

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL  
DIGESA

# INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS CUENCA ATMOSFERICA DE LA CIUDAD DE CUSCO

SUB PROGRAMA IM-07  
PROCLIM  
“INVENTARIOS LOCALES DE GASES CONTAMINANTES”



ABRIL 2005

Ing. Roxana Ríos Ravello  
Coordinadora Sub Programa IM-07  
"Inventarios Locales de Gases Contaminantes"

Ing. Paola Chinen Guima  
Area de Control de la Contaminación Atmosférica  
DIGESA – Ministerio de Salud

Ing. Fausto Roncal Vergara  
Representante Técnico Administrativo Sub Programa IM-07  
Director Ejecutivo de Ecología y Protección del Ambiente  
DIGESA – Ministerio de Salud

Ing. Jorge Alvarez Lam  
Ing. Francisco Avendaño Ugaz  
Componente Inventarios y Mitigación  
PROCLIM

Colaboradores:  
Grupo de Estudio Técnico Ambiental – "GESTA CUSCO"

**INDICE**  
**Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la**  
**Cuenca Atmosférica de la ciudad del Cusco**

|  | 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         | 10   |
| 5.4 Determinación del Tamaño Muestral para Fuentes de Area | 12   |
| 5.5 Estimación de Emisiones                                | 13   |
| 5.5.1 Emisiones Anuales                                    | 13   |
| 5.5.2 Emisiones por Contaminante                           | 21   |
| 6. CONCLUSIONES  | 28   |
| ANEXOS   |      |

# **Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Cusco**

## **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 Cusco, 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 Cusco, el inventario de emisiones integra ocho distritos, cuya cobertura poblacional se indica a continuación:

| <b>Distrito</b>                 | <b>Población</b>         |
|---------------------------------|--------------------------|
| Cusco                           | 101504                   |
| Santiago                        | 85831                    |
| Wanchaq                         | 62238                    |
| San Sebastián                   | 48068                    |
| San Jerónimo                    | 19767                    |
| Saylla                          | 1067                     |
| Oropesa                         | 6565                     |
| Lucre                           | 4295                     |
| <b>Total Cuenca Atmosférica</b> | <b>329335 habitantes</b> |

#### 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.
- *Emisiones evaporativas de Tolueno, Benceno y Gasolina*  
Factores de Emisión del Source Code Clasification – SCC. Traducido por el Gobierno del Distrito Federal de México.
- *Emisiones por Dosificación de Concreto y Almacenamiento de Agregados*  
Factores de Emisión del Source Code Clasification – SCC. Traducido por el Gobierno del Distrito Federal de México.

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, refinерías, 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 Cusco, las categorías de fuentes existentes en el ámbito geográfico delimitado son las siguientes:

| <b>N°</b> | <b>Estrato</b>   | <b>Descripción</b>  | <b>Nombre Común</b>                      | <b>Tipo de Fuente</b> |
|-----------|--|---|--|-----------------------|
| 1         | Actividades de la industria alimentaria                        | Industria cervecera   | -  | Puntual               |
| 2         | Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión | Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas | Pollerías / Pizzerías                    | Area                  |
| 3         |  | Fabricación de productos de panadería                                       | Panaderías                               | Area                  |
| 4         |  | Suministro de vapor y agua caliente   | Hoteles / Hospitales                     | Area                  |
| 5         | Actividades productivas de molinería                           | Molienda de granos  | Molinos                                  | Area                  |
| 6         | Actividades artesanales que realizan combustión                | Fabricación de productos cerámicos para la construcción                     | Ladrilleras artesanales                  | Area                  |
| 7         | Actividades de la industria no metálica                        | Fabricación de artículos de hormigón  | Bloqueteras                              | Area                  |
| 8         |  | Transporte de materiales de construcción                                    | Transporte de materiales de construcción | Area                  |
| 9         | Actividades de transformación de madera                        | Carpinterías / Aserraderos  | Carpinterías / Aserraderos               | Area                  |
| 10        | Pérdidas evaporativas por expendio de combustible              | Venta al por menor de combustibles para automotores                         | Grifos                                   | Area                  |
| 11        | Evaporación de solventes por fuentes de área                   | Uso de pinturas y solventes   | Uso de pinturas y solventes              | Area                  |
| 12        |  | Actividades de impresión  | Imprentas                                | Area                  |

Estas totalizan una categoría de fuente puntual y 11 categorías de fuentes de área.

## 5.2 Caracterización de las Fuentes Emisoras

El inventario de fuentes fijas de la ciudad de Cusco se caracteriza por incluir una única categoría de fuente puntual, y un mayor número de categorías de fuentes de área, las cuales se describen a continuación:

### ***Industria Cervecera***

Compañía Cervecera del Sur del Perú (CERVESUR), alcanza en su planta de Cusco una producción de 239154 m<sup>3</sup> 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 855 Galones/año, de acuerdo al Anuario Estadístico 2000 de la Dirección General de Electricidad – Ministerio de Energía y Minas.

### ***Pollerías / Pizzerías***

A diferencia de otras ciudades, en el Cusco se determina un uso predominante de Gas Licuado de Petróleo como combustible en las pollerías y pizzerías, según los consumos que se detallan en el cuadro siguiente:

| <b>Tipo de combustible</b> | <b>% Establecimientos</b> | <b>Consumo Promedio (Ton/año)</b> |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| GLP                        | 94                        | 2.13                              |
| Kerosene                   | 25                        | 0.39                              |
| Carbón vegetal             | 19                        | 0.40                              |
| Leña                       | 56                        | 8.49                              |

El porcentaje excedente es debido a que existe un uso combinado de combustibles, según se indica:

| <b>Tipo de combustible</b> | <b>% Establecimientos</b> |
|----------------------------|---------------------------|
| GLP / Kerosene             | 25                        |
| GLP /Carbón                | 19                        |
| GLP / Leña                 | 50                        |
| GLP / Kerosene / Leña      | 19                        |

### ***Panaderías***

A diferencia de las pollerías, en las panaderías predomina el empleo de la leña como combustible, evidenciándose un mínimo de usos combinados, tal como se muestra a continuación:

| <b>Tipo de combustible</b> | <b>% Establecimientos</b> | <b>Consumo Promedio (Ton/año)</b> |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| GLP                        | 17                        | 0.15                              |
| Diesel 2                   | 14                        | 0.66                              |
| Leña                       | 74                        | 30.75                             |
| GLP / Diesel 2             | 3                         | -                                 |
| Diesel 2 / Leña            | 2                         | -                                 |

### ***Hoteles / Hospitales***

Existen en la cuenca atmosférica del Cusco un total de 120 establecimientos entre hoteles y hospitales. Su operación consiste en la generación de vapor con el empleo de calderos, que utilizan como combustibles los siguientes:

| <b>Tipo de combustible</b> |            | <b>% Establecimientos</b> | <b>Consumo Promedio (Ton/año)</b> |
|----------------------------|------------|---------------------------|-----------------------------------|
| GLP                        | Industrial | 74                        | 5.6                               |
|                            | Doméstico  | 16                        | 0.6                               |
| Diesel 2                   |            | 26                        | 14.9                              |
| Leña                       |            | 11                        | 0.1                               |

Nótese que existe un porcentaje de establecimientos superior al 100%, debido a que se produce el uso combinado de combustibles: Gas-Petróleo (16%) y Gas-Leña (11%).

### ***Molinos***

Los molinos existentes en la cuenca atmosférica de Cusco procesan los granos siguientes: trigo, centeno, avena, soya y maíz seco. El detalle de la información se presenta a continuación:

| <b>Tipo de Grano</b> | <b>% Establecimientos</b> | <b>Producción Promedio (Ton/año)</b> |
|----------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Trigo                | 85.7                      | 178.6                                |
| Centeno              | 7.1                       | 0.6                                  |
| Avena                | 14.3                      | 12.9                                 |
| Soya                 | 21.4                      | 20.3                                 |
| Maíz Seco            | 50.0                      | 122.5                                |

Se aprecia que en su mayoría los establecimientos realizan molienda de trigo, teniendo un segundo y tercer granos secundarios, y en menor proporción. Sólo el 14.3% de los molinos no trabaja con trigo.

El empleo de sistemas de control empleados para la reducción de emisiones de partículas ha sido identificado sólo en el 7.1% de los establecimientos, y está referido al uso de ciclones.

### ***Ladrilleras Artesanales***

Existen 300 ladrilleras de tipo artesanal en el Cusco, dedicadas a la elaboración de ladrillos en un 95.7% y tejas en un 76.6%, siendo predominante la fabricación conjunta de ambos productos (72.3%), que emplean como combustible principal el aserrín. El detalle de la información se presenta a continuación:

| <b>Tipo de Producto</b> | <b>Producción Promedio</b> |                |
|-------------------------|----------------------------|----------------|
|                         | <b>Millares/año</b>        | <b>Ton/año</b> |
| Ladrillos               | 7.8                        | 76.9           |
| Tejas                   | 1.7                        | 33.9           |

| <b>Tipo de combustible</b> | <b>% Establecimientos</b> | <b>Consumo Promedio (Ton/año)</b> |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Aserrín                    | 93.6                      | 67.8                              |
| Leña y aserrín             | 6.4                       | 71.0                              |

### ***Bloqueteras***

Se tienen 74 establecimientos de fabricación de artículos de hormigón en el Cusco, denominados comúnmente "Bloqueteras", los cuales sólo realizan la mezcla de agregados y secado al ambiente, sin el empleo de hornos. Los volúmenes de agregados manejados son los siguientes:

| <b>Agregado</b> | <b>Uso Promedio Ton/año</b> | <b>Uso Total Ton/año</b> |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Piedra chancada | 292.0                       | 3504.3                   |
| Cemento         | 26.6                        | 319.1                    |
| Arena           | 82.1                        | 985.4                    |

Es importante señalar que el almacenamiento de agregados se realiza en pilas al aire libre.

### ***Transporte de materiales de construcción***

Los volúmenes de materiales transportados por los establecimientos identificados en el Cusco, se indican a continuación:

| <b>Material Transportado</b> | <b>Volumen Promedio (m3/mes)</b> |
|------------------------------|----------------------------------|
| Piedra chancada              | 40.0                             |
| Hormigón                     | 3.3                              |
| Arcilla                      | 6.7                              |
| Arena                        | 6.7                              |
| Yeso                         | 0.2                              |

### ***Carpinterías / Aserraderos***

En este rubro se han incluido tanto las carpinterías menores como los aserraderos, teniéndose la clasificación siguiente:

| <b>Volumen de Madera Procesada (m2/año)</b> | <b>% Establecimientos</b> |
|---|---------------------------|
| < 5000                                      | 83.6                      |
| > 5000                                      | 16.4                      |

Los detalles de estas actividades (a nivel de promedio) se presentan a continuación:

| <b>Volumen de Madera Procesada (m2/año)</b> | <b>m2 madera laminada/año</b> | <b>Cantidad de aserrín generado (Ton/año)</b> |
|---|-------------------------------|---|
| < 5000                                      | 1115.4                        | 1.2   |
| > 5000                                      | 7308.4                        | 8.6   |

### ***Grifos***

Existen 40 establecimientos de venta al por menor de combustibles en el Cusco, los cuales expenden gasolinas en un volumen promedio de 27300 Galones/mes, siendo la recarga de tanques mediante sistemas por chorro y el abastecimiento de vehículos sin sistemas de control de la emisión de vapores orgánicos.

### ***Uso de Pinturas y Solventes***

Esta categoría está referida a los materiales de revestimiento y solventes que se expenden y consumen en los distritos identificados como parte de la cuenca del Cusco, a saber:

| <b>Categoría</b>          | <b>Tipo de Producto</b> | <b>Consumo Promedio (Ton/año)</b> |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Material de Revestimiento | Pintura                 | 0.33                              |
|                           | Barniz                  | 0.08                              |
|                           | Laca                    | 0.13                              |
|                           | Esmalte                 | 0.15                              |
|                           | Imprimación             | 0.02                              |
| Solvente                  | Thiner                  | 0.45                              |
|                           | Aguarrás                | 0.02                              |
|                           | Thiner acrílico         | 0.26                              |

Los consumos promedio corresponden a establecimientos de pintado de autos, repuestos y servicios, metal-mecánicas, mueblerías, planchado y pintura, renovadoras de calzado, letreros y bambalinas, reparación de bicicletas, entre otros.

### ***Imprentas***

Dos tipos de sistema de impresión son los que caracterizan a esta categoría, siendo el principal la impresión tipo offset.

| <b>Sistema de Impresión</b> | <b>% Establecimientos</b> |
|-----------------------------|---------------------------|
| Offset                      | 97.4                      |
| Tipografía                  | 52.6                      |

Se aprecia que el sistema tipográfico es secundario y mayoritariamente va acompañado de la línea principal en offset.

De manera general, el consumo promedio de tinta por imprenta alcanza 0.02 Ton/año en la línea offset y 0.01 Ton/año en la línea tipográfica.

### **5.3 Determinación del Universo de Fuentes Emisoras**

El universo de fuentes fijas para la cuenca atmosférica de la ciudad del Cusco fue definido en base a información consignada en el Directorio Industrial 2000 de la Dirección Regional de Industrias, cuyos sustentos se incluyen en el Anexo N° 2.

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

| N°                             | Estrato  | Descripción   | Nombre Común                             | Total Fuentes en la Cuenca Atmosférica |
|--------------------------------|--|---|--|--|
| 1                              | Actividades de la industria alimentaria                        | Industria cervecera   | -  | 01                                     |
| 2                              | Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión | Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas | Pollerías / Pizzerías                    | 106                                    |
| 3                              |  | Fabricación de productos de panadería                                       | Panaderías                               | 375                                    |
| 4                              |  | Suministro de vapor y agua caliente   | Hoteles / Hospitales                     | 120                                    |
| 5                              | Actividades productivas de molinería                           | Molienda de granos  | Molinos                                  | 88                                     |
| 6                              | Actividades artesanales que realizan combustión                | Fabricación de productos cerámicos para la construcción                     | Ladrilleras artesanales                  | 300                                    |
| 7                              | Actividades de la industria no metálica                        | Fabricación de artículos de hormigón  | Bloqueteras                              | 74                                     |
| 8                              |  | Transporte de materiales de construcción                                    | Transporte de materiales de construcción | 40                                     |
| 9                              | Actividades de transformación de madera                        | Carpinterías / Aserraderos  | Carpinterías / Aserraderos               | 355                                    |
| 10                             | Pérdidas evaporativas por expendio de combustible              | Venta al por menor de combustibles para automotores                         | Grifos                                   | 40                                     |
| 11                             | Evaporación de solventes por fuentes de área                   | Uso de pinturas y solventes   | Uso de pinturas y solventes              | 351                                    |
| 12                             |  | Actividades de impresión  | Imprentas                                | 245                                    |
| <b>Total Fuentes Puntuales</b> |  |   |  | <b>01</b>                              |
| <b>Total Fuentes de Area</b>   |  |   |  | <b>2094</b>                            |
| <b>Total Fuentes Fijas</b>     |  |   |  | <b>2095</b>                            |

## 5.4 Determinación del Tamaño Muestral para Fuentes de Area

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 del Cusco, 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%        | 0.05          |
| $Z^2_{(1-\alpha/2)}$    | $=$              | 1.96      |               |
| P = proporción =        | 0.5              | entonces; | q = 1-p = 0.5 |

Entonces, reemplazando en (1):

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

$$n_0 = 384.16$$

$$n_0 = 385$$

REGLA DE DECISIÓN:

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

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

Reemplazando valores:

**N = Total fuentes de area**

**2094**

$$\frac{n_0}{N} = 0.18$$

Entonces :  $n = 325.21$

Redondeo:  $n = 326$

En ese sentido, el número de fuentes de área a encuestar para disponer de estimaciones representativas del universo es de 326 encuestas, distribuidas de acuerdo a su ponderación por categoría, como se indica a continuación:

| <b>Nombre Común</b>                      | <b>Muestra calculada por Categoría</b> |
|--|--|
| Pollerías / Pizzerías                    | 16                                     |
| Panaderías                               | 58                                     |
| Hoteles / Hospitales                     | 19                                     |
| Molinos                                  | 14                                     |
| Ladrilleras artesanales                  | 47                                     |
| Bloqueteras                              | 12                                     |
| Transporte de materiales de construcción | 06                                     |
| Carpinterías / Aserraderos               | 55                                     |
| Grifos                                   | 06                                     |
| Uso de pinturas y solventes              | 55                                     |
| Imprentas                                | 38                                     |

## **5.5 Estimación de Emisiones**

### **5.5.1 Emisiones Anuales**

Las emisiones anuales generadas en la cuenca atmosférica del Cusco determinan como contaminante predominante el monóxido de carbono (CO) con una emisión total de 4251 Ton/año entre fuentes puntuales y de área, siendo estas últimas las principales contribuyentes.

Cabe señalar, en relación a este gas, que su difusión en la atmósfera es rápida, reduciéndose sus concentraciones a cortas distancias de las fuentes de emisión.

En segundo lugar se tienen las emisiones de partículas totales en suspensión (PTS) que alcanzan 2878 Ton/año, siendo el aporte por parte de las fuentes puntuales sólo del 6.6% (sólo una fuente puntual) y de las fuentes de área de 93.4%.

Como parte de las emisiones particuladas, se tiene que del total de 2878 Ton/año, 1672 Ton/año corresponden a partículas menores a 10 micras (PM-10) (aproximadamente el 58%) y que en su mayoría provienen de las fuentes de área asociadas a procesos de combustión.

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) son aún mayores a las de PM-10, alcanzando 1792 Ton/año.

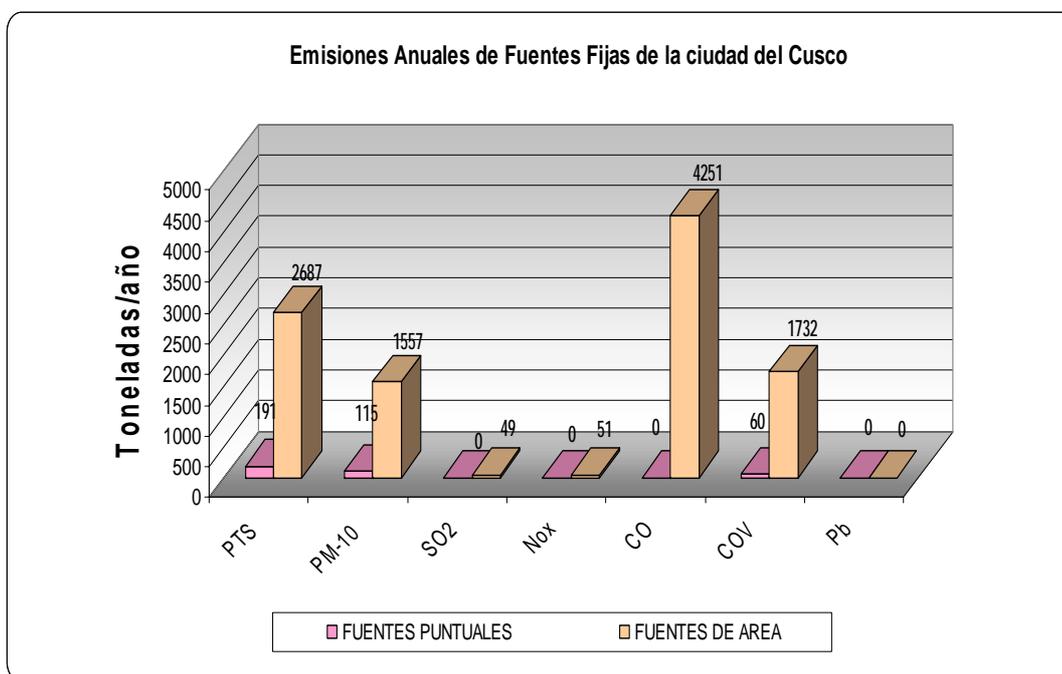
Los gases dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) tienen una presencia mínima en las emisiones de la cuenca atmosférica, alcanzando 49 y 51 Ton/año respectivamente.

El elemento plomo tiene un aporte nulo entre las fuentes que conforman el presente inventario.

De manera general, en la ciudad del Cusco, el mayor aporte de todos los contaminantes, incluyendo gases y partículas, corresponde a las fuentes de área, dado que se ha identificado sólo una fuente puntual.

**Tabla N° 1. Inventario de Emisiones Anuales de Fuentes Fijas de la Ciudad del Cusco**

| Sector            | Emisiones (Ton/año) |             |                 |                 |             |             |          |
|-------------------|---------------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|----------|
|                   | PTS                 | PM-10       | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO          | COV         | Pb       |
| Fuentes Puntuales | 191                 | 115         | < 1             | < 1             | < 1         | 60          | 0        |
| Fuentes de Area   | 2687                | 1557        | 49              | 51              | 4251        | 1732        | 0        |
| <b>Total</b>      | <b>2878</b>         | <b>1672</b> | <b>49</b>       | <b>51</b>       | <b>4251</b> | <b>1792</b> | <b>0</b> |



**Tabla N° 2. Inventario Porcentual de Emisiones Anuales de Fuentes Fijas de la Ciudad del Cusco**

| Sector            | Emisiones (%) |              |              |              |              |              |              |
|-------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | PTS           | PM-10        | SO2          | NOx          | CO           | COV          | Pb           |
| Fuentes Puntuales | 6.6           | 6.9          | 0.1          | < 0.05       | < 0.05       | 3.3          | 0.0          |
| Fuentes de Area   | 93.4          | 93.1         | 99.9         | 100.0        | 100.0        | 96.7         | 0.0          |
| <b>Total</b>      | <b>100.0</b>  | <b>100.0</b> | <b>100.0</b> | <b>100.0</b> | <b>100.0</b> | <b>100.0</b> | <b>100.0</b> |

En la Tabla N° 3 se muestra el inventario de fuentes fijas desagregado para la cuenca atmosférica del Cusco, evidenciándose que el mayor aporte de CO (contaminante mayormente emitido de acuerdo a la Tabla N° 1), corresponde a las actividades de fabricación de productos cerámicos para la construcción, es decir, ladrilleras artesanales que totalizan 300 establecimientos con una emisión de 2855 Ton/año.

Es importante indicar que este rubro no sólo contribuye con las mayores emisiones de CO, sino también de PTS, PM-10 y COV, constituyéndose en la categoría más emisora de la cuenca.

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

| Estrato  | Descripción   | N° Fuentes | Emisión (Ton/año) |       |     |     |      |     |    |
|--|---|------------|-------------------|-------|-----|-----|------|-----|----|
|  |   |            | PTS               | PM-10 | SO2 | NOX | CO   | COV | Pb |
| <b>Fuentes Puntuales</b>                                       |   |            |                   |       |     |     |      |     |    |
| Actividades de la industria alimentaria                        | Industria cervecera   | 01         | 191               | 115   | < 1 | < 1 | < 1  | 60  | 0  |
| <b>Fuentes de Area</b>   |   |            |                   |       |     |     |      |     |    |
| Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión | Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas | 106        | 15                | 13    | < 1 | 2   | 141  | 42  | 0  |
|  | Fabricación de productos de panadería                                       | 375        | 135               | 121   | 7   | 13  | 1253 | 412 | 0  |
|  | Suministro de vapor y agua caliente   | 120        | 1                 | < 1   | 38  | 7   | 2    | < 1 | 0  |
| Actividades productivas de molinería                           | Molienda de granos  | 88         | 526               | 310   | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  |
| Actividades artesanales que realizan combustión                | Fabricación de productos cerámicos para la construcción                     | 300        | 1860              | 1068  | 4   | 29  | 2855 | 938 | 0  |
| Actividades de la industria no metálica                        | Fabricación de artículos de hormigón  | 74         | 3                 | 1     | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  |
|  | Transporte de materiales de construcción                                    | 40         | 109               | 24    | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  |
| Actividades de transformación de madera                        | Carpinterías / Aserraderos  | 355        | 38                | 19    | 0   | 0   | 0    | 4   | 0  |

| Estrato   | Descripción   | Nº Fuentes | Emisión (Ton/año) |             |           |           |             |             |          |
|---|---|------------|-------------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|----------|
|   |   |            | PTS               | PM-10       | SO2       | NOX       | CO          | COV         | Pb       |
| <b>Fuentes de Area</b>                            |   |            |                   |             |           |           |             |             |          |
| Pérdidas evaporativas por expendio de combustible | Venta al por menor de combustibles para automotores | 40         | 0                 | 0           | 0         | 0         | 0           | 144         | 0        |
| Evaporación de solventes por fuentes de área      | Uso de pinturas y solventes                         | 351        | 0                 | 0           | 0         | 0         | 0           | 190         | 0        |
|   | Actividades de impresión                            | 245        | 0                 | 0           | 0         | 0         | 0           | 2           | 0        |
| <b>EMISIONES TOTALES</b>                          |   |            | <b>2878</b>       | <b>1672</b> | <b>49</b> | <b>51</b> | <b>4251</b> | <b>1792</b> | <b>0</b> |

**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 |
| <b>Fuentes Puntuales</b>                                       |   |            |                      |                         |                      |                         |
| Actividades de la industria alimentaria                        | Industria cervecera   | 01         | 191                  | < 1                     | 115                  | < 1                     |
| <b>Fuentes de Area</b>   |   |            |                      |                         |                      |                         |
| Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión | Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas | 106        | 0                    | 15                      | 0                    | 13                      |
|  | Fabricación de productos de panadería                                       | 375        | 0                    | 135                     | 0                    | 121                     |
|  | Suministro de vapor y agua caliente   | 120        | 0                    | 1                       | 0                    | < 1                     |
| Actividades productivas de molinería                           | Molienda de granos  | 88         | 526                  | 0                       | 310                  | 0                       |
| Actividades artesanales que realizan combustión                | Fabricación de productos cerámicos para la construcción                     | 300        | 1554                 | 306                     | 792                  | 276                     |
| Actividades de la industria no metálica                        | Fabricación de artículos de hormigón  | 74         | 3                    | 0                       | 1                    | 0                       |
|  | Transporte de materiales de construcción                                    | 40         | 109                  | 0                       | 24                   | 0                       |
| Actividades de transformación de madera                        | Carpinterías / Aserraderos  | 355        | 38                   | 0                       | 19                   | 0                       |

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

| Estrato  | Descripción   | Emisión (%) |        |      |        |        |        |     |
|--|---|-------------|--------|------|--------|--------|--------|-----|
|  |   | PTS         | PM-10  | SO2  | NOX    | CO     | COV    | Pb  |
| <b>Fuentes Puntuales</b>                                       |   |             |        |      |        |        |        |     |
| Actividades de la industria alimentaria                        | Industria cervecera   | 6.6         | 6.9    | 0.1  | < 0.05 | < 0.05 | 3.3    | 0.0 |
| <b>Fuentes de Area</b>   |   |             |        |      |        |        |        |     |
| Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión | Restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas | 0.5         | 0.8    | 0.9  | 4.9    | 3.3    | 2.3    | 0.0 |
|  | Fabricación de productos de panadería                                       | 4.7         | 7.2    | 14.1 | 26.0   | 29.5   | 23.0   | 0.0 |
|  | Suministro de vapor y agua caliente   | < 0.05      | < 0.05 | 76.6 | 13.3   | < 0.05 | < 0.05 | 0.0 |
| Actividades productivas de molinería                           | Molienda de granos  | 18.3        | 18.6   | 0.0  | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0 |
| Actividades artesanales que realizan combustión                | Fabricación de productos cerámicos para la construcción                     | 64.6        | 63.9   | 8.3  | 55.8   | 67.2   | 52.4   | 0.0 |
| Actividades de la industria no metálica                        | Fabricación de artículos de hormigón  | 0.1         | < 0.05 | 0.0  | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0 |
|  | Transporte de materiales de construcción                                    | 3.8         | 1.4    | 0.0  | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0 |
| Actividades de transformación de madera                        | Carpinterías / Aserraderos  | 1.3         | 1.1    | 0.0  | 0.0    | 0.0    | 0.3    | 0.0 |

| Estrato   | Descripción   | Emisión (%)  |              |              |              |              |              |              |
|---|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|   |   | PTS          | PM-10        | SO2          | NOX          | CO           | COV          | Pb           |
| <b>Fuentes de Area</b>                            |   |              |              |              |              |              |              |              |
| Pérdidas evaporativas por expendio de combustible | Venta al por menor de combustibles para automotores | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 8.0          | 0.0          |
| Evaporación de solventes por fuentes de área      | Uso de pinturas y solventes                         | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 10.6         | 0.0          |
|   | Actividades de impresión                            | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 0.1          | 0.0          |
| <b>EMISIONES TOTALES</b>                          |   | <b>100.0</b> |

### **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**

Analizando la contribución de los diferentes sectores en la generación de partículas totales en suspensión, se identificó que en la cuenca atmosférica del Cusco este contaminante es emitido en un 64.6% por las ladrilleras de tipo artesanal, alcanzando 1860 Ton/año.

De la Tabla N° 3A se aprecia que del total de partículas emitidas por esta fuente, 1554 Ton/año corresponden a emisiones de proceso referidas a dos actividades principales:

- Secado de materia prima, no controlado (1046 Ton/año)
- Almacenamiento de materia prima en pilas al aire libre (508 Ton/año)

En tanto que 306 Ton/año corresponden a emisiones de combustión realizada en hornos con el empleo de aserrín como combustible.

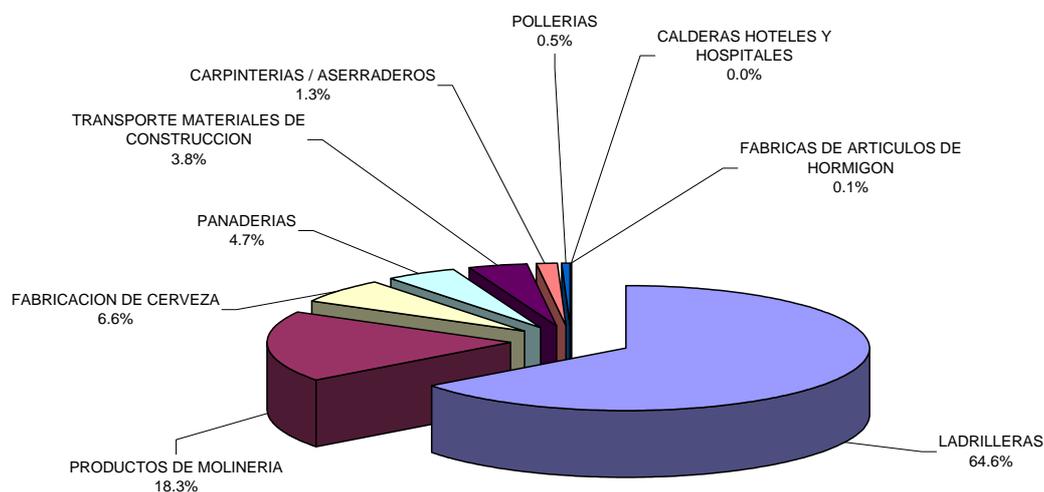
En el segundo lugar de emisión de PTS, aunque representando aproximadamente el 28% de la emisión por ladrilleras, se tiene la molienda de granos que emite 526 Ton/año en 88 establecimientos existentes en la cuenca, de los cuales sólo el 92.9% no dispone de sistemas de control.

Con 135 y 109 Ton/año respectivamente, se tienen a las emisiones de panaderías y transporte de materiales de construcción. En el caso de las panaderías, la emisión es producto de la combustión, empleándose como principal combustible la leña, mientras que en el transporte las emisiones están referidas a la dispersión de las partículas durante el desarrollo de esta actividad.

Merece también destacar la emisión de la única fuente puntual existente en la cuenca atmosférica del Cusco que es la industria cervecera, y representa el 6.6% de la emisión de PTS con 191 Ton/año, que casi en su totalidad corresponden a emisiones de proceso.

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

### Distribución Porcentual de PTS por Tipo de Fuente Cuenca Atmosférica del Cusco



Las tres categorías que no figuran en el Gráfico, poseen emisión "0" de partículas totales.

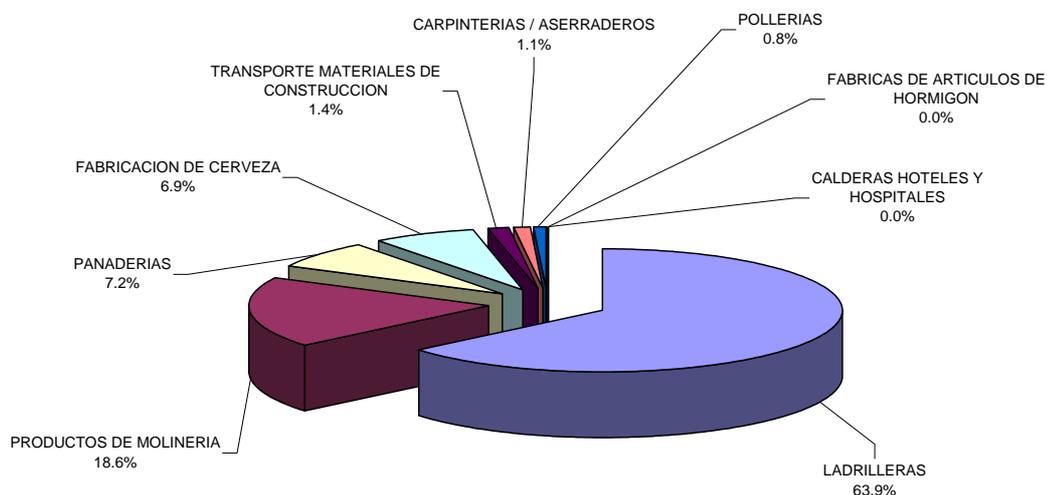
En relación a las emisiones de PM-10 que totalizan 1672 Ton/año, y que como se indicó anteriormente representan el 58% de las emisiones de PTS, se tiene también como principal aportante al rubro de ladrilleras artesanales con 1068 Ton/año (63.9%).

De la Tabla N° 3A, se aprecia la distribución de las PM-10 según su origen en esta categoría, evidenciándose que 792 Ton/año corresponden a emisiones por proceso, es decir secado y almacenamiento de materias primas, y 276 Ton/año a emisiones de combustión.

Se aprecia que las emisiones de la fracción respirable de partículas (PM-10) generadas por proceso representan el 51% de las emisiones de PTS, mientras que las de combustión son mayoritarias (90%).

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 Cuenca Atmosférica del Cusco



Otras fuentes aportantes de PM-10 en la cuenca lo constituyen las actividades de molinería y panadería, con 310 y 121 Ton/año, respectivamente. Asimismo, la industria cervecera constituye un aporte de 115 Ton/año asociadas a emisiones de proceso básicamente, siendo la emisión por combustión mínima (<1 Ton/año).

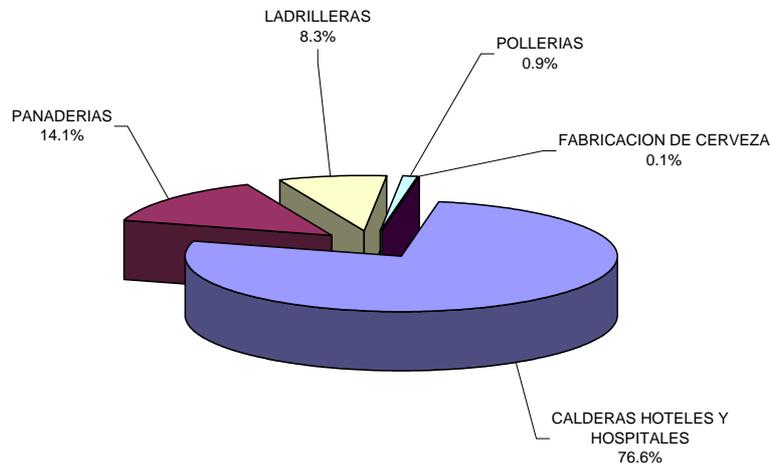
#### Dióxido de Azufre

En relación a la emisión de SO<sub>2</sub>, que como ya se indicó es mínima en la cuenca atmosférica del Cusco (49 Ton/año), se tiene que el 76.6% es contribución de las actividades de suministro de vapor y agua caliente en hoteles y hospitales, que totalizan 120 por tratarse de una ciudad turística.

Esta emisión equivale a 38 Ton/año, que se atribuye sólo al 26% de establecimientos que utilizan el Diesel 2 como combustible, dado que aquellos que emplean GLP y leña poseen una emisión mínima de SO<sub>2</sub>.

Los aportes de las demás fuentes son menores, como el caso de las panaderías con 7 Ton/año y las ladrilleras con 4 Ton/año. La fuente puntual (cervecería) posee una emisión inferior a 1 Ton/año.

### Distribución Porcentual de SO<sub>2</sub> por Tipo de Fuente Cuenca Atmosférica del Cusco



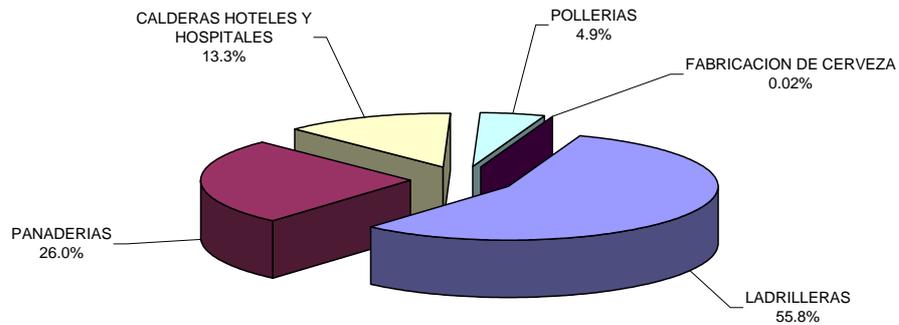
### Oxidos de Nitrógeno

Al igual que el SO<sub>2</sub>, las emisiones de óxidos de nitrógeno son bajas en la cuenca atmosférica, alcanzando 51 Ton/año, de las cuales el 55.8% corresponde a las ladrilleras artesanales (29 Ton/año), producto de la combustión del aserrín.

En segundo lugar se tiene la emisión de panaderías con 13 Ton/año que representa el 26% de la emisión total de NO<sub>x</sub> en la cuenca.

Las demás fuentes, tanto puntuales (industria cervecera) como de área, poseen aporte menos significativos, pudiendo destacarse dentro del conjunto a la operación de las calderas de hoteles y hospitales que alcanza una emisión de NO<sub>x</sub> de 7 Ton/año, representando el 13.3%, producto de la combustión del gas licuado de petróleo.

### Distribución Porcentual de NOx por Tipo de Fuente Cuenca Atmosférica del Cusco



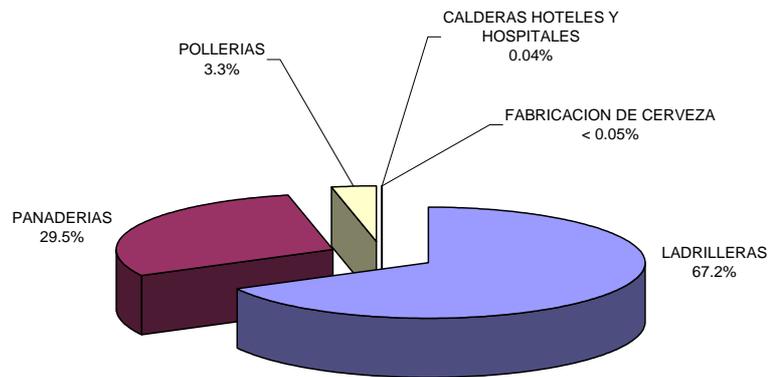
### Monóxido de Carbono

Existen en la cuenca atmosférica del Cusco, dos principales aportantes de monóxido de carbono que superan cada uno las 1000 Ton/año de emisión, según se indica:

- 2855 Ton/año (67.2%) emitidas por la fabricación de productos cerámicos para la construcción, en sus procesos de combustión del aserrín, que dispone de un factor elevado de 140 Kg/Ton de combustible.
- 1253 Ton/año (29.5%) emitidas por la fabricación de productos de panadería, eminentemente por la combustión de leña empleada en el 74% de los establecimientos de la ciudad.

Las pollerías y pizzerías, que totalizan 106 en la ciudad, emiten un total de 141 Ton/año de CO. Las demás fuentes son menos significativas.

### Distribución Porcentual de CO por Tipo de Fuente Cuenca Atmosférica del Cusco



### Compuestos Orgánicos Volátiles

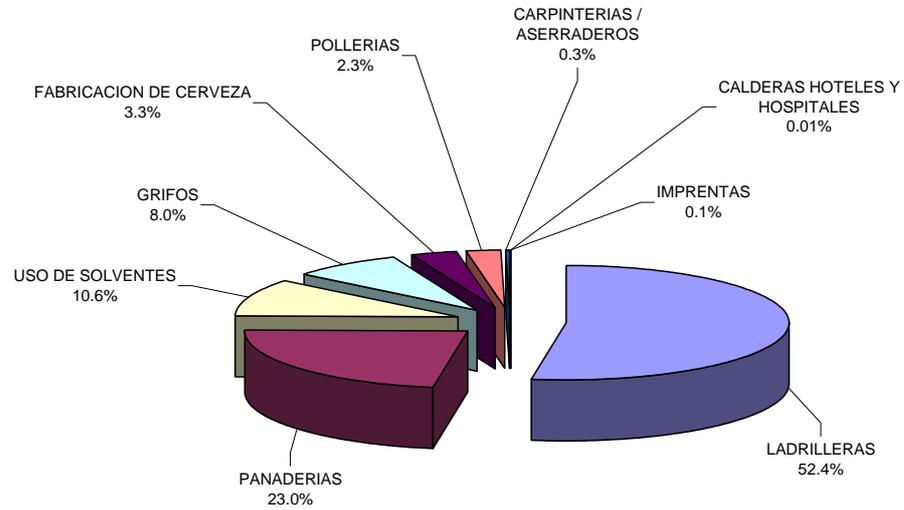
Al igual que para el caso del CO, las emisiones de COV corresponden principalmente a las fuentes de área, siendo predominante también en las ladrilleras artesanales con 938 Ton/año ( 52.4%) y en las panaderías con 412 Ton/año (23%), ambos por actividades de combustión.

Se suman en las emisiones de estos compuestos, las correspondientes a los grifos (144 Ton/año) tanto en la recarga de tanques subterráneos como en el expendio de vehículos, y el uso de pinturas y solventes en diversas actividades (190 Ton/año) tales como mueblerías, metal-mecánicas, pintado de vehículos, fabricación de letreros y otros.

La industria cervecera contribuye con 60 Ton/año, asociadas a las emisiones del proceso de fabricación de la cerveza.

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

### Distribución Porcentual de COV por Tipo de Fuente Cuenca Atmosférica del Cusco



#### Plomo

No se ha identificado en la cuenca atmosférica del Cusco, ningún aportante de plomo por causa de fuentes fijas.

## 6. Conclusiones

El inventario de emisiones de fuentes fijas para la cuenca atmosférica del Cusco, permite establecer las conclusiones siguientes:

- 6.1 Existe en la cuenca atmosférica del Cusco una única fuente puntual referida a la industria cervecera, cuyas emisiones de partículas y gases son menores a las correspondientes a las fuentes de área en su totalidad.
- 6.2 Los contaminantes que caracterizan a las emisiones de la industria cervecera son las partículas (totales y fracción respirable) y los compuestos orgánicos volátiles.
- 6.3 Las mayores emisiones procedentes de fuentes fijas en la cuenca atmosférica del Cusco corresponden al monóxido de carbono, siendo sus principales contribuyentes la fabricación de productos cerámicos para la construcción (ladrilleras) y las panaderías, en ambos casos por la combustión de la leña.
- 6.4 La principal actividad generadora de material particulado total y fracción respirable en el Cusco es la fabricación de ladrillos, en sus procesos de secado y almacenamiento de materias primas, y en menor proporción por la combustión.
- 6.5 Los molinos de granos que no disponen de sistema de control de emisiones, constituyen una segunda fuente significativa de aporte de material particulado a la atmósfera.
- 6.6 Las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno son mínimas en el espacio geográfico en estudio, aunque su mayor contribución corresponde a las calderas de hoteles y hospitales (por el uso de Diesel 2) en el primer caso y a los hornos de ladrilleras en el segundo.
- 6.7 La combustión de la leña en las ladrilleras y panaderías, origina las principales emisiones de compuestos orgánicos volátiles en la cuenca.
- 6.8 Las emisiones de plomo se encuentran ausentes en las fuentes fijas de la ciudad del Cusco.

**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 CIU) 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 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.

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

| Categoría de Fuente            | Código CIIU | Tipo de Fuente | Cantidad |
|--------------------------------|-------------|----------------|----------|
| Categoría 1                    | XXXX        | P              | 3        |
| Categoría 2                    | YYYY        | P              | 2        |
| Categoría 3                    | ZZZZ        | A              | 68       |
| Categoría 4                    | AAAA        | A              | 109      |
| ....                           | ...         | ...            | ...      |
| ....                           | ...         | ...            | ...      |
| ....                           | ...         | ...            | ...      |
| ....                           | ...         | ...            | ...      |
| <b>Total Fuentes Puntuales</b> |             |                |          |
| <b>Total Fuentes de Area</b>   |             |                |          |
| <b>Total General</b>           |             |                |          |

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 CIIU (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 CIU | Total por Categoría | Ponderación | Muestra Calculada por Categoría |
|------------------------------|------------|---------------------|-------------|---------------------------------|
| Categoría 3                  | XXXX       | 68                  | = TC/ TFA   | = P * TMO                       |
| Categoría 4                  | YYYY       | 109                 | = TC/ TFA   | = P * TMO                       |
| ....                         | ...        | ...                 | ...         | ...                             |
| ....                         | ...        | ...                 | ...         | ...                             |
| ....                         | ...        | ...                 | ...         | ...                             |
| ....                         | ...        | ...                 | ...         | ...                             |
| <b>Total Fuentes de Area</b> |            | <b>TFA</b>          |             |                                 |

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Total Muestra Optima</b> |  |
|-----------------------------|--|

- 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 CIU | Muestra Calculada por Categoría | N° 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<sup>3</sup> para cada contaminante, el caudal de descarga de los gases por la chimenea expresado en m<sup>3</sup>/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**  
**INFORMACIÓN DE SUSTENTO DEL**  
**UNIVERSO DE FUENTES FIJAS**

**ANEXO N° 3**  
**MODELOS DE ENCUESTAS**

**ANEXO N° 4**  
**DETALLE DE EMISIONES UNITARIAS**

## **BIBLIOGRAFIA**

### **Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad del Cusco**

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.