

**DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL
DIGESA**

**INVENTARIO DE EMISIONES
DE FUENTES FIJAS
CUENCA ATMOSFERICA DE
LA CIUDAD DE AREQUIPA**

**SUB PROGRAMA IM-07
PROCLIM
"INVENTARIOS LOCALES DE GASES CONTAMINANTES"**



ABRIL, 2005

INDICE
Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la
Cuenca Atmosférica de la ciudad de Arequipa

	Pàg.
1. INTRODUCCIÓN	01
2. OBJETIVO	02
3. DELIMITACION GEOGRAFICA Y POBLACIÓN	02
4. METODOLOGÍA	03
5. PROCEDIMIENTO	04
5.1 Tipos de Fuentes Emisoras	04
5.2 Caracterización de las Fuentes Emisoras	06
5.3 Determinación del Universo de Fuentes Emisoras	14
5.4 Determinación del Tamaño Muestral para Fuentes de Area	16
5.5 Estimación de Emisiones	17
5.5.1 Emisiones Anuales	17
5.5.2 Emisiones por Contaminante	26
5.5.3 Análisis de las Fuentes Puntuales más Contaminantes	35
6. CONCLUSIONES	39
ANEXOS	

Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Arequipa

1. Introducción

En el contexto de las actividades de gestión ambiental en el país, se publicó en el año 2001 el D.S. N° 074-2001-PCM: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Aire, el cual tiene por objetivo principal proteger la salud de la población, a través de estrategias para alcanzar los estándares progresivamente.

El diagnóstico de línea base constituye uno de los elementos del proceso de aplicación de los estándares, y tiene por finalidad evaluar de manera integral la calidad del aire en una zona y sus impactos sobre la salud y el ambiente, a través de estudios específicos como el monitoreo de la calidad del aire, inventario de emisiones y estudios epidemiológicos, siendo así la base para la toma de decisiones correspondientes a la elaboración de los Planes de Acción y manejo de la calidad del aire a nivel local.

Con la finalidad de apoyar el cumplimiento de las responsabilidades asignadas a la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA del Ministerio de Salud, y con el objeto de integrar a esta institución en el desarrollo del Sistema Nacional Integrado de Inventarios, es que el Programa Nacional de Fortalecimiento de Capacidades para el Manejo del Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire – PROCLIM, a través de la cooperación de la Embajada Real de los Países Bajos, inicia en Octubre del 2003 el Sub Programa IM-07: "Inventarios Locales de Gases Contaminantes".

Este Sub Programa está dirigido a la elaboración de inventarios locales de fuentes fijas en las trece ciudades de atención prioritaria establecidas en el citado D.S. N° 074-2001-PCM, que permitan identificar las principales fuentes de emisión de gases contaminantes, así como la contribución de las mismas en las emisiones totales de las ciudades seleccionadas, y disponer de una base de datos de las emisiones atmosféricas locales en trece ciudades del país.

Un indicador de la calidad del aire lo constituye el consumo de energéticos empleados en los sectores productivos y el transporte, y también en el sector comercial y de servicios, ya que en su mayoría los contaminantes emitidos a la atmósfera son el resultado de la combustión de diferentes tipos de combustibles fósiles.

En ese sentido, la identificación de las fuentes que emiten contaminantes a la atmósfera se vuelve una actividad importante y a la vez compleja, que demanda la instrumentación y aplicación de métodos que permitan estimar el tipo y la cantidad de los contaminantes emitidos. Un instrumento importante en esta tarea lo constituye el inventario de emisiones, mediante el cual es posible identificar tanto a las fuentes emisoras, como el tipo y cantidad de contaminantes generados como resultado de la realización de procesos industriales y otras actividades específicas.

Para la elaboración de este primer inventario de emisiones a nivel local, se contó con la participación interinstitucional a través de los Grupos de Estudio Técnico Ambiental de Aire – Gesta’s Zonales.

2. Objetivo

Elaborar el primer inventario local de emisiones procedentes de fuentes fijas de la cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa, con la finalidad de contar con información que indique la situación en cuanto al aporte de contaminantes a la atmósfera de los diferentes giros industriales, y de los sectores comerciales y de servicios, que asimismo constituya una herramienta de apoyo para la evaluación de las medidas y estrategias del Plan “A Limpiar el Aire”.

3. Delimitación Geográfica y Población

Un elemento importante en la planeación de un inventario de emisiones, es definir los límites geográficos del área que éste cubrirá. Esta área por lo general se define con base en los problemas de contaminación atmosférica que se presentan en una región.

Debido a la configuración geográfica de la ciudad de Arequipa, el inventario de emisiones integra veintitrés distritos, cuya cobertura poblacional se indica a continuación:

Distrito	Población
Arequipa	95537
Alto Selva Alegre	57005
Jacobo Hunter	55216
Cayma	67541
Cerro Colorado	78487
Characato	4020
Chiguata	2367
José Luis Bustamante y Rivero	86591
Mariano Melgar	54600
Miraflores	56600
Mollebaya	879
Paucarpata	131973

Distrito	Población
Pocsi	778
Polobaya	1421
Quequeña	1162
Sabandía	3624
Sachaca	17607
Socabaya	39601
Tiabaya	18421
Uchumayo	8636
Yanahuara	19322
Yarabamba	1027
Yura	9948
Total Cuenca Atmosférica	812363 habitantes

4. Metodología

El presente inventario de emisiones de fuentes fijas fue desarrollado principalmente con la aplicación de la metodología de "Evaluación de Fuentes de Contaminación del Aire – Técnicas para el Inventario Rápido de la Contaminación Ambiental" de Alexander P. Economopoulos, traducido y publicado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS de la Organización Mundial de la Salud, la cual en adelante se denominará Metodología OMS.

Este método permite evaluar de manera efectiva las emisiones de contaminación del aire generadas por cada fuente o grupos de fuentes similares dentro de una determinada área de estudio, mediante la aplicación de factores de emisión basados en experiencias previas (medición) sobre la naturaleza y cantidad de contaminantes generados, con y sin sistemas de control.

Cada factor de emisión se define como la carga normalizada liberada de un contaminante expresada en kilogramos por unidad de actividad que caracteriza a la fuente de emisión.

Para aquellos casos particulares en que no se dispuso de factores de emisión específicos en la metodología OMS, se empleó la metodología indicada a continuación:

- *Pollerías con quema de carbón vegetal* :
"Emisiones de los Aparatos de Cocina de los Vendedores Ambulantes (Asadores al Carbón)". Preparado por Suh Y. Lee por contrato de la EPA N° 68-D4-005. Air Pollution Prevention and Control División.

El parámetro partículas en suspensión menores a 10 micras (PM-10) no se encuentra incorporado dentro de los contaminantes posibles de calcular en la metodología OMS, por lo cual fue necesario recurrir a la metodología de Factores

de Emisión del Source Code Clasification – SCC. Traducido por el Gobierno del Distrito Federal de México.

Sin embargo, los factores de emisión no fueron aplicados directamente, a fin de no emplear una metodología diferente a la correspondiente a los demás contaminantes, decidiéndose definir porcentajes de aporte de PM-10 en el total de partículas en suspensión, en función a los factores de emisión. Estos porcentajes fueron aplicados a los resultados obtenidos mediante la estimación realizada por la metodología OMS.

5. Procedimiento

5.1 Tipos de Fuentes Emisoras

Para el propósito de este inventario de emisiones, las fuentes de emisión han sido agrupadas de la manera siguiente:

- Fuentes Puntuales : sector industrial e institucional
- Fuentes de Area : sector comercial, de servicios y municipal

Fuentes Puntuales: Se define como una fuente puntual a toda instalación establecida en un lugar que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales o actividades que puedan generar emisiones contaminantes significativas a la atmósfera, por ejemplo se puede citar a las fundiciones primarias, refineras, industrias de alimentos y otros.

Fuentes de Area: Son todos aquellos establecimientos o lugares donde se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas de contaminantes, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera y que no llegan a considerarse como fuentes puntuales. En esta categoría se incluyen la mayoría de los establecimientos comerciales y de servicios, como por ejemplo las panaderías, talleres de carpintería, grifos y otros.

De acuerdo a la evaluación realizada por los miembros del Gesta Zonal de Aire de la ciudad de Arequipa, las categorías de fuentes existentes en el ámbito geográfico delimitado son las siguientes:

Nº	Estrato	Descripción	Nombre Común	Tipo de Fuente
1	Actividades de la industria química	Fabricación de fibra no natural	-	Puntual
2		Fabricación de pinturas y barnices	-	Puntual
3		Fabricación de jabones	-	Puntual
4		Industria papelera (recicladora)	-	Puntual
5		Industria textil	-	Puntual
6		Deshidratadora	-	Puntual
7	Actividades de la industria alimentaria	Industria cervecera	-	Puntual
8		Fabricación de productos lácteos	-	Puntual
9		Embotelladora de bebidas gaseosas	-	Puntual
10		Molinos de granos	-	Puntual
11	Actividades de la industria metálica	Fundición de acero	-	Puntual
12		Corte y laminación de acero	-	Puntual
13	Actividades de la industria no metálica	Fabricación de productos cerámicos para la construcción	-	Puntual
14		Fabricación de cemento	-	Puntual
15	Actividades institucionales que realizan combustión	Combustión de residuos patológicos	-	Puntual
16	Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión	Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas	Pollerías	Area
17		Fabricación de productos de panadería	Panaderías	Area
18		Suministro de vapor y agua caliente	Saunas	Area
19	Pérdidas evaporativas por expendio de combustible	Venta al por menor de combustibles para automotores	Grifos	Area
20	Otras fuentes de combustión industrial	Curtido de cuero	Curtiembres	Area
21		Fabricación de productos cerámicos para la construcción	Ladrilleras artesanales	Area
22	Otras fuentes de combustión municipal	Quema de residuos municipales y domésticos	Botadero	Area

Estas totalizan 15 categorías de fuentes puntuales y 7 categorías de fuentes de área.

5.2 Caracterización de las Fuentes Emisoras

El inventario de fuentes fijas de la ciudad de Arequipa se caracteriza por incluir un mayor número de categorías de fuentes puntuales (15), las cuales se describen a continuación:

Fabricación de Fibra No Natural

Sólo una empresa forma parte de esta categoría, en la cual se emplea como materia prima polyéster (1197 Ton/año) y nylon (329 Ton/año) y se desarrollan las etapas de proceso siguientes:

- Hilatura / bobinado, con el empleo de extrusores y bobinadoras
- Texturizado
- Teñido, en autoclaves
- Enconado

Los productos obtenidos en presentación de conos son 213.9 Ton/año de nylon y 782.8 Ton/año de polyéster.

Como fuente de energía se emplean calderos accionados con petróleo destilado (1850 Galones/año) y petróleo residual (172236 Galones/año).

Fabricación de Pinturas y Barnices

A partir de 720 Ton/año de carbonato de calcio y 2 Ton/año de pigmentos, se elaboran los productos siguientes:

- | | |
|-------------------|-------------------|
| - Pintura al agua | 12000 Galones/año |
| - Pintura esmalte | 36000 Galones/año |
| - Barniz | 6000 Galones/año |

Las etapas del proceso son: molienda, complejado (batidoras) y envasado manual.

En esta empresa se emplea como combustible el Gas Licuado de Petróleo (GLP) en un volumen de 5700 Galones/año.

Fabricación de Jabones

La principal materia prima empleada para la elaboración de jabón en el Consorcio Industrial de Arequipa S.A. es el sebo (2176 Ton/año); además se utiliza palma, palmiste, alcohol, vaselina sólida y líquida, policloruro de vinilo, polietileno, soda cáustica y sal.

Las materias primas de base son sometidas a un proceso de fundido, blanqueado, saponificado y peletizado. Para la generación de energía necesaria se realiza la combustión de petróleo residual 500 en un volumen de 536.65 m³/año.

Es importante señalar que el proceso de fabricación de jabones no constituye una importante fuente de emisiones al aire, por lo cual para efectos del inventario sólo se consideró la emisión por combustión.

Industria Papelera (recicladora)

Se identificaron en la empresa que forma parte de este rubro (Papelera Panamericana S.A.), las actividades siguientes:

- Pulpeo de fibra, que se realiza en un tanque digestor con pileta lavadora
- Destintado, a base de sodio y con el empleo de lavador de gases como sistema de control
- Lavado, con el empleo de carbonato sódico

La producción asociada es de 5760 Ton/año de papel. Como combustible se emplea el petróleo residual 500 en un volumen de 855.3 m³/año para accionar un caldero de 10350 libras/hora de capacidad.

Industria Textil

Conforman esta categoría de emisión tres empresas Inca Tops S.A., Michell y Cía. y PROSUR, las cuales emplean como materia prima común la lana de alpaca, mientras que las dos primeras además lana de oveja. Los procesos desarrollados consisten en lavado, peinado, hilado, teñido y acabados.

Para la generación de vapor se hacen uso de calderos, cuyos consumos de combustible son los siguientes:

Empresa	Tipo de Combustible	Consumo de Combustible (m³/año)
Inca Tops S.A.	GLP	146
	Petróleo Residual	1480
Michell y Cía. S.A.	Petróleo Residual	3264.57
PROSUR	Petróleo Residual	635.88

Deshidratadora

Referida a la empresa Deshidratadora Omniagro, la cual emplea como materias primas el brócoli, cebolla china, coliflor, cebolla roja, orégano, perejil crespo y poro, que en su conjunto alcanzan 3615014 Ton/año.

El proceso se inicia con la preparación de las materias primas, mediante el empleo de lavadoras (lineal y rotativa), para pasar luego a un túnel de liofilizado

y finalmente la selección, con el empleo de zaranda y detector de metales. Su producción alcanza 240,9 Ton/año.

Como fuente de energía utiliza dos calderos de 15 años de antigüedad, accionados con petróleo residual en un volumen de 1572.44 m³/año.

Industria Cervecera

Compañía Cervecera del Sur del Perú (CERVESUR), alcanza en su planta de Arequipa una producción de 40176 m³ de cerveza por año, empleando como materia prima malta, maíz, lúpulo y agua.

Utiliza como combustible el petróleo destilado Diesel 2, alcanzando un consumo de 0.26789 gal/HL cerveza que equivale a 407.37 m³/año.

Fabricación de Productos Lácteos

Existen dos plantas de productos lácteos en la ciudad de Arequipa: Gloria S.A. y Laive S.A., cuyo proceso básico consiste en las etapas siguientes:

- Recepción de leche, en porongos y cisternas
- Evaporación, previo calentamiento, adición de vitaminas y enfriamiento
- Envasado, con el empleo de llenadoras y cerradoras
- Acondicionamiento, previa esterilización

El proceso desarrollado no implica emisiones a la atmósfera, por lo cual las fuentes de importancia lo constituyen los calderos, que en ambos casos emplean el petróleo residual como combustible, en volúmenes de 900 y 242 m³/año, para Gloria y Laive, respectivamente.

Embotelladora de Bebidas Gaseosas

Está referida a la operación de Embotelladora Latinoamericana S.A., que tiene como principal fuente de emisión la combustión del Diesel 1 en un consumo promedio anual de 356.5 m³/año.

Molinos de Granos

Esta categoría está conformada por tres empresas, cuyas características se presentan a continuación:

Alicorp S.A.A.

Materias Primas : Trigo, maíz (127700 Ton/año)

Producto Terminado : Fideos, galletas, harinas, balanceados en un total de 123052 Ton/año

Etapas de Proceso : Para la elaboración de harina se desarrollan las etapas de recepción, limpieza, molienda y envasado

Sistemas de control : Filtros textiles en los molinos

Combustibles :

GLP	29450 Gal/año
Diesel 2	167605 Gal/año
Residual	139809 Gal/año

Alimentos Procesados S.A.

Materias Primas : Trigo, maíz, afrecho, soya, arroz (forrajero) (8198 Ton/año)

Producto Terminado : Harina

Etapas de Proceso : Recepción de materia prima, molienda, pesaje, mezclado, peletizado y almacenamiento

Sistemas de control : No dispone

Combustibles :

GLP	2519 m3/año
Diesel 2	8270 Gal/año
Residual	4454 Gal/año

Molino Las Mercedes S.A.C.

Materia Prima : Trigo Importado (20616 Ton/año)

Producto Terminado : Harina

Etapas de Proceso : Recepción, pre-limpieza, almacenamiento en silos, primera limpieza, reposo en silos intermedios, segunda limpieza, molienda, envasado.

Sistema de control : No dispone

Tipo de energía : Eléctrica

Fundición de Acero

Con el empleo de varillas de cero de 8% de carbono, Moly Cop elabora bolas de acero templado con una producción de 28000 Ton/año.

Para el efecto emplea hornos de inducción electromagnética, por lo cual no requiere el uso de combustibles.

Corte y Laminación de Acero

En su Planta ubicada en la ciudad de Arequipa, Corporación Aceros Arequipa S.A. sólo desarrolla procesos de corte y laminado de acero, no fundición, empleando como materia prima palanquilla en un total de 60000 Ton/año.

Las etapas del proceso son las siguientes:

- Corte de palanquilla, con el empleo de equipos oxicorte
- Calentamiento de palanquilla (en horno)
- Laminación
- Enderezado – pulido
- Empaquetado

Su producción alcanza 58000 Ton/año.

Como combustibles utiliza el Petróleo Residual 500 con un total de 2744 Ton/año y Diesel 2, con 537.6 Ton/año.

Fabricación de Productos Cerámicos para la Construcción

Las dos fuentes correspondientes a esta categoría desarrollan las etapas de proceso siguientes:

- Arranque de materia prima, a través de un cargador frontal y cajón dosificador
- Molienda
- Extrusión, con el empleo de prensa y cortadora
- Secado
- Cocción

Las materias primas utilizadas consisten de arcilla negra, greda, diatomita, chamota, rotura cruda, arcilla blanca, tierra de chacra, arcilla café y finos, las cuales no son almacenadas en el interior de las Plantas.

En relación a los productos obtenidos se tienen los ladrillos king kong, ladrillo hueco, pandereta, pastelero y otros, que alcanzan 53957 Ton/año en Ladrilleras Unidas y 40000 Ton/año en Ladrillera El Diamante.

En Ladrilleras Unidas, existe una variedad de combustibles empleados, según se indica:

Tipo de Combustible	Unidad	Consumo
Aceite reciclado	Gal/año	23000
Petróleo Industrial 500	Gal/año	18000
Petróleo Diesel 2	Gal/año	20000
Kerosene	Gal/año	6000
Carbón (horno de fondo seco)	Ton/año	1500

Mientras que en el caso de Ladrillera El Diamante sólo se emplea el petróleo Residual 500 en un volumen de 222277 Gal/año.

Fabricación de Cemento

Para la elaboración del cemento, Cementos Yura emplea como materias primas la caliza, pizarra, óxido de hierro, yeso y puzolana, siendo la cantidad de material que ingresa al molino de bolas de 605708 Ton/año. De manera general, el proceso involucra las etapas siguientes:

- Almacenamiento del carbón (humectación)
- Silos (filtro de mangas)
- Trituración de carbón (filtro textil)
- Pulverización del carbón con sistema de inyección semidirecta
- Trituración primaria, con chancadora de cono truncado (humectación y filtro textil)
- Transporte (filtro textil)
- Horno de proceso en seco (filtro de bolsa)
- Enfriador de parrillas (multiciclones)
- Almacenamiento (pilas semicerradas)
- Molienda de tubos / ciclo cerrado (precipitador electrostático)
- Almacenamiento en silos
- Transporte (carga)
- Empacado (filtro textil)

Se debe indicar que las toneladas de clinker obtenidas como producto intermedio del proceso alcanzan 383400 Ton/año.

El carbón empleado por Cementos Yura es de tipo importado y posee un 0.65% de azufre, siendo el consumo anual de 52670 Ton/año.

Combustión de Residuos Patológicos

Corresponde a la incineración de residuos en el Hospital General de Arequipa, y alcanza 5475 Ton/año.

Para el caso de las fuentes de área que representan siete categorías de emisión, las fuentes identificadas presentan las características siguientes:

Pollerías

Las encuestas determinan un uso exclusivo (100%) del carbón vegetal como combustible en las pollerías, y sólo un 11% emplea además GLP.

En relación a los consumos de combustible asociados, se indican a continuación:

Tipo de combustible	% Establecimientos	Consumo Promedio (Ton/año)
Carbón vegetal	100	3.9
GLP	11	0.7

Panaderías

A diferencia de las pollerías, en las panaderías predomina el empleo de la leña como combustible, conocida en Arequipa como CAPO, seguido del petróleo destilado Diesel 2, según los porcentajes y consumos que se indican a continuación:

Tipo de combustible	% Establecimientos	Consumo Promedio (Ton/año)
Leña (CAPO)	96.5	10.4
Diesel 2	4.0	0.5

Nótese que existe un porcentaje de establecimientos superior al 100%, debido a que se produce, aunque mínimamente, el uso combinado de combustibles: leña-diesel (0.5%)

Saunas

Existen en la cuenca atmosférica de Arequipa un total de 64 establecimientos dedicados al servicio de sauna. Su operación consiste en la generación de vapor con el empleo de calderos, que emplean como combustibles los siguientes:

Tipo de combustible	% Establecimientos	Consumo Promedio (Ton/año)
Carbón Bituminoso	100.0	18.4
Leña	33.3	5.1

Nótese que existe un porcentaje de establecimientos superior al 100%, debido a que se produce el uso combinado de combustibles: carbón bituminoso-leña (33.3%).

Grifos

Existen 96 establecimientos de venta al por menor de combustibles en la cuenca atmosférica de Arequipa, los cuales expenden gasolinas de 84, 90 y 95 octanos, así como petróleo Diesel y kerosene, sin sistema de control. Los volúmenes promedio comercializados se indican a continuación:

Tipo de Combustible	Volumen Promedio Comercializado (Gal/mes)
Gasolina 84	6489
Gasolina 90	2481
Gasolina 95	1486

Cabe señalar que para efectos de estimación de emisiones sólo se emplea la información referida a gasolinas, por lo cual no se dispone de la información referida a petróleos destilados.

Curtiembres

Se tiene un total de 60 establecimientos dedicados a la actividad de curtido de cuero a nivel artesanal, donde la principal fuente de emisión al aire es la operación de calderos, cuyos combustibles son los siguientes:

Tipo de combustible	% Establecimientos	Consumo Promedio (Ton/año)
Residual 500	45.5	2.4
Carbón Bituminoso	54.5	1.0

Ladrilleras Artesanales

Además de las dos ladrilleras identificadas como fuentes puntuales en la cuenca atmosférica de Arequipa, existen 189 ladrilleras de tipo artesanal que emplean principalmente greda, cenicero y tierra como materias primas, alcanzando un producción promedio por ladrillera de 1973 Ton/año.

Los combustibles empleados en este proceso son los siguientes:

Tipo de combustible	% Establecimientos	Consumo Promedio (Ton/año)
Carbón Bituminoso	80.0	27.3
Antracita	8.6	21.3
Llantas	48.6	27.8
Leña	5.7	9.3
Residual 500	5.7	21.3
Aceite lubricante residual	2.9	19.7

Se identifican además usos conjuntos de combustibles, según se indica:

Tipo de combustible	% Establecimientos
Carbón Bituminoso / llantas	34.3
Carbón Bituminoso / leña	5.7
Carbón Bituminoso / Residual 500	2.9
Carbón Bituminoso / Aceite residual	2.9
Antracita / llantas	2.9
Antracita / Residual 500	2.9

Quema de Residuos Municipales y Domésticos

La generación de residuos municipales y domésticos que son dispuestos y quemados en un botadero de la ciudad de Arequipa, alcanzan en promedio 22810 Ton/año.

5.3 Determinación del Universo de Fuentes Emisoras

El universo de fuentes fijas para la cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa fue definido en base a información proporcionada por la Dirección Regional de Industria y Dirección Regional de Energía y Minas.

Así, el universo de fuentes fijas aprobado para su empleo como base en el desarrollo del inventario, es el siguiente:

Nº	Estrato	Descripción	Nombre Común	Total Fuentes en la Cuenca Atmosférica
1	Actividades de la industria química	Fabricación de fibra no natural	-	01
2		Fabricación de pinturas y barnices	-	01
3		Fabricación de jabones	-	01
4		Industria papelerera (recicladora)	-	01
5		Industria textil	-	03
6	Actividades de la industria alimentaria	Deshidratadora	-	01
7		Industria cervecera	-	01
8		Fabricación de productos lácteos	-	02
9		Embotelladora de bebidas gaseosas	-	01
10		Molinos de granos	-	03
11	Actividades de la industria metálica	Fundición de acero	-	01
12		Corte y laminación de acero	-	01
13	Actividades de la industria no metálica	Fabricación de productos cerámicos para la construcción	-	02
14		Fabricación de cemento	-	01
15	Actividades institucionales que realizan combustión	Combustión de residuos patológicos	-	01
16	Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión	Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas	Pollerías	150
17		Fabricación de productos de panadería	Panaderías	1098
18		Suministro de vapor y agua caliente	Saunas	64
19	Pérdidas evaporativas por expendio de combustible	Venta al por menor de combustibles para automotores	Grifos	157
20	Otras fuentes de combustión industrial	Curtido de cuero	Curtiembres	60
21		Fabricación de productos cerámicos para la construcción	Ladrilleras artesanales	189
22	Otras fuentes de combustión municipal	Quema de residuos municipales y domésticos	Botadero	01
Total Fuentes Puntuales				21
Total Fuentes de Area				1719
Total Fuentes Fijas				1740

5.4 Determinación del Tamaño Muestral para Fuentes de Área

Por sus características particulares definidas anteriormente, las fuentes de área requieren de la determinación de un número representativo de ellas que permitan caracterizar el universo. En ese sentido, se aplicó el Muestreo Aleatorio Estratificado con error del 5% y nivel de confianza del 95%, cuyo procedimiento de cálculo se describe en el Anexo N° 1.

En la ciudad de Arequipa, las variables y estimaciones fueron las siguientes:

$$n_0 = \frac{Z^2_{(1-\alpha/2)} \times \rho \times q}{\xi^2} \quad \dots\dots (1)$$

donde:

Nivel de Significancia: $(1 - \alpha) = 95\%$
 Error Relativo: $\xi = 5\% \quad 0.05$
 $Z^2_{(1-\alpha/2)} = 1.96$
 P = proporción = 0.5 entonces; q = 1-p = 0.5

Entonces, reemplazando en (1):

$$n_0 = \frac{Z^2_{1.(1.96)} \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2}$$

$$n_0 = 384.16$$

$$n_0 = 385$$

no	385
N	1718

REGLA DE DECISIÓN:

$$\frac{n_0}{N} < 0.05 \Rightarrow n = n_0 \quad \text{ó} \quad \frac{n_0}{N} \geq 0.05 \Rightarrow n = n \quad n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

Reemplazando valores:

$$\frac{n_0}{N} = 0.22$$

Entonces : $n = 314.52$

Redondeo: $n = 315$

En ese sentido, el número de fuentes de área a encuestar para disponer de estimaciones representativas del universo es de 315 encuestas, distribuidas de acuerdo a su ponderación por categoría, como se indica a continuación:

Nombre Común	Muestra calculada por Categoría
Pollerías	27
Saunas	12
Panaderías	201
Grifos	29
Curtiembres	11
Ladrilleras artesanales	35

Los modelos de encuestas aplicados en el proceso de levantamiento de información, se presentan en el Anexo N° 2.

5.5 Estimación de Emisiones

5.5.1 Emisiones Anuales

A continuación se resumen las emisiones generadas por las fuentes puntuales y fuentes de área. En la Tabla N° 1, se puede apreciar que el contaminante más abundante en peso son las partículas totales en suspensión (PTS), emitiéndose a la atmósfera de la ciudad de Arequipa un total de 12604 Ton/año, a consecuencia del importante aporte (equivalente a 94%) de las fuentes puntuales.

Como parte de las emisiones particuladas, se tiene que del total de 12604 Ton/año, 2208 Ton/año corresponden a partículas menores a 10 micras (aproximadamente el 18%) y que en su mayoría provienen de las fuentes puntuales.

En segundo lugar, aunque representando la tercera parte de las emisiones de PTS, se tiene al dióxido de azufre con 4277 Ton/año, emitidas también mayormente por las fuentes puntuales (96.7%).

Otro de los contaminantes cuya emisión se ve asociada a las fuentes puntuales son los óxidos de nitrógeno (NOx), con 965 Ton/año de un total de 1071 Ton/año emitidos en la cuenca.

El monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) evidencian su mayor emisión asociada a las fuentes de área, con predominancias de 99 y 98% respectivamente.

El elemento plomo tiene un aporte poco significativo en ambos tipos de fuentes, totalizando 1 Ton/año.

De manera general, en la ciudad de Arequipa las 21 fuentes puntuales representan el mayor aporte de PTS, PM-10, SO₂ y NO_x, siendo la participación de las fuentes de área menor.

Tabla N° 1. Inventario de Emisiones Anuales de Fuentes Fijas de la Ciudad de Arequipa

Sector	Emisiones (Ton/año)						
	PTS	PM-10	SO ₂	NO _x	CO	COV	Pb
Fuentes Puntuales	11845	1839	4136	965	12	20	< 1
Fuentes de Area	759	369	141	106	2982	1271	1
Total	12604	2208	4277	1071	2994	1291	1

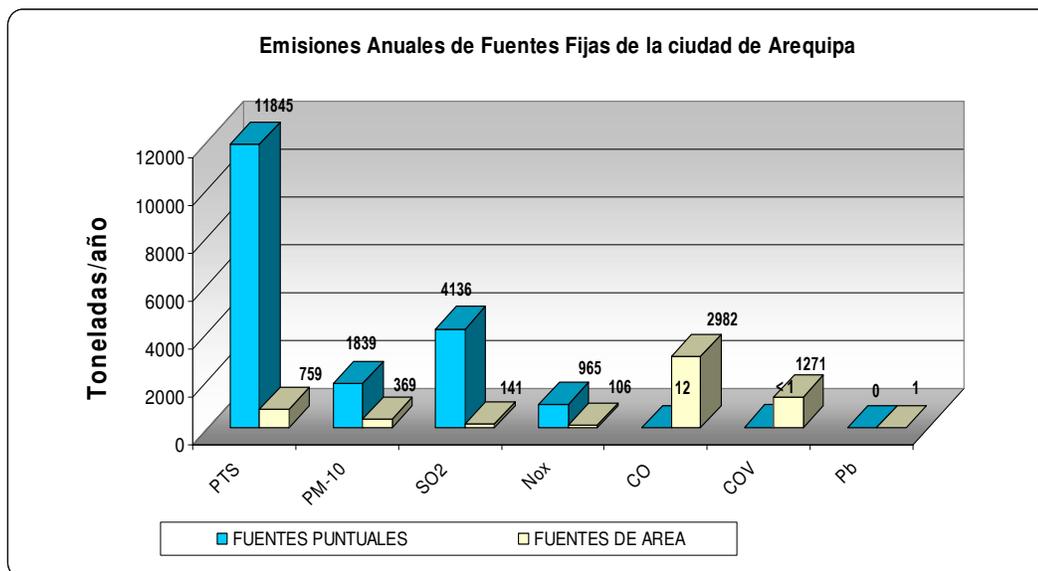


Tabla N° 2. Inventario Porcentual de Emisiones Anuales de Fuentes Fijas de la Ciudad de Arequipa

Sector	Emisiones (%)						
	PTS	PM-10	SO ₂	NO _x	CO	COV	Pb
Fuentes Puntuales	94.0	83.3	96.7	90.1	0.4	1.5	36.7
Fuentes de Area	6.0	16.7	3.3	9.9	99.6	98.5	63.3
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

En la Tabla N° 3 se muestra el inventario de fuentes fijas desagregado para la cuenca atmosférica de Arequipa, evidenciándose que el mayor aporte de PTS corresponde al rubro de fabricación de productos cerámicos para la construcción, constituido por dos empresas ladrilleras clasificadas como fuentes puntuales, alcanzando un total 8472 Ton/año, que representa el 67.2% del total de emisiones de PTS en la cuenca.

Tabla N° 3. Emisiones de Fuentes Fijas en la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Arequipa (desagregado)

Estrato	Descripción	N° Fuentes	Emisión (Ton/año)						
			PTS	PM-10	SO2	NOX	CO	COV	Pb
Fuentes Puntuales									
Actividades de la industria química	Fabricación de fibra no natural	01	3	3	45	4	< 1	< 1	0
	Fabricación de pinturas y barnices	01	2	2	< 1	< 1	< 1	7	0
	Fabricación de jabones	01	3	2	37	4	< 1	< 1	0
	Industria papelera (recicladora)	01	16	4	179	6	1	< 1	0
	Industria textil	03	26	24	368	37	3	1	0
Actividades de la industria alimentaria	Deshidratadora	01	8	7	108	11	1	< 1	0
	Industria cervecera	01	32	19	7	1	< 1	10	0
	Fabricación de productos lácteos	02	6	5	78	8	1	< 1	0
	Embotelladora de bebidas gaseosas	01	< 1	< 1	2	1	< 1	< 1	0
	Molinos de granos	03	947	549	49	9	2	< 1	0
Actividades de la industria metálica	Fundición de acero	01	1	1	0	0	0	0	0
	Corte y laminación de acero	01	14	12	203	21	2	< 1	0
Actividades de la industria no metálica	Fabricación de productos cerámicos para la construcción	02	8472	611	94	22	1	< 1	< 1
	Fabricación de cemento	01	2270	567	2968	824	0	0	0
Actividades institucionales que realizan combustión	Combustión de residuos patológicos	01	44	32	0	16	0	0	0

Estrato	Descripción	Nº Fuentes	Emisión (Ton/año)						
			PTS	PM-10	SO2	NOX	CO	COV	Pb
Fuentes de Area									
Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión	Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas	150	13	12	< 1	9	209	1	0
	Fabricación de productos de panadería	1098	166	149	14	17	1543	507	0
	Suministro de vapor y agua caliente	64	9	5	18	2	54	11	0
Pérdidas evaporativas por expendio de combustible	Venta al por menor de combustibles para automotores	157	0	0	0	0	0	216	0
Otras fuentes de combustión industrial	Curtido de cuero	60	1	< 1	5	1	2	< 1	0
	Fabricación de productos cerámicos para la construcción	189	388	20	93	10	215	45	1
Otras fuentes de combustión municipal	Quema de residuos municipales y domésticos	01	182	182	11	68	958	490	0
EMISIONES TOTALES			12604	2207	4277	1071	2894	1267	1

Tabla N° 3A. Emisiones de Partículas según su Procedencia

Estrato	Descripción	N° Fuentes	Emisión (Ton/año)			
			PTS		PM-10	
			Emisiones de Proceso	Emisiones de Combustión	Emisiones de Proceso	Emisiones de Combustión
Fuentes Puntuales						
Actividades de la industria química	Fabricación de fibra no natural	01	-	3	-	3
	Fabricación de pinturas y barnices	01	2	< 1	2	< 1
	Fabricación de jabones	01	-	3	-	2
	Industria papelera (recicladora)	01	-	4	-	4
	Industria textil	03	-	26	-	24
Actividades de la industria alimentaria	Deshidratadora	01	-	8	-	7
	Industria cervecera	01	32	< 1	19	< 1
	Fabricación de productos lácteos	02	-	6	-	5
	Embotelladora de bebidas gaseosas	01	-	< 1	-	< 1
	Molinos de granos	03	946	3	546	3
Actividades de la industria metálica	Fundición de acero	01	1	-	1	-
	Corte y laminación de acero	01	-	14	-	12

Estrato	Descripción	Nº Fuentes	Emisión (Ton/año)			
			PTS		PM-10	
			Emisiones de Proceso	Emisiones de Combustión	Emisiones de Proceso	Emisiones de Combustión
Fuentes Puntuales						
Actividades de la industria no metálica	Fabricación de productos cerámicos para la construcción	02	8377	95	586	25
	Fabricación de cemento	01	2209	61	541	26
Actividades institucionales que realizan combustión	Combustión de residuos patológicos	01	-	44	-	32
Fuentes de Area						
Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión	Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas	150	-	13	-	12
	Fabricación de productos de panadería	1098	-	166	-	149
	Suministro de vapor y agua caliente	64	-	9	-	5
Otras fuentes de combustión industrial	Curtido de cuero	60	-	1	-	< 1
	Fabricación de productos cerámicos para la construcción	189	-	388	-	20
Otras fuentes de combustión municipal	Quema de residuos municipales y domésticos	01	-	182	-	182

Tabla N° 4. Emisiones Porcentuales de Fuentes Fijas en la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Arequipa (desagregado)

Estrato	Descripción	Emisión (%)						
		PTS	PM-10	SO2	NOX	CO	COV	Pb
Fuentes Puntuales								
Actividades de la industria química	Fabricación de fibra no natural	< 0.05	< 0.05	1.0	0.4	< 0.05	< 0.05	0.0
	Fabricación de pinturas y barnices	< 0.05	0.1	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.6	0.0
	Fabricación de jabones	< 0.05	0.1	0.9	0.3	< 0.05	< 0.05	0.0
	Industria papelera (recicladora)	0.1	0.2	4.2	0.5	< 0.05	< 0.05	0.0
	Industria textil	0.2	1.1	8.6	3.5	0.1	0.1	0.0
Actividades de la industria alimentaria	Deshidratadora	0.1	0.3	2.5	1.0	< 0.05	< 0.05	0.0
	Industria cervecera	0.3	0.9	0.2	0.1	< 0.05	0.8	0.0
	Fabricación de productos lácteos	< 0.05	0.2	1.8	0.7	< 0.05	< 0.05	0.0
	Embotelladora de bebidas gaseosas	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.1	< 0.05	< 0.05	0.0
	Molinos de granos	7.5	24.9	1.1	0.9	0.1	< 0.05	0.0
Actividades de la industria metálica	Fundición de acero	< 0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Corte y laminación de acero	0.1	0.6	4.7	1.9	0.1	< 0.05	0.0
Actividades de la industria no metálica	Fabricación de productos cerámicos para la construcción	67.2	27.7	2.2	2.1	< 0.05	< 0.05	36.7
	Fabricación de cemento	18.0	25.7	69.4	77.0	0.0	0.0	0.0
Actividades institucionales que realizan combustión	Combustión de residuos patológicos	0.3	1.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0

Estrato	Descripción	Emisión (Ton/año)						
		PTS	PM-10	SO2	NOX	CO	COV	Pb
Fuentes de Area								
Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión	Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas	0.1	0.5	< 0.05	0.9	7.0	0.1	0.0
	Fabricación de productos de panadería	1.3	6.7	0.3	1.6	51.6	39.3	0.0
	Suministro de vapor y agua caliente	0.1	0.2	0.4	0.2	1.8	0.8	0.0
Pérdidas evaporativas por expendio de combustible	Venta al por menor de combustibles para automotores	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0
Otras fuentes de combustión industrial	Curtido de cuero	< 0.05	< 0.05	0.1	< 0.05	0.1	< 0.05	0.0
	Fabricación de productos cerámicos para la construcción	3.1	0.9	2.2	0.9	7.2	3.5	63.3
Otras fuentes de combustión municipal	Quema de residuos municipales y domésticos	1.4	8.3	0.3	6.4	32.0	38.0	0.0
EMISIONES TOTALES		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

5.5.2 Emisiones por Contaminante

En la generación de las emisiones totales, no todas las fuentes contribuyen de manera uniforme por tipo de contaminante, algunas tienen mayor peso en la emisión de ciertos contaminantes debido a los procesos que se dan en cada una de ellas, por lo tanto es importante conocer cuáles son los sectores del inventario que tienen una mayor contribución.

Partículas Totales y PM-10

Haciendo un análisis de la contribución de los diferentes sectores en la generación de partículas totales, se identificó que en la cuenca atmosférica de Arequipa este contaminante es mayoritariamente emitido por dos grandes estratos calificados como fuentes puntuales en el estrato de actividades de la industria no metálica:

- Fabricación de productos cerámicos para la construcción
- Fabricación de cemento

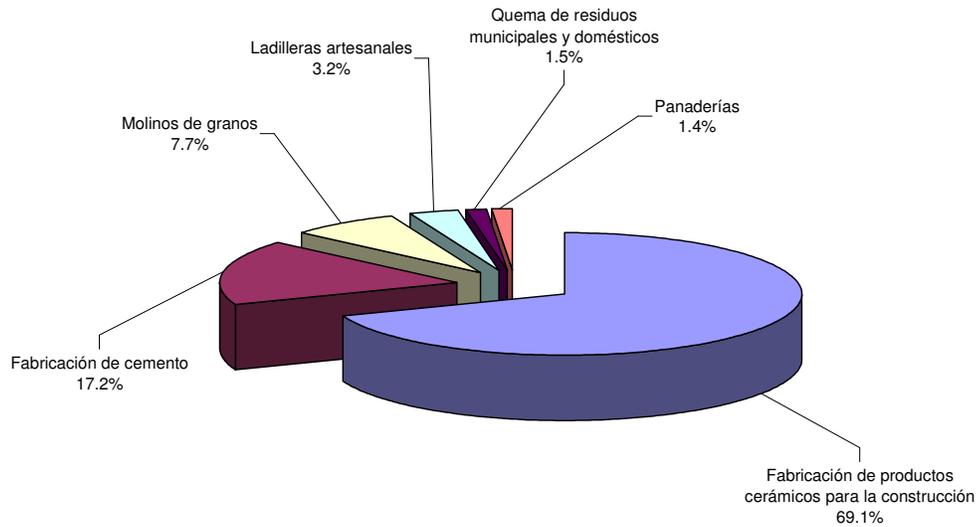
La emisión que totalizan estos estratos es de 85.2% del total emitido en la cuenca, y está compuesta por un aporte del 67.2% (8472 Ton/año) proveniente de la operación de dos ladrilleras, cuya principal fuente de emisión lo constituye el proceso de pulverización de la materia prima; y un 18% (2270 Ton/año) por la fabricación de cemento en una única planta, donde los principales emisores de acuerdo a las estimaciones realizadas, son las operaciones de almacenamiento y transporte de materia prima, y enfriamiento de clinker, cuyas emisiones individuales superan las 200 Ton/año.

En el tercer lugar de emisión de PTS con un total de 947 Ton/año se encuentra la actividad de molienda de granos, que es realizada en tres grandes empresas de la cuenca atmosférica de Arequipa, representando el 7.5%.

Dentro de las fuentes de área, aunque con un aporte relativo menor de 3.1%, se tienen también a las actividades de fabricación de productos cerámicos para la construcción, identificadas como ladrilleras artesanales que totalizan 189 en la cuenca con una emisión de 388 Ton/año.

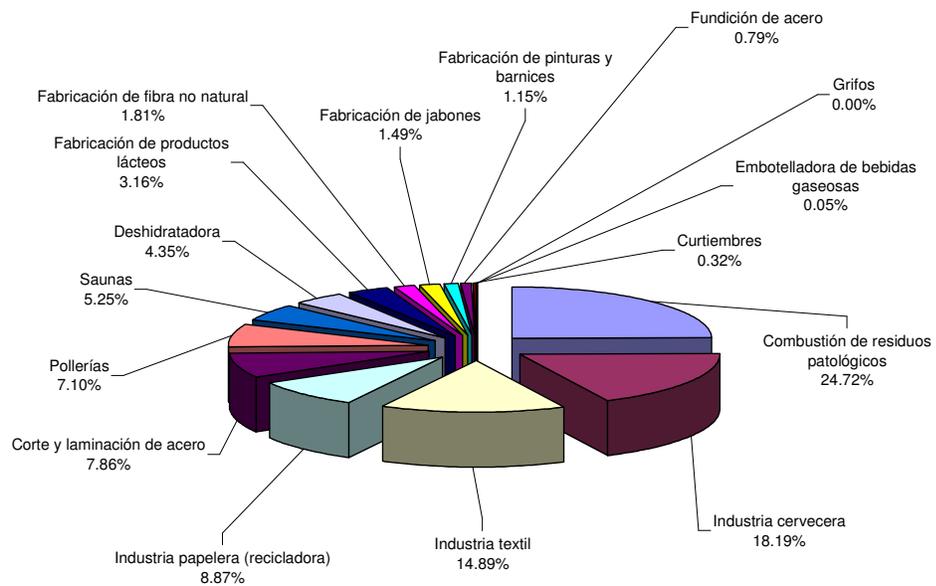
El aporte de las demás fuentes es menor y poco significativo.

Distribución Porcentual de PTS por Tipo de Fuente



Se aprecia que la categoría "Otros" alcanza un total de 1.4%, distribuido según se indica en el Gráfico siguiente:

Distribución Porcentual de PTS - Categoría Otros



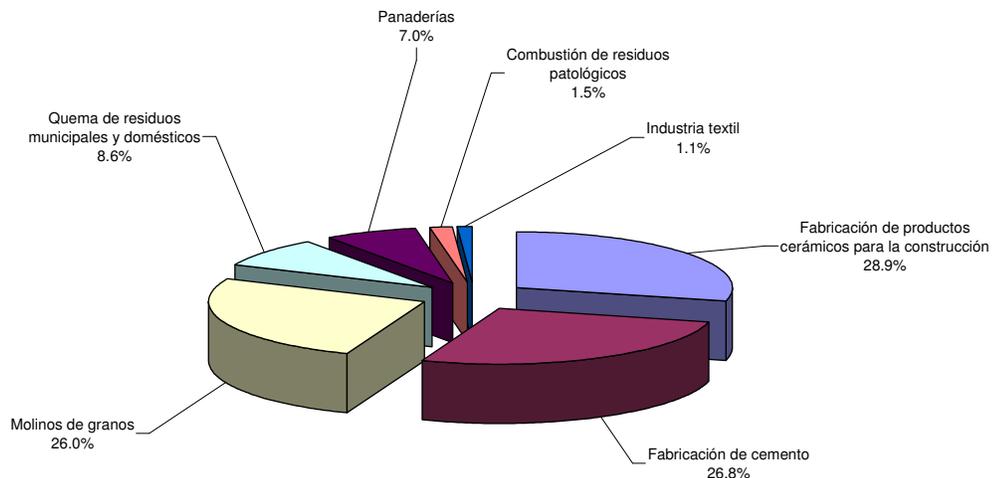
En relación a las emisiones de PM-10 que totalizan 2207 Ton/año, se aprecia que representan aproximadamente sólo el 17% de las partículas totales emitidas. En los procesos de combustión las emisiones de PTS están constituidas casi en su totalidad por PM-10, con porcentajes de aporte entre el 50 y 90%, situación que no se evidencia en las emisiones de procesos siguientes:

- Ladrilleras puntuales, donde la fracción respirable menor a 10 micras representa el 7% de la emisión total de partículas.
- Fabricación de cemento, donde la fracción respirable menor a 10 micras representa el 25% de la emisión total de partículas.
- Ladrilleras artesanales, que aportan un 5% de PM-10 en relación al particulado total.

En relación a las ladrilleras artesanales, se debe indicar que no ha sido estimado el aporte de PM-10 producto de la combustión de llantas, debido a que no se conoce con precisión este porcentaje.

En el Gráfico siguiente se puede apreciar la distribución de PM-10 para las principales fuentes de emisión:

Distribución Porcentual de PM-10 por Tipo de Fuente



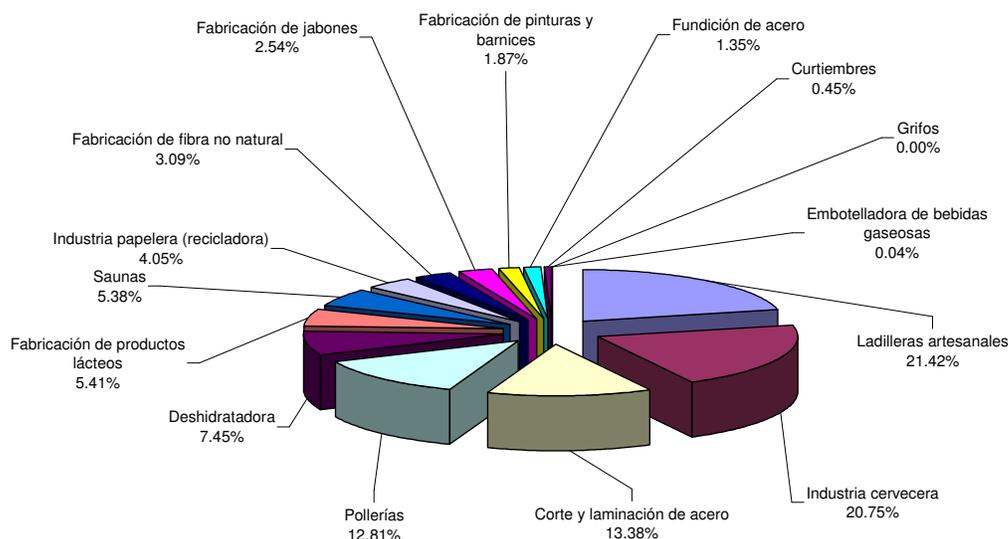
Se aprecia que existen aportes similares por parte de las fuentes siguientes:

- Molino de granos con un 24.9% (549 Ton/año)
- Ladrilleras puntuales con un 27.7% (611 Ton/año)
- Fabricación de cemento con un 25.7% (567 Ton/año)

Estas en conjunto significan el 78.3% de las emisiones de PM-10 en la cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa.

Otras fuentes de emisión de PM-10 que merecen destacar son la quema de residuos municipales al aire libre (8.3%) y las panaderías (6.7%) por la combustión de la leña. Las demás fuentes presentan aportes poco significativos.

Distribución Porcentual de PM-10 - Categoría Otros

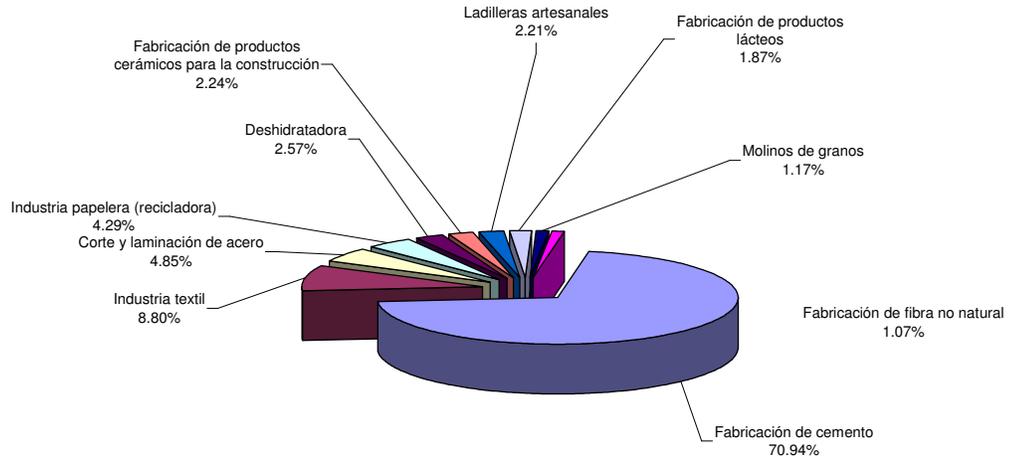


Dióxido de Azufre

En relación al contaminante dióxido de azufre, se tiene una emisión mayoritaria de 69.4% proveniente de la fabricación de cemento, clasificada como fuente puntual. Este aporte porcentual representa 2968 Ton/año emitidas por una única fuente en su horno de proceso en seco que emplea como combustible el carbón.

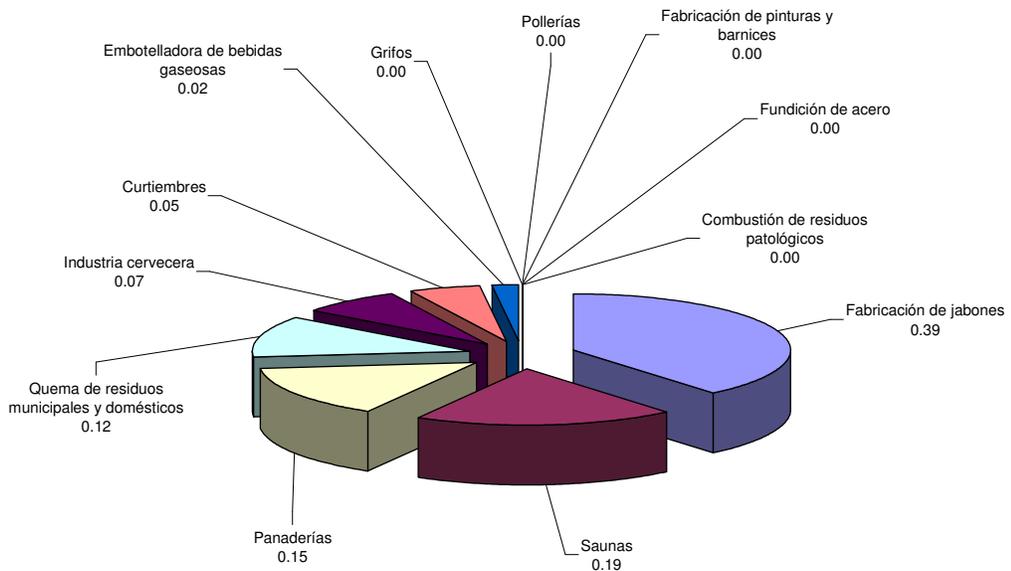
Los aportes de las demás fuentes son menores y bastante distantes de la emisión de la cementera, pudiendo destacarse la emisión de la industria textil que representa el 8.6% de la emisión total de la cuenca, correspondiente a tres plantas industriales.

Distribución Porcentual de SO2 por Tipo de Fuente



La categoría "otros", que agrupa a todas aquellas fuentes que de forma individual alcanzan emisiones < 1 Ton/año, representa para el caso del SO2 el 2.20% de la emisión total, con la distribución siguiente:

Distribución Porcentual de SO2 - Categoría Otros

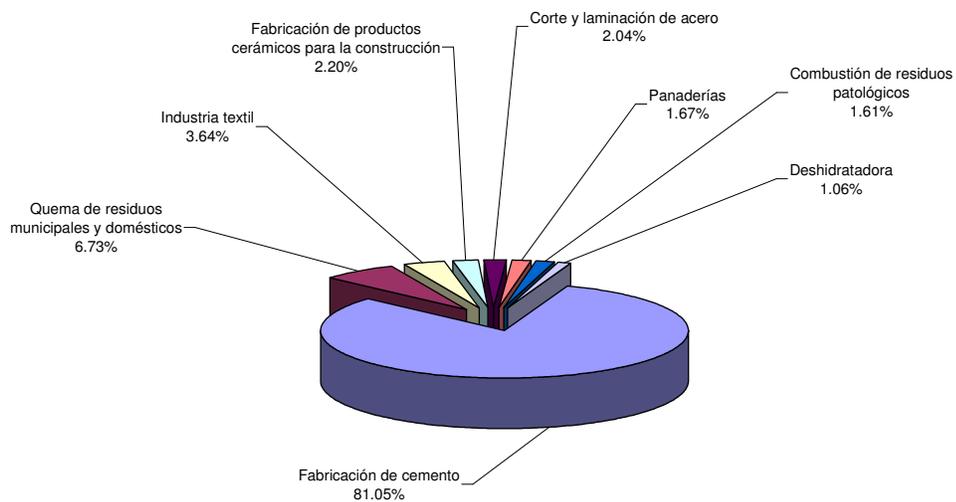


Oxidos de Nitrógeno

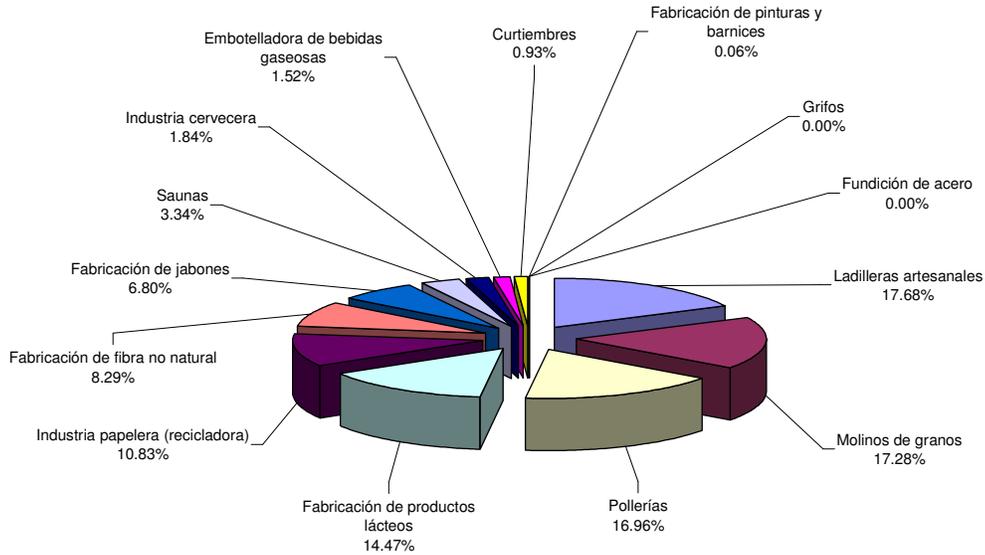
El máximo aporte de óxidos de nitrógeno, al igual que para el caso del dióxido de azufre, corresponde a la categoría de fabricación de cemento, representando el 77.0% de las emisiones totales en la cuenca atmosférica de Arequipa. Este porcentaje significa 824 Ton/año, y se genera en la combustión de carbón en los hornos de clinkerización.

Las demás fuentes, tanto puntuales como de área, poseen aporte menos significativos, pudiendo destacarse dentro del conjunto a la quema de residuos municipales y domésticos que alcanza una emisión de NOx de 68 Ton/año, representando el 6.4%.

Distribución Porcentual de NOx por Tipo de Fuente



Distribución Porcentual de Nox - Categoría Otros

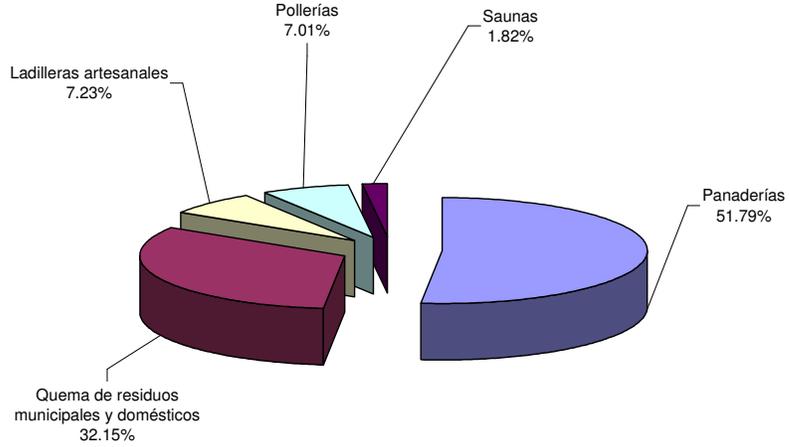


Monóxido de Carbono

A diferencia de los contaminantes descritos anteriormente, la emisión de monóxido de carbono es consecuencia principalmente del aporte de las fuentes de área por actividades de combustión. Así, la fabricación de productos de panadería representa el 51.6% de las emisiones totales, por la combustión de leña cuyo factor alcanza 140 Kg/ton.

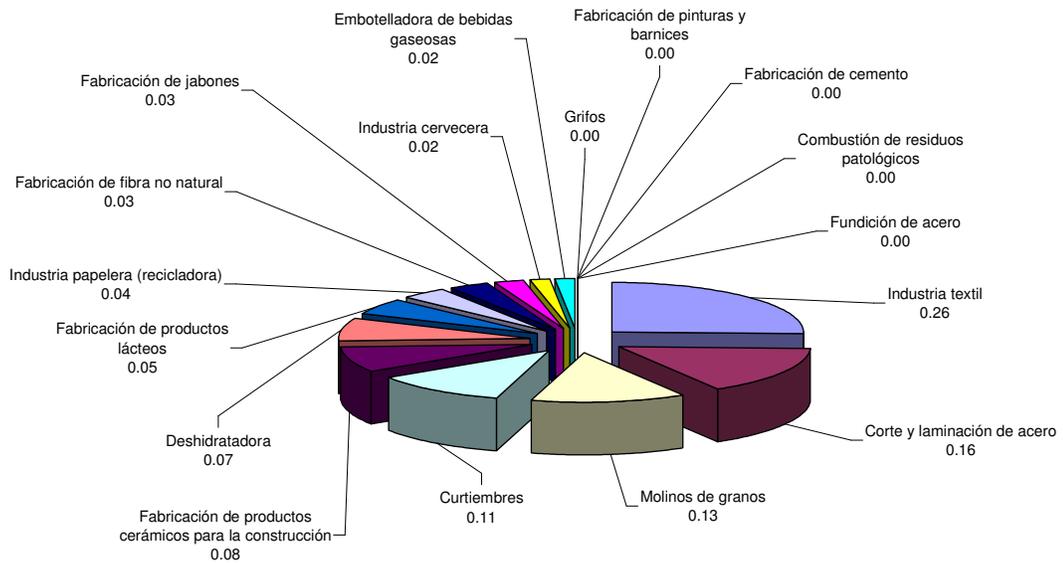
En segundo lugar se tiene la quema de residuos municipales y domésticos con 958 Ton/año (32.0%), que se realiza en el botadero de Arequipa. Otras de las fuentes de área que también contribuyen con la emisión de CO, son las pollerías, por el uso de carbón vegetal, y las ladrilleras artesanales, en las cuales se quema carbón mineral y llantas.

Distribución Porcentual de CO por Tipo de Fuente



En el Gráfico siguiente se aprecia que en su mayoría las categorías de fuentes puntuales representan una emisión de CO < 0.05%.

Distribución de Porcentual de CO - Categoría Otros



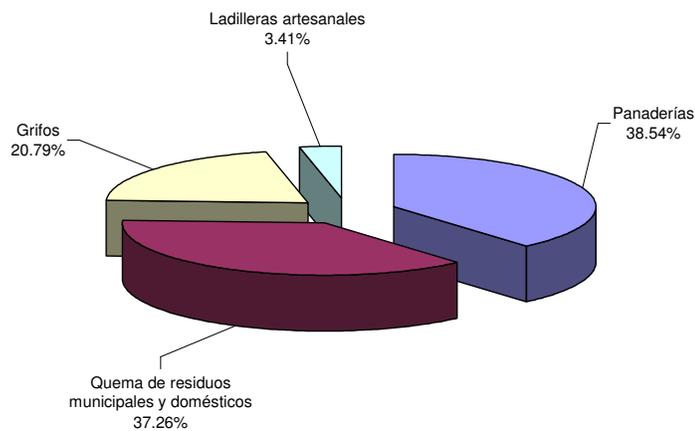
Compuestos Orgánicos Volátiles

Tal como se indicó para el caso del CO, las emisiones de COV corresponden principalmente a las fuentes de área, siendo predominante en la fabricación de productos de panadería con 507 Ton/año y quema de residuos municipales y domésticos con 490 Ton/año, ambos por actividades de combustión.

En tercer lugar, con un 16.7% de aporte se encuentran los grifos, por la emisión de compuestos evaporativos tanto en la recarga de tanques subterráneos como en el expendio de vehículos. Cabe indicar que los grifos existentes en la cuenca atmosférica de Arequipa totalizan 157, mientras que las panaderías 1098 establecimientos.

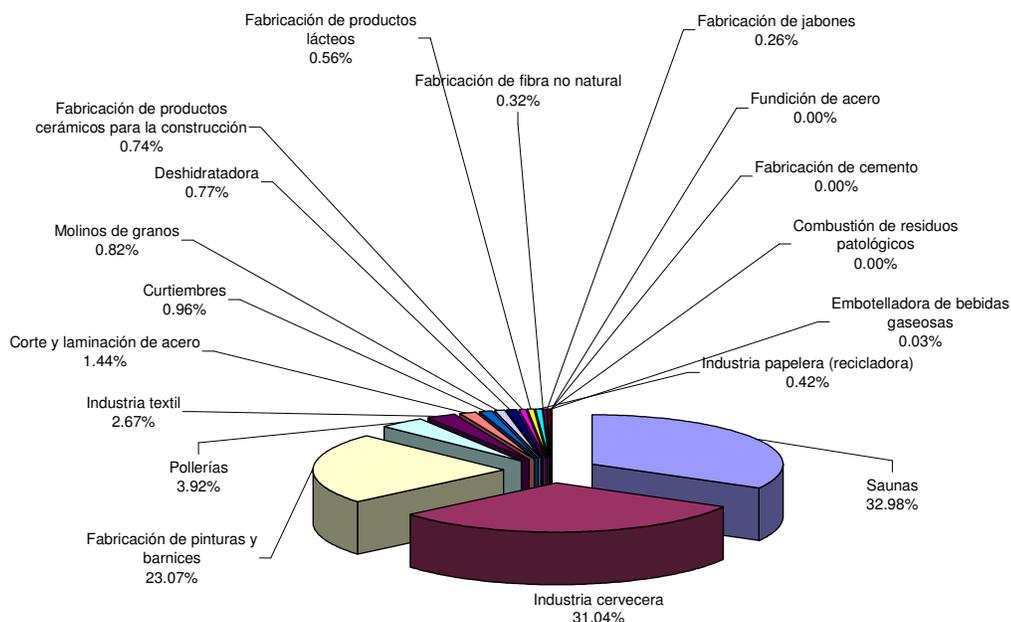
El Gráfico siguiente presenta la distribución de los principales aportantes de COV en la cuenca atmosférica de Arequipa.

Distribución Porcentual de COV por Tipo de Fuente



Las fuentes puntuales en general poseen emisiones mínimas de COV, por lo cual pasan a formar parte de la categoría "otros" que se grafica a continuación:

Distribución Porcentual de COV - Categoría Otros



Plomo

La única categoría de fuente identificada como aportante de plomo en la cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa, es la fabricación de productos cerámicos para la construcción (ladrilleras), tanto en su clasificación puntual como de área; sin embargo, esta emisión es inferior o igual a 1 Ton/año en ambos casos.

Cabe señalar que la emisión de plomo se encuentra asociada a la combustión de aceite lubricante residual, cuyo contenido de plomo considerado para el presente estudio es de 1%.

En el Anexo N° 3 se presenta el detalle de las emisiones unitarias para cada una de las fuentes puntuales, así como para cada categoría de fuente de área.

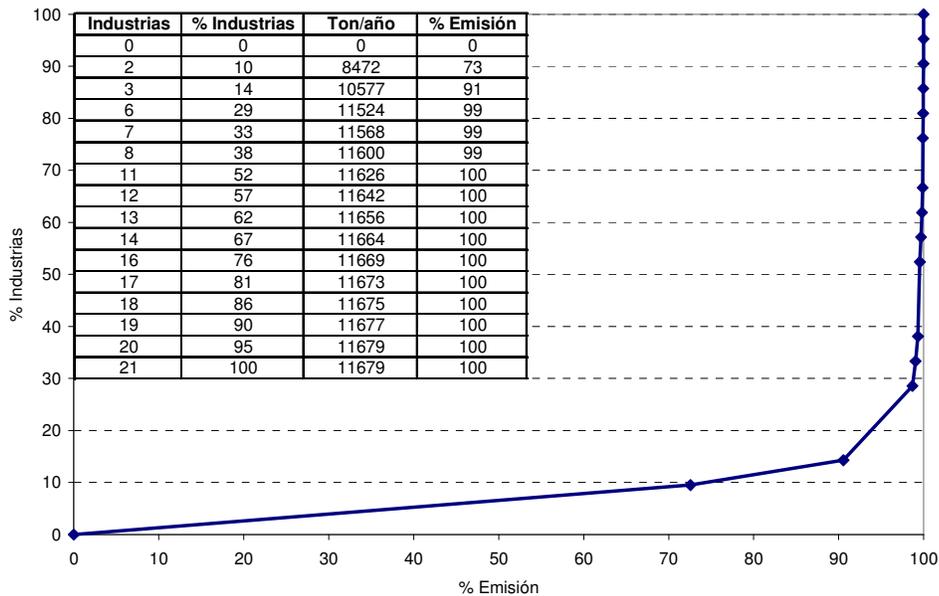
5.5.3 Análisis de las Fuentes Puntuales más contaminantes

En las siguientes gráficas se hace un análisis del número de industrias (fuentes puntuales) que contribuyen significativamente a la emisión de cada uno de los contaminantes criterio evaluados en la cuenca atmosférica de Arequipa, considerando sólo los de mayor aporte que son las PTS, PM-10, SO₂ y NO_x.

En la Gráfica siguiente se aprecia que en la emisión de PTS para la cuenca atmosférica de Arequipa, el 91% de la emisión es generada por el 14% de las industrias, que para el caso son tres, dos pertenecientes al rubro de la fabricación de productos cerámicos para la construcción y una a la fabricación de cemento, lo

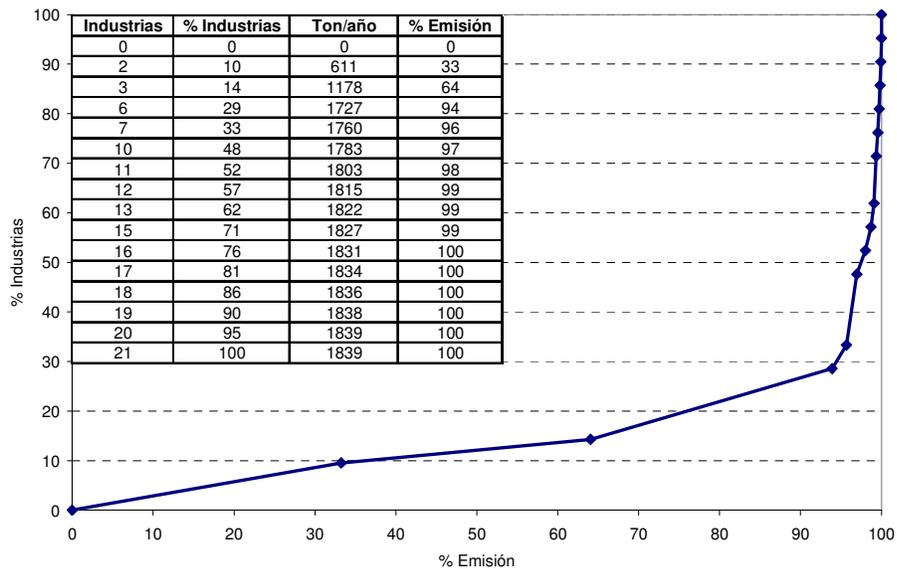
cual indica que los esfuerzos para controlar la emisión de éste contaminante deben estar dirigidos hacia éstas empresas.

Nº de Industrias más emisoras de PTS



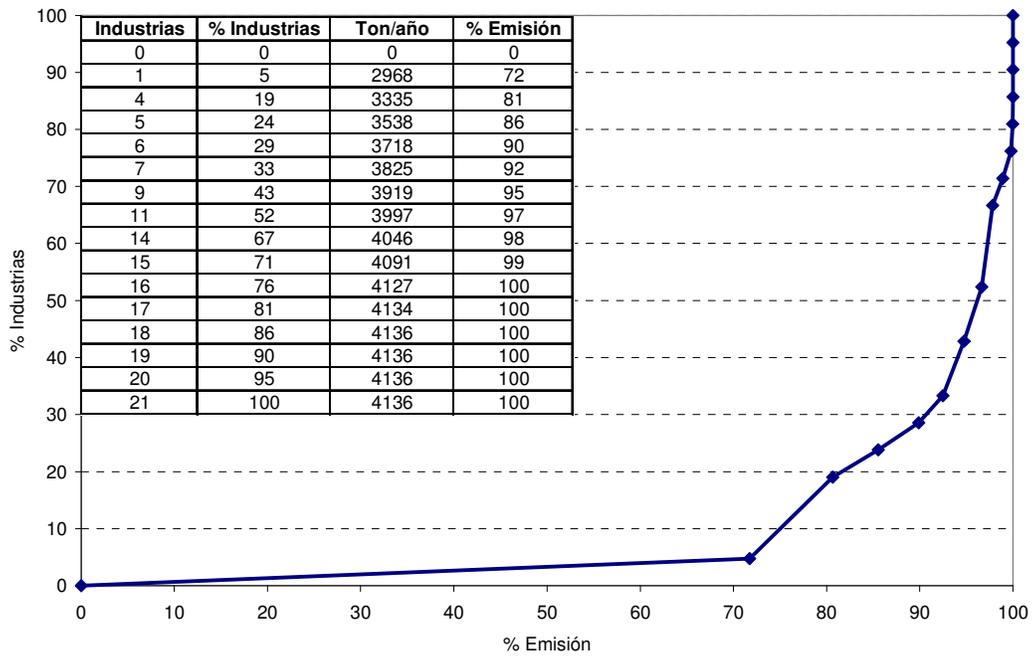
Tal como se indicó anteriormente, las fuentes puntuales mencionadas como principales emisoras de PTS, manifiestan un menor aporte de PM-10, representando el 64% de la emisión total. El 94% de las emisiones de PM-10 es alcanzado por el 29% de las industrias, que involucran las tres anteriores más los molinos de granos (03).

Nº de Industrias más emisoras de PM-10



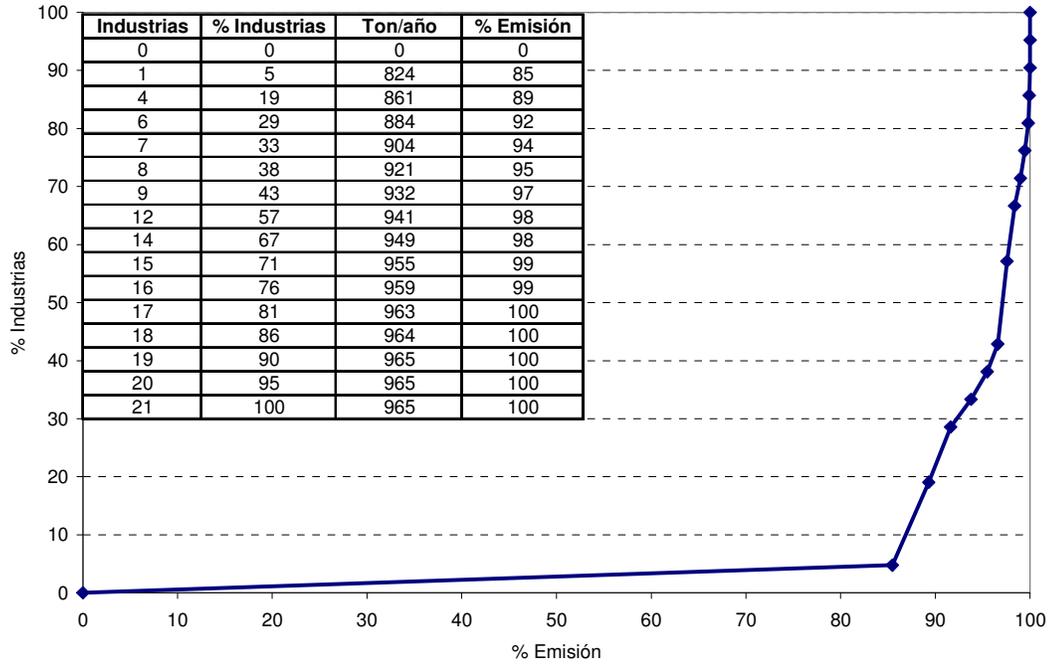
En la emisión de SO₂, se tiene que el 19% de la industria (04 industrias) contribuyen con el 81% de las emisiones de este contaminante, las cuales involucran la fabricación de cemento y el rubro de industria textil.

Nº de Industrias más emisoras de SO₂



En relación a los NO_x, se puede apreciar que una sola industria perteneciente al rubro de fabricación de cemento, contribuye con el 85% de la emisión de este contaminante, debido a sus procesos de combustión. En ese sentido, el control de esta industria reduciría en un 85% la emisión a la atmósfera originada por las fuentes fijas puntuales.

Nº de Industrias más emisoras de NOx



6. Conclusiones

La elaboración del inventario de emisiones de fuentes fijas para la cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa permite establecer las conclusiones siguientes:

- 6.1 Existen numerosas fuentes fijas puntuales en la cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa, que generan los mayores aportes de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno.
- 6.2 El contaminante mayormente emitido en la cuenca atmosférica de Arequipa es el particulado total en suspensión, cuyos principales generadores son las actividades de fabricación de productos cerámicos para la construcción y la fabricación de cemento.
- 6.3 Las emisiones provenientes de la fabricación de productos cerámicos y cemento, están constituidas principalmente por partículas de mayor tamaño (entre 10 y 50 micras), cuyos efectos en la salud son mínimos o ausentes.
- 6.4 Los molinos de granos que no disponen de sistema de control de emisiones, constituyen una tercera fuente significativa de aporte de material particulado a la atmósfera.
- 6.5 El dióxido de azufre constituye el segundo contaminante mayormente emitido por las fuentes fijas de la cuenca atmosférica de Arequipa, correspondiendo en un 69% a la actividad de fabricación de cemento por el empleo de carbón mineral en sus hornos de proceso en seco.
- 6.6 La principal emisión de óxidos de nitrógeno corresponde también a la industria de cemento, representando el 77% de la emisión total a la atmósfera.
- 6.7 Las mayores emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles corresponden a las fuentes de área, principalmente a las actividades de panadería, quema de residuos domésticos y ladrilleras artesanales.
- 6.8 La emisión de monóxido de carbono proveniente de las actividades de panadería representa más del 50% de la emisión total en la cuenca, debido a la gran cantidad de establecimientos existentes y al uso masivo de leña (CAPO) como combustible.
- 6.9 Se determinó que dos fuentes de área originan la mayor emisión de compuestos orgánicos volátiles (superior al 77%), que son las actividades de panadería, por el empleo de leña como combustible, y la quema de residuos municipales y domésticos que es realizada al aire libre.

- 6.10 La emisión de plomo en la cuenca es mínima, y proviene de la combustión de aceite lubricante residual en un mínimo de ladrilleras.
- 6.11 El análisis de las fuentes puntuales de la cuenca atmosférica de Arequipa determinó que es posible reducir en más del 90% las emisiones de partículas totales en suspensión al incidir en un mayor control en las actividades de fabricación de cerámica para la construcción y la industria de cemento.
- 6.12 Las partículas en suspensión menores a 10 micras tienen distribuido más del 90% de sus emisiones en las fuentes mencionadas anteriormente y los molinos de granos.
- 6.13 Las emisiones de dióxido de azufre se concentran en cuatro fuentes puntuales, ubicadas en las categorías de la industria cementera e industria textil, cuyo control dirigido principalmente a actividades de combustión permitiría reducir en más del 80% las emisiones de este gas.
- 6.14 El 85% de los óxidos de nitrógeno, precursores del ozono, es generado en la cuenca atmosférica de Arequipa por una única industria (cementera).

ANEXO N° 1
METODOLOGÍA EMPLEADA PARA
ELABORACIÓN DEL INVENTARIO LOCAL

PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LOS INVENTARIOS LOCALES DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS

De manera general, la elaboración del inventario de emisiones de fuentes fijas consiste de seis etapas que se indican a continuación:

- Determinación del universo de fuentes
- Definición de categorías y tipos de fuentes
- Diseño muestral
- Levantamiento de información de campo
- Estimación de emisiones
- Validación de la información recopilada y cálculos desarrollados

Determinación del universo de fuentes

Para conocer el universo de fuentes fijas de emisión, es necesario recurrir a diferentes instituciones de nivel central y local, tales como Ministerio de la Producción, Ministerio de Energía y Minas, SUNAT, INEI, Municipalidades y otros.

Debe mantenerse en un archivo todas las comunicaciones remitidas por las instituciones y las bases de datos originales, a fin de sustentar la información empleada.

La información oficial entregada por las instituciones consultadas, podrá ser depurada sólo en relación a los aspectos siguientes:

- Distritos que no pertenecen a la cuenca atmosférica o a la cuenca de trabajo.
- Categorías de fuentes (según código CIIU) que no han sido identificadas como contaminantes del aire en cada ciudad.
- Industrias o comercios que hayan sido identificadas como "Baja Definitiva", "Inoperativa" u otros (tal es el caso de la información entregada por SUNAT).

No se deben considerar depuraciones, inclusiones o modificaciones en los casos siguientes:

- No haber ubicado físicamente una fuente.
- Identificar nuevas fuentes no registradas en las bases de datos.
- Disponer de dos o más fuentes de información y fusionarlas.

Es importante sí, mantener un registro de esta información, sin embargo no es posible modificar las bases emitidas por la autoridad competente, salvo el caso en que se realice un empadronamiento total de las fuentes existentes en las zonas de evaluación.

El procedimiento a seguir, luego de haber reducido la base de datos a la cuenca atmosférica de interés, es decidir cuál es la mejor fuente de información (mayor confiabilidad) de las disponibles. A manera de ejemplo, es posible determinar que para las fuentes puntuales podría emplearse la información proporcionada por el Ministerio de la Producción, y para las fuentes de área la entregada por las Municipalidades.

En este sentido, es importante mantener siempre identificada la fuente de información que se está empleando para la determinación del universo, así como el año de actualización de la misma.

Considerando que el año base del inventario es el 2000, para efectos prácticos se considerará la suposición que toda la información de fuentes fijas recopilada actualmente es la misma que la del año en mención.

Para los casos en que la información entregada por las instituciones difiere significativamente de la realidad o en su defecto no existe, es posible que se desarrollen estudios de campo, tales como un empadronamiento o censo, con la finalidad de determinar el universo de determinadas categorías de fuentes de área; sin embargo, es necesario que se elabore un informe del trabajo desarrollado, considerando la metodología empleada, los criterios, cobertura, personal involucrado y otros, el cual debe ser avalado por el Gesta Zonal de Aire, para ser considerado como una fuente de información en la determinación del universo.

Definición de categorías y tipos de fuentes

Esta actividad está referida a establecer la lista típica de fuentes fijas de contaminación existentes en cada ciudad, y que formarán parte del inventario, así como a identificar cuáles de estas fuentes serán consideradas como "puntuales" y cuáles como "área".

Para el efecto, se considerarán las definiciones siguientes:

Fuente Puntual : Se define como una fuente puntual a toda instalación establecida en un lugar que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales o actividades que puedan generar emisiones contaminantes significativas a la atmósfera, por ejemplo se puede citar a las fundiciones primarias, refinerías, industrias de alimentos y otros.

Fuente de Área : Son todos aquellos establecimientos o lugares donde se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas de contaminantes, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera y que no llegan a considerarse como fuentes puntuales. En esta categoría se incluyen la mayoría de los establecimientos comerciales y de servicios, como por ejemplo las panaderías, talleres de carpintería, grifos y otros.

El resultado esperado en esta etapa debe presentar el esquema siguiente:

Categoría de Fuente	Código CIU	Tipo de Fuente	Cantidad
Categoría 1	XXXX	P	3
Categoría 2	YYYY	P	2
Categoría 3	ZZZZ	A	68
Categoría 4	AAAA	A	109
....
....
....
....
Total Fuentes Puntuales			
Total Fuentes de Area			
Total General			

P : Puntual A : Area

Es importante indicar que para el caso de Lima-Callao, esta categorización debe realizarse de manera integral (5 Direcciones Ejecutivas de Salud).

Diseño Muestral

Considerando la importancia de las fuentes puntuales, éstas serán incluidas en su totalidad en el inventario, es decir, que se realizará un censo de las mismas. Sin embargo, para el caso de las fuentes de área se desarrollará un muestreo.

El muestreo correspondiente al inventario de emisiones de fuentes fijas de área es el Muestreo Aleatorio Estratificado, donde los estratos corresponden a las categorías de fuentes por código CIU (Código Internacional Industrial Uniforme), considerando la descripción correspondiente a los 4 dígitos.

Para calcular el tamaño de muestra se considera la aplicación de las fórmulas siguientes:

1) Determinación del tamaño de muestra inicial (n_0) :

$$n_0 = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 * Cv^2}{\epsilon^2}$$

2) Aplicación de regla de decisión :

$$\frac{n_0}{N} < 0,05 \Rightarrow n = n_0 \quad \text{ó} \quad \frac{n_0}{N} \geq 0,05 \Rightarrow n = n$$

3) Determinación del tamaño de muestra óptimo (n) :

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

Donde:

- n_0 = Tamaño de muestra inicial
- N = Tamaño de muestra óptimo
- N = Universo (conocido)
- E = Error relativo (definido por el investigador)
- $(1 - \alpha)$ = Nivel de confianza (definido por el investigador)
- Cv = Coeficiente de variación

Para efectos de estandarizar el inventario de fuentes fijas, se considerarán como parámetros uniformes los siguientes:

- E = 0.05 (5%)
- $(1 - \alpha)$ = 95 %
- $Z_{(1 - \alpha)}$ = 1.96
- Cv = 0.5

El resultado de la aplicación de este procedimiento puede presentarse en el esquema que se indica a continuación:

Categoría de Fuente de Area	Código CIIU	Total por Categoría	Ponderación	Muestra Calculada por Categoría
Categoría 3	XXXX	68	= TC/ TFA	= P * TMO
Categoría 4	YYYY	109	= TC/ TFA	= P * TMO
....
....
....
....
Total Fuentes de Area		TFA		

Total Muestra Optima	
-----------------------------	--

- TC : Total por Categoría
- TFA : Total Fuentes de Area
- P : Ponderación
- TMO : Total Muestra Optima

En los casos que sea posible, el muestreo constará de dos etapas, la primera correspondiente a las categorías de fuente, y la segunda referida a la ubicación de las fuentes por distritos que pertenecen a la cuenca atmosférica o de trabajo, según se indica a continuación:

Categoría de Fuente de Area	Código CIIU	Muestra Calculada por Categoría	Nº de Fuentes por Distrito			Ponderación por Distrito			Muestra Calculada por Distrito		
			Distrito 1	Distrito 2	Distrito ...	Distrito 1	Distrito 2	Distrito ...	Distrito 1	Distrito 2	Distrito ...
Categoría 3	XXXX	= P * TMO	21	12	35	=FPD1/TPC	=FPD2/TPC	=FPD../TPC	=PD*MPC	=PD*MPC	=PD*MPC
Categoría 4	YYYY	= P * TMO	47	53	9	=FPD1/TPC	=FPD2/TPC	=FPD../TPC	=PD*MPC	=PD*MPC	=PD*MPC
....
....
....
....

FPD1 : Fuentes en el distrito 1

TPC : Total por categoría

PD : Ponderación por distrito

MPC : Muestra calculada por categoría

Levantamiento de Información de Campo

El levantamiento de la información de campo es realizado a través de encuestas, disponiéndose de diferentes tipos en función a si se trate de fuentes puntuales o de área, y también en base a la posibilidad de agrupación de categorías de fuentes en una misma encuesta.

Las encuestas inicialmente han sido diseñadas por cada ciudad; sin embargo, a futuro se espera disponer de una estandarización de las mismas.

Sin embargo, de manera general el contenido de las encuestas de fuentes puntuales es mayor, y no sólo referido a la información de proceso, sino también a los monitoreos de emisiones que dispongan como requerimiento de su autoridad competente, dado que nos proporcionan una información más real de la carga de emisión de las fuentes.

Para el caso de fuentes de área, se incide en la recopilación de información especificada en la Guía de Evaluación Rápida de la OMS, considerando todos aquellos datos anexos (tiempo de operación de las fuentes, unidades de reporte y otros) que permitan llegar a la unidad de actividad requerida.

Las encuestas deben ser desarrolladas de acuerdo a la distribución obtenida por distrito, y seleccionadas de manera aleatoria dentro del conjunto de la base de datos del universo. No olvidar que las fuentes puntuales se encuestan en su totalidad.

Es conveniente siempre disponer de un margen superior de encuestas, dado que es posible que tengan que ser depuradas al momento de su revisión por no contener la información completa requerida para la estimación.

Si fuera el caso que una vez determinada la muestra a encuestar, los establecimientos seleccionados no se encuentran operativos o no se ubican o han sido clausurados o han cambiado de rubro, es posible reemplazar estas fuentes por otras que se ubiquen en la lista del universo, hasta completar el número de muestra requerido. Sin embargo, se recomienda mantener un registro de todos estos casos identificados por ciudad.

Si al momento de realizar el trabajo de campo, se encuentran establecimientos que no figuran en la lista del universo, también pueden ser encuestados, dado que es sabido que existe una falta de actualización en la información entregada por las autoridades. Además, se asume que así como existen establecimientos nuevos, otros han dejado de funcionar, siendo este caso particular el de las fuentes de área.

Es conveniente que el trabajo de campo se desarrolle previa instrucción al grupo encuestador, y que se considere una supervisión por parte de los miembros del grupo responsable del inventario en la ciudad.

Estimación de Emisiones

Es uno de los procedimientos más simples, basados en la aplicación del factor establecido en la Guía de Evaluación Rápida de la OMS a las unidades de actividad determinadas para cada categoría de fuente.

El aspecto más importante en este sentido, es identificar el factor de emisión correcto de acuerdo a la actividad señalada en la encuesta. También se puede recurrir al código CIIU de la categoría, para ello es conveniente disponer claramente de la equivalencia entre el código CIIU versión 3 y el código especificado en el Guía (versión 2).

Es posible que en las ciudades existan fuentes de emisión no incluidas en la Guía OMS, para lo cual se puede recurrir a otras fuentes de información tales como la Guía de Factores de Emisión de la EPA / AP-42 que es una de las más completas, el SCC utilizado en México (traducción EPA) y otras.

En relación al procedimiento de estimación de emisiones, debe ser desarrollado de acuerdo a lo siguiente:

- Estimación de emisiones para fuentes puntuales de acuerdo a Guía OMS
- Estimación de emisiones para fuentes puntuales en función a mediciones reales de las fuentes
- Estimación de emisiones para fuentes de área

Fuentes Puntuales de acuerdo a Guía OMS

Para este caso, se estiman las emisiones por contaminante de cada fuente puntual de manera independiente, y luego se realiza una sumatoria de las mismas. Es importante mantener en una hoja de excel independiente la información sobre fuentes puntuales, para otros fines que se requieran.

En el caso que una fuente puntual disponga de varias etapas, se calcula primero cada una de ellas y luego se realiza una suma parcial para obtener la emisión total de la fuente.

En el caso que la fuente disponga de sistemas de control de emisiones, se aplicará la fórmula siguiente:

$$ESC = FE * UA (1-EFSC/100)$$

Donde:

ESC	=	Emisión con aplicación del sistema de control
FE	=	Factor de Emisión
UA	=	Unidad de Actividad
EFSC	=	Eficiencia del sistema de control (%)

Fuentes Puntuales en función a Mediciones Reales

Es necesario disponer de la información de las emisiones de las fuentes expresadas en mg/m^3 para cada contaminante, el caudal de descarga de los gases por la chimenea expresado en m^3/hora , y el tiempo de operación de la fuente de emisión (chimenea) en el año. El proceso de cálculo es el siguiente:

$$\text{Emisión (ton/año)} = \text{Concentración (mg/m}^3\text{)} \times \text{Caudal (m}^3\text{/hora)} \times \text{Tiempo de operación} \times \text{unidades de conversión}$$

Este resultado por cada chimenea debe ser sumado al resultado de la estimación anterior, para conocer la emisión total de cada fuente puntual.

En el caso que la empresa sólo disponga del monitoreo de algunos de los contaminantes requeridos, los demás podrán ser estimados mediante la Guía OMS. Así también, en el caso de las emisiones fugitivas.

Fuentes de Área

Considerando que para el levantamiento de información de este tipo de fuentes se realizó un muestreo, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Estimación del promedio de la unidad de actividad por cada categoría de fuente de área. Ejemplo: el promedio de consumo de carbón en las pollerías encuestadas.
- Aplicación del factor de emisión para cada contaminante, a la unidad de actividad promedio calculada, con lo cual se obtendrá la emisión promedio de la muestra (estimador de la población).
- Llevar las emisiones promedio de la muestra al total de fuentes de área de cada categoría (multiplicación del promedio por el universo total de fuentes para la categoría correspondiente).
- Sumatoria parcial de todas las emisiones obtenidas para fuentes de área.

Es importante en la fuentes de área, contar también con las emisiones unitarias por establecimiento, a fin de verificar los cálculos realizados a nivel de promedios.

Al disponer de la información de fuentes puntuales y de área, que constituye el universo, ya se conoce la emisión total de la cuenca atmosférica o de trabajo de cada ciudad.

Se recomienda emplear el formato de reporte establecido en la Guía OMS acápite 3.2.3 (pagina 73).

Con la información disponible en esta etapa, es posible realizar todas las interrelaciones necesarias, como las siguientes:

- Emisión por cada una de las fuentes puntuales.

- Emisión total por fuentes puntuales y de área.
- Emisión por distritos que forman parte de la cuenca, en los casos que haya sido posible realizar esta segregación.
- Emisión por cada categoría de fuente de área.
- Otros.

Validación de la información recopilada y cálculos desarrollados

Un aspecto de suma importancia en el procedimiento de elaboración de inventarios, es la validación de la información, que está enfocada a los aspectos siguientes:

- Revisión del universo de fuentes fijas y sustentos para su determinación.
- Consideración de categorías de fuentes de acuerdo a la realizada local.
- Revisión de la información contenida en las encuestas, dado que es probable incurrir en errores de respuesta por parte del encuestado o errores de interpretación o digitación por parte de los responsables del vaciado de la información. Es muy importante en este aspecto la clara identificación de las unidades y tiempos en los cuales están reportados los datos.
- Chequeo de la secuencia de cálculos realizados.
- Congruencia de los resultados finales obtenidos en función a comparaciones con otras ciudades o entre tipos de fuentes.

Es importante considerar la participación de terceros en el proceso de revisión y validación de los inventarios, dado que pueden incorporar aportes significativos al no haber estado involucrados en el desarrollo de la actividad.

ANEXO N° 2
MODELOS DE ENCUESTAS

ANEXO N° 3
DETALLE DE EMISIONES UNITARIAS

BIBLIOGRAFIA

Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Arequipa

1. Evaluación de Fuentes de Contaminación del Aire. Alexander Economopoulos. Parte I: Técnicas para el Inventario Rápido de la Contaminación Ambiental. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. 1993.
2. Anuario Estadístico 2000. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Electricidad. Dirección de Promoción y Estadística.
3. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Volumen III – Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones. Elaborado para la Asociación de Gobernadores del Oeste Denver – Colorado y el Comité Asesor Binacional. Radian International. 1997.
4. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Volumen V – Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Fuentes de Area. Elaborado para la Asociación de Gobernadores del Oeste Denver – Colorado y el Comité Asesor Binacional. Radian International. 1997.
5. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Volumen IV – Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Fuentes Puntuales. Elaborado para la Asociación de Gobernadores del Oeste Denver – Colorado y el Comité Asesor Binacional. Radian International. 1997.
6. Cuaderno de Trabajo para la Capacitación Avanzada en la Metodología para el Proyecto del Inventario de Emisiones de México. Elaborado para la Asociación de Gobernadores del Oeste Denver – Colorado y el Comité Asesor Binacional. Radian International. 1997.
7. Inventario de Emisiones a la Atmósfera. Zona Metropolitana del Valle de México 2000. Secretaría de Medio Ambiente. Gobierno del Distrito Federal.
8. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Volumen II – Fundamentos de Inventarios de Emisiones. Elaborado para la Asociación de Gobernadores del Oeste Denver – Colorado y el Comité Asesor Binacional. Radian International. 1997.
9. Handbook for Criteria Pollutant Inventory Development: A Beginner's Guide for Point and Area Sources. Office of Air Quality. United States Environmental Protection Agency.
10. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Vol 1: Stationary Point and Area Sources. AP-42 USEPA. 1985.

11. Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana para 1997 y Proyecciones al 2005. Comisión Nacional del Medioambiente. Chile. 1997.
12. Emisiones de los Aparatos de Cocina de los Vendedores Ambulantes (Asadores al Carbón). Reporte Final. Preparado para la Oficina de Investigación y Desarrollo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Washington DC.
13. Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Primera Comunicación. Junio 2001.
14. Evaluation of the 1998 Emissions Inventory for the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico. ERG Inc. Prepared for: Western Governors' Association Denver, Colorado and Binational Advisory Committee. 2003.
15. Anuario Estadístico de Hidrocarburos 2000. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Hidrocarburos. Dirección de Promoción y Estadística.
16. Emisiones al Aire de la Combustión de Llantas Usadas. USEPA.
17. Anuario Minero 2001. Ministerio de Energía y Minas. Sub Sector Minería. Dirección General de Minería. Dirección de Promoción y Estadística.
18. Inventario de Emisiones a la Atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México 1996. Secretaría de Medio Ambiente. Gobierno del Distrito Federal.
19. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.