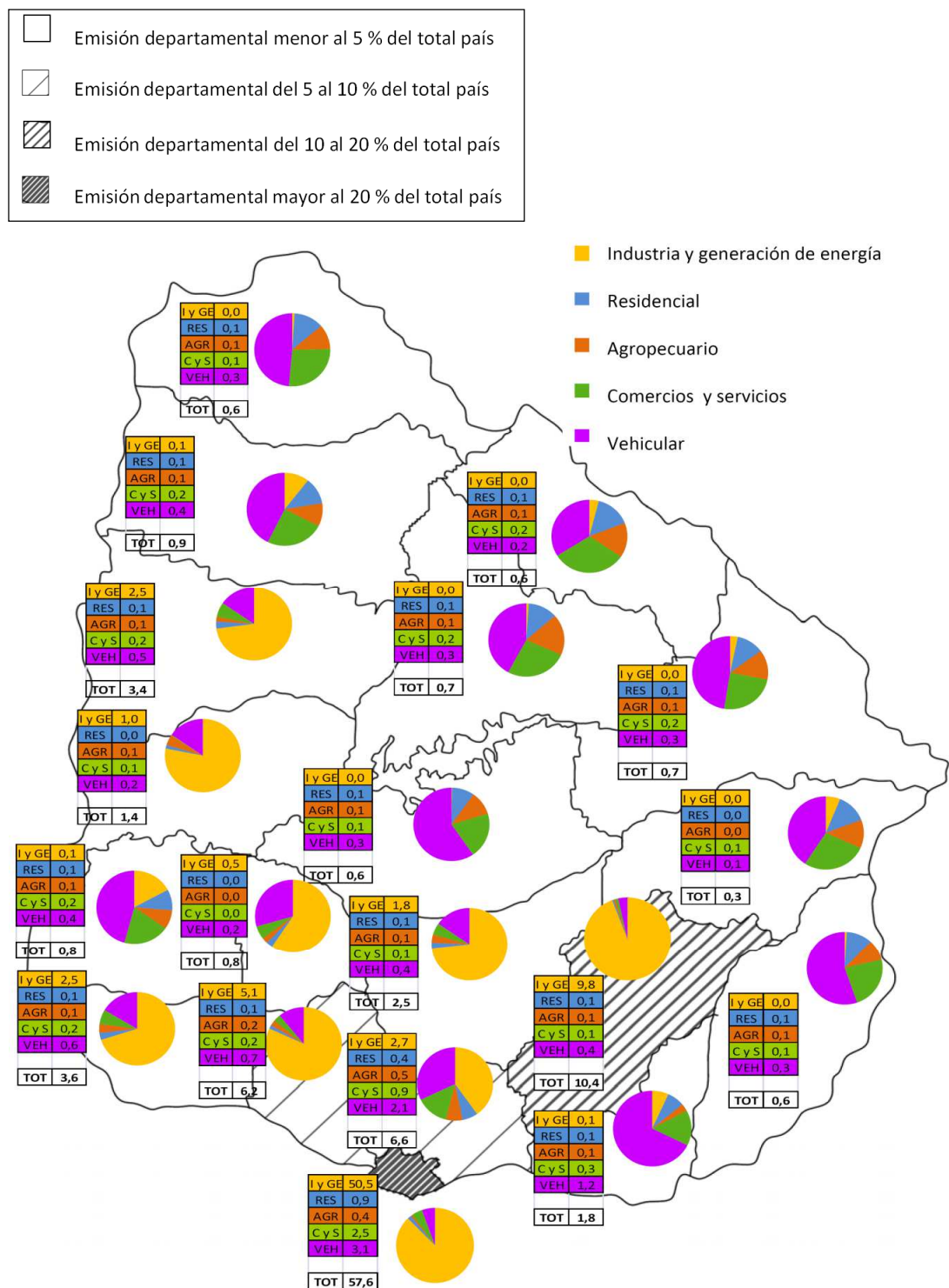


**Figura 3. 3: Ejemplo de análisis de resultados (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008)**

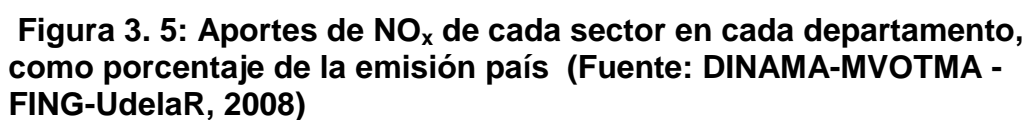
Referencias respecto a los totales departamentales:

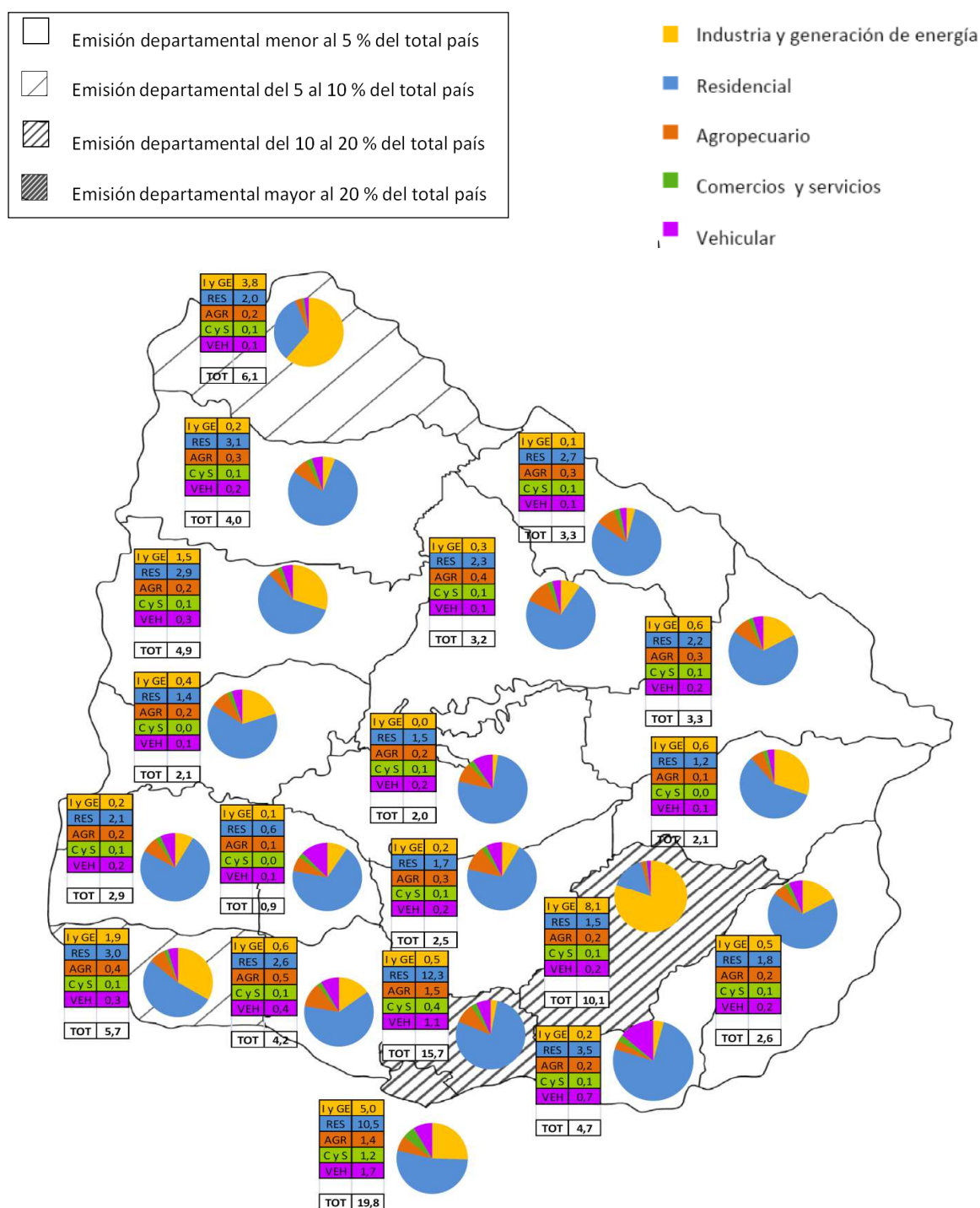
<input type="checkbox"/>	Emisión departamental menor al 5 % del total país
<input type="checkbox"/>	Emisión departamental del 5 al 10 % del total país
<input type="checkbox"/>	Emisión departamental del 10 al 20 % del total país
<input type="checkbox"/>	Emisión departamental mayor al 20 % del total país



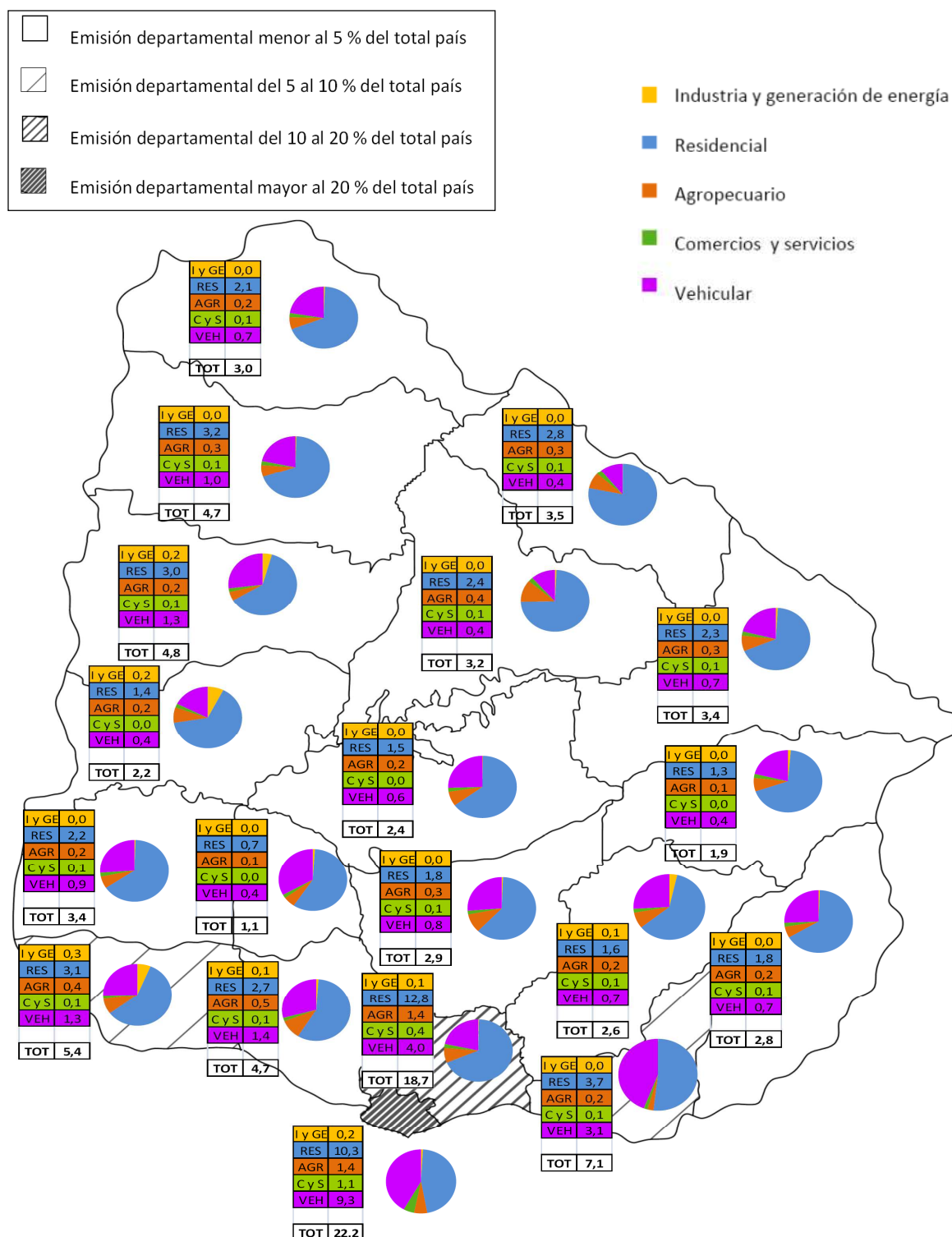


**Figura 3. 4: Aportes de SO<sub>x</sub> de cada sector en cada departamento, como porcentaje de la emisión país (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008)**





**Figura 3. 6: Aportes de PST de cada sector en cada departamento, como porcentaje de la emisión país (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008)**



**Figura 3. 7: Aportes de CO de cada sector en cada departamento, como porcentaje de la emisión país (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-Udelar, 2008)**

Se observa que el Sector Residencial es el principal sector emisor en relación a la mayoría de los contaminantes considerados en la mayor parte del país.

### **Emisiones del Sector Residencial**

La mayor incidencia en la calidad del aire de las emisiones del Sector Residencial se da en Montevideo y Canelones. Vale mencionar que a nivel del sector residencial los principales combustibles utilizados son: biomasa, supergás y gas natural.

Los principales contaminantes asociados con el Sector son CO y COV, seguidos de PST y PM<sub>10</sub>. En Canelones ocurre la mayor emisión departamental de cada uno de ellos.

En los restantes Departamentos, los contaminantes que se emiten en mayor cantidad son CO y COV, seguidos en orden decreciente de PST, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>.

Las actividades de este sector que generan mayores emisiones de los cuatro contaminantes principales de este Sector en todos y cada uno de los diferentes Departamentos implican la quema de leña en estufa, ya sea para calefacción, cocción u otras actividades.

### **Emisiones del Sector Agropecuario**

Como estas emisiones son proporcionales a la población rural de cada Departamento, la mayor incidencia en la calidad del aire de las emisiones del Sector Agropecuario se da en Canelones, seguido muy de cerca por Montevideo.

Los contaminantes que se emiten en mayor cantidad son CO y COV.

Este Sector sólo tiene un aporte de más del 10 % a nivel país en NO<sub>x</sub> (11,5 %), pero los Sectores que lo superan (Industrias y Generación de Energía y Transporte) suman más del 82 % de la emisión nacional de ese contaminante.

Las actividades del sector que generan mayores emisiones de todos los contaminantes considerados en todos y cada uno de los diferentes Departamentos son vinculadas con la quema de leña, a excepción de las emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>, que se vinculan principalmente con el uso de gasoil para fuerza motriz móvil (tractores).

### **Emisiones del Sector Comercios y Servicios**

Este Sector aporta menos del 10 % a nivel nacional de cada uno de los contaminantes considerados (su máxima incidencia es de 6,2 % en SO<sub>x</sub>).

En concordancia con las hipótesis del Sector Comercios y Servicios, la mayor incidencia en la calidad del aire de las emisiones se da en Montevideo y Canelones.

Los contaminantes que se emiten en mayor cantidad son CO y COV, seguidos de SO<sub>x</sub>.

Las actividades que generan mayores emisiones de todos los contaminantes considerados en todos y cada uno de los diferentes Departamentos son vinculadas con la quema de leña para cocción, a excepción de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> que se vinculan principalmente con el uso de fuel oil para calentamiento de agua.

### **Emisiones del Sector Industria y Generación de Energía**

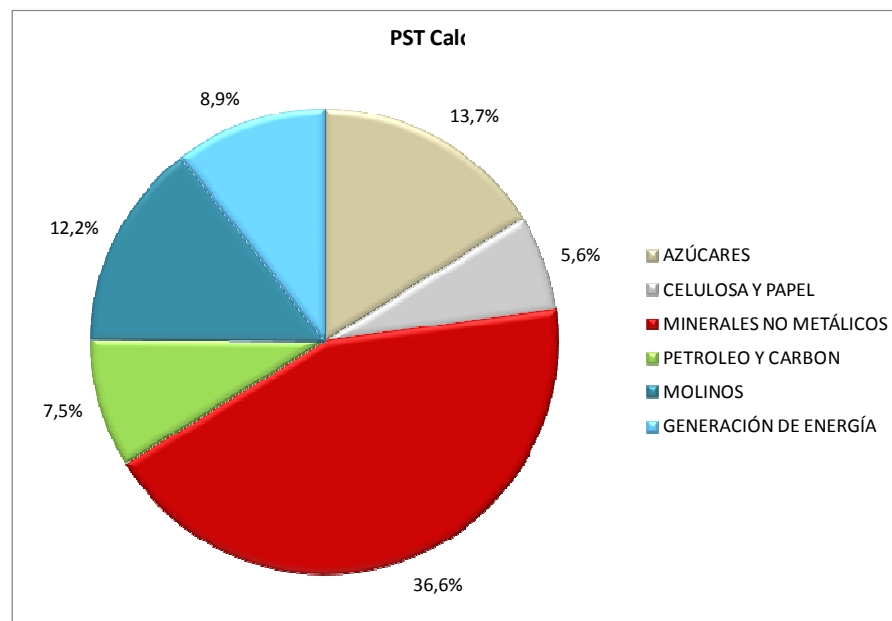
Los rubros industriales que aportan más del 5 % del total del Sector Industrial en alguno de los contaminantes considerados son los siguientes:

- PM<sub>10</sub>: minerales no metálicos, petróleo y carbón, molinos, azúcares.
- PST: minerales no metálicos, azúcar, molinos, generación de energía, petróleo y carbón, celulosa y papel.
- SO<sub>x</sub>: petróleo y carbón, generación de energía, minerales no metálicos, lácteas.
- NO<sub>x</sub>: minerales no metálicos, generación de energía, celulosa y papel, petróleo y carbón.



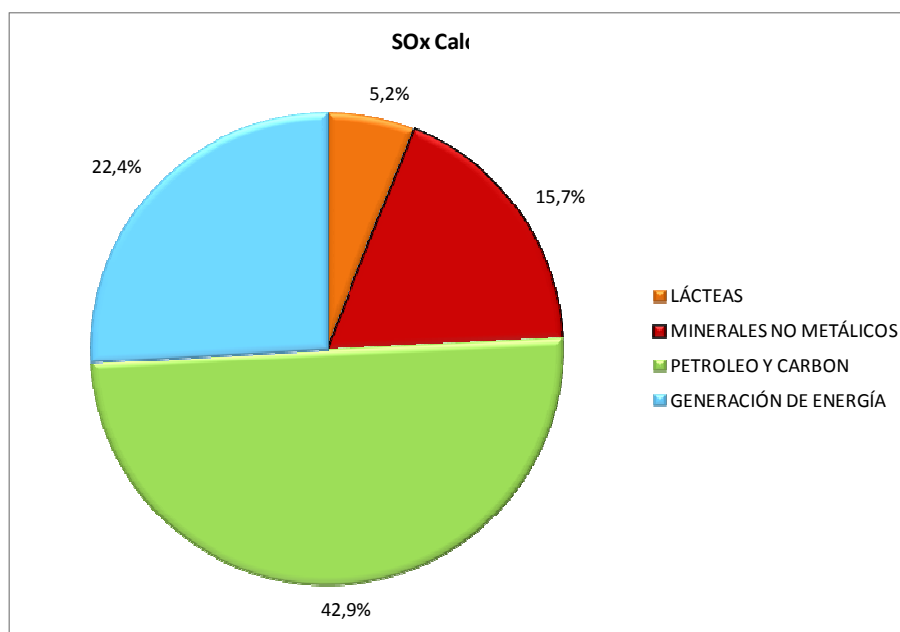
- CO: celulosa y papel, minerales no metálicos, cárnicas, molinos, lácteas, petróleo y carbón, textiles.
- COV: química, minerales no metálicos, cárnicas, bebidas.

Los rubros industriales que aportan más del 5 % del total del Sector Industrial<sup>9</sup> en alguno de los contaminantes principales del Sector (PST, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>) se ilustran en las siguientes figuras.

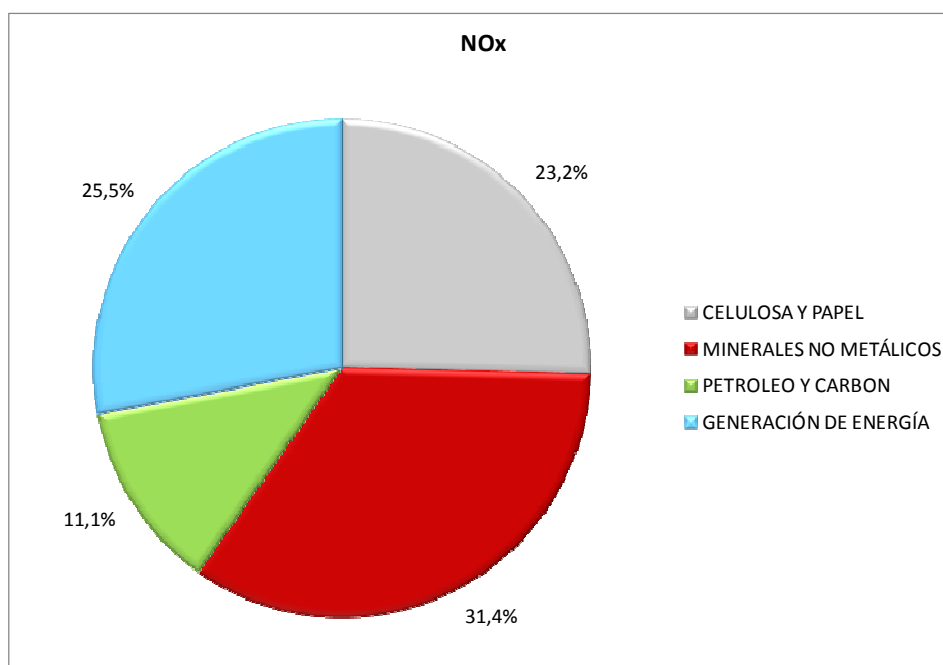


**Figura 3. 8: Emisiones industriales por rubro, aporte superior al 5 % del total del sector en el contaminante PST (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008)**

<sup>9</sup> En adelante se designa como “Sector Industrial” al sector correspondiente a Industria y Generación de Energía



**Figura 3. 9: Emisiones industriales por rubro, aporte superior al 5 % del total del sector en el contaminante SO<sub>x</sub>. (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008)**



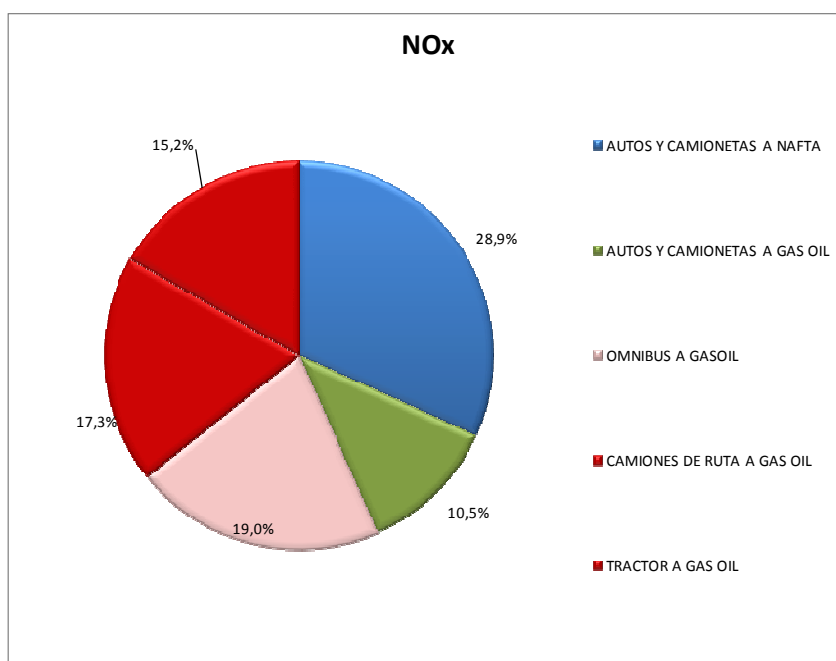
**Figura 3. 10: Emisiones industriales por rubro, aporte superior al 5 % del total del sector en el contaminante NO<sub>x</sub>. (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008)**



### **Emisiones del Sector Transporte**

El Sector Transporte es el responsable de la emisión de casi el 60 % de los NO<sub>x</sub> que se emiten a nivel nacional. Los principales emisores de NO<sub>x</sub> en este sector son los camiones y tractores para transporte carretero de cargas<sup>10</sup>, seguidos de autos y camionetas a nafta.

Este Sector emite además el 28,4 % del CO emitido a nivel nacional, y el 12,1 % de los SO<sub>x</sub>. En lo referente a partículas y COV, sus aportes no llegan al 10 % del total nacional. Los principales emisores de CO son los autos y camionetas a nafta. Los principales emisores de SO<sub>x</sub> son los autos y camionetas a gasoil, seguidos de los camiones y tractores para transporte carretero de cargas.



**Figura 3. 11: Emisiones vehiculares por departamento, aporte superior al 10 % del total del sector en el contaminante NO<sub>x</sub> (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008)**

<sup>10</sup> “Camiones y tractores para transporte carretero de cargas” es la suma de los camiones de más de 5 Ton y los camiones con remolque.

Los tipos de vehículos que aportan cada uno por lo menos el 10 % a la emisión de los contaminantes de mayor interés para el Sector Transporte son:

- NO<sub>x</sub>: camiones y tractores para transporte carretero de cargas, autos y camionetas a nafta, ómnibus a gasoil, autos y camionetas a gasoil.
- CO: autos y camionetas a nafta.
- SO<sub>x</sub>: autos y camionetas a gasoil, camiones y tractores para transporte carretero de cargas, ómnibus a gasoil.

Los tipos de vehículos que realizan en conjunto un aporte del 50 % o más de los contaminantes de mayor interés en el Sector Transporte son:

- NO<sub>x</sub>: camiones y tractores para transporte carretero de cargas (32,4 %), autos y camionetas a nafta (28,9 %).
- CO: autos y camionetas a nafta (81,1 %).
- SO<sub>x</sub>: autos y camionetas a gasoil (34,9 %), camiones y tractores para transporte carretero de cargas (32,9 %).

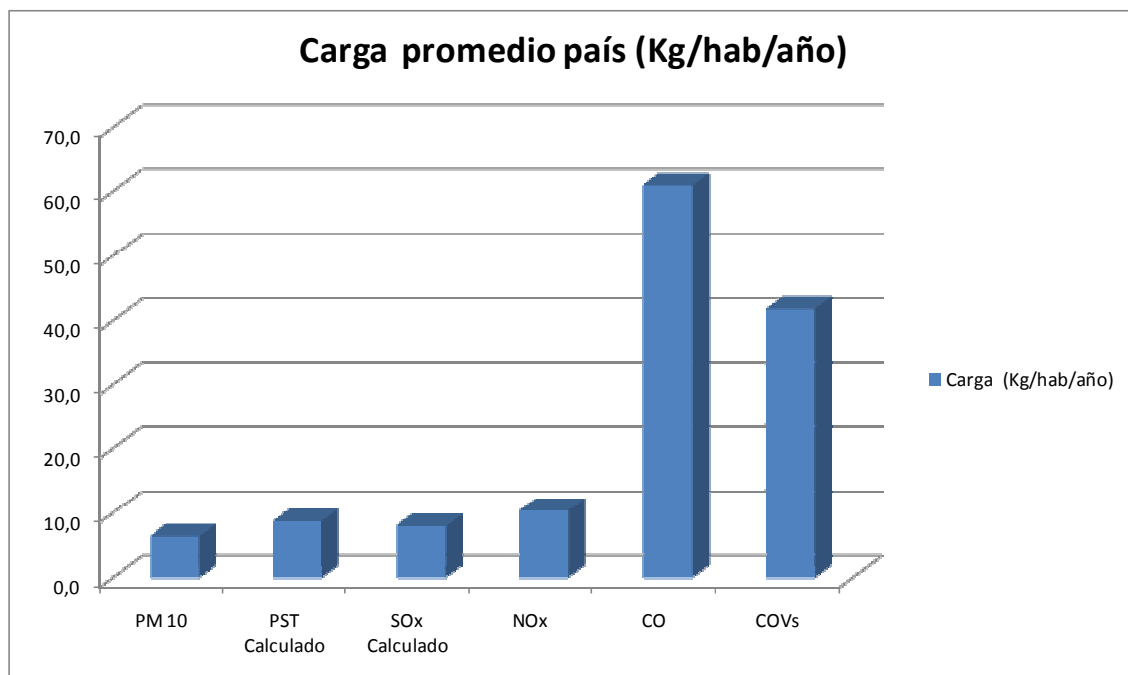
Además, los autos y camionetas a gasoil aportan el 51,0 % de las PST que emite el Sector y los autos y camionetas a nafta aportan el 67,1 % de los COV.

### **Emisiones específicas por habitante y por año**

Tasas de emisión específica de cada contaminante

Al calcular una tasa de emisión por habitante y por año para cada uno de los contaminantes analizados, a nivel nacional se obtienen los siguientes valores:

- PM<sub>10</sub>: 6,3 kg/hab/año
- PST: 8,7 kg/hab/año
- SO<sub>x</sub>: 7,9 kg/hab/año
- NO<sub>x</sub>: 10,4 kg/hab/año
- CO: 60,9 kg/hab/año
- COV: 41,8 kg/hab/año



**Figura 3. 12: Aporte promedio país en los contaminantes considerados expresado en kg/hab/año (Fuente: DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, 2008)**

En todos los casos, uno solo de los grandes Sectores es el que aporta por lo menos el 50 % del valor específico per cápita: Residencial para PM<sub>10</sub>, PST, CO y COV; Industrial para SO<sub>x</sub>; Transporte para NO<sub>x</sub>.

### **Limitaciones de los resultados obtenidos y advertencias sobre su uso**

El documento del Primer Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera advierte que es conveniente que los resultados se interpreten teniendo presentes los siguientes puntos:

- Puede haber subestimación en las emisiones del Sector Industria y Generación de Energía.
- La distribución geográfica de las emisiones de los Sectores Residencial, Comercios y Servicios, y Agropecuaria, se apoyan sobre hipótesis de corte teórico basadas en la distribución de la población.

- Puede haber subestimación en las emisiones del Transporte, al no haber considerado las emisiones en los puertos o aeropuertos.
- La distribución geográfica de las emisiones del Sector Transporte se realiza de acuerdo al Departamento en que están empadronados los vehículos y se asigna exclusivamente a ese Departamento, lo que en general no es una hipótesis representativa de los lugares por los que cada vehículo puede transitar.

### **Líneas de acción propuestas**

A partir de la interpretación de los resultados obtenidos en el Primer Inventario, se esbozan las siguientes cuatro grandes líneas de acción:

#### Principales políticas a considerar:

**A. Control de las emisiones industriales en forma sistemática y periódica**, del mismo modo que se hace con los efluentes líquidos. A modo de orientación, se indican dos niveles de prioridad a considerar para la puesta en práctica de esta política, indicando además en qué Departamentos se sugiere enfatizar el control de cada rubro industrial mencionado:

- **Rubros industriales de principal interés** a la hora de controlar la calidad del aire son: Petróleo y Carbón; Minerales no metálicos; Generación de energía; Azúcar;
- **Rubros industriales en un segundo plano de interés** en cuanto a calidad del aire, cuya relevancia a nivel nacional no es marcada pero sí pueden tener incidencia local: Químicas; Celulosa y Papel; Molinos de arroz.

**B. Control de emisiones vehiculares en todo el país**, especialmente a nivel de vehículos livianos. También surge como necesario modificar el control que actualmente se realiza a vehículos interdepartamentales en SUCTA, de modo de cuantificar las emisiones de los diferentes contaminantes criterio y no sólo la opacidad de las mismas, asignando plazos breves para realizar un segundo control cuando se presente algún nivel de no conformidad. El uso y estado de mantenimiento de los vehículos tiene una incidencia muy importante en las emisiones de los mismos.

Los vehículos nuevos deben ser aprobados por alguna autoridad competente antes de su ingreso al país, de modo de asegurar que sus niveles de emisión sean compatibles con los objetivos de calidad ambiental de nuestro país.

Es necesario tener en cuenta también que la calidad del combustible no sólo condiciona la cantidad y tipo de contaminantes presentes en las emisiones vehiculares, sino también las posibilidades de control de dichas emisiones (por ejemplo, el uso de convertidores catalíticos). Es necesario apuntar a que la calidad de los combustibles que se comercialicen en el país tenga en cuenta explícitamente estos aspectos.

**C. Control / registro de dispositivos para quema de leña en todo el país**, implementando a nivel municipal un registro de instaladores / constructores y la obligatoriedad de declarar la existencia o construcción de uno de estos dispositivos y sus características. Esto se constituirá en un insumo sumamente relevante a la hora de realizar la actualización del Inventario de Emisiones a la Atmósfera.

**D. Mejora de la eficiencia energética de las residencias**, por medio de la implementación de medidas en el aislamiento térmico de las mismas, lo que redundará en la disminución del uso de leña (y otros combustibles).

## **4. CASO DE APLICACIÓN: INVENTARIO DE EMISIONES DE CONSUMO DE ENERGÍA**

### **4.1 Objetivos del Inventario**

El objetivo de este Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera debidas al Consumo de Energía es obtener un diagnóstico cualitativo y cuantitativo de las emisiones que ocurren en el territorio nacional como producto de la combustión, los principales contaminantes emitidos, los principales sectores contaminantes, los usos que generan la mayor parte de las emisiones y demás información relevante para el diagnóstico.

Un posible uso del Inventario es el de determinar los efectos de medidas de control en las tasas de emisión sobre la calidad del aire en distintas regiones del país, así como la variación de las emisiones en el caso que se incorpore o modifique el uso de algún energético o se implementen planes de mejora de eficiencia por sector.

En lo que respecta a la representación de un inventario nacional, los parámetros SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de un inventario completo son representados con baja incertidumbre al considerar solamente las emisiones del sector energía; éste no es el caso de los COV (Lubkert, 1989).

### **4.2 Matriz Energética Uruguay**

A continuación se realiza una breve descripción de la matriz energética nacional a los efectos de comprender los consumos de energía realizados en el país.

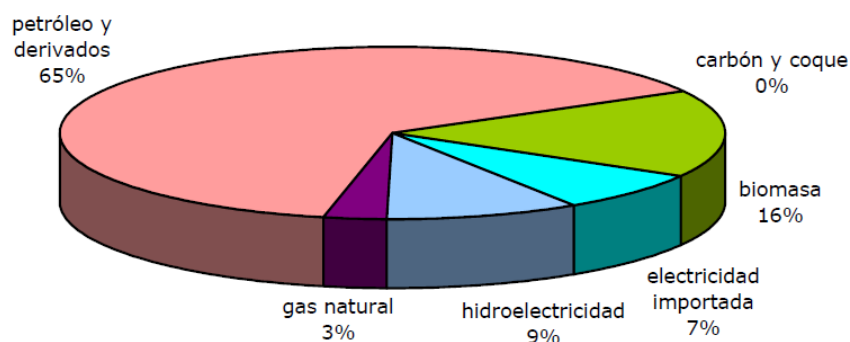
La matriz energética nacional resume la información anual de oferta y demanda de energía a nivel nacional, el organismo encargado de su publicación es la Dirección Nacional de Energía (DNE), el balance se realiza anualmente.

Uruguay es de los países de la región uno de los que cuenta con una serie histórica más completa: se cuenta con información desde el año 1965 al 2006. Los valores están expresados en ktep (miles de toneladas

equivalentes de petróleo). La conversión de las magnitudes de ktep a volumen de combustible, a los efectos del cálculo del nivel de actividad, se realizará a través de su respectivo poder calorífico.

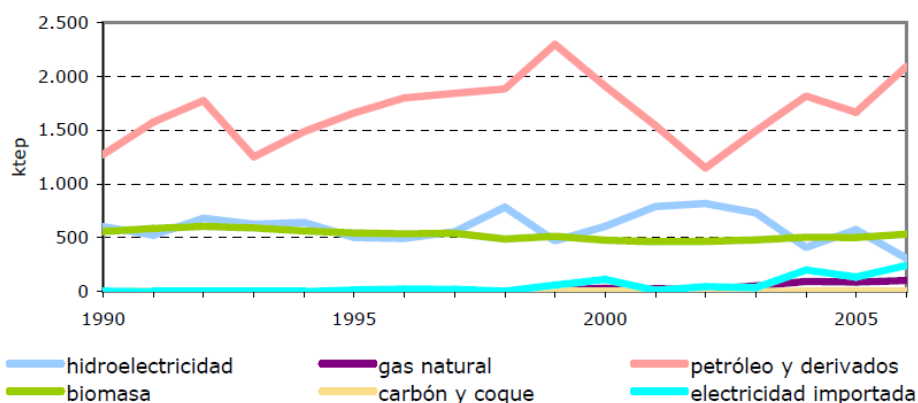
A continuación se analiza la información del Balance Energético de 2006 desde el punto de vista de la oferta y la demanda.

En la figura siguiente se observa la estructura de abastecimiento de energía correspondiente al año 2006. La oferta del país se encuentra dada por la generación de energía eléctrica de origen hidráulico con un 9 % y de biomasa con un 16 %.



**Figura 4. 1: Abastecimiento de energía por fuente - 2006 (Fuente: DNE-MIEM, 2006)**

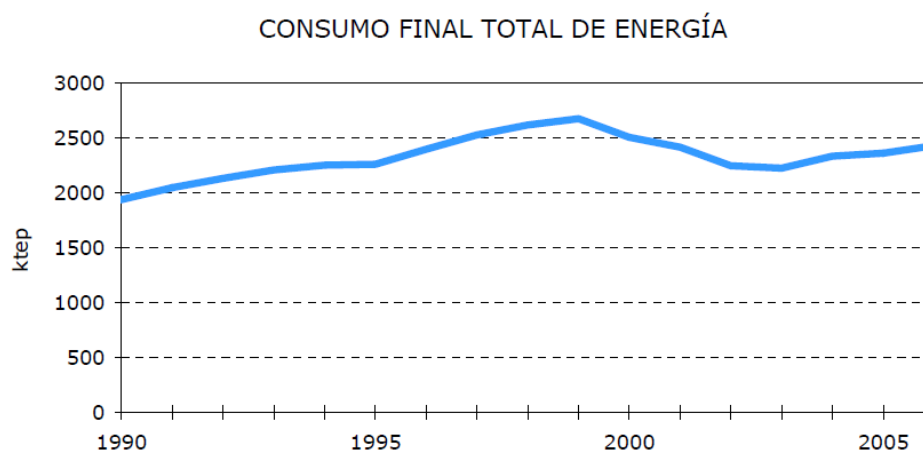
Conviene destacar que el 2006 fue un año de poca hidraulicidad lo que genera una distorsión en lo que respecta a la participación de derivados de petróleo. En el siguiente gráfico se observa la evolución del abastecimiento de energía por fuente para el período 1990-2006.



**Figura 4. 2: Evolución 1990-2006 abastecimiento de energía por fuente (Fuente: DNETN-MIEM, 2006)**

De acuerdo con el Balance Energético 2006: *"La dependencia del país en cuanto al abastecimiento de petróleo desde el exterior y su incidencia en el balance comercial, plantean la necesidad de desarrollar políticas tendientes a atenuar los impactos del consumo de petróleo en la economía."* DNETN-MIEM, 2006

Es posible observar el efecto que tuvo la crisis económica del 2002 en la evolución temporal del consumo final total de energía: el consumo crece desde 1940 ktep en 1990 a 2677 ktep en 1999; luego comienza a disminuir a partir del año 2000, llegando a un mínimo local de 2226 ktep en el 2003, o sea un valor levemente superior al correspondiente al año 1993; posteriormente esta tendencia se revierte y el consumo energético alcanza, en el 2006, los 2432 ktep.

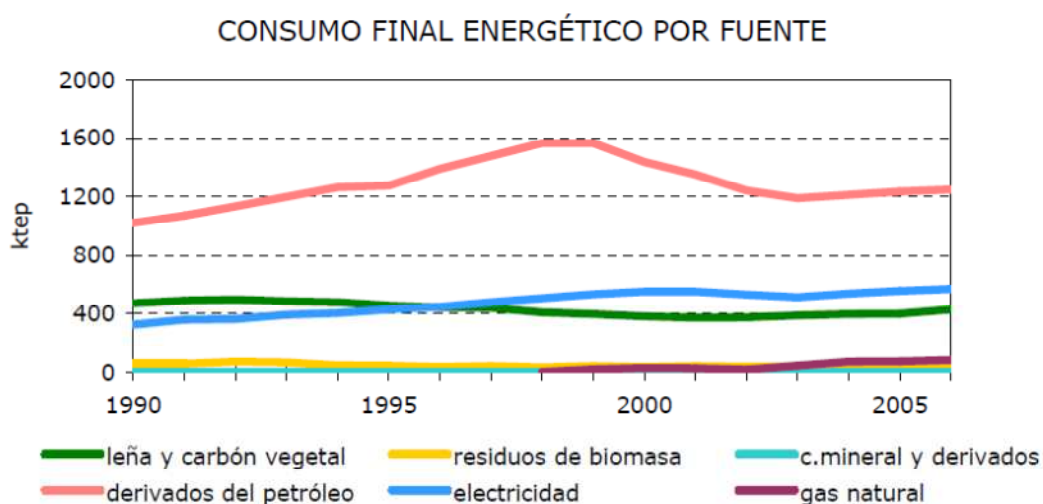


**Figura 4. 3: Evolución 1990-2006 consumo final total de energía (Fuente: DNE-MIEM, 2006)**

Se entiende por consumo final de energía al consumo de los distintos sectores de consumo (residencial, industrial, etc.); no incluye el consumo del sector energético utilizado para la producción o transformación de energía. En la Figura 4. 4 se observa la evolución del consumo final energético por fuente desde el año 1990. El consumo de biomasa que venía disminuyendo desde el principio de la década del '90, ha

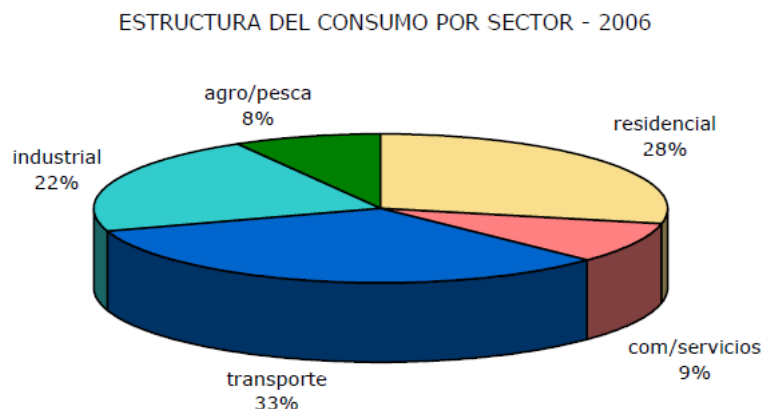


aumentado en estos últimos años, debido a un mayor consumo de leña en la industria.



**Figura 4. 4: Evolución 1990-2006 consumo energético por fuente.**  
(Fuente: DNE-MIEM, 2006)

Finalmente, en la Figura 4. 4 se presenta la participación de los diferentes sectores en el consumo final energético 2006. Los sectores transporte y residencial son los de mayor participación, con un 33 % y 28 % respectivamente. La participación del sector industrial fue 22 %, mientras que las participaciones de los sectores comercial/servicios y agro/pesca son de un 9 % y 8 % respectivamente.



**Figura 4. 5: Estructura de consumo por sector - 2006 (Fuente: DNETN-MIEM, 2006)**

### **POLÍTICA ENERGÉTICA NACIONAL 2005-2030**

En el año 2008, la Dirección Nacional de Energía presenta al Poder Ejecutivo una propuesta de Política Energética 2005-2030 (Fuente: DNE-MIEM, 2009). La misma se basa los siguientes elementos:

- Los Lineamientos Estratégicos, que definen los grandes ejes conceptuales de la política energética.
- Las Metas a alcanzar en el corto (5 años), el mediano (10 a 15 años) y el largo (20 años y más) plazo.
- Las Líneas de Acción necesarias para alcanzar dichas Metas.
- El Análisis de Situación permanente del tema energético en el país, en la región y en el mundo.

A continuación se presentan las metas a alcanzar a corto mediano y largo plazo:

#### 1) Metas al 2015 (corto plazo):

La participación de las fuentes autóctonas renovables ha alcanzado el 50% de la matriz de energía primaria total. En particular:

- *"La participación de las fuentes renovables no tradicionales (eólica, residuos de biomasa y microgeneración hidráulica) llega al 15% de la generación de energía eléctrica.*

- *Al menos el 30% de los residuos agroindustriales y urbanos del país se utilizan para generar diversas formas de energía, transformando un pasivo medioambiental en un activo energético.*
- *Ha disminuido un 15% el consumo de petróleo en el transporte, en comparación con el escenario tendencial, mediante el impulso de nuevos modos, medios, tecnología y fuentes*
- *Se ha ampliado la universalización en el acceso a la energía hasta alcanzar, en particular, el 100% de electrificación del país mediante una combinación de mecanismos y fuentes.*
- *La cultura de la Eficiencia Energética ha permeado a toda la sociedad.*
- *El país cuenta con empresas nacionales produciendo insumos energéticos y desarrollando procesos energéticamente eficientes."*  
(DNE-MIEM, 2009)

## 2) Metas al 2020 (mediano plazo):

- *"Se alcanza el nivel óptimo en relación al uso de energías renovables, en particular energía eólica, biomasa, solar térmica y biocombustibles.*
- *Se alcanza el equilibrio en relación al uso de residuos para generar energía.*
- *El uso del gas natural en la matriz energética global ha alcanzado su nivel de estabilidad y sustentabilidad.*
- *La refinería de La Teja ha culminado su proceso de modernización; en particular, es capaz de procesar crudos pesados.*
- *Se ha logrado la integración vertical de ANCAP.*
- *Ha culminado la exploración del territorio nacional en búsqueda de energéticos.*
- *El país ha desarrollado planes piloto mediante el uso de nuevas fuentes de energía y/o tecnologías en desarrollo.*
- *El consumo de energía del país ha disminuido 20% en relación al escenario tendencial, mediante una combinación de acciones que promueven la Eficiencia Energética.*
- *Se ha logrado un acceso adecuado a la energía para todos los sectores de la sociedad.*
- *El país cuenta con empresas líderes a nivel regional, produciendo insumos energéticos y desarrollando procesos que promueven la Eficiencia Energética."*

(DNE-MIEM, 2009)

3) Metas al 2030 (largo plazo):

- *"El modelo energético uruguayo es modelo a nivel mundial; en particular, la intensidad energética del país es una de las mejores del mundo*
- *El país ha ahorrado al menos diez mil millones desde 2010 por sustitución de fuentes y promoción de la Eficiencia Energética, en relación al escenario tendencial.*
- *El país cuenta con empresas líderes a nivel mundial, produciendo insumos energéticos y desarrollando procesos que promueven la Eficiencia Energética.*
- *El país es líder en el uso de determinadas fuentes y en el desarrollo de determinadas tecnologías y procesos energéticos.*
- *Se ha alcanzado la integración energética regional; en particular, existen proyectos bi y trinacionales en funcionamiento."*

(DNE-MIEM, 2009)

## **BALANCE ENERGÉTICO DETALLADO - ESTUDIO FUNDACIÓN BARILOCHE**

A continuación se hace referencia al trabajo *"Estudios de base para el diseño de estrategias y políticas energéticas: relevamiento de consumos de energía sectoriales en términos de energía útil a nivel nacional"* sobre consumos de energía neta y útil de todas las fuentes energéticas y sus diversos usos para el año 2006.

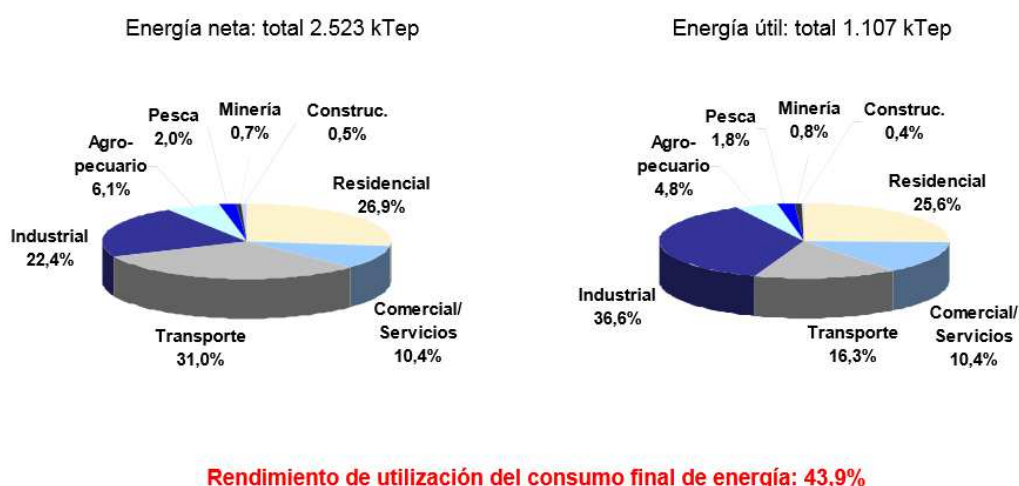
Vale mencionar que se designa como energía útil a la energía neta (o energía consumida) menos las pérdidas de utilización.

Este estudio surge de un proyecto en conjunto entre la Dirección Nacional de Energía (DNE), Fundación Bariloche y el Programa de Estudios e Investigación en Energía de la Universidad de Chile. Fue realizado entre los años 2007 y 2009.

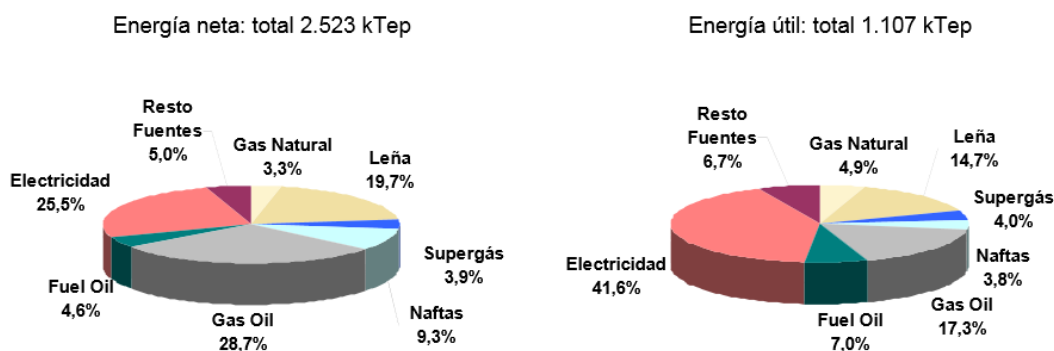
El trabajo desagrega los consumos en los siguientes sectores: residencial, industrial, comercial y servicios, agropecuario, minería, pesca, construcción y transporte, para los cuales se presenta información

desagregada por subsectores. A partir de estos datos, se cuantifica la actividad de los distintos sectores.

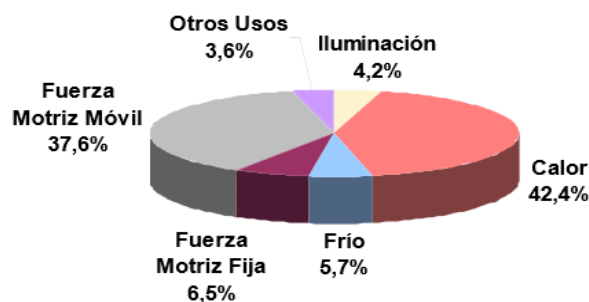
El estudio se basa en la realización de encuestas de consumo de energía en términos de energía neta y útil, por fuente y uso, equipamiento disponible y modalidad de uso, con cobertura nacional. Para el sector transporte la metodología no se basó en encuestas sino que a partir del Balance Energético y con información del Ministerio de Transporte y Obras Públicas y de las intendencias sobre el parque vehicular, se obtuvieron los consumos para los diferentes modos de transporte, desagregado en las categorías definidas.



**Figura 4. 6: Consumo final de energía neta y útil por sectores - 2006**  
(Fuente: DNE-MIEM, 2008)



**Figura 4. 7: Consumo final de energía neta y útil por fuentes - 2006**  
(Fuente: DNE-MIEM, 2008)



**Figura 4. 8: Consumo final de energía neta por usos - 2006 (Fuente: DNE-MIEM, 2008)**

### Residencial

El sector Residencial consume, en el año 2006, 679,3 kTep de energía neta que, expresados como energía útil, representan 283,3 kTep; esto significa un rendimiento promedio de utilización de la energía de 41,7 %.

La Leña se constituye en la fuente de mayor importancia: representa el 43 % del consumo neto total de energía. El resto de las fuentes relevantes son la Electricidad, con el 38 % del total de la energía neta consumida y el Supergás con el 13 %, seguidas por el Gas Natural, los Residuos de Biomasa, y el Fuel Oil con el 1,9 %, el 1,2 % y el 1,1 % de la energía neta consumida por el sector, respectivamente.

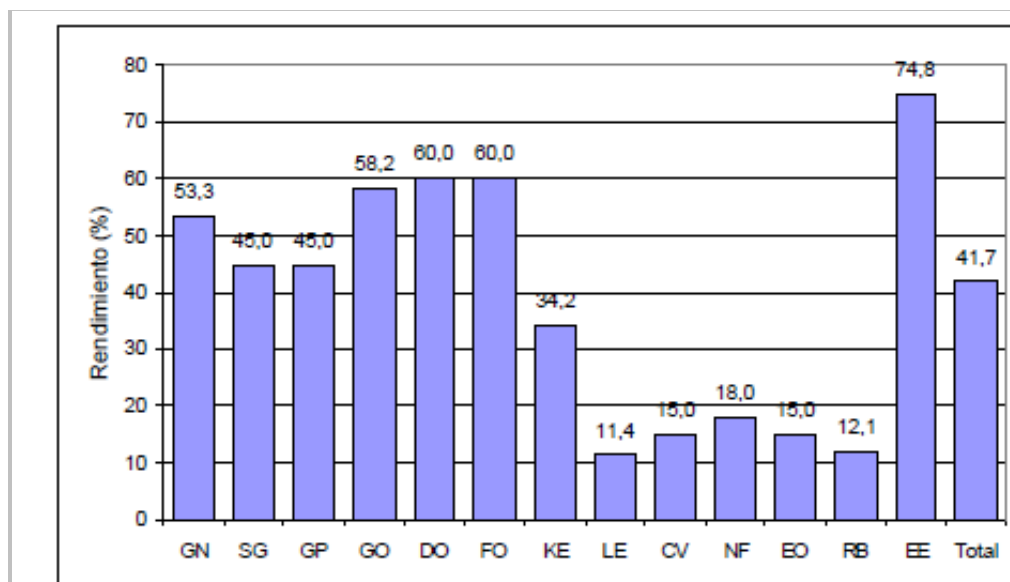
En lo que refiere a usos, la Calefacción es el uso más importante en términos de consumo neto Residencial, con el 32 %; le siguen en orden de importancia la Cocción y el Calentamiento de Agua (28 % y 18 % del consumo total de energía neta respectivamente). La Calefacción encuentra 7 fuentes en competencia. La Leña permanece como fuente líder, aunque baja del 81 % de participación en el uso en términos de energía neta a sólo el 46 % en energía útil. Los rendimientos son del 11,4 % para la Leña y 45 % para el Supergás. Tanto el Gas Natural como el Fuel Oil poseen también rendimientos muy superiores –de 53,3 % y 60 %, respectivamente- al 41,7 % promedio de Uruguay.

De acuerdo a lo enunciado en el documento de referencia: *"La enorme preeminencia de los usos calóricos"<sup>11</sup> (78 % del total, siempre expresado en energía neta) es la que determina esta estructura sesgada hacia la*

<sup>11</sup> Suelen ser denominados también "usos térmicos" o más vulgarmente "de calentamiento" refiriéndose a la Cocción, la Calefacción y el Calentamiento de Agua.

Leña, ya que los dos usos principales, Cocción y Calefacción, se sustentan en esta fuente tradicional. La Leña explica entonces el 81 % de la energía empleada en Calefacción, el 56 % de la energía neta consumida para Cocción y el 10 % de las fuentes requeridas para Calentamiento de Agua." (DNE-MIEM, 2008)

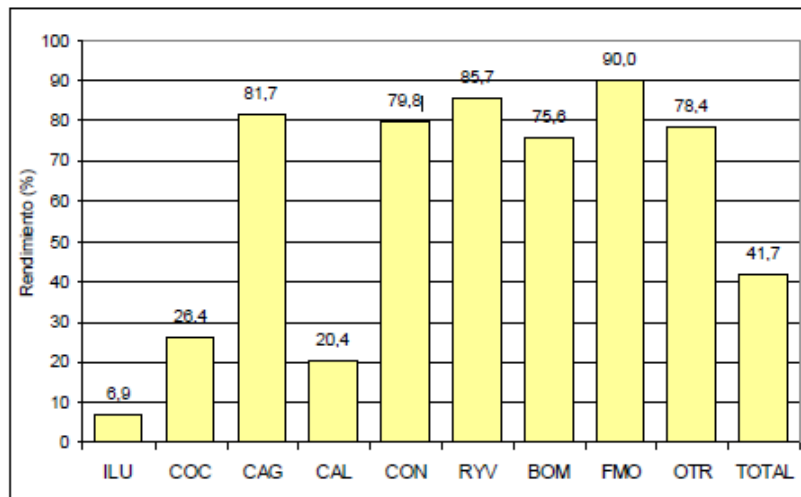
Por otra parte, se enuncia: "Los artefactos de eficiencia superior en calefacción insumen las siguientes fuentes: Electricidad, Fuel Oil, Gas Oil, Supergás, Gas Natural y Queroseno, siendo sus participaciones del 17 %, 13 %, 10 %, 5 %, 5 % y 2,2 %, respectivamente. Evidentemente si se desea ganar en eficiencia, promoviendo el empleo de fuentes y artefactos que desplacen a la Leña, el uso principal de la misma ofrece una amplia gama de alternativas a desarrollar." (DNE-MIEM, 2008)



**Figura 4. 9: Sector residencial. Rendimientos de utilización por fuentes, año 2006 en %. (Fuente: DNE-MIEM, 2008)**

Los dos usos principales del sector representan más del 60 % del consumo de energía neta total del Sector y ambos poseen muy pobres rendimientos: 26,4 % para la Cocción y 20,4 % para el Calentamiento de Agua.

Gráfico 5.1.4  
Sector Residencial  
Rendimientos de Utilización por Usos  
Año 2006 – en %



Fuente: elaboración propia.

**Figura 4. 10: Sector residencial. Rendimientos de utilización por usos, año 2006 en %. (Fuente: DNE-MIEM, 2008)**

En el caso particular del sector residencial, en el documento se realiza un análisis de los procesos de sustitución energética. En ese análisis se determina qué fuentes compiten, o van a competir dentro del periodo de prospectiva, para la satisfacción de un determinado uso.

Se indica también que la disponibilidad y acceso de los consumidores a tal o cual fuente y la tecnología para su utilización inciden de forma distinta en las decisiones del usuario; el estudio indaga en algunos de los factores que suelen tener mayor peso en estas decisiones.

Los factores que inciden en las sustituciones se pueden dividir en dos grandes grupos: “1) de índole social; y 2) de índole individual. Los primeros se enmarcan en las políticas energéticas públicas implementadas o a implementar; por ejemplo la promoción o desaliento en la utilización de tal o cual fuente atento a la magnitud de sus reservas, su impacto en la balanza comercial y la autarquía energética, la generación de valor agregado local, el impacto ambiental, etc. Entre los segundos, los factores de índole individual, se consideran como más importantes: a) el costo de la fuente, b) el costo de inversión en equipos e instalaciones, c) la calidad de la prestación, y d) el impacto ambiental.” (DNE-MIEM, 2008)



Los cuatro factores de sustitución evaluados en el estudio son los siguientes:

- Costo de la fuente de energía
- Costo del equipamiento nuevo y de su instalación
- La seguridad, comodidad y limpieza de la fuente de energía (calidad de la prestación)
- El daño sobre el medio ambiente exterior

Los resultados de las encuestas realizadas se utilizan luego en el análisis de sustituciones, para estimar la penetración de las distintas fuentes de energía en cada uso donde hay competencia entre fuentes.

Importancia	Costo de la fuente	Inversión en equipos e instalación	Calidad de la prestación	Impacto ambiental	Importancia	Costo de la fuente	Inversión en equipos e instalación	Calidad de la prestación	Impacto ambiental
1º	45,8%	16,4%	22,3%	15,5%	1º	49,0%	20,3%	18,1%	12,7%
2º	29,2%	29,9%	21,8%	19,1%	2º	27,4%	38,4%	24,5%	9,7%
3º	17,0%	28,2%	38,4%	16,4%	3º	16,9%	25,7%	43,9%	13,5%
4º	8,0%	25,5%	17,5%	49,0%	4º	6,8%	15,6%	13,5%	64,1%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4. 11: Sector residencial. Importancia de factores de sustitución (izquierda: Urbano, derecha: Rural) (Fuente: DNE-MIEM, 2008)**

De acuerdo con este informe, las diferencias en las prioridades de los usuarios rurales respecto a los urbanos en la elección de una fuente son coherentes con un menor ingreso promedio y una menor utilización de financiamiento para la adquisición de los equipos.

También se analiza en el documento mencionado el mercado potencial en el sector Residencial para la penetración del Gas Natural, suponiendo que el Gas Natural no desplaza a la Leña ni al Carbón Vegetal en Cocción, pero sí en los restantes usos calóricos. Tampoco sustituye a los Residuos de Biomasa. Se asume a su vez que la sustitución se daría sólo en el caso de hogares urbanos.

Los consumos de energía útil a sustituir por Gas Natural, siempre hablando de un potencial teórico, son los indicados en la figura 4.12. Puede verse que el total alcanza a 43,8 kTep, lo que representa el 29 % del consumo útil total del sector y de esta cantidad, los usos Calentamiento de Agua y Calefacción son los que presentan un mayor potencial de sustitución en términos absolutos.

Año 2006 – en Tep										
Usos	SG	GP	GO	DO	FO	KE	LE	CV	EE	Total
Cocción	28.955	231				78			7.584	36.847
Calentamiento de Agua	2.399	28	611		65	17	1.049		88.914	93.082
Calefacción	5.505	60	2.242	243	4.314	902	17.638	5	7.482	38.391
TOTAL	36.858	319	2.853	243	4.379	996	18.687	5	103.980	168.320

**Figura 4. 12: Sector residencial. Energía útil potencial a sustituir por el gas natural (Fuente: DNE-MIEM, 2008)**

### Transporte

Dentro del modo Carretero, en el cual se consumió durante el 2006 el 94 % de los combustibles demandados por el sector Transporte, se realizó una desagregación más detallada por tipo de *medio*, con el fin de identificar con mayor precisión la responsabilidad de cada categoría de vehículos en el consumo total del sector.

Se consideraron los siguientes rendimientos promedio en el sector Transporte, en función del material de propulsión: vehículos con motores ciclo Otto, 18 %; vehículos con motores Diesel, 24 %.

### Industria

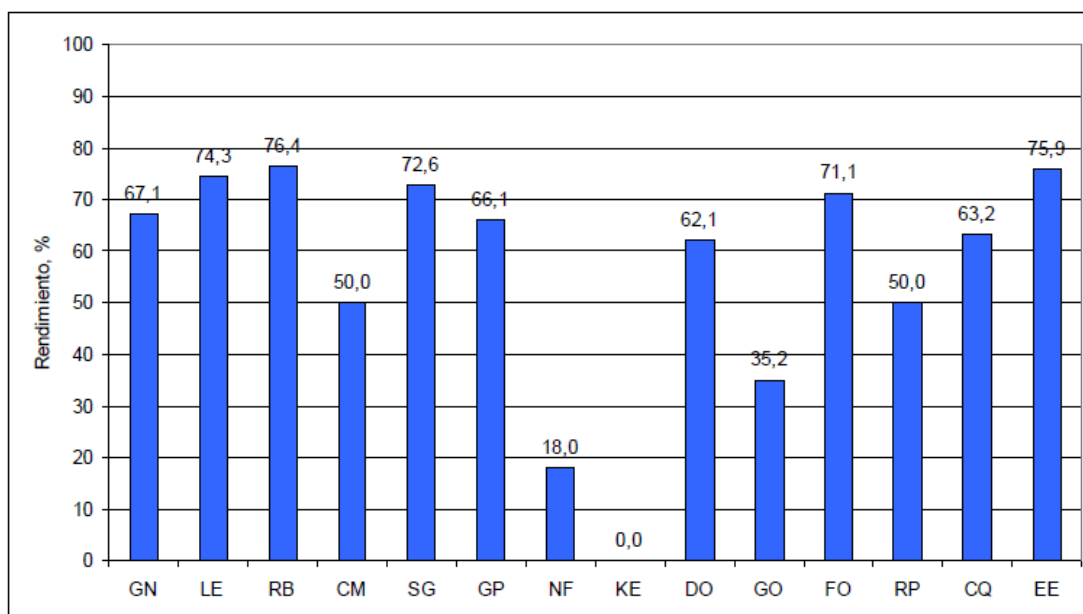
El consumo de Energía Neta estimado para el Sector Industrial es de 566,1 kTep. Las principales fuentes son: Leña con 152,7 kTep (27% de participación), Electricidad con 150,1 kTep (27 %), Fuel Oil con 83,1 kTep (15 %), Gas Natural con 66,2 kTep (12 %) y Residuos de Biomasa con 65,5 kTep (11,6 %).

En lo que respecta a Usos, se destacan Generación de Vapor con un consumo de Energía Neta de 213,7 kTep (37,8 %), Calor Directo con 144,0 kTep (25,4 %), Fuerza Motriz con 100,6 kTep (17,8 %), Cogeneración de Vapor con 37,0 kTep (6,5 %) y Frío de Proceso con 27,8 kTep (4,9 %).

Se menciona en el informe: *"En los principales Usos térmicos: Generación de Vapor, Calor Directo y Cogeneración de Vapor existe competencia entre las fuentes principales: Gas Natural, Leña, Residuos de Biomasa y Fuel Oil. En Generación de Vapor destaca la Leña con un 48,7% de participación compitiendo con el Fuel Oil con un 25,2% de participación; en Cogeneración de Vapor los Residuos de Biomasa tienen un 55,5% de participación y compiten con la Leña que tiene un 25,1% de participación;*

*en Calor Directo la competencia se centra en el Gas Natural con un 26,2% de participación, la Leña con un 21,3% y el Carbón Residual de Petróleo con un 19,6%. " (DNE-MIEM, 2008)*

La figura siguiente ilustra los rendimientos de utilización de las Fuentes de Energía en el Sector Industrial.

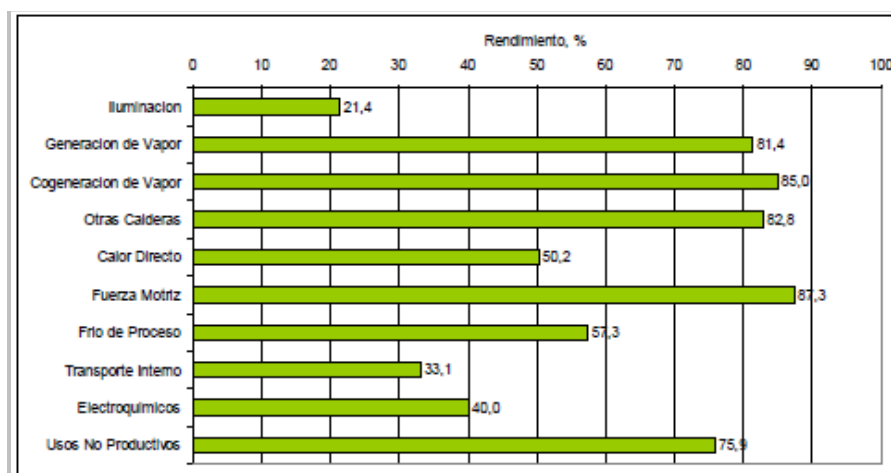


**Figura 4. 13: Sector industrial. Rendimientos de utilización de las fuentes de energía (Fuente: DNE-MIEM, 2008)**

De acuerdo con la Figura anterior, las fuentes utilizadas con mayor rendimiento son los Residuos de Biomasa (76,4 %), la Electricidad (75,9 %) y la Leña (74,3 %), el Supergás (72,6 %), el Fuel Oil (71,1%) y el Gas Natural (67,1%); entre éstas sólo el Supergás no está entre las Fuentes Principales del Sector Industrial. El bajo rendimiento de utilización del Gas Natural se explica por el hecho que el uso más importante del Gas Natural es el Calor Directo.

La figura siguiente permite visualizar los rendimientos en el Sector Industrial en función de los usos de la energía.

Los rendimientos menores se tienen en los Usos Iluminación (21,4 %) y Transporte Interno (33,1 %); dichos valores se deben a las características propias del proceso de transformación de la energía en estos Usos.



**Figura 4. 14: Sector industrial. Rendimientos de utilización según usos de energía (Fuente: DNE-MIEM, 2008)**

El potencial de ahorro energético en este sector apunta al uso de calor directo. El potencial de ahorro es de 37,3 kTep equivalentes al 57,0 % de todo el potencial estimado para el Sector Industrial; este ahorro corresponde también a un 25,9 % del consumo de Energía Neta en este Uso. Este nivel de potencial es significativo porque los rendimientos estimados para este Uso son relativamente bajos. Lograr este ahorro requiere de mejoras que aumenten el rendimiento de los hornos del Sector Industrial. Por otra parte el segundo lugar lo ocupa el Uso Generación de Vapor con un potencial de ahorro estimado en 14,3 kTep, equivalentes al 21,9 % de todo el ahorro estimado para el Sector Industrial. Esta cifra representa un 6,7 % del consumo de Energía Neta del Uso. Para concretar el potencial de ahorro en Generación de Vapor, se requiere reducir las pérdidas de los gases de combustión de las calderas de vapor del Sector Industrial, controlando la combustión e instalando economizadores en los casos en que ello sea posible.

### **4.3 Metodología adoptada: Factores de Emisión**

La metodología utilizada en el inventario nacional de emisiones a la atmósfera debidas al consumo de energía es, al igual que en el inventario de emisiones nacional, la de factores de emisión. Los factores de emisión EPA se utilizan para caracterizar las emisiones de los distintos sectores, con la excepción del sector transporte, donde se utilizan factores de emisión CORINAIR.

### **4.4 Contaminantes considerados**

En el Inventario nacional de emisiones a la atmósfera debidas al consumo de energía se consideraron los siguientes contaminantes: CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PTS, PM<sub>10</sub>.

### **4.5 Tipos y categorías de fuentes consideradas**

Los tipos y categorías de fuentes se corresponden con las consideradas en los balances energéticos nacionales y específicamente en los rubros consideradas en el balance energético desglosado de la DNE:

- Residencial
- Industrial
- Comercial y servicios
- Agropecuario
- Transporte
- Minería
- Pesca
- Construcción

Por otra parte cada una de las categorías se dividen en distintos usos (un mismo uso puede ser satisfecho por distintos combustibles), los que son considerados a los efectos de cuantificar sus emisiones.

Vale mencionar que en el rubro transporte no se incorporan los rubros Ferrocarril (GO), Marítimo, fluvial (GO) y Aéreo (TC, NFAV), en el primer caso debido a la ausencia de factores de emisión de flotas similares y en el caso del transporte marítimo y aéreo, debido a la imposibilidad de segregar consumos dentro y fuera del territorio nacional

Los usos considerados son los siguientes:

- RESIDENCIAL

Iluminación (SG, KE)

Cocción (GN, SG, GP, KE, LE, CV, RB)

Calentamiento de Agua (GN, SG, GP, GO, FO, KE, LE, RB)

Calefacción (GN, SG, GP, GO, DO, FO, KE, LE, CV, RB)

Otros Artefactos (NF)

- INDUSTRIAL<sup>12</sup>

Generación de vapor (GN, SG, GP, GO, DO, FO, LE, RB)

Cogeneración de vapor (GN, FO, LE, RB)

Otras calderas (GN, SG, GP, GO, FO, LE, RB)

Calor Directo (GN, SG, GP, GO, DO, FO, KE, LE, CV, RB, CQ)

Fuerza motriz (LE, RB)

Transporte interno (SG, GP, GO, DO, NF)

Usos no productivos (GN, SG, GP, GO, DO, FO, LE, NF)

Generación de energía (FO, GO)

- COMERCIAL Y SERVICIOS

Iluminación (SG)

Cocción (GN, SG, GP, GO, LE)

Calentamiento de Agua (GN, SG, GP, GO, DO, FO, LE)

Calefacción (GN, SG, GP, GO, DO, FO, KE, LE)

Conservación de Alimentos (KE)

Bombeo de Agua (GO)

Fuerza Motriz móvil (GO, NF)

---

<sup>12</sup> En este rubro no se cuenta con información publicada a los efectos de incorporar el consumo de energía en procesos de ANCAP.

Otros Artefactos (GN, SG, GP, GO, DO, FO, NF)

- AGROPECUARIO

Calor (SG, GO, KE, LE)

Fuerza motriz móvil (SG, GO, KE, NF)

Fuerza motriz fija (GO, NF)

Riego y bombeo (GO, NF)

Viviendas colectivas (SG, KE, LE, RB)

- TRANSPORTE<sup>13</sup>

Vehículos livianos (GO, NF)

Ómnibus (GO, NF)

Motocicletas (NF)

Camión de cargas de más de 5 ton (GO)

Camión con zorra (profesional) (GO)

- MINERÍA

Calor (SG, GO, LE)

Fuerza motriz móvil (GO)

Fuerza motriz fija (NF, GO)

Uso no productivo (SG)

- PESCA

Calor (GO)

Fuerza motriz propulsión pesca (GO)

---

<sup>13</sup> Las clasificación original de la flota de transporte es la siguiente: Automóviles (GO, NF), Camionetas de menos de dos toneladas (GO, NF), Taxis y remises (GO, NF), Otros (Ambulancias, escolares) (GO, NF), Ómnibus (GO, NF), Motocicletas (NF), Camionetas (< 2 t) (GO, NF), Camión chico (< 2 t) cargas, Camión chico (2 A 5 t) cargas, camión (>5 t) cargas (GO) y Tractor profesional cargas (GO)

Uso no productivo (SG)

- **CONSTRUCCIÓN**

Fuerza motriz móvil (GO)

Fuerza motriz móvil (DO)

Fuerza motriz móvil (NF)

Fuerza motriz fija (GO)

Fuerza motriz fija (NF)

Uso no productivo (SG)

#### **4.6 Características temporales y año base**

El inventario es anual. El año base corresponde al 2006 debido a la disponibilidad de datos desglosados para ese año. Por otra parte, esto permite que los resultados puedan ser también comparados con los del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera.

#### **4.7 Fuentes de información**

La principal fuente de información utilizada fue el balance desglosado de uso de energía correspondiente al año 2006, elaborado por la Dirección Nacional de Energía.

#### **4.8 Forma de documentación de la información**

La forma de documentación de la información es en planilla electrónica.



#### 4.9 Hipótesis de cálculo

En lo que respecta a hipótesis a los efectos de transformar las toneladas de equivalente de petróleo a cantidades de combustible, se utilizan los siguientes poderes caloríficos (Tabla 4.1).

**Tabla 4. 1: Poderes caloríficos de los combustibles (Fuente: DNE-MIEM, 2008)**

PRODUCTO	PC	UNIDAD	DENSIDAD	UNIDAD
butano	6189	kcal/L	0,566	kg/L
diesel oil	9049	kcal/L	0,905	kg/L
fuel oil	9691	kcal/L	1,009	kg/L
gas natural	8300	kcal/m <sup>3</sup>	0,620	kg/m <sup>3</sup>
gas oil	8656	kcal/L	0,849	kg/L
leña	2700	kcal/kg		
nafta	7884	kcal/L	0,752	kg/L
propano	5673	kcal/L	0,515	kg/L
supergás	6048	kcal/L	0,554	kg/L
Residuos de Biomasa	2700	kcal/kg	0,788	kg/L

En lo que respecta a los factores de emisión utilizados, para todos los sectores con excepción de Transporte se utilizan los factores de emisión de USEPA. A continuación se presenta una codificación utilizada para posteriormente asignar los factores de emisión.

**Tabla 4. 2: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados por uso**

Cód.	Combustible	Fuente de FE	Capítulo AP 42	Cap.	Fuente
1	FO	EPA	External combustion sources	1.3	Caldera FO
2	FO	EPA	External combustion sources	1.3	Caldereta residencial
3K	KE	EPA	External combustion sources	1.3	Caldera de menor porte
3G	GO	EPA	External combustion sources	1.3	Caldera de menor porte
4	GN	EPA	External combustion sources	1.4	Caldera
5	GN	EPA	External combustion sources	1.4	Caldereta residencial
7	RB	EPA	External combustion sources	1.6	Caldera
8	LE	EPA	External combustion sources	1.6	Caldera
9	LE RB	EPA	External combustion sources	1.8	Estufa
11	GO	EPA	Internal combustion sources	3.3	motores a gasolina y diesel
12	NF	EPA	Internal combustion sources	3.3	motores a gasolina y diesel
13	GO	CORINAIR	Other mobile sources and machinery	810	Motores de barcos
14	NF	CORINAIR	Other mobile sources and machinery	810	Motores de barcos
15	SG	EPA	Liquefied Petroleum Gas Combustion	1.5	Combustión
16	GP	EPA	Liquefied Petroleum Gas Combustion	1.5	Combustión

**Tabla 4. 3: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector residencial**

Cód.	ACTIVIDAD	COMBUSTIBLE
15	Iluminación	SG (m <sup>3</sup> )
3k	Iluminación	KE (m <sup>3</sup> )
5	Cocción	GN (m <sup>3</sup> )
15	Cocción	SG (m <sup>3</sup> )
16	Cocción	GP (m <sup>3</sup> )
3k	Cocción	KE (m <sup>3</sup> )
9	Cocción	LE (Ton.)
no	Cocción	CV (Ton.)
9	Cocción	RB (Ton.)
5	Calentamiento de Agua	GN (m <sup>3</sup> )
15	Calentamiento de Agua	SG (m <sup>3</sup> )
16	Calentamiento de Agua	GP (m <sup>3</sup> )
3	Calentamiento de Agua	GO (m <sup>3</sup> )
2	Calentamiento de Agua	FO (m <sup>3</sup> )
3k	Calentamiento de Agua	KE (m <sup>3</sup> )
9	Calentamiento de Agua	LE (Ton.)
9	Calentamiento de Agua	RB (Ton.)
5	Calefacción	GN (m <sup>3</sup> )
15	Calefacción	SG (m <sup>3</sup> )
16	Calefacción	GP (m <sup>3</sup> )
3	Calefacción	GO (m <sup>3</sup> )
3	Calefacción	DO (m <sup>3</sup> )
1	Calefacción	FO (m <sup>3</sup> )
3k	Calefacción	KE (m <sup>3</sup> )
9	Calefacción	LE (Ton.)
no	Calefacción	CV (Ton.)
9	Calefacción	RB (Ton.)
12	Otros Artefactos	NF (m <sup>3</sup> )

**Tabla 4. 4: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Comercios y Servicios**

Cód.	ACTIVIDAD	COMBUSTIBLE
15	Iluminación	SG (m <sup>3</sup> )
5	Cocción	GN (m <sup>3</sup> )
15	Cocción	SG (m <sup>3</sup> )
16	Cocción	GP (m <sup>3</sup> )
3	Cocción	GO (m <sup>3</sup> )
9	Cocción	LE (Ton.)
5	Calentamiento de Agua	GN (m <sup>3</sup> )
15	Calentamiento de Agua	SG (m <sup>3</sup> )
16	Calentamiento de Agua	GP (m <sup>3</sup> )
3	Calentamiento de Agua	GO (m <sup>3</sup> )
3	Calentamiento de Agua	DO (m <sup>3</sup> )
1	Calentamiento de Agua	FO (m <sup>3</sup> )
8	Calentamiento de Agua	LE (Ton.)
5	Calefacción	GN (m <sup>3</sup> )
15	Calefacción	SG (m <sup>3</sup> )
16	Calefacción	GP (m <sup>3</sup> )
3	Calefacción	GO (m <sup>3</sup> )
3	Calefacción	DO (m <sup>3</sup> )
1	Calefacción	FO (m <sup>3</sup> )
3 k	Calefacción	KE (m <sup>3</sup> )
8	Calefacción	LE (Ton.)
11	Conservación de Alimentos	KE (m <sup>3</sup> )
11	Bombeo de Agua	GO (m <sup>3</sup> )
11	Fuerza Motriz	GO (m <sup>3</sup> )
12	Fuerza Motriz	NF (m <sup>3</sup> )
5	Otros Artefactos	GN (m <sup>3</sup> )
15	Otros Artefactos	SG (m <sup>3</sup> )
16	Otros Artefactos	GP (m <sup>3</sup> )
11	Otros Artefactos	GO (m <sup>3</sup> )
11	Otros Artefactos	DO (m <sup>3</sup> )
1	Otros Artefactos	FO (m <sup>3</sup> )
12	Otros Artefactos	NF (m <sup>3</sup> )

**Tabla 4. 5: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Agropecuario**

Cód.	ACTIVIDAD	COMBUSTIBLE
15	Calor	SG (m <sup>3</sup> )
3	Calor	GO (m <sup>3</sup> )
3k	Calor	KE (m <sup>3</sup> )
9	Calor	LE (Ton.)
15	Fuerza motriz móvil	SG (m <sup>3</sup> )
tgo	Fuerza motriz móvil	GO (m <sup>3</sup> )
3k	Fuerza motriz móvil	KE (m <sup>3</sup> )
tgnf	Fuerza motriz móvil	NF (m <sup>3</sup> )
11	Fuerza motriz fija	GO (m <sup>3</sup> )
12	Fuerza motriz fija	NF (m <sup>3</sup> )
11	Riego y bombeo	GO (m <sup>3</sup> )
12	Riego y bombeo	NF (m <sup>3</sup> )
15	Viviendas colectivas	SG (m <sup>3</sup> )
3k	Viviendas colectivas	KE (m <sup>3</sup> )
9	Viviendas colectivas	LE (Ton.)
9	Viviendas colectivas	RB (Ton.)

**Tabla 4. 6: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Industrial**

Cód.	ACTIVIDAD	COMBUSTIBLE
4	Generación de vapor	GN (m <sup>3</sup> )
15	Generación de vapor	SG (m <sup>3</sup> )
16	Generación de vapor	GP (m <sup>3</sup> )
3	Generación de vapor	GO (m <sup>3</sup> )
3	Generación de vapor	DO (m <sup>3</sup> )
1	Generación de vapor	FO (m <sup>3</sup> )
8	Generación de vapor	LE (Ton.)
7	Generación de vapor	RB (Ton.)

Cód.	ACTIVIDAD	COMBUSTIBLE
4	Cogeneración de vapor	GN (m <sup>3</sup> )
1	Cogeneración de vapor	FO (m <sup>3</sup> )
8	Cogeneración de vapor	LE (Ton.)
7	Cogeneración de vapor	RB (Ton.)
4	Otras calderas	GN (m <sup>3</sup> )
15	Otras calderas	SG (m <sup>3</sup> )
16	Otras calderas	GP (m <sup>3</sup> )
3	Otras calderas	GO (m <sup>3</sup> )
1	Otras calderas	FO (m <sup>3</sup> )
8	Otras calderas	LE (Ton.)
7	Otras calderas	RB (Ton.)
5	Calor Directo	GN (m <sup>3</sup> )
15	Calor Directo	SG (m <sup>3</sup> )
16	Calor Directo	GP (m <sup>3</sup> )
3	Calor Directo	GO (m <sup>3</sup> )
3	Calor Directo	DO (m <sup>3</sup> )
2	Calor Directo	FO (m <sup>3</sup> )
3k	Calor Directo	KE (m <sup>3</sup> )
9	Calor Directo	LE (Ton.)
No	Calor Directo	CV (Ton.)
9	Calor Directo	RB (Ton.)
No	Calor Directo	CQ(Ton)
8	Fuerza motriz	LE (Ton.)
7	Fuerza motriz	RB (Ton.)
15	Transporte interno	SG (m <sup>3</sup> )
16	Transporte interno	GP (m <sup>3</sup> )
Tgo	Transporte interno	GO (m <sup>3</sup> )
Tgo	Transporte interno	DO (m <sup>3</sup> )
Tnf	Transporte interno	NF (m <sup>3</sup> )
5	Usos no productivos	GN (m <sup>3</sup> )
15	Usos no productivos	SG (m <sup>3</sup> )
16	Usos no productivos	GP (m <sup>3</sup> )
3	Usos no productivos	GO (m <sup>3</sup> )
3	Usos no productivos	DO (m <sup>3</sup> )
2	Usos no productivos	FO (m <sup>3</sup> )
9	Usos no productivos	LE (Ton.)
12	Usos no productivos	NF (m <sup>3</sup> )

**Tabla 4. 7: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Pesca**

Cód.	ACTIVIDAD	COMBUSTIBLE
3	Calor	GO (m <sup>3</sup> )
13	Fuerza motriz propulsión pesca industrial	GO (m <sup>3</sup> )
13	Fuerza motriz propulsión pesca artesanal	GO (m <sup>3</sup> )
14	Fuerza motriz propulsión pesca artesanal	NF (m <sup>3</sup> )
15	Uso no productivo	SG (m <sup>3</sup> )

**Tabla 4. 8: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Construcción**

Cód.	ACTIVIDAD	COMBUSTIBLE
tgo	Fuerza motriz móvil	GO (m <sup>3</sup> )
tgo	Fuerza motriz móvil	DO (m <sup>3</sup> )
tnf	Fuerza motriz móvil	NF (m <sup>3</sup> )
11	Fuerza motriz fija	GO (m <sup>3</sup> )
12	Fuerza motriz fija	NF (m <sup>3</sup> )
15	Uso no productivo	SG (m <sup>3</sup> )

**Tabla 4. 9: Codificación utilizada para los factores de emisión utilizados para consumos del sector Minería**

Cód.	ACTIVIDAD	COMBUSTIBLE
15	Calor	SG (m <sup>3</sup> )
3	Calor	GO (m <sup>3</sup> )
9	Calor	LE (Ton.)
tgo	Fuerza motriz móvil	GO (m <sup>3</sup> )
11	Fuerza motriz fija	GO (m <sup>3</sup> )
12	Fuerza motriz fija	NF (m <sup>3</sup> )
15	Uso no productivo	SG (m <sup>3</sup> )

## 4.10 Resultados

### 4.10.1 Emisión nacional

A continuación se presenta la tabla de resultados de emisiones obtenida para Uruguay 2006.

**Tabla 4. 10: Emisiones nacionales totales y por sector (ton/año y porcentaje)**

<b>Ton/año</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
<b>RESIDENCIAL</b>	17636	17652	680	1663	128837
<b>COM Y SERV</b>	775	793	1591	501	5222
<b>AGROPECUARIO</b>	1734	2183	580	1451	13780
<b>TRANSPORTE</b>	N/D	1760	3102	20065	56069
<b>INDUSTRIAL</b>	3666	4525	9480	4289	19715
<b>PESCA</b>	N/D	163	244	1682	433
<b>CONSTRUCCIÓN</b>	1	25	55	359	113
<b>MINERIA</b>	67	91	62	413	581
<b>TOTAL URUGUAY</b>	<b>23879</b>	<b>27192</b>	<b>15792</b>	<b>30423</b>	<b>224750</b>

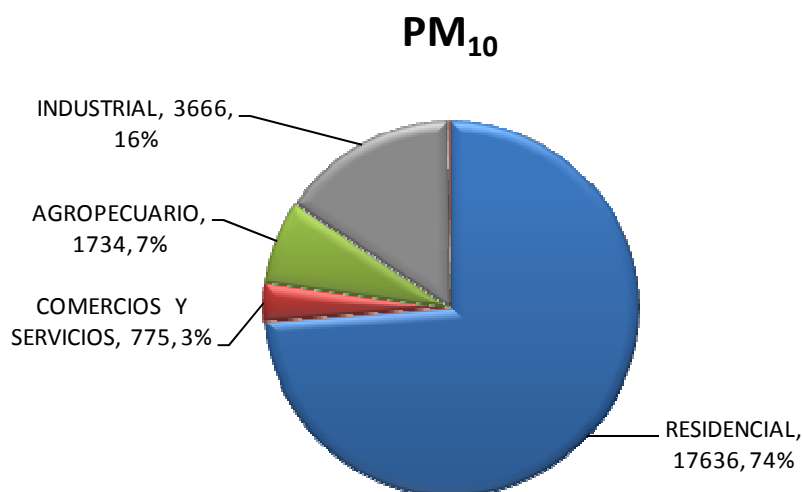
<b>Porcentaje</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
<b>RESIDENCIAL</b>	<b>74</b>	<b>65</b>	4	5	<b>57</b>
<b>COM Y SERV</b>	3	3	10	2	2
<b>AGROPECUARIO</b>	7	8	4	5	6
<b>TRANSPORTE</b>	0	6	<b>20</b>	<b>66</b>	<b>25</b>
<b>INDUSTRIAL</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>60</b>	<b>14</b>	9
<b>PESCA</b>	0	1	2	6	0
<b>CONSTRUCCIÓN</b>	0	0	0	1	0
<b>MINERIA</b>	0	0	0	1	0
<b>TOTAL URUGUAY</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Nótese que en todos los casos existe un sector que aporta más del 50 % de cada contaminante y que bastan dos sectores para explicar el 80 % o más de la emisión de cada contaminante. El sector residencial es el mayor emisor de PST, PM10, CO; el sector transporte lo es de NO<sub>x</sub> y el

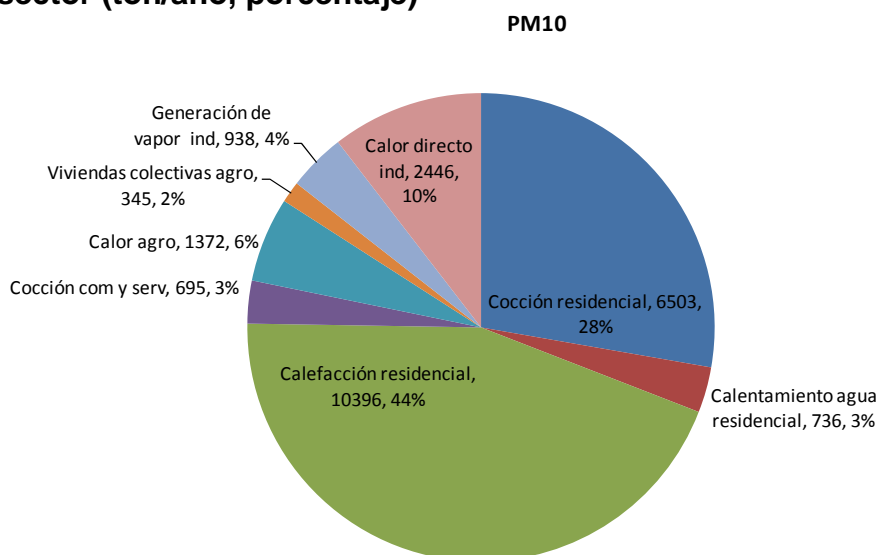


sector industrial, de  $\text{SO}_x$ . Los demás sectores no tienen prácticamente incidencia en ningún caso (aportan menos del 10 %); sólo el sector Comercios y Servicios alcanza a aportar el 10 % de la emisión total de  $\text{SO}_x$ .

En la Figura 4. 15 se observa la distribución de las emisiones de  $\text{PM}_{10}$  en los distintos sectores. Se observa que el sector residencial es el protagonista con el 74 % de las emisiones nacionales, seguido por el industrial con un 16 % y por el Agropecuario con un 7 %.

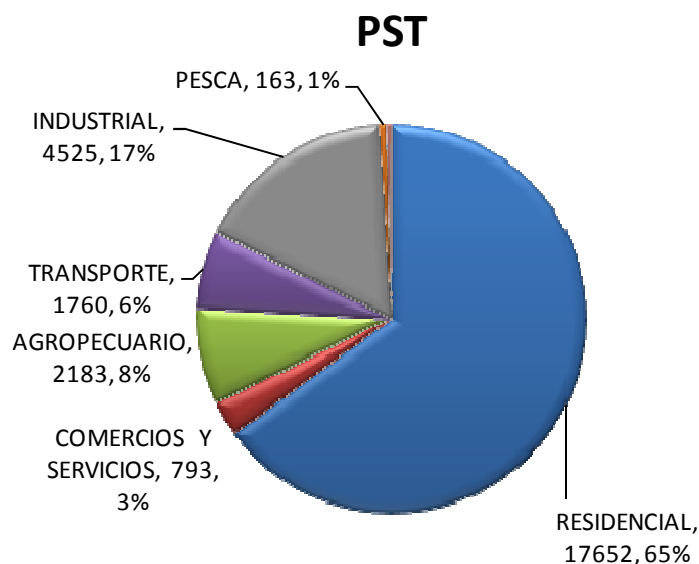


**Figura 4. 15: Distribución por sectores de la emisión de  $\text{PM}_{10}$  por sector (ton/año, porcentaje)**

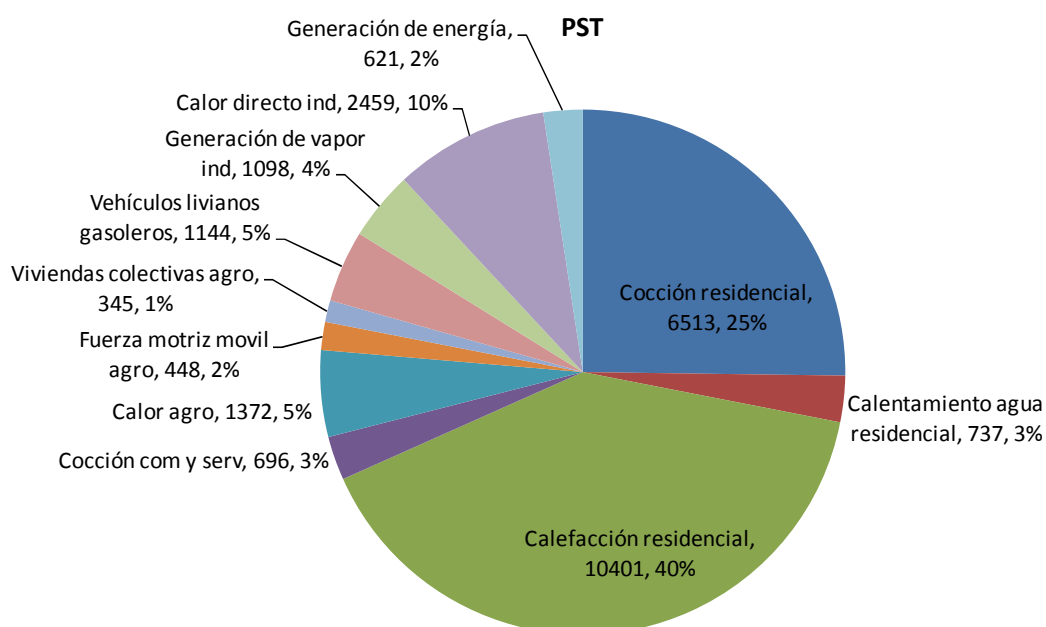


**Figura 4. 16: Distribución por sectores de la emisión de  $\text{PM}_{10}$  por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje)**

En lo que respecta a las emisiones de PST, nuevamente el protagonista es el sector residencial con un 65 % de las emisiones, seguido por el industrial con una emisión del 17 % y finalmente por el agropecuario (8 %) y el de transporte (6 %).

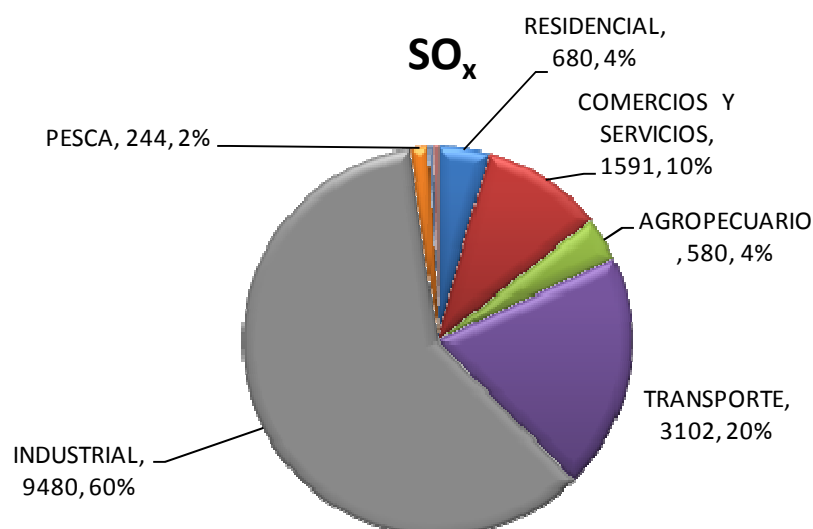


**Figura 4. 17: Distribución por sectores de la emisión de PST (ton/año, porcentaje)**

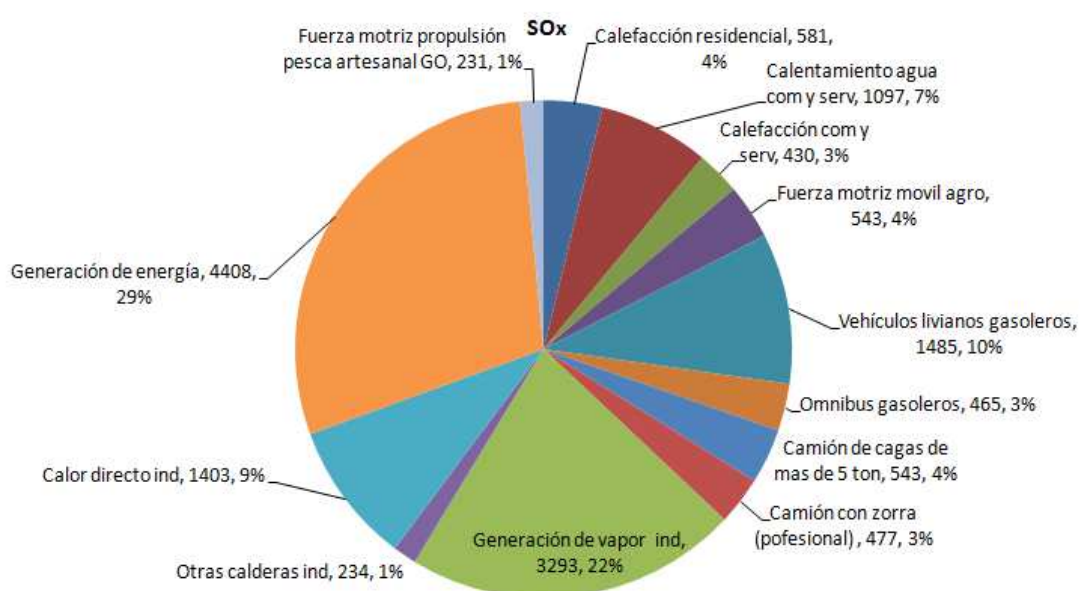


**Figura 4. 18: Distribución por sectores de la emisión de PST por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje)**

Las emisiones de óxidos de azufre a nivel nacional son protagonizadas por el sector industrial con el 60 % de la emisión nacional, siendo el sector transporte el segundo en importancia con una emisión del 20 % del total país y el tercero, el sector Comercios y Servicios (10 %).

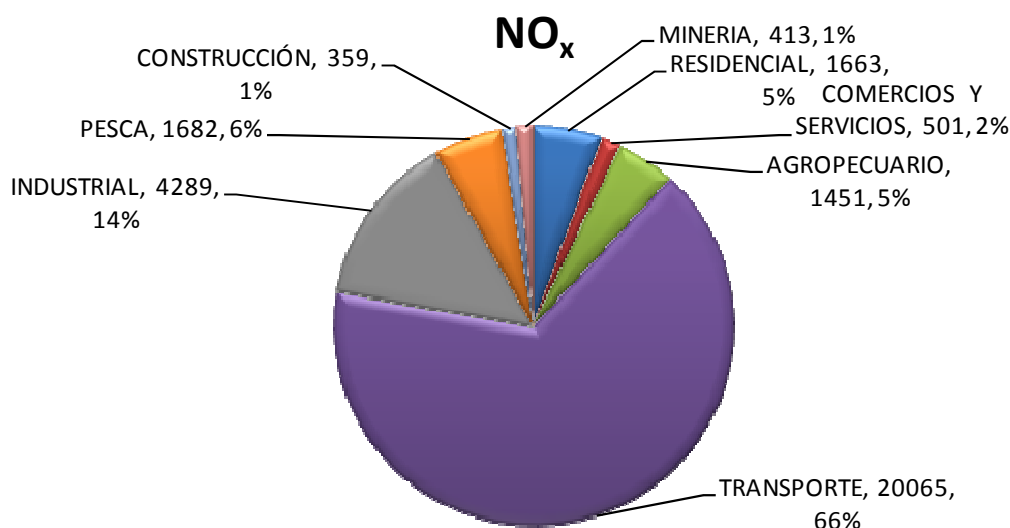


**Figura 4. 19: Distribución por sectores de la emisión de SO<sub>x</sub> (ton/año, porcentaje)**

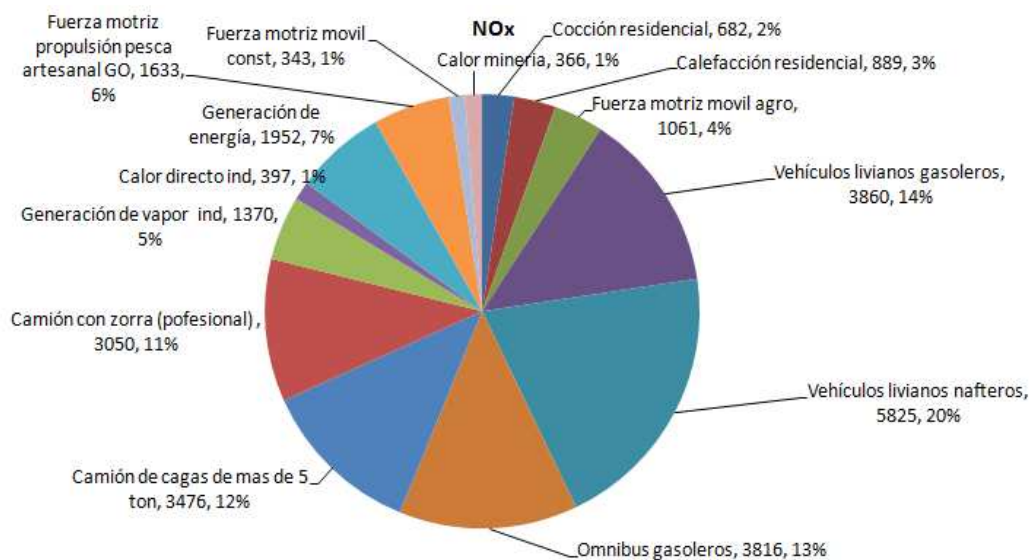


**Figura 4. 20: Distribución por sectores de la emisión de SO<sub>x</sub> por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje)**

En lo que respecta a las emisiones de óxidos de nitrógeno, el sector transporte es el protagonista con aproximadamente el 66 % de la emisión nacional, el siguiente sector emisor es el industrial con una emisión del 14 %.

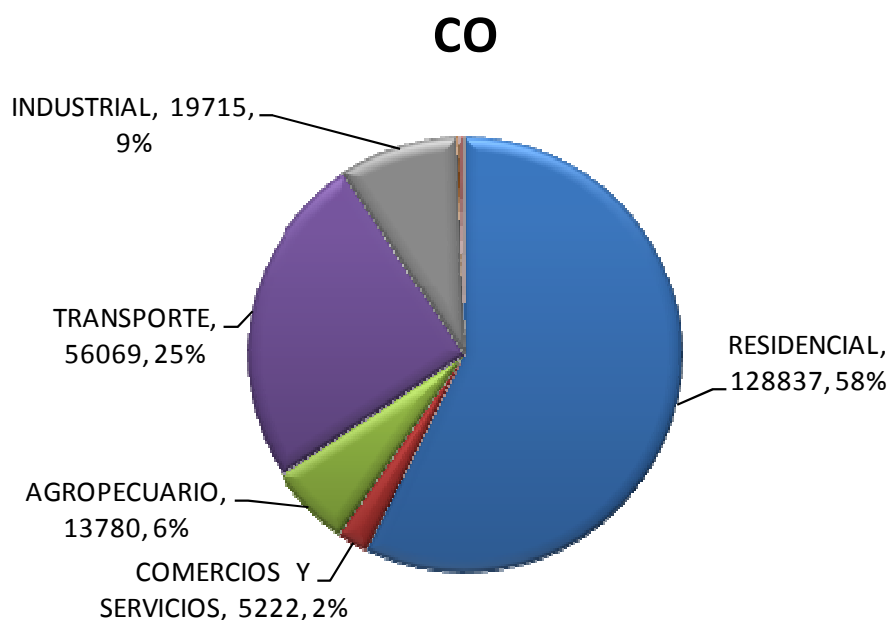


**Figura 4. 21: Distribución por sectores de la emisión de NO<sub>x</sub> (ton/año, porcentaje)**

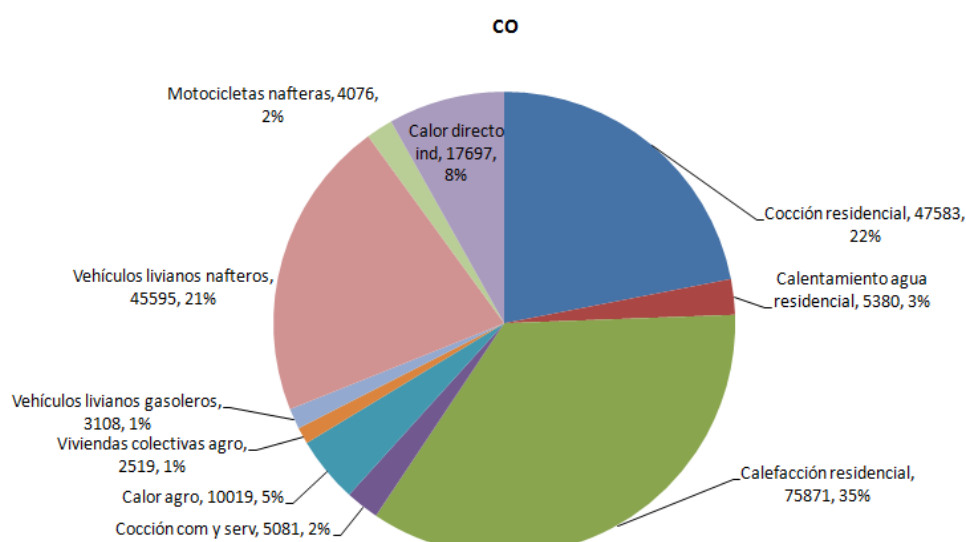


**Figura 4. 22: Distribución por sectores de la emisión de NO<sub>x</sub> por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje)**

En cuanto al parámetro monóxido de carbono el sector protagonista es el residencial (58 %, seguido por el sector transporte (25 %) y seguido a su vez por el sector industrial (9 %).



**Figura 4. 23: Distribución por sectores de la emisión de CO (ton/año, porcentaje)**



**Figura 4. 24: Distribución por sectores de la emisión de CO por uso dentro de cada sector (sólo aportes superiores al 1% del total) (ton/año, porcentaje)**

#### 4.10.2 Emisión residencial

En la Tabla 4. 11 se observa el resumen de las emisiones residenciales.

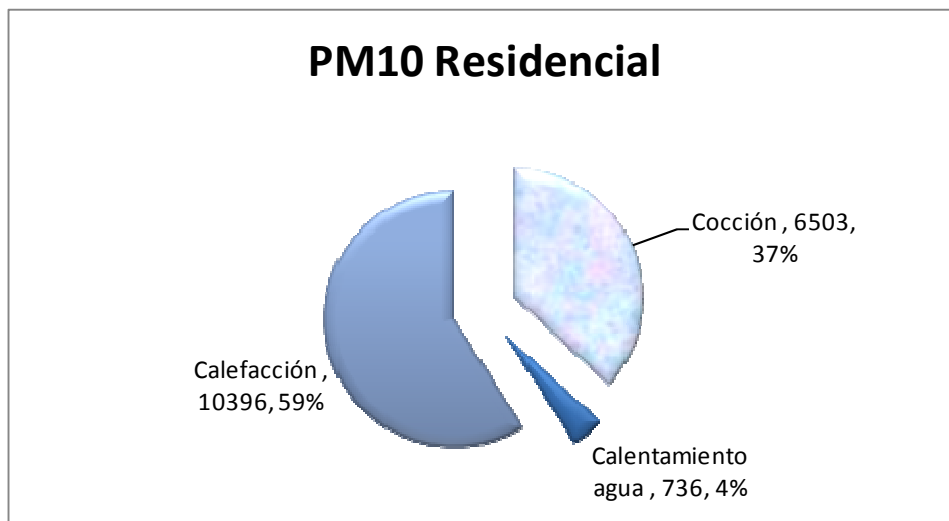
**Tabla 4. 11: Emisiones del sector Residencial, totales y por uso (ton/año y porcentaje)**

	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Iluminación residencial	0,1	0,1	1	2	1
Cocción residencial	6503	6513	76	682	47583
Calentamiento agua residencial	736	737	22	86	5380
Calefacción residencial	10396	10401	581	889	75871
Otros artefactos residencial	0,3	0,3	0,2	4	3
<b>TOTAL RESIDENCIAL</b>	<b>17636</b>	<b>17652</b>	<b>680</b>	<b>1663</b>	<b>128837</b>

	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Iluminación residencial	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
Cocción residencial	36.9	36.9	11.1	41.0	36.9
Calentamiento agua residencial	4.2	4.2	3.2	5.2	4.2
Calefacción residencial	58.9	58.9	85.5	53.5	58.9
Otros artefactos residencial	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
<b>TOTAL RESIDENCIAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

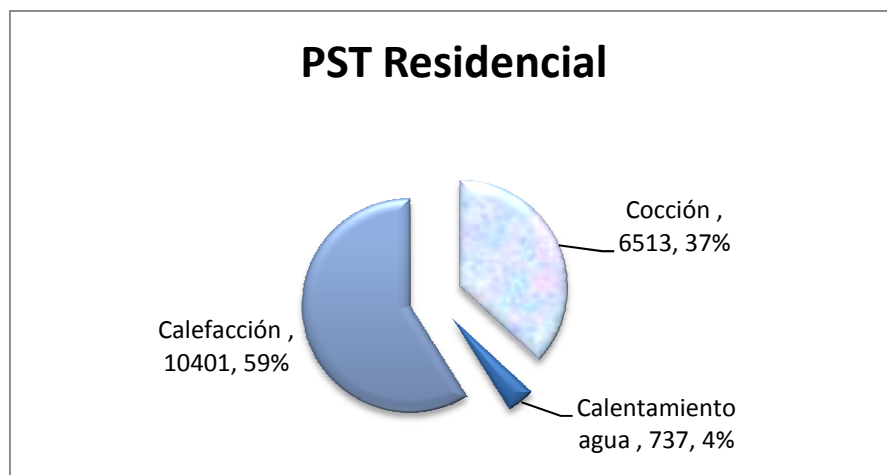
La calefacción genera siempre más del 50 % de las emisiones de los contaminantes considerados y, sumado a la cocción, en general superan el 95 % de las emisiones en cada caso. En cuanto a SO<sub>x</sub>, la calefacción sola aporta más del 85 % de las emisiones del sector; en los demás contaminantes, la calefacción y la cocción aproximadamente se reparten las emisiones.

En la siguiente gráfica se presentan los datos de PM10 residencial. Aproximadamente el 59 % de las emisiones residenciales se generan en procesos de calefacción, seguido por el proceso de cocción con un 37 % y por el proceso de calentamiento de agua (4 %).



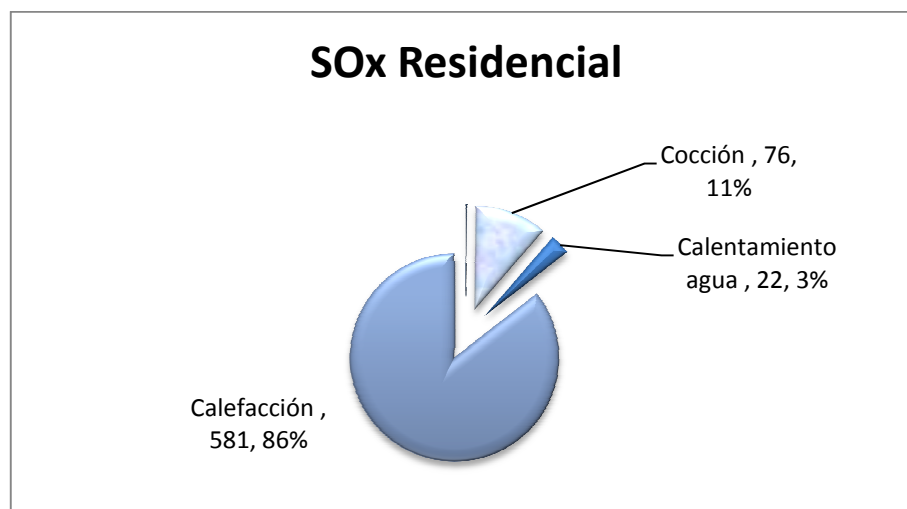
**Figura 4. 25: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de PM10 (ton/año, porcentaje)**

En lo que respecta al PST residencial, el principal uso involucrado es el de calefacción con una emisión del 59 % del total, el siguiente uso protagonista es el de cocción (37 %).



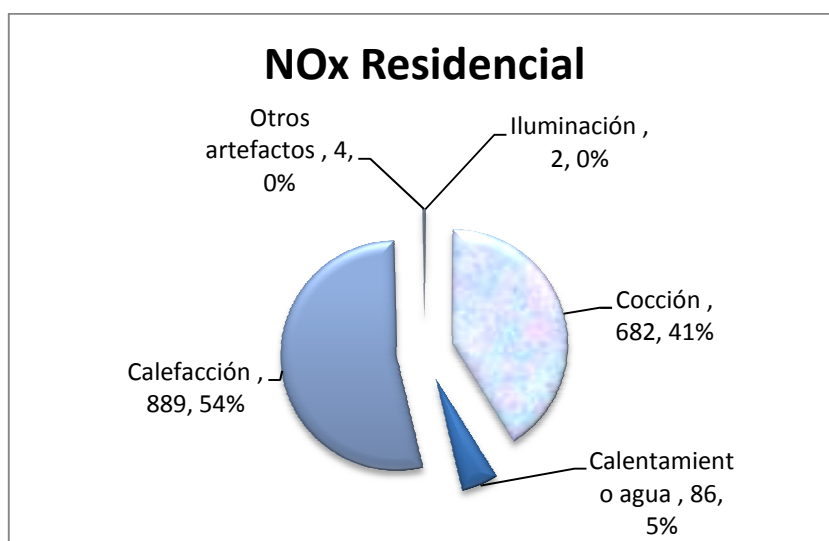
**Figura 4. 26: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de PST (ton/año, porcentaje)**

Calefacción residencial es el uso protagonista de las emisiones de óxidos de azufre (86 %), el siguiente emisor es el uso de cocción 11 %.



**Figura 4. 27: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de SO<sub>x</sub> (ton/año, porcentaje)**

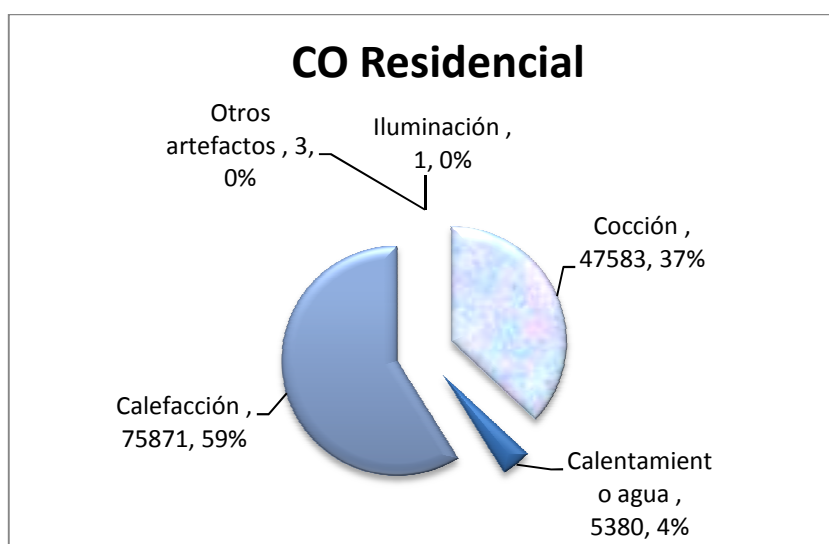
Las emisiones de óxidos de nitrógeno del sector residencial son emitidas principalmente por la calefacción (54 %) y por la cocción (41 %), seguido por el calentamiento de agua (5 %).



**Figura 4. 28: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de NO<sub>x</sub> (ton/año, porcentaje)**



Finalmente al analizar las emisiones de CO residencial, es posible observar que la calefacción es responsable del 59 % de la emisión del sector, el siguiente uso protagonista es el de cocción (37 %).



**Figura 4. 29: Distribución dentro del sector residencial de emisiones de CO (ton/año, porcentaje)**

#### 4.10.3 Comercios y Servicios

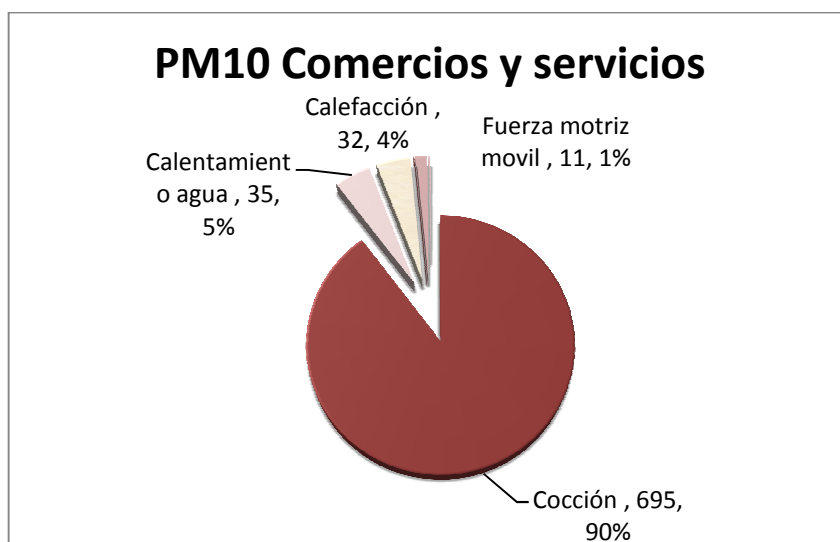
En esta sección se analizan las emisiones correspondientes al Sector Comercios y Servicios. A continuación se presenta una tabla resumen de las emisiones de los contaminantes considerados por parte de este sector.

**Tabla 4. 12: Emisiones del sector Comercios y Servicios, totales y por uso (ton/año y porcentaje)**

	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Iluminación Com y Serv	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cocción Com y Serv	695.0	695.9	12.0	71.0	5081.3
Calentamiento agua Com y Serv	34.7	44.7	1096.5	163.6	46.8
Calefacción Com y Serv	32.4	39.4	430.4	90.8	50.3
Conservación de alimentos Com y Serv	0.2	0.2	0.2	3.2	0.7
Bombeo de agua Com y Serv	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Fuerza motriz móvil Com y Serv	10.7	10.7	9.9	152.9	36.8
Otros artefactos Com y Serv	1.5	1.8	41.6	19.3	5.8
<b>TOTAL COM Y SERV</b>	<b>774.6</b>	<b>792.7</b>	<b>1590.7</b>	<b>501.0</b>	<b>5221.6</b>
	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Iluminación Com y Serv	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cocción Com y Serv	89.7	87.8	0.8	14.2	97.3
Calentamiento agua Com y Serv	4.5	5.6	68.9	32.7	0.9
Calefacción Com y Serv	4.2	5.0	27.1	18.1	1.0
Conservación de alimentos Com y Serv	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
Bombeo de agua Com y Serv	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fuerza motriz móvil Com y Serv	1.4	1.3	0.6	30.5	0.7
Otros artefactos Com y Serv	0.2	0.2	2.6	3.8	0.1
<b>TOTAL COM Y SERV</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

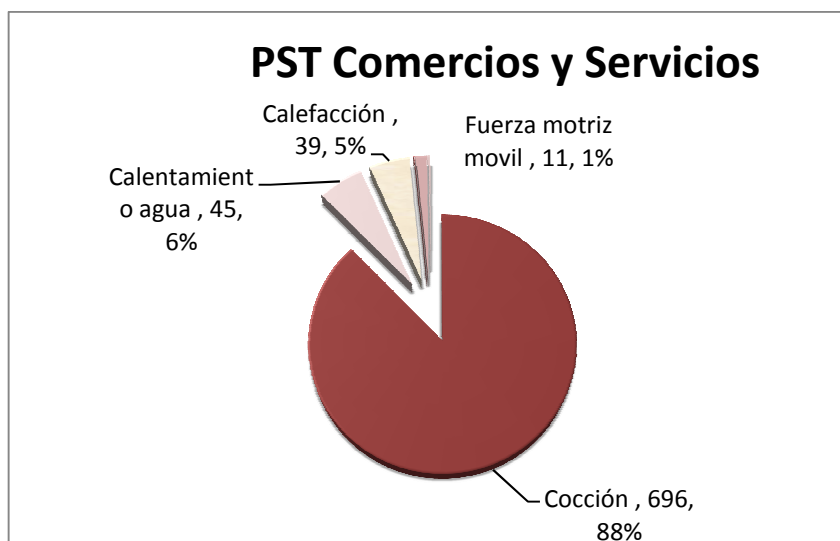
En este sector, las actividades de cocción aportan holgadamente las mayores emisiones de CO, PST y PM10. El SO<sub>x</sub> es emitido principalmente por el uso de calentamiento de agua. Los NO<sub>x</sub> son emitidos en similares cantidades entre el calentamiento de agua y la fuerza motriz móvil (cerca del 30 % cada uno), en tanto la calefacción y cocción aportan aproximadamente un 15 % cada uno.

La emisión de PM10 del sector Comercios y Servicios, es generada principalmente por el uso cocción (90 %) seguido por el de calentamiento de agua.



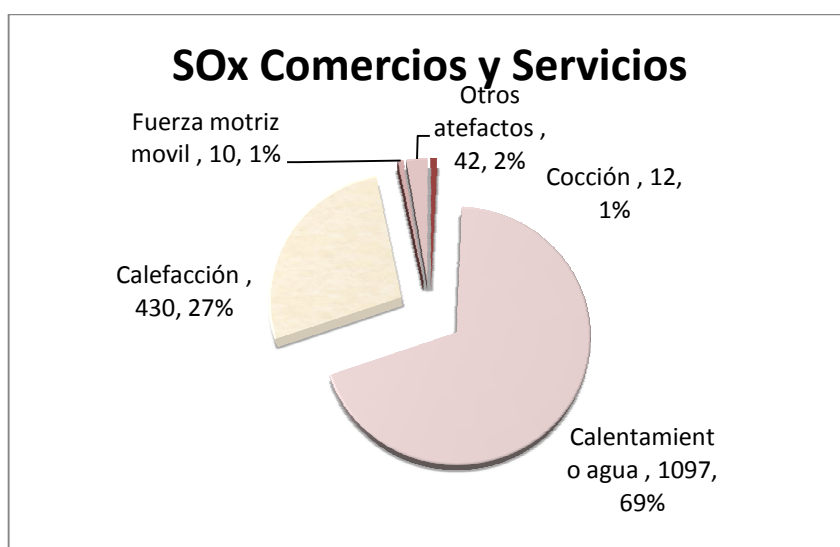
**Figura 4. 30: Distribución de emisiones de PM10 dentro del sector Comercios y Servicios (ton/año, porcentaje)**

En lo que respecta a la emisión de PST el principal protagonista nuevamente es el proceso de cocción (88 %) seguido por el de calentamiento de agua (6 %) y calefacción (5%).



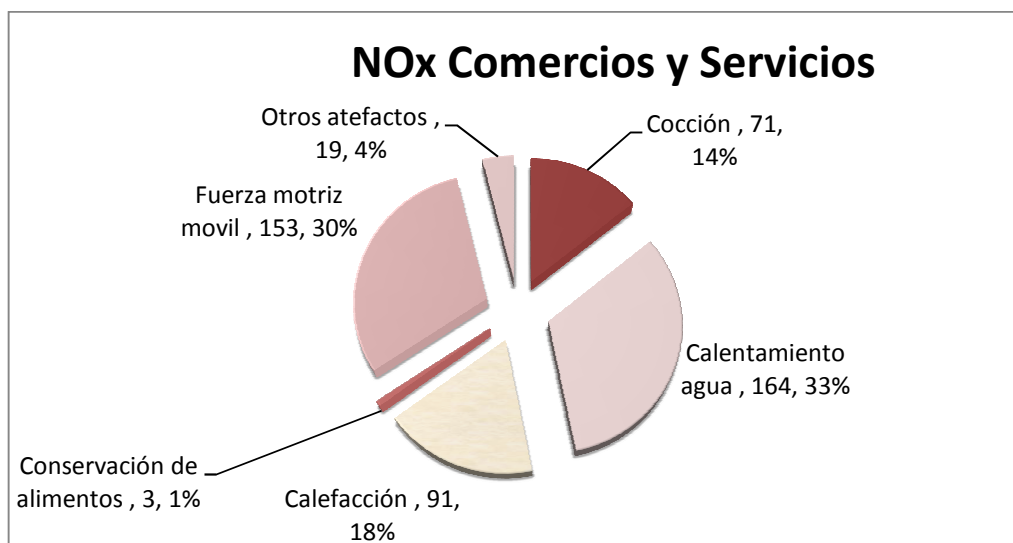
**Figura 4. 31: Distribución de emisiones de PST (dentro del sector Comercios y Servicios ton/año, porcentaje)**

Las emisiones de óxidos de azufre del sector Comercios y Servicios son protagonizadas por el calentamiento de agua (69 %) seguidas por calefacción (27 %).



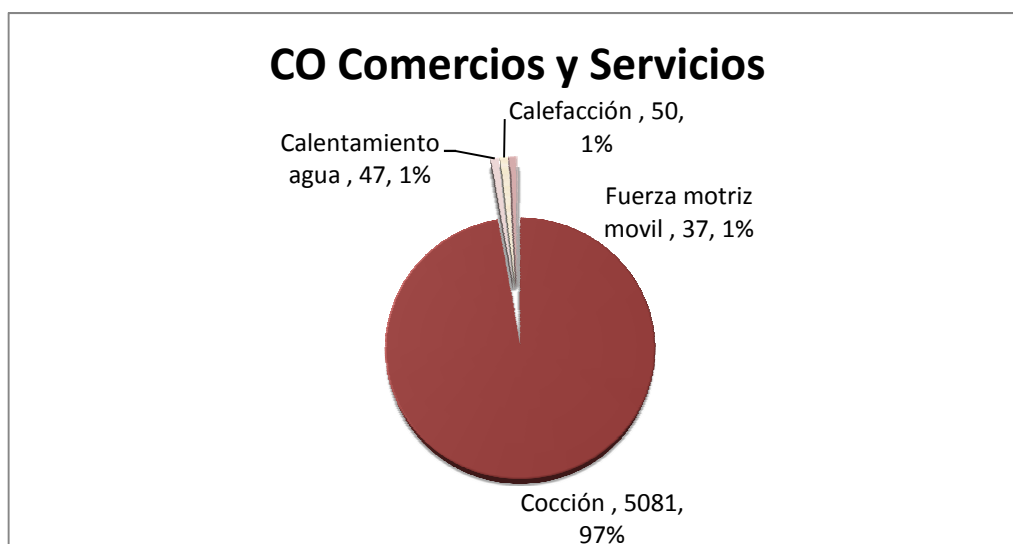
**Figura 4. 32: Distribución de emisiones de SO<sub>x</sub> dentro del sector Comercios y Servicios (ton/año, porcentaje)**

En lo que respecta a las emisiones de NO<sub>x</sub> del sector Comercios y Servicios, se encuentran distribuidas entre distintos usos, dos prioritarios y con un peso similar (calentamiento de agua con el 33 % y fuerza motriz móvil con el 30 %), seguidos por calefacción (18 %) y cocción (14 %).



**Figura 4. 33: Distribución de emisiones de NO<sub>x</sub> dentro del sector Comercios y Servicios (ton/año, porcentaje)**

Casi el total de la emisión de CO del sector es causada por el uso para cocción (97 %).



**Figura 4. 34: Distribución de emisiones de CO dentro del sector Comercios y Servicios (ton/año, porcentaje)**

#### 4.10.4 Agropecuario

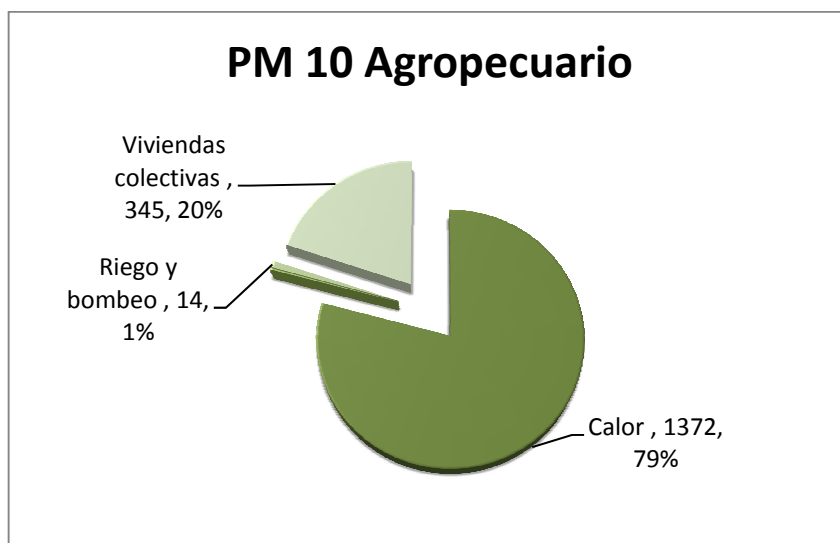
A continuación se presenta la tabla resumen de emisiones del sector Agropecuario.

**Tabla 4. 13: Emisiones del sector Agropecuario, totales y por uso (ton/año y porcentaje)**

	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Calor Agropecuario	1372.1	1372.3	16.6	107.1	10018.7
Fuerza motriz móvil Agropecuario	0.0	448.5	542.8	1060.7	1170.5
Fuerza motriz fija Agropecuario	3.2	3.2	2.8	51.0	25.7
Riego y bombeo Agropecuario	14.2	14.2	13.2	202.8	46.3
Viviendas colectivas Agropecuario	344.9	345.1	4.4	29.0	2519.3
<b>TOTAL AGRO</b>	<b>1734.4</b>	<b>2183.3</b>	<b>579.9</b>	<b>1450.6</b>	<b>13780.4</b>
	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Calor Agropecuario	79.1	62.9	2.9	7.4	72.7
Fuerza motriz móvil Agropecuario	0.0	20.5	93.6	73.1	8.5
Fuerza motriz fija Agropecuario	0.2	0.1	0.5	3.5	0.2
Riego y bombeo Agropecuario	0.8	0.7	2.3	14.0	0.3
Viviendas colectivas Agropecuario	19.9	15.8	0.8	2.0	18.3
<b>TOTAL AGRO</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

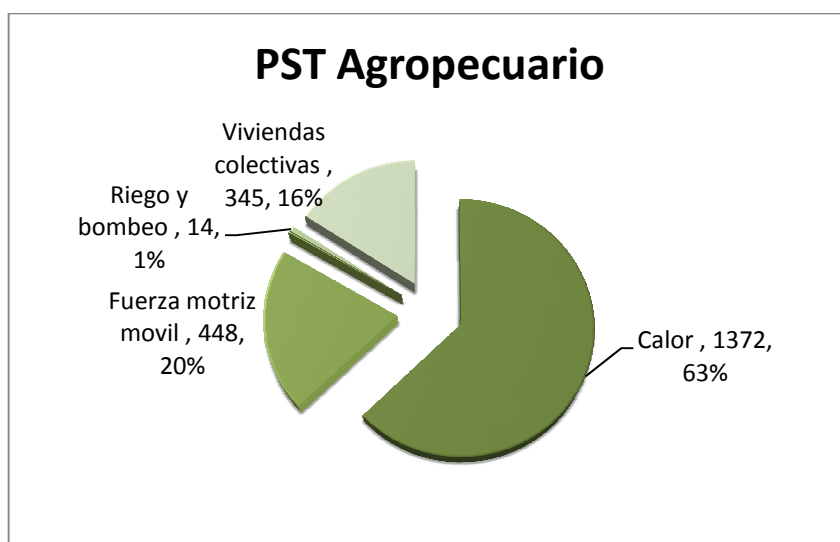
En este sector los principales emisiones de cada contaminante se asocian claramente con un (único) uso energético: PST, PM10 y CO se relacionan con el calor, en tanto SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> se vinculan a la fuerza motriz móvil.

En lo que respecta al contaminante PM10 en el sector agropecuario, el protagonista es el uso para calor (79 %) seguido por el de viviendas colectivas (20 %).



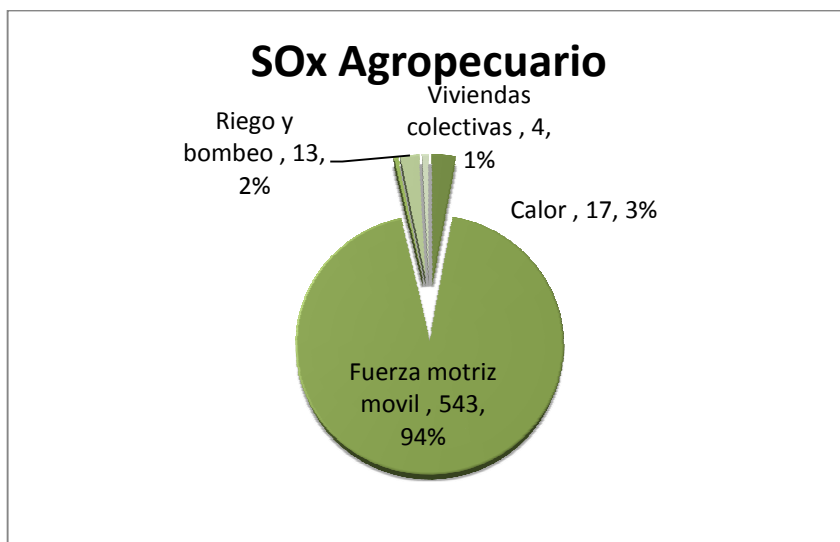
**Figura 4. 35: Distribución de emisiones de PM10 dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje)**

El PST agropecuario, es emitido principalmente debido a la generación de calor (63 %), a fuerza motriz móvil (20 %) y al uso de combustible en viviendas colectivas (16 %).



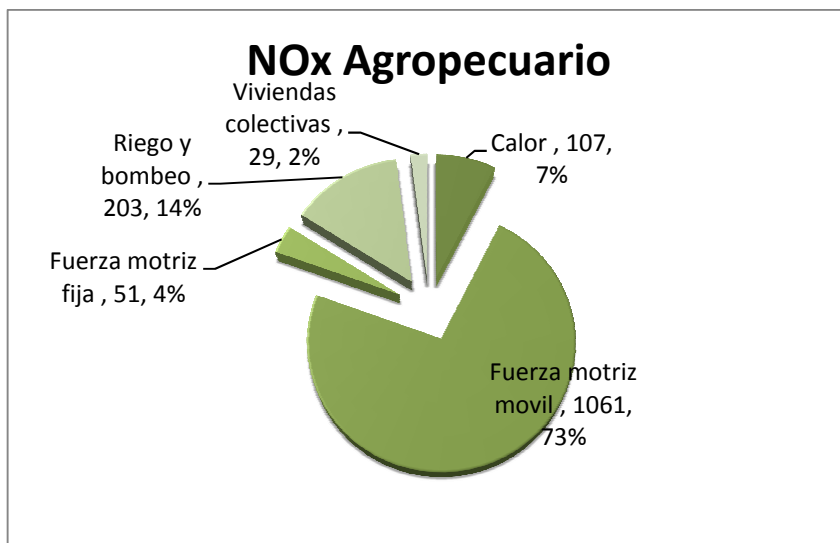
**Figura 4. 36: Distribución de emisiones de PST dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje)**

En lo que respecta a las emisiones de óxidos de azufre del sector agropecuario, son principalmente emitidas por el uso fuerza motriz móvil (94 %).



**Figura 4. 37: Distribución de emisiones de SO<sub>x</sub> dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje)**

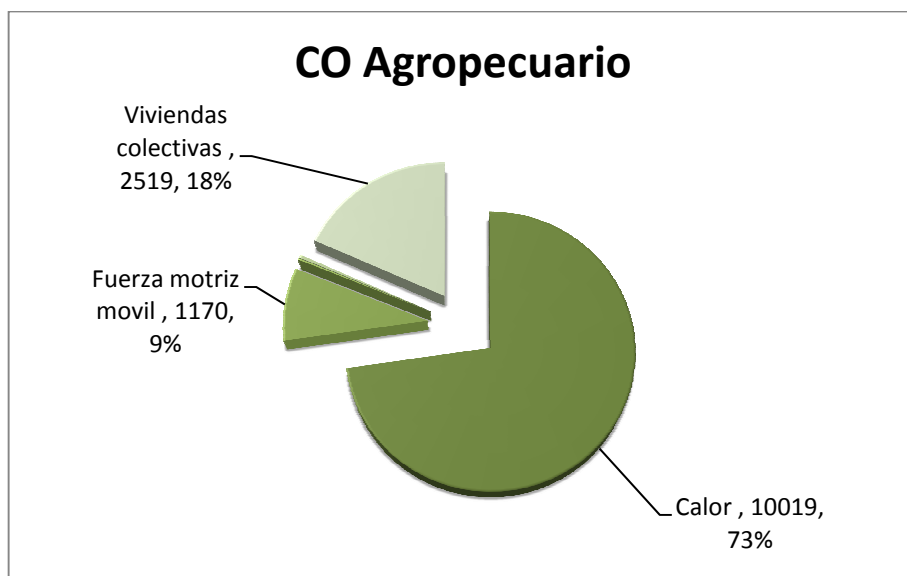
En el caso de las emisiones de óxidos de nitrógeno agropecuarias, la principal emisión proviene del uso fuerza motriz móvil (73 %), seguido por riego y bombeo (14 %) y calor (7 %).



**Figura 4. 38: Distribución de emisiones de NO<sub>x</sub> dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje)**



En lo que respecta al contaminante monóxido de carbono, el protagonista es el uso generación de calor (73 %), viviendas colectivas (18 %) y fuerza motriz móvil (9 %).



**Figura 4. 39: Distribución de emisiones de CO dentro del sector Agropecuario (ton/año, porcentaje)**

#### 4.10.5 Transporte

A continuación se presenta la tabla resumen de las emisiones del sector transporte.

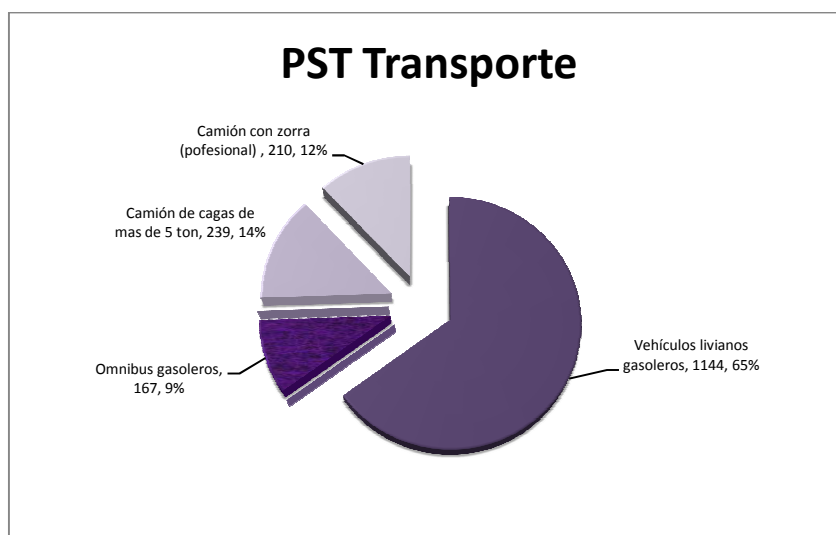
**Tabla 4. 14: Emisiones del sector Transporte, totales y por uso (ton/año y porcentaje)**

<b>Ton/año</b>	<b>Comb.</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Vehículos livianos gasoleros	GO	1144	1485	3860	3108
Vehículos livianos nafteros	NF	0	129	5825	45595
Ómnibus gasoleros	GO	167	465	3816	1223
Ómnibus nafteros	NF	0	0	9	103
Motocicletas nafteras	NF	0	4	28	4076
Camión de cargas de más de 5 ton	GO	239	543	3476	1046
Camión con zorra (profesional)	GO	210	477	3050	918
<b>TOTAL</b>		<b>1760</b>	<b>3102</b>	<b>20065</b>	<b>56069</b>
<b>%</b>	<b>Comb.</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Vehículos livianos gasoleros	GO	65	48	19	6
Vehículos livianos nafteros	NF	0	4	29	81
Ómnibus gasoleros	GO	9	15	19	2
Ómnibus nafteros	NF	0	0	0	0
Motocicletas nafteras	NF	0	0	0	7
Camión de cargas de más de 5 ton	GO	14	18	17	2
Camión con zorra (profesional)	GO	12	15	15	2
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

En este sector, los vehículos livianos gasoleros son responsables de la emisión de aproximadamente la mitad del rubro en el caso de PST (65 %) y SO<sub>x</sub> (48 %). En el caso de CO los vehículos livianos nafteros emiten el 81 % de la emisión del sector. Al considerar en conjunto los camiones a gasoil, representan el 30 % de la emisión en los contaminantes PST, SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>.

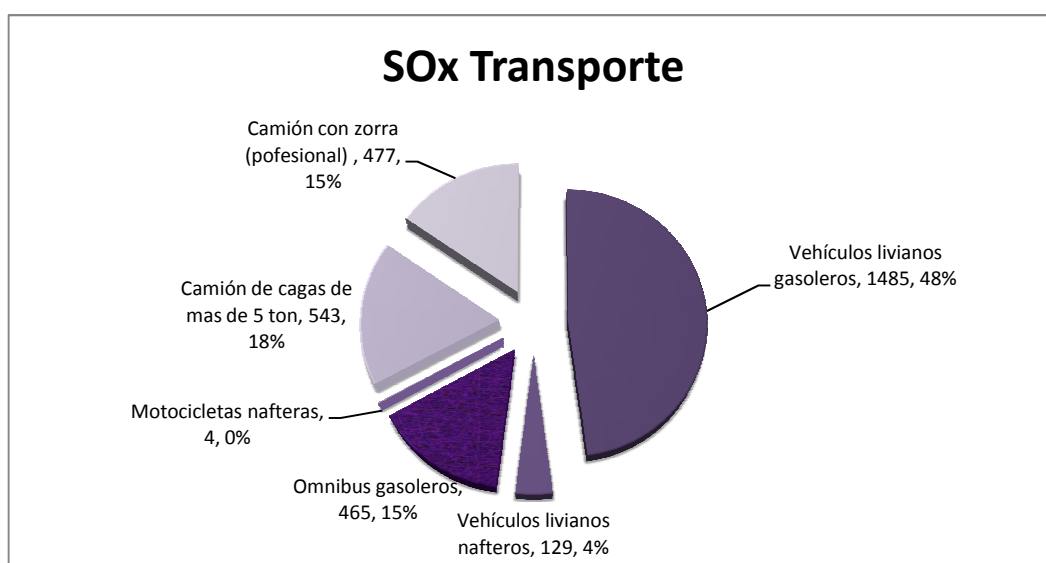
A continuación se presentan las gráficas de la distribución de cada contaminante según subsector emisor.

En lo que respecta a las emisiones de PST del transporte, los vehículos livianos gasoleros son responsables de la emisión del 65 % del sector, seguidos por los camiones a gasoil que representan el 26 % del total.



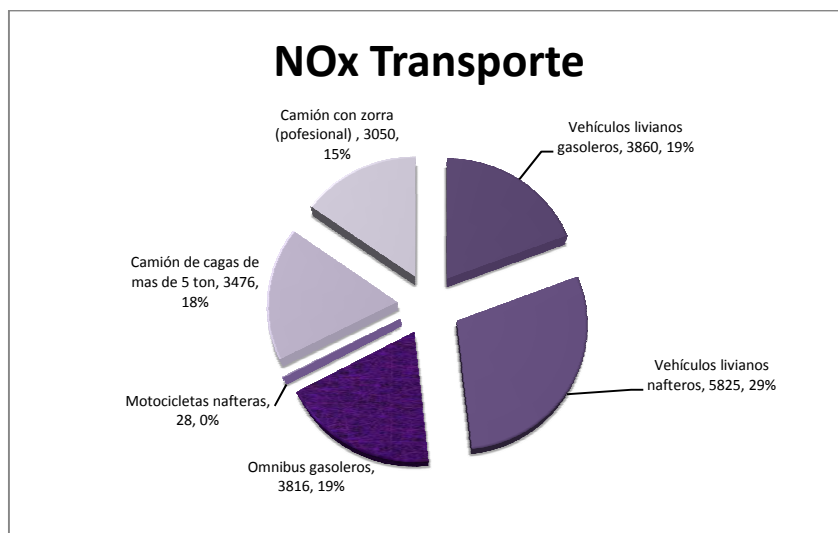
**Figura 4. 40: Distribución de emisiones de PST dentro del sector Transporte (ton/año, porcentaje)**

Por otra parte la emisión de la mitad de los  $SO_x$  del sector corresponde a vehículos livianos gasoleros (48 %), seguidos por los camiones, que emiten un 33 % del total del sector.



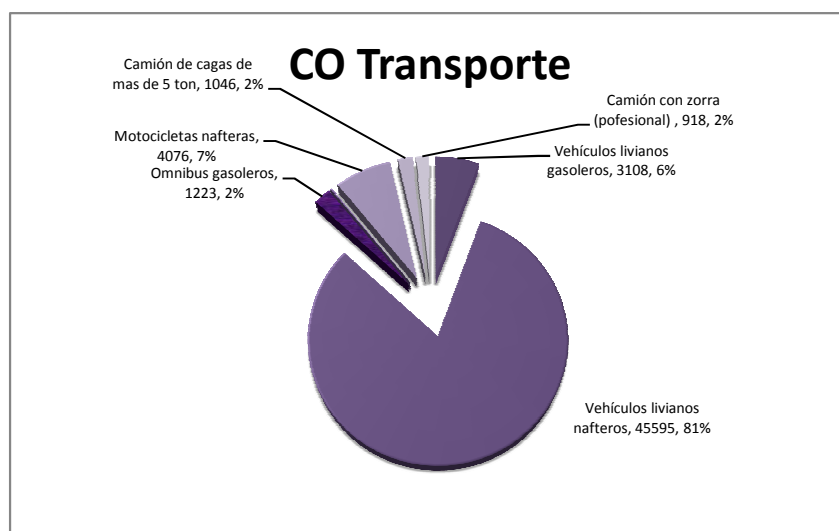
**Figura 4. 41: Distribución de emisiones de  $SO_x$  dentro del sector Transporte (ton/año, porcentaje)**

El sector automóviles (nafteros y gasoleros) emite aproximadamente el 48 % de la emisión de NO<sub>x</sub> total del sector, seguido por los camiones con un peso relativo de 33 % y finalmente por los ómnibus gasoleros con el 19 %.



**Figura 4. 42: Distribución de emisiones de NO<sub>x</sub> dentro del sector Transporte (ton/año, porcentaje)**

Finalmente en lo relativo a CO, los automóviles a nafta aportan el 81 % de las emisiones del sector, seguidos por las motocicletas que son responsables de aproximadamente el 7 % de las emisiones del sector.



**Figura 4. 43: Distribución de emisiones de CO dentro del sector Transporte (ton/año, porcentaje)**

#### 4.10.6 Industrial

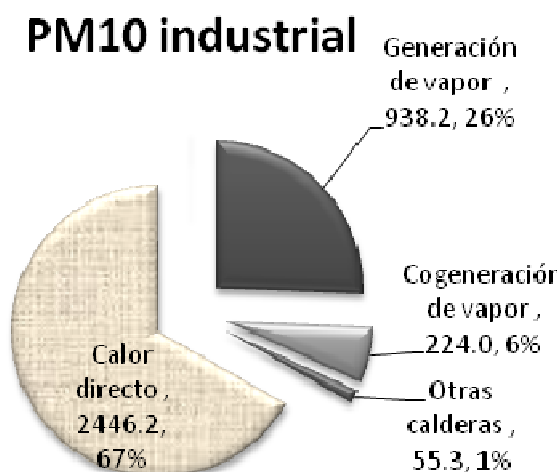
A continuación se presenta la tabla resumen de las emisiones del sector industrial.

**Tabla 4. 15: Emisiones del sector Industrial, totales y por uso (ton/año y porcentaje)**

<b>Ton/día</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Generación de vapor industrial	92	1097	3292	1370	1418
Cogeneración de vapor industrial	224	258	97.3	168	301
Otras calderas industrial	55.3	64.9	234.4	102.3	92.6
Calor directo industrial	2446	2459	1402	396	17697
Fuerza motriz industrial	1.9	2.1	0.1	1.3	2.5
Transporte interno industrial	0.0	19	44.	288.	103
Usos no productivos industrial	0.7	1.1	0.3	10	9.8
Generación de energía	0.0	621	4407	1951	88.5
<b>TOTAL INDUSTRIAL</b>	<b>3666</b>	<b>4525</b>	<b>9480</b>	<b>4289</b>	<b>19715</b>
<b>%</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Generación de vapor industrial	26	24	35	32	7
Cogeneración de vapor industrial	6	6	1	4	2
Otras calderas industrial	2	1	2	2	0
Calor directo industrial	67	54	15	9	90
Fuerza motriz industrial	0	0	0	0	0
Transporte interno industrial	0	0	0	7	1
Usos no productivos industrial	0	0	0	0	0
Generación de energía	0	14	46	46	0
<b>TOTAL INDUSTRIAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

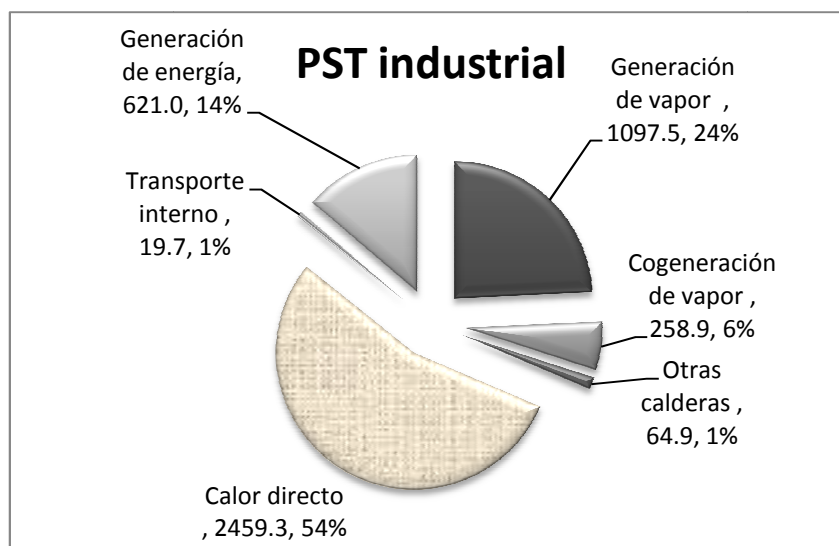
Es posible observar que el uso de calor directo en la industria es el protagonista en cuanto a emisiones de PM10, PST y CO, en tanto generación de energía es el uso emisor más relevante en SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>.

En lo que respecta a las emisiones de PM10, las emisiones protagonistas del rubro Industrias y Generación de Energía son debidas a calor directo (67 %), seguido por generación de vapor (26 %) y cogeneración de vapor (6 %).



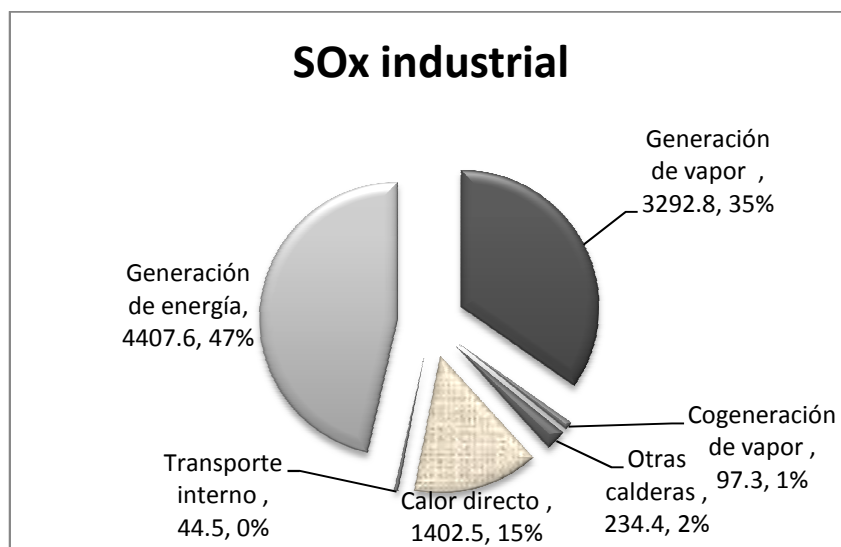
**Figura 4. 44: Distribución de emisiones de PM10 dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje)**

El calor directo es uno de los principales usos emisores de PST (54 %), seguido por generación de vapor (24 %) y generación de energía (14 %).



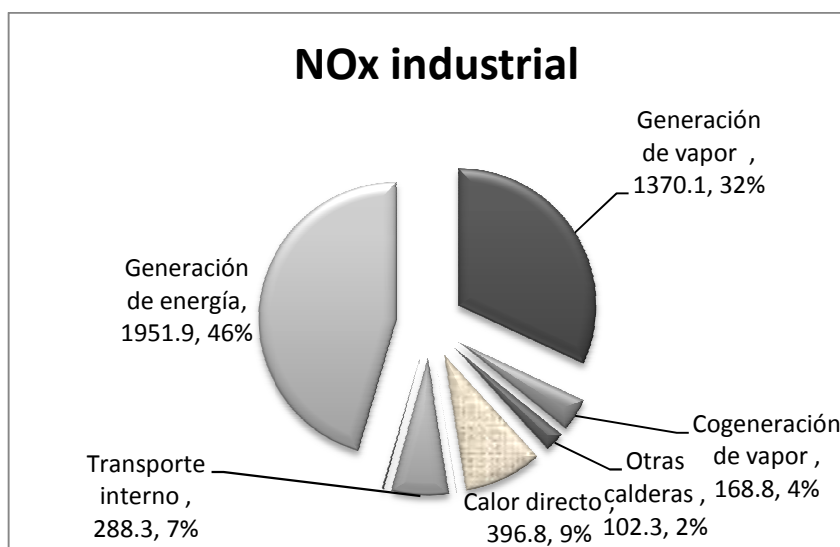
**Figura 4. 45: Distribución de emisiones de PST dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje)**

Las emisiones de óxidos de azufre del sector son principalmente del uso generación de energía (47 %), seguido por generación de vapor (35 %) y calor directo (15 %).



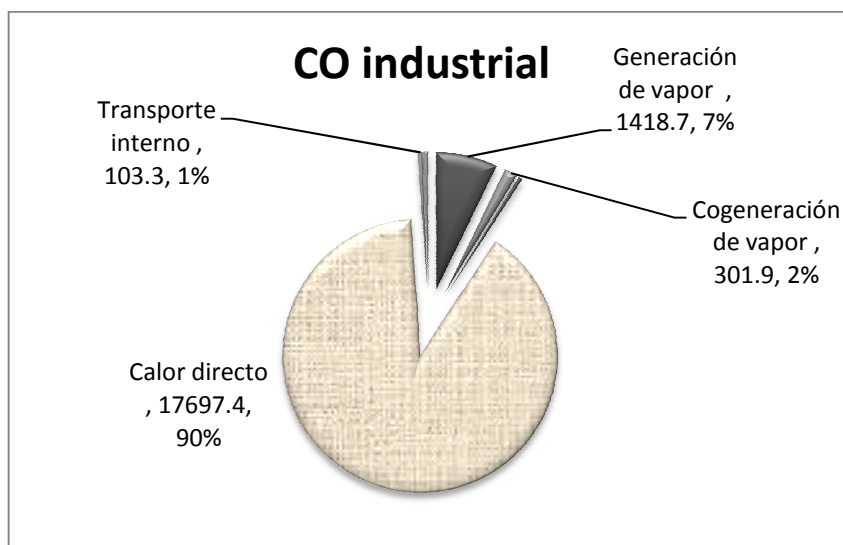
**Figura 4. 46: Distribución de emisiones de SO<sub>x</sub> dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje)**

Las emisiones de óxidos de nitrógeno por generación de energía es el protagonista del sector, mientras que se seguido de generación de vapor (32 %) y cogeneración de vapor (4 %).



**Figura 4. 47: Distribución de emisiones de NO<sub>x</sub> dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje)**

En el contaminante monóxido de carbono, calor directo es el principal uso emisor con el 90 % del total, seguido por generación de vapor con un 7 %.



**Figura 4. 48: Distribución de emisiones de CO dentro del sector Industrial (ton/año, porcentaje)**

#### 4.10.7 Pesca

A continuación se presenta la tabla resumen del sector Pesca.

**Tabla 4. 16: Emisiones del sector Pesca, totales y por uso (ton/año y porcentaje)**

<b>PESCA</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Calor pesca	0,2	0,3	6	3	1
Fuerza motriz propulsión pesca industrial	N/D	158	231	1633	421
Fuerza motriz propulsión pesca artesanal	N/D	4	6	46	12
Uso no productivo pesca	N/D	0	0	0	0
<b>TOTAL PESCA</b>	<b>0</b>	<b>163</b>	<b>244</b>	<b>1682</b>	<b>433</b>

<b>PESCA</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Calor pesca	100	0	3	0	0
Fuerza motriz propulsión pesca industrial	0	97	95	97	97
Fuerza motriz propulsión pesca artesanal	0	3	3	3	3
Uso no productivo pesca	0	0	0	0,1	0
<b>TOTAL PESCA</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



Cuantitativamente, las emisiones de este sector son menores en relación a la de los principales emisores. El principal uso por el que se emiten los distintos contaminantes es la fuerza motriz para propulsión de pesca industrial, con excepción del parámetro PM10, donde el único sector emisor es el de calor.

#### 4.10.8 Construcción

A continuación se presenta la tabla resumen del sector Construcción. En este caso, las emisiones son aún menores que las del sector Pesca. El principal uso por el que se emiten los distintos contaminantes es la fuerza motriz móvil, con excepción de PM 10, parámetro en el que la única emisión ocurre en el consumo de fuerza motriz móvil fija.

**Tabla 4. 17: Emisiones del sector Construcción, totales y por uso (ton/año y porcentaje)**

<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Fuerza motriz móvil Construcción	0	24	53	343	109
Fuerza motriz fija Construcción	1	1	1	17	4
Uso no productivo Construcción	0	0	0	0	0
<b>TOTAL CONSTRUCCIÓN</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>55</b>	<b>359</b>	<b>113</b>

<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Fuerza motriz móvil Construcción	0	95	98	95	97
Fuerza motriz fija Construcción	100	5	2	5	3
Uso no productivo Construcción	0	0	0	0	0
<b>TOTAL CONSTRUCCIÓN</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

#### 4.10.9 Minería

A continuación se presenta la tabla resumen de emisiones del sector Minería, otro de los que tiene muy baja incidencia en el conjunto de las emisiones nacionales.

**Tabla 4. 18: Emisiones del sector Minería, totales y por uso (ton/año y porcentaje)**

<b>MINERIA</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Calor minería	63	88	59	366	571
Fuerza motriz móvil minería	0	3	3	47	10
Fuerza motriz fija minería	3	0	0	0	0
Uso no productivo minería	0	0	0	0	0
<b>TOTAL MINERIA</b>	<b>67</b>	<b>91</b>	<b>62</b>	<b>413</b>	<b>581</b>

<b>MINERIA</b>	<b>PM10</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Calor minería	95	96	95	89	98
Fuerza motriz móvil minería	0	4	5	11	2
Fuerza motriz fija minería	5	0	0	0	0
Uso no productivo minería	0	0	0	0	0
<b>TOTAL MINERIA</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

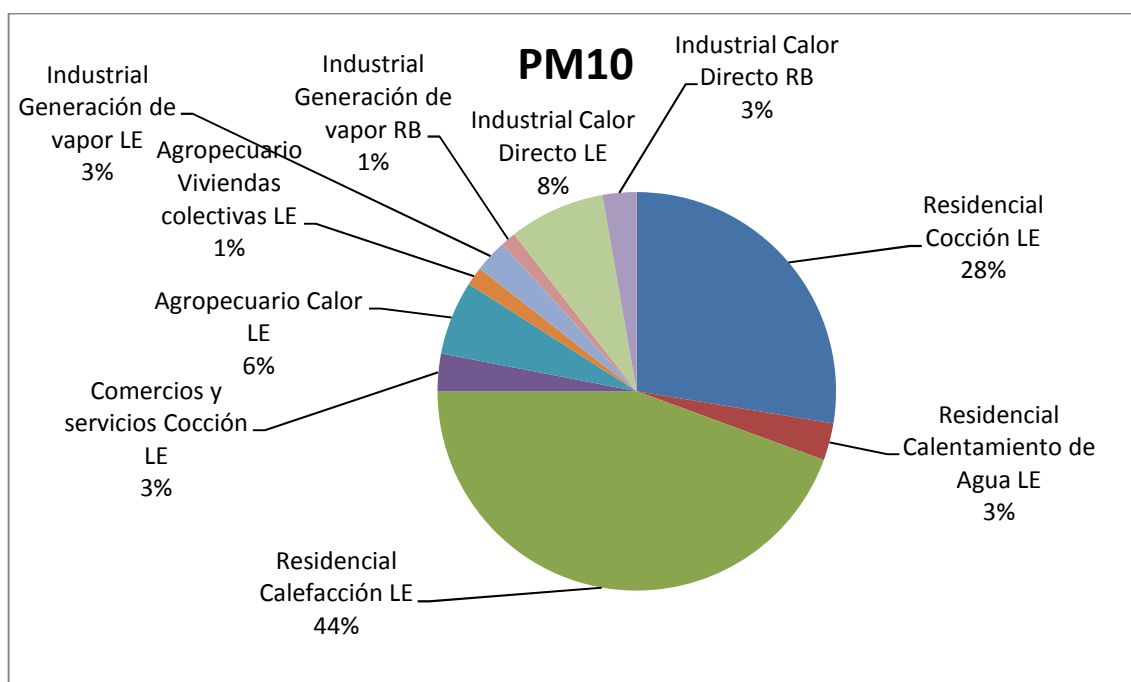
El principal uso emisor en los distintos contaminantes es el de calor para minería.

#### 4.10.10 Aportes principales por contaminante y por combustible

A nivel general, las emisiones de PM10 son debidas casi en su totalidad al uso de leña (99 %) y residuos de biomasa.

El principal sector emisor es el residencial con los usos de calefacción (44 %), cocción (28 %) y calentamiento de agua (3 %); esto se debe a que el combustible utilizado es leña.

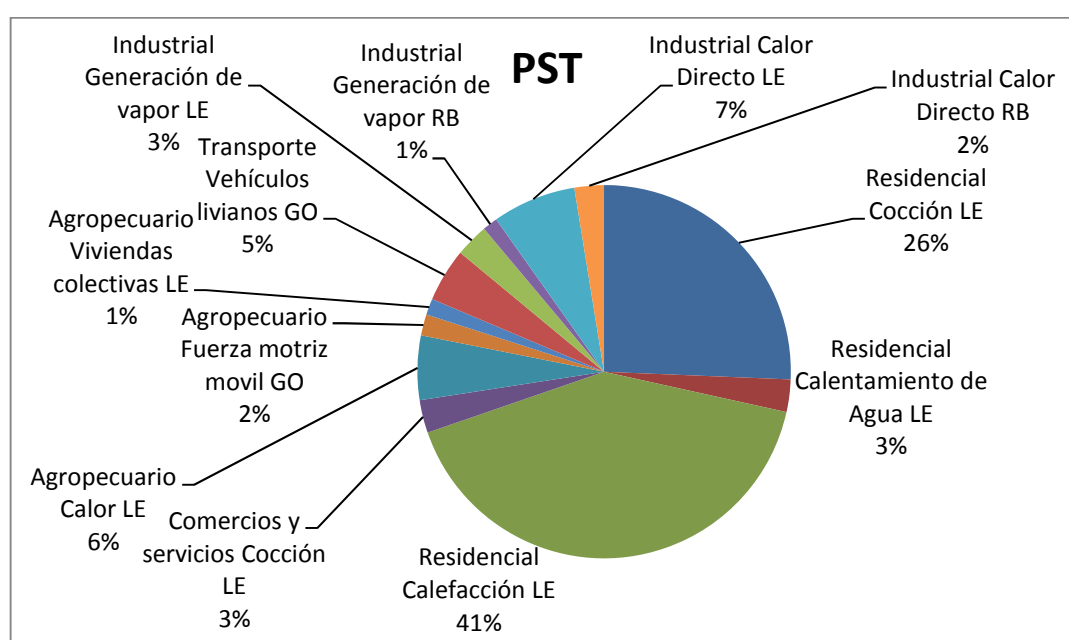
El siguiente uso en importancia el calor directo industrial, el que también tiene como principal causa de emisión el consumo de leña.



**Figura 4. 49: Distribución de emisiones de PM10 por sector, uso y combustible (porcentaje)**

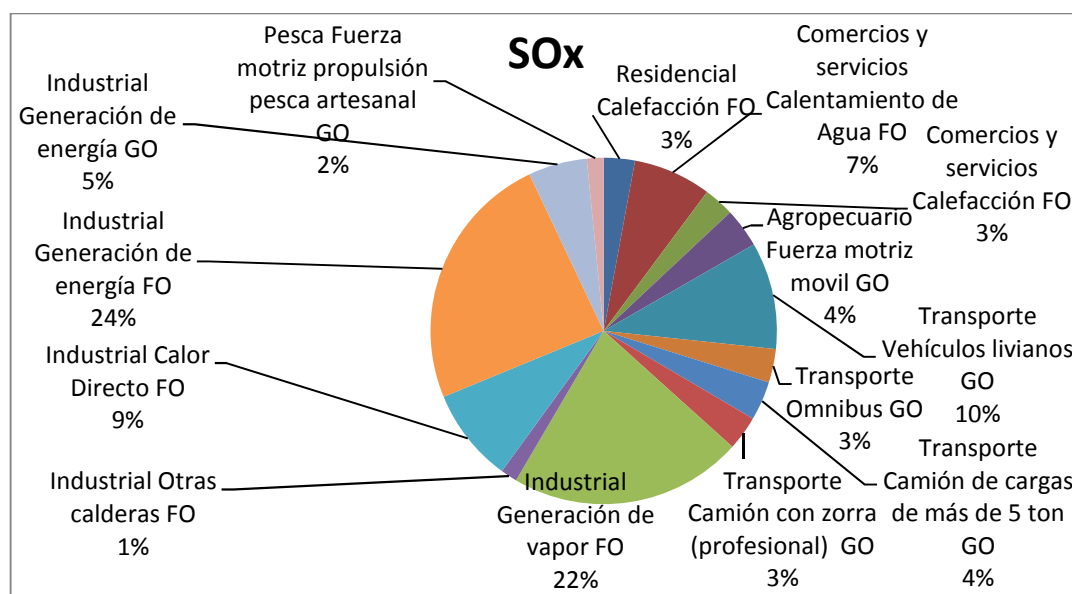
En el caso de PST nuevamente el uso de leña tiene una incidencia mayoritaria (90 %) seguido por el uso de Gasoil (7 %) y residuos de biomasa (3 %). El sector residencial se destaca, debido al consumo de leña en para distintos usos.

El principal emisor es la calefacción residencial (41 %), seguido por la cocción residencial (26 %) y el calentamiento de agua también en el sector residencial (3 %). El siguiente sector emisor es el industrial, con un 10 % en el caso de calor directo y 4 % en el caso de generación de vapor.



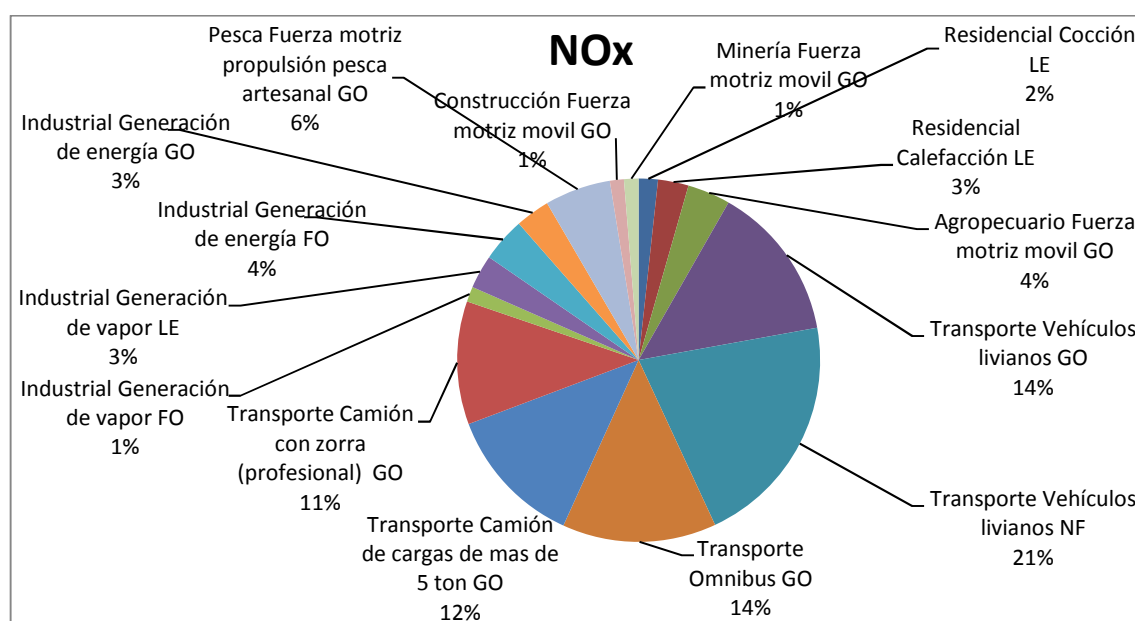
**Figura 4. 50: Distribución de emisiones de PST por sector, uso y combustible (porcentaje)**

En el caso de óxidos de azufre, el peso del uso del Fuel Oil en el rubro industria y generación de energía y Gasoil en el rubro transporte es el principal. Generación de energía es el principal sector emisor con un 24 %, seguido de Generación de vapor en industrias con un 22 %. El FO es responsable de aproximadamente el 56 % de la emisión del sector. Vale mencionar que el transporte de camiones a Gasoil emite el 7 % del total.



**Figura 4. 51: Distribución de emisiones de SO<sub>x</sub> por sector, uso y combustible (porcentaje)**

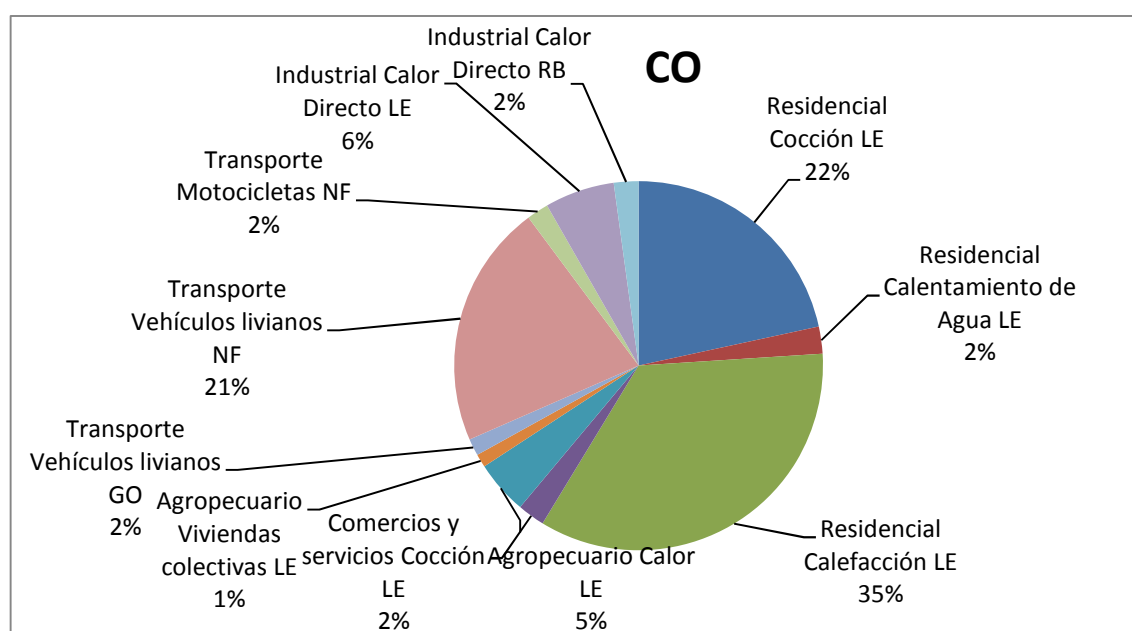
En el contaminante  $\text{NO}_x$  el principal rubro emisor es el de transporte con un 69 %, en este sector el principal protagonista son los vehículos livianos (14 % gasoil y 21 % nafta) seguidos de los ómnibus y camiones. El siguiente sector es el de fuerza motriz para pesca (6 %). Los usos que aportan más del 1% resultan responsables de más del 89% de la emisión. El sector que es prioritario para control de este contaminante es el de transporte, apuntando principalmente a automóviles, y camiones.



**Figura 4. 52: Distribución de emisiones de  $\text{NO}_x$  por sector, uso y combustible (porcentaje)**

Finalmente en el caso de monóxido de carbono, nuevamente el protagonista es la calefacción residencial (36%) y cocción residencial (22 %), seguidos por el rubro transporte que cuenta con un 25 % del peso total principalmente, asociado a los automóviles nafteros. Al igual que en PST y PM10 el principal rubro emisor es el residencial.

La quema de leña (73 %) y residuos de biomasa generan el 75 % de las emisiones de CO. El restante 25 % se compone de un 23 % asociado con el uso de nafta en vehículos livianos (21 %) y motocicletas, más un 2 % emitido por vehículos livianos gasoleros.

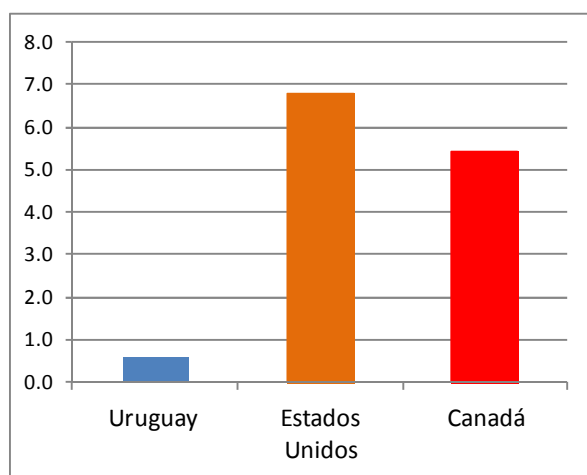


**Figura 4. 53: Distribución de emisiones de CO por sector, uso y combustible (porcentaje)**

#### 4.10.11 Análisis de sensibilidad

En el análisis de sensibilidad se realiza la comparación de los resultados con los datos de inventarios de emisiones de consumo de energía de otros países. Debido a que a los efectos de realizar la comparación de la información es necesaria información complementaria de los inventarios, se utilizan los inventarios de consumo de energía de EEUU y Canadá con el mismo año base.

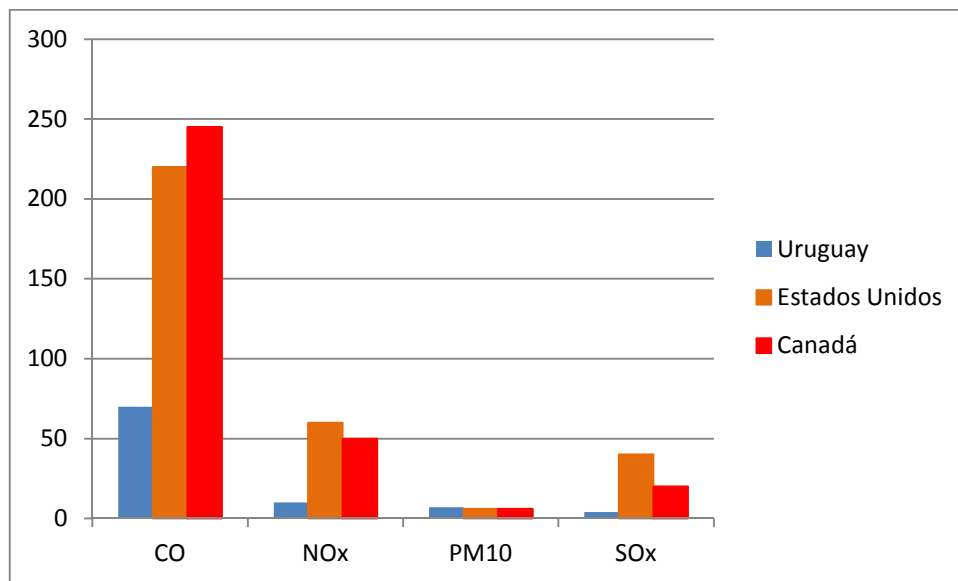
En el siguiente gráfico se puede observar cuál es el consumo energético per cápita de cada país considerado. Es posible observar que el consumo de energía per cápita es 10 veces mayor en Estados Unidos, y aproximadamente de 8 con Canadá (Environmental Protection Agency, 2006. Canada Environmental, 2006).



**Figura 4. 54: Consumo de energía anual per cápita (tep/cápita)**

A partir de los datos de los inventarios de emisiones a la atmósfera 2006, en el siguiente cuadro se realiza la comparación entre cada contaminante de las emisiones per cápita nacionales de cada país. Es posible observar que el factor de escala del consumo de energía aproximadamente se mantiene en los distintos contaminantes, con excepción del monóxido de carbono y partículas. En el caso de PM10 los valores de emisión son similares, esto se encuentra relacionado con la quema de leña en estufas en Uruguay lo que aumenta los tenores per cápita.

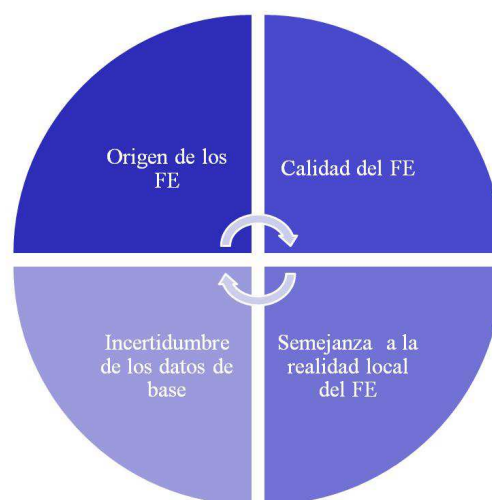




**Figura 4. 55: Emisiones anuales de contaminantes criterio per cápita (kg/año)**

#### 4.10.12 Incertidumbre de los resultados

La incertidumbre de los resultados obtenidos se encuentra dada por distintos factores que se observan en la siguiente figura:



#### **Figura 4. 56: Factores que determinan la incertidumbre de los resultados del inventario**

Más allá de que no es posible determinar la incertidumbre del inventario, a continuación se realiza un breve análisis de cuál es la causa de ello, y en cuáles de los factores se considera que se puede tener mayor grado de incertidumbre.

- **Origen de los FE**

En lo que respecta al origen de los factores de emisión, se considera que cualquiera de las dos metodologías tomadas en consideración (EPA y CORINAIR) son las pioneras y más utilizadas a nivel mundial, lo que minimizaría la incertidumbre respecto al caso de tomar otra metodología para el cálculo.

- **Calidad del FE**

En lo que respecta a la calidad de los factores de emisión, los grandes emisores del inventario en los distintos contaminantes en general tienen buena calidad,, lo que implica poca incertidumbre, sin embargo vale mencionar que la calidad del factor sólo indica como fue desarrollado y no su aplicabilidad (lo que se trata en el siguiente punto).

- **Semejanza a la realidad local del FE**

En lo que respecta a la semejanza a la realidad local en el rubro vehicular se considera que se tiene alta incertidumbre en la elección, debido a la ausencia de datos locales y a la variabilidad de la emisión de este rubro en lo que respecta a la edad de los vehículos, estado de mantenimiento, tipo de vehículos, tipos de sistemas de control, etc. En los otros rubros debido a que las tecnologías de combustión son comparables con las utilizadas en los países de los que provienen los factores de emisión, se considera que la incertidumbre dada por este factor es baja.

- **Incertidumbre de los datos de base**

En lo que respecta a los datos de base del balance energético nacional no se cuenta con un valor de incertidumbre asociado, por lo que no es

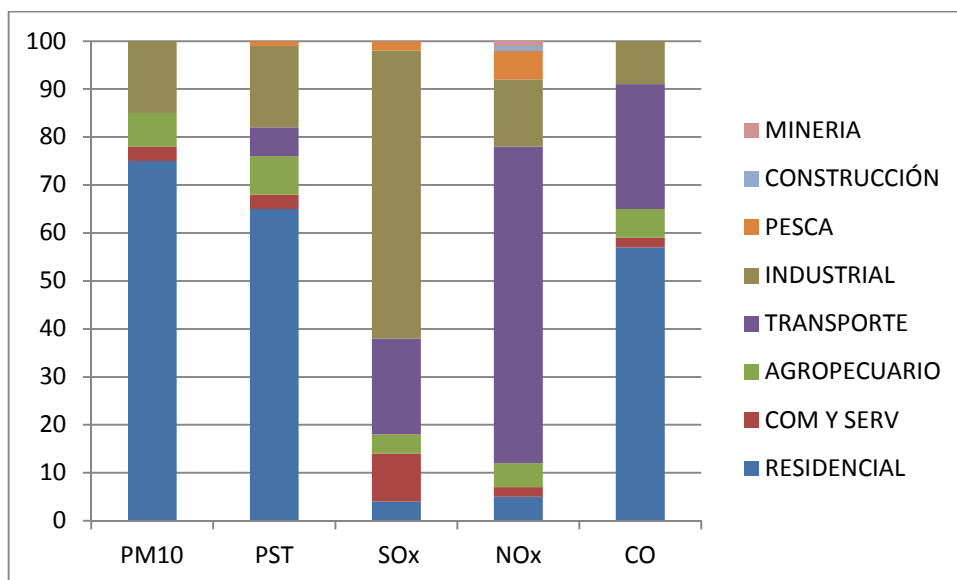
posible determinar a partir de composición de incertidumbre el dato de incertidumbre del inventario.

## 5. A MODO DE SINTESIS

En este capítulo se presentan una síntesis de los principales resultados, el análisis crítico del trabajo realizado y algunas de las posibles líneas de acción e investigación que se identifican.

### 5.1 Resultados finales

En la siguiente figura se observan los porcentajes de emisión por sector para cada contaminante considerado.

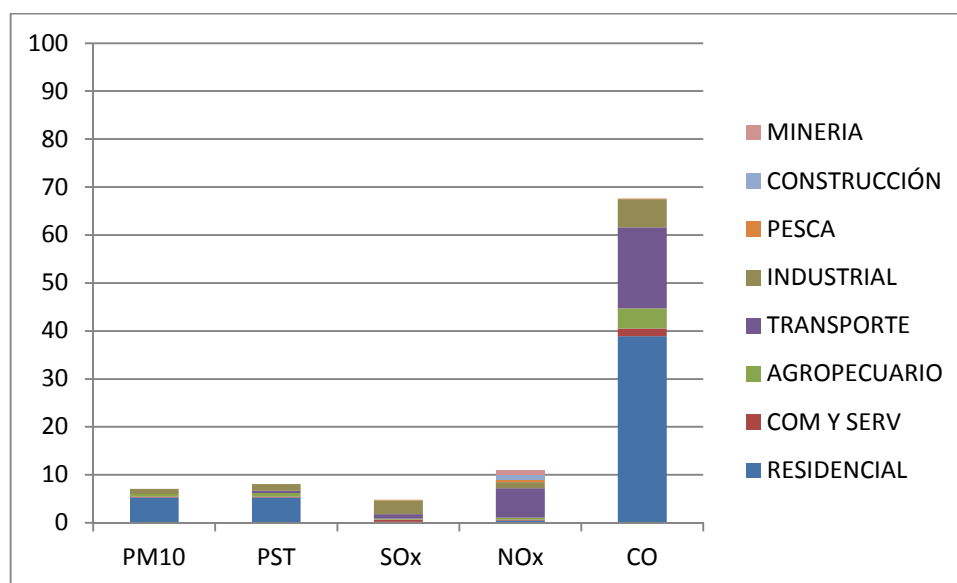


**Figura 5. 1: Porcentajes de participación de los distintos sectores en los contaminantes considerados.**

En todos los casos existe un sector que aporta más del 50 % de cada contaminante y que bastan dos sectores para explicar el 80% o más de la emisión de cada contaminante.

Las responsabilidades por sector muestran que el sector residencial es el mayor emisor de PST, PM10, CO; el transporte lo es de NO<sub>x</sub> y el sector industrial de SO<sub>x</sub>, los demás sectores no tienen prácticamente incidencia (aportan menos del 10%) en ningún caso; sólo el sector Comercios y Servicios alcanza a aportar un 10 % de la emisión total de SO<sub>x</sub>.

Al expresar la emisión país en kilogramos por habitante por año, resultan tasas de emisión de 7.2 kg/hab/año para PM10, 8.2 kg/hab/año para PST, 4.8 kg/hab/año para SO<sub>x</sub>, 9.2 kg/hab/año para NO<sub>x</sub> y 67.8 kg/hab/año para CO.

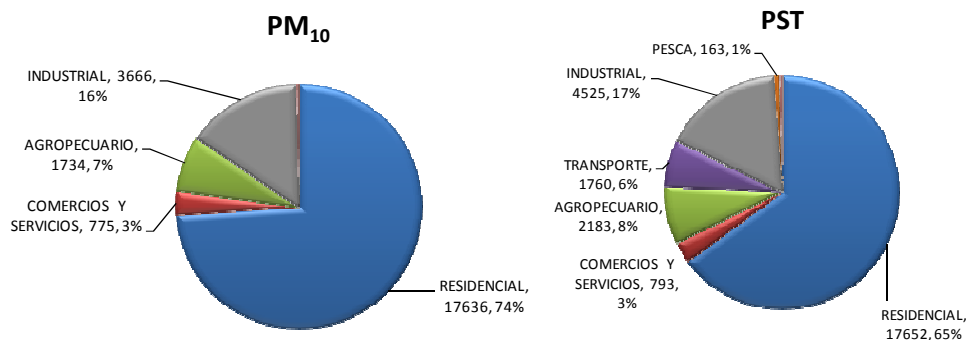


**Figura 5. 2: Tasa de emisión en cada sector por contaminante (kg/hab/año)**

Los resultados del inventario de consumo de energía son comparables con los resultados del primer inventario nacional de emisiones a la atmósfera: las diferencias obtenidas se encuentran en el entorno de un 15 %, a menos del SO<sub>2</sub> donde las emisiones de proceso tienen un peso notorio.

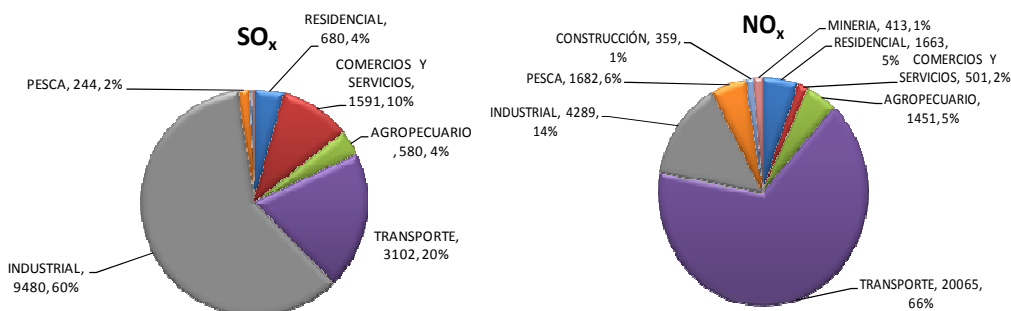
A continuación se presenta el peso relativo de cada sector en la emisión de cada contaminante.

Se observa que en el parámetro PM10 el sector Residencial es el protagonista con el 74 % de las emisiones nacionales, seguido por el Industrial con un 16 % y por el Agropecuario con un 7 %. En lo que respecta a las emisiones de PST, nuevamente el protagonista es el sector Residencial con un 65 % de las emisiones, seguido por el Industrial con una emisión del 17 % y finalmente por el Agropecuario (8%) y el de Transporte (6%).



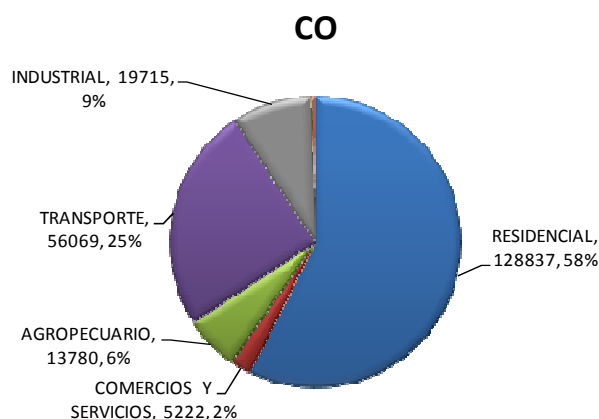
**Figura 5. 3: Distribución del peso de cada sector en emisiones de PM<sub>10</sub> y PST (emisión en ton/año y porcentaje)**

Las emisiones de óxidos de azufre a nivel nacional son protagonizadas por el sector Industrial con el (60 %) de la emisión nacional, siendo el sector Transporte el segundo en importancia con una emisión del 20 % del total país y el tercero, el sector Comercios y Servicios (10 %). En lo que respecta a las emisiones de óxidos de nitrógeno, el sector Transporte es el protagonista con aproximadamente el 66 % de la emisión nacional, el siguiente sector emisor es el Industrial con una emisión del 14 %.



**Figura 5. 4: Distribución del peso de cada sector en emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> (emisión en ton/año y porcentaje)**

En cuanto a emisiones de monóxido de carbono, el sector protagonista es el Residencial (58 %), seguido por el sector Transporte (25 %) y seguido a su vez por el sector Industrial (9 %).



**Figura 5. 5: Distribución del peso de cada sector en emisiones de CO (emisión en ton/año y porcentaje)**

Por otra parte, a continuación se presentan los principales resultados en lo que respecta a las emisiones asociadas con los distintos usos de la energía en los diferentes sectores considerados.

Sector Residencial: La calefacción genera siempre más del 50 % de las emisiones de los contaminantes considerados y, sumado a la cocción en general superan el 95 % de las emisiones en cada caso. En  $SO_x$  la calefacción sola aporta más del 85 % de las emisiones del sector; en los demás contaminantes, la calefacción y la cocción se reparten las emisiones.

Sector Comercios y Servicios: En este sector, las actividades de cocción representan ampliamente las mayores emisiones de CO, PST y PM10. El  $SO_x$  es emitido principalmente por el uso de calentamiento de agua. Los  $NO_x$  son emitidos en similares cantidades entre el calentamiento de agua y la fuerza motriz móvil (cerca del 30 % cada uno), en tanto la calefacción y cocción aportan aproximadamente un 15 % cada uno.

Sector Agropecuario: En este sector los principales emisiones de cada contaminante se asocian claramente con un (único) uso energético; PST, PM10 y CO se relacionan con el calor, en tanto  $SO_x$  y  $NO_x$  se vinculan a la fuerza motriz móvil.

Sector Industrial: Las emisiones de CO de este sector se deben principalmente al uso calor directo (90 %). En el caso de los demás contaminantes, los usos de calor directo, generación de vapor y generación de energía se responsabilizan de la mayor parte de las

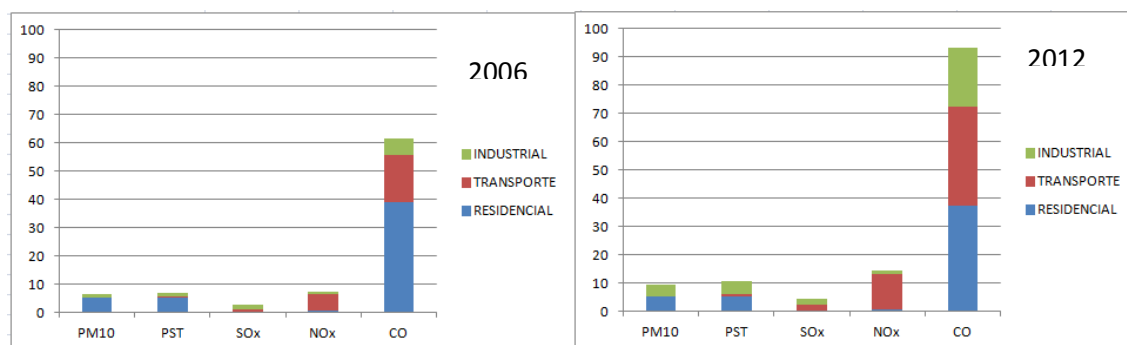
emisiones. El calor directo y la generación de vapor tienen mayor incidencia en lo que hace a emisiones de PM10 y PST, en tanto la generación de energía y la generación de vapor la tiene en lo que hace a emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>.

**Sector Transporte:** En este sector, los vehículos livianos gasoleros son responsables de la emisión de aproximadamente la mitad de las emisiones de PST (65 %) y SO<sub>x</sub> (48 %). En el caso de CO, los vehículos livianos nafteros emiten el 81 % de la emisión del sector. Al considerar en conjunto el sector de camiones a gasoil, representan el 30 % de la emisión en los contaminantes PST, SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>.

## 5.2 Potencial uso de la herramienta generada

La herramienta puede ser fácilmente utilizada para poder determinar las emisiones de los distintos contaminantes por uso y por sector. Se considera para el escenario correspondiente a otro año, la consideración que dentro de un rubro y un combustible, la distribución porcentual de los usos es igual a la del 2006.

En la siguiente figura se puede observar las diferencias entre las emisiones del año 2006 y las del 2012.



**Figura 5. 6: Cargas emitidas por consumo de energía (2006 y 2012) (emisión en kg/hab/año)<sup>14</sup>**

Es posible observar que las emisiones 2012 son superiores en todos los rubros, lo que se asocia a un mayor consumo de energía. Por otra parte el sector industrial gana participaciones en los contaminantes PM10, PST y CO, lo que se debe a un fuerte incremento en el consumo de leña y residuos de biomasa. Finalmente el sector transporte presenta aumentos

<sup>14</sup> No se considera el sector generación de energía en la comparación.



emisiones significativas de NO<sub>x</sub> y CO, lo que se asocia a un fuerte incremento en el consumo de combustibles vehiculares, en especial en nafta.

### **5.3 Análisis crítico**

El inventario de emisiones a la atmósfera de consumos de energía es una herramienta costo efectiva, de fácil aplicación, con la que es posible obtener resultados con una precisión razonable para un instrumento de gestión. Las diferencias que aparecen en el caso del dióxido de azufre entre los inventarios realizados, que son las únicas diferencias significativas detectadas, que pueden ser explicadas por las emisiones de proceso de ANCAP.

En lo que respecta al análisis de resultados, este puede realizarse en función del contaminante, del sector, del uso (asociado a su vez al combustible consumido).

Debido a las modificaciones a corto plazo de la matriz energética y la modificación de la calidad de combustibles a nivel país, es esperable que los resultados del inventario de emisiones a la atmósfera debido al consumo de energía evolucionen de la siguiente manera:

- Reducción de emisiones en los distintos contaminantes criterio del sector generación de energía debido a la penetración especialmente de energía eólica y otras energías renovables (menor consumo de FO y GO para generación de energía).
- Menores emisiones de SO<sub>x</sub> por consumos de GO y NF debido a la mejora de la calidad de combustibles por reducción de los tenores de azufre (GO, NF) en especial en el sector Transporte, Industria y generación de energía (Planta Desulfurizadora de ANCAP)
- Menores emisiones del sector residencial debido al aumento de participación de Gas Natural (GASSAYAGO).

En lo que sigue se sintetizan las principales líneas que emergen de los resultados obtenidos y que se consideran de importancia a los efectos de la gestión de emisiones.

## Sector Industrial

De acuerdo al documento de Estudios de base para el diseño de estrategias y políticas energéticas: relevamiento de consumos de energía sectoriales en términos de energía útil a nivel nacional, el potencial de ahorro energético en este sector apunta al uso de calor directo.

El potencial de ahorro es de 37,3 kTep equivalentes al 57,0 % de todo el potencial estimado para el Sector Industrial; este ahorro corresponde también a un 25,9 % del consumo de Energía Neta en este uso. Este nivel de potencial es significativo porque los rendimientos estimados para este uso son relativamente bajos. Lograr este ahorro requiere de mejoras que aumenten el rendimiento de los hornos del Sector Industrial.

Por otra parte el segundo lugar lo ocupa el uso Generación de Vapor, con un potencial de ahorro estimado en 14,3 kTep, equivalentes al 21,9 % de todo el ahorro estimado para el Sector Industrial. Esta cifra representa un 6,7 % del consumo de Energía Neta del uso. Para concretar el potencial de ahorro en Generación de Vapor, se requiere reducir las pérdidas de los gases de combustión de las calderas de vapor del Sector Industrial, controlando la combustión e instalando economizadores en los casos en que ello sea posible.

En consecuencia, no se esperan reducciones significativas en las emisiones del sector Industrial a partir de modificaciones en la matriz energética, a menos que se siga una política específica aplicada al sector con este objetivo.

## Residencial

En el documento de referencia (DNE-MIEM, 2008) se menciona: *"...Evidentemente si se desea ganar en eficiencia, promoviendo el empleo de fuentes y artefactos que desplacen a la Leña, el uso principal de la misma ofrece una amplia gama de alternativas a desarrollar."* Sin embargo posiblemente la sola motivación de la mejora de eficiencia energética no sea suficiente para lograr un cambio cultural tendiente a la sustitución de la leña por otro energético.

En el documento mencionado se analiza asimismo el mercado potencial en el sector Residencial para la penetración del Gas Natural. Se supone que el Gas Natural desplaza a la Leña y al Carbón Vegetal en los usos calóricos distintos de cocción, y que sólo sustituiría usos en el caso de hogares urbanos. Los consumos de energía útil a sustituir por Gas Natural

alcanzan a 43,8 kTep, lo que representa el 29 % del consumo útil total del sector. De esta cantidad, los usos Calentamiento de Agua y Calefacción son los que presentan un mayor potencial en términos absolutos.

En caso que la penetración de gas natural sea la predicha por el estudio, las emisiones del sector residencial en los parámetros PM10, PST, y CO se reducirían significativamente. Esto modificaría también el peso relativo de los diferentes sectores emisores a nivel nacional.

### Transporte

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, la modificación de la calidad del combustible generará una reducción significativa en las emisiones de óxidos de azufre de este sector. Sin embargo, a menos que se implemente una política de desestimulo del transporte privado, la tendencia de crecimiento de la flota en circulación y del consumo del sector se mantendrá incambiada. Las emisiones podrán modificarse en función de la penetración de vehículos 0 km al mercado.

El uso y estado de mantenimiento de los vehículos tiene una incidencia muy importante en las emisiones de los mismos.

En consecuencia, se debería apuntar a controlar los vehículos a GO con el fin de conocer la emisión real de la flota y eventualmente incorporar límites de emisión a los permisos de circulación.

A su vez, se deberá realizar el control de emisiones vehiculares en todo el país, especialmente a nivel de vehículos livianos. También surge como necesario modificar el control que actualmente se realiza a vehículos de transporte interdepartamental en SUCTA, de modo de cuantificar las emisiones de los diferentes contaminantes criterio y no sólo la opacidad de las mismas, asignando plazos breves para realizar un segundo control cuando se presente algún nivel de no conformidad.

Los vehículos nuevos deben ser ensayados por alguna autoridad competente antes de su ingreso al país, de modo de asegurar que sus niveles de emisión sean compatibles con los objetivos de calidad ambiental de nuestro país.

## **5.4 Líneas de investigación**

El uso de inventario de emisiones a nivel nacional es incipiente, por lo que se encuentra desaprovechado como herramienta de gestión. Resulta de

interés profundizar en sus aplicaciones, jerarquizándolas de modo de simplificar también su actualización.

A partir del desarrollo del presente Inventario, es posible generar escenarios de evolución de las emisiones a la atmósfera debido al consumo de energía a nivel nacional, a los efectos de evaluar en forma predictiva el impacto de la implementación o no de distintas medidas de gestión.

Por otra parte, debido a la falta de ensayos sobre las emisiones vehiculares que permitan conocer objetivamente las tasas de emisión reales de la flota vehicular uruguaya actual, no es posible contar con estándares para vehículos en circulación. Por otra parte, el desarrollo de factores de emisión basados en estos ensayos será un insumo que permitirá aplicar distintas herramientas de gestión de la calidad del aire con menor incertidumbre en la toma de decisiones

En el caso del uso de calefacción y cocción en el sector residencial, debido al peso relativo de la leña a nivel nacional, es necesario desarrollar factores de emisión a partir de datos experimentales hoy inexistentes, con el fin de mejorar la precisión de los resultados y analizar la aplicabilidad de distintas políticas. Este tipo de proyecto de investigación pueden tomar en consideración temas técnicos actualmente en discusión a nivel internacional como por ejemplo el efecto del uso de la leña para calefacción en la calidad de aire (PM 2.5) en interiores.

## BIBLIOGRAFÍA

Abdullahi K. et. al. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review. *Atmospheric Environment* (71) 260-294, 2013.

Albert, Lilia. *Toxicología Ambiental*. México DF: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2004. 453p.

Asociación de Concesionarias y Marcas de automotores, [On line]. [Consulta: enero 2014] Disponible en: <http://www.ascoma.com.uy/> Versión de 2014.

Baethgen, Walter E. Martino, Daniel L. *Cambio climático, gases del efecto invernadero e implicancias en los sectores agropecuarios y forestales del Uruguay*, 2002

Boletín Oficial del Estado. [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: <http://www.boe.es/>. Versión de 2007.

Butler T.M., Lawrence et. al. The representation of emissions from megacities in global emission inventories. *Atmospheric Environment* (42): 703-719, 2008.

California online digital collection. A London Fog. [On line]. [Consulta: enero 2013] Disponible en: <http://cdnc.ucr.edu/cgi-bin/cdnc?a=d&d=SFC18920612.2.71> Versión de 2013.

Cámara de industrias del Uruguay, [On line]. [Consulta: enero 2014] Disponible en: [www.ciu.com.uy/](http://www.ciu.com.uy/) Versión de 2014.

Cataldo, José. González, Elizabeth. *Notas del curso de Actualización y Posgrado Dispersión de Contaminantes en la Atmósfera*, Uruguay, 2008.

CETESB Qualidade do ar. [On line]. [Consulta: julio 2013] Disponible en: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/informacoes-basicas/20-historico> Versión de 2013.

Cinzia Pastorello et. al. Importance of activity data for improving the residential wood combustion emission inventory at regional level. *Atmospheric Environment* (45) 2869 - 2876, 2011.

Comisión para la Cooperación Ambiental, Environmental Economics, Aumento de la comparabilidad de los inventarios de emisiones atmosféricas en Canadá, Estados Unidos y México, Canadá, 2001.

CORINAIR Third Edition. Emission Inventory Guidebook. [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR3>, Versión de 2002 y actualizaciones posteriores.

DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR, Programa de evaluación de la calidad del aire aplicado a la República Oriental del Uruguay, Montevideo, Uruguay, 2000.

DINAMA-MVOTMA - FING-UdelaR. Informe final del primer inventario de emisiones atmosféricas. 2008. 185 pp.

DINAMA-MVOTMA. Divisiones y Departamentos [On line]. [Consultas realizadas en el año 2014] Disponible en: [www.mvotma.gub.uy/el-ministerio/institucional/divisiones-y-departamentos.html](http://www.mvotma.gub.uy/el-ministerio/institucional/divisiones-y-departamentos.html) Versión de 2014

DINAMA-MVOTMA. Gesta aire. Propuesta de estándares de calidad de aire [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: [www.mvotma.gub.uy](http://www.mvotma.gub.uy) Versión de 2012

DINAMA-MVOTMA. Gesta aire. Propuesta de estándares de emisiones atmosféricas de fuentes fijas [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: [www.mvotma.gub.uy](http://www.mvotma.gub.uy) Versión de 2012

DINAMA-MVOTMA. Gesta aire. Propuesta de estándares de emisiones atmosféricas de fuentes móviles [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: [www.mvotma.gub.uy](http://www.mvotma.gub.uy) Versión de 2012

Directiva 85/338/EEC. Official Journal of the European Communities. [On line]. [Consulta: marzo 2013]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/JOHtml.do?uri=OJ:L:1985:176:SOM:EN:HTML> Versión de 1985

DNE - MIEM. Política Energética 2005-2030. [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: <http://www.dne.gub.uy/> Versión 2009

DNE-MIEM. Estudios de base para el diseño de estrategias y políticas energéticas: relevamiento de consumos de energía sectoriales en términos de energía útil a nivel nacional. [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: <http://www.dne.gub.uy/> Versión 2008

DNE-MIEM. Balance energético Nacional 2006. [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: <http://www.dne.gub.uy/> Versión 2006

DNE-MIEM. Balance energético Nacional 2012. [On line]. [Consultas realizadas en el año 2014] Disponible en: <http://www.dne.gub.uy/> Versión 2012

DNE-MIEM. Dirección Nacional de Energía. [On line]. [Consultas realizadas en el año 2014] Disponible en: <http://www.dne.gub.uy/> Versión 2014

Economopoulos, Alexander. Organización Mundial de la Salud. Evaluación de fuentes de contaminación del aire. Estados Unidos. 2002. 125p.

Economopoulos, Alexander. World Health Organization. Assessment of sources of air, water and land pollution. Geneva: 1993. 230p.

Edinburgh University. The London Smog Disaster of 1952. Days of toxic darkness. [On line]. [Consulta: julio 2013] Disponible en <http://www.portfolio.mvm.ed.ac.uk/studentwebs/session4/27/greatsmog52.htm> Versión de 2013.

Environment Canada, Canada National Pollutant Release Inventory, Canada, 2006.

Environmental Protection Agency, EPA, Emission Factor And Inventory Group Emissions, Monitoring, And Analysis Division Office Of Air Quality Planning And Standards U.S., Version 5.0, EEUU, 1997.

Environmental Protection Agency, EPA, National Emissions Inventory, Air Pollutant Emissions Trends Data, EEUU, 2006.

Evelyn, John, Fumifugium, University of Exeter. The ROTA, [On line]. [Consulta: enero 2013] Disponible en: <https://archive.org/details/fumifugium00eveluoft> Versión de 1976.

Gallardo L. Evaluation of vehicle emission inventories for carbon monoxide and nitrogen oxides for Bogotá, Buenos Aires, Santiago, and São Paulo. *Atmospheric Environment* (47) 12-19, 2012.

IDM. Calidad del aire. [On line]. [Consulta: julio 2013] Disponible en <http://www.montevideo.gub.uy/taxonomy/term/528>. Versión de 2011.

Instituto Nacional de Ecología (INE – Semarnat), Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. México, 2005.

Instituto Nacional de Ecología (INE – Semarnat), Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México 1999. México, 2005.

Kork, M. et al. Plan Nacional de Calidad de aire. Uruguay, 2000.

Lumbreras J. et. al. Computation of uncertainty for atmospheric emission projections from key pollutant sources in Spain. *Atmospheric Environment* (43): 1557-1564, 2009.

Modelo de inventario de emisiones industriales de España, Cataluña, España, 2004.

MSP, Visión [On line]. [Consulta: enero 2014] Disponible en: <http://www.msp.gub.uy/> Versión de 2014.

MTOP, [On line]. [Consulta: enero 2014] Disponible en: <http://www.mtop.gub.uy/> Versión de 2014.

Nagpure A. Development and evaluation of Vehicular Air Pollution Inventory model. 2012. India. *Atmospheric Environment* 59 160-169, 2012.

OMS, Evaluación de fuentes de contaminación del aire. Parte 1: Técnicas para el inventario rápido de la contaminación ambiental. 2002.

OMS, Guías de calidad del aire actualización mundial 2005. Actualización mundial [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsea/fulltext/omsguiaaire.pdf>. Versión de noviembre 2005



OMS, Rapid Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution. 1982.

PNUMA. Desarrollo de Inventarios de emisiones atmosféricas. [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: <http://www.pnuma.org/> Versión de 2000

RAE. Diccionario de la lengua española . [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: <http://www.rae.es/>. Versión de enero 2001

Registro Nacional de Leyes y Decretos. Poder Legislativo, Montevideo, Uruguay. [On line]. [Consultado en 2014]. Disponible en <http://www.parlamento.gub.uy/palacio3/index1280.asp?e=0&w=1366>

SERMANAT. Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones [On line]. [Consultado en 2013]. Disponible en [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=457](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=457), Versión 2005.

Unidad de cambio climático, MVOTMA, Segunda Comunicación Nacional a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Montevideo, Uruguay, 2004.

USEPA, Simplifying compliance, [On line]. [Consultas realizadas en el año 2012] Disponible en [http://www.epa.gov/region4/ead/news/caa\\_corrections\\_ky.pdf](http://www.epa.gov/region4/ead/news/caa_corrections_ky.pdf) Versión de 2012

USEPA. AP 42, Fifth Edition. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>. Versión de 1997 y actualizaciones posteriores.

USEPA. Ground Level Ozone, [On line]. [Consultas realizadas en el año 2014] Disponible en <http://www.epa.gov/groundlevelozone/health.html> Versión de 2014

USEPA. Mobile sources, [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en <http://www.epa.gov/otaq/toxics-emissions.htm> Versión de 2013

UTE, [On line]. [Consulta: enero 2014] Disponible en: <http://www.ute.com.uy/> Versión de 2014.

WHO. Air Quality Guidelines for Europe [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/74732/E71922.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf) f Versión de julio 2000.

WHO. Environmental Health Criteria, carbon monoxide, second edition [On line]. [Consultas realizadas en el año 2013] Disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/ehc/WHO\\_EHC\\_213.pdf?ua=1](http://whqlibdoc.who.int/ehc/WHO_EHC_213.pdf?ua=1) Versión de julio 2004.

Winiwarter W. et. al. Quality considerations of European PM emission inventories. Atmospheric Environment (43): 3819-3828, 2009.

Zhang S. et.al. Historical evaluation of vehicle emission control in Guangzhou based on a multi-year emission inventory. Atmospheric Environment (76) 32-42, 2013.

## **ANEXO - HERRAMIENTA DE CÁLCULO**

**EMISURU.xls**