

## **Evaluación rápida de fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad de La Paz**

Gary Rafael Anze Martin

### **Introducción**

La contaminación atmosférica es uno de los problemas ambientales más serios con los que se enfrentan principalmente los grandes centros urbanos y que se relaciona con la introducción en el aire de polvo, humo, niebla, gases, olores desagradables y/o ruido en cantidades y tiempos determinados que afectan la salud humana y causan daños en su patrimonio y los ecosistemas (Perkins, 1973).

De acuerdo con Wetzenfeld, (1985) se distinguen dos principales fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera:

- Fuentes móviles: Que son todos los medios de transporte que queman algún tipo de combustible fósil o natural para generar energía (automotores, trenes, barcos y aviones).
- Fuentes fijas: Que incluyen industrias que queman combustible para generar energía o que emiten contaminantes que surgen del proceso mismo. También en esta categoría se incluyen los incineradores municipales, industriales o domésticos, toda quema a cielo abierto y además cualquier emisión proveniente de actividades agrícolas, mineras u otras que puedan tener importancia local o regional.

Como consecuencia de estas emisiones antropógenas y otras de origen natural se introducen en la atmósfera los denominados contaminantes primarios, entre los que se destacan el monóxido de carbono (CO), los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), los hidrocarburos (HC: parafinas, olefinas y algunos compuestos aromáticos como el benceno y el tolueno), material particulado (en forma de dispersiones de partículas sólidas o líquidas en el aire o aerosoles), metales pesados (Pb, Cr, Cu, Mn, Cd, Hg, Ni, etc.), compuestos orgánicos volátiles (COV, aldehídos, cetonas, aminas, hidrocarburos aromáticos polinucleares, mercaptanos, policlorobifenilos-PCBs), sustancias minerales (asbestos, amiantos, etc.), compuestos derivados del ácido fluorhídrico (HF) y diferentes formas de energía como el ruido y las radiaciones no ionizantes (Salinas, 1995; Quadri & Sánchez, 1994; Sanz Sa, 1991).

Bajo determinadas condiciones, los contaminantes primarios interactúan entre sí o con otros componentes de la atmósfera, como vapor de agua, para dar origen a los denominados contaminantes secundarios entre los que se distinguen el ozono ( $\text{O}_3$ ) y el peroxiacetilnitrato (PAN), principales componentes del denominado smog fotoquímico, así como ácidos inorgánicos como el sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y el nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), principales responsables de las "lluvias ácidas".

Para el estudio, así como la lucha contra la contaminación atmosférica y, en definitiva, la implementación de medidas de gestión y control de la calidad del aire en una ciudad, es fundamental el conocimiento de los tipos de contaminación presentes en el lugar, así como de las principales fuentes de emisión de contaminantes y su distribución en el entorno urbano.

Esta información es, a menudo, muy difícil de conseguir, especialmente en países en vías de desarrollo en los que estudios de este tipo demandan mucho tiempo y costos demasiado altos. Frente a esta situación se han desarrollado metodologías que permiten efectuar evaluaciones rápidas aprovechando la experiencia de profesionales que trabajan en el tema y la extensa literatura técnica disponible. En este contexto, el presente trabajo pretende contribuir al inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes móviles y fijas, incluyendo industrias y otras fuentes locales o regionales de importancia por su influencia en la ciudad de La Paz.

## Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron las pautas metodológicas propuestas por Wetztenfeld (1985), adecuándolas al tipo y calidad de información disponible en nuestro medio. Se incluyó para la evaluación el criterio de expertos, a través de encuestas rápidas y el desarrollo de un inventario de emisiones de fuentes móviles, industrias y otras fuentes fijas de importancia local o regional. El análisis de la información conduce a la determinación de contaminantes de mayor importancia y zonas críticas de emisión o inmisión. En la Fig. 1 se tiene un esquema general de la metodología de trabajo.

### - Encuestas rápidas

Se consideró un grupo selecto de 35 personas entre investigadores, autoridades ambientales y consultores en medio ambiente a quienes se entrevistó y solicitó que contesten las preguntas de un pequeño formulario de encuesta. Se consultaron aspectos relacionados con la existencia de problemas de contaminación atmosférica en la ciudad de La Paz, así como datos generales de fuentes de emisión y contaminantes de importancia local.

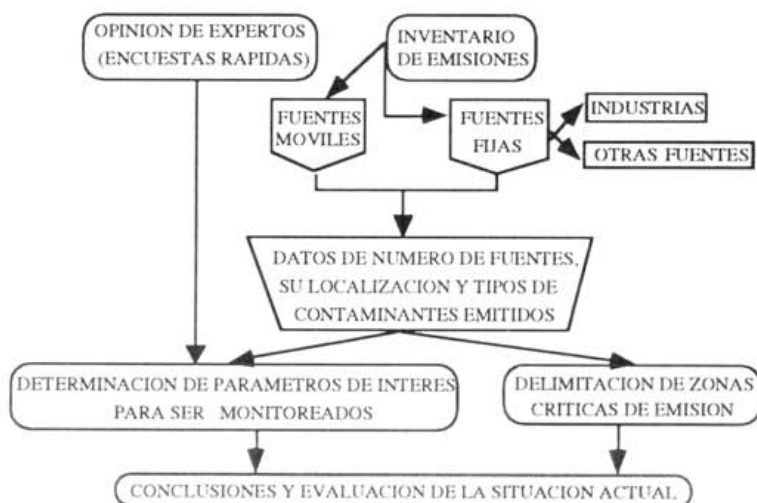


Fig. 1: Descripción general de la metodología para la evaluación rápida de fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad de La Paz.

## **- Inventario de emisiones**

El desarrollo del inventario de emisiones contempló la adquisición y análisis de datos referentes a fuentes móviles, industrias y otras fuentes fijas y relevantes en el contexto local, complementados en cada caso con revisión de literatura técnica especializada.

## **- Fuentes móviles**

Se obtuvieron datos registrados en la Sección Estadísticas de la División de Planeamiento del Organismo Operativo de Tránsito de la Policía Nacional. Se analizó el parque automotor (registrado hasta junio de 1995) de la ciudad de La Paz, así como su incremento y variaciones desde el año 1973 para proyectar su tendencia de crecimiento. Se aplicaron factores de emisión propuestos por Perkins (1973) para estimar la magnitud de las emisiones de contaminantes atmosféricos de origen vehicular para la ciudad de La Paz.

## **- Fuentes fijas**

### **Industrias**

Tomando en cuenta que la industria manufacturera en Bolivia es principalmente artesanal y muy pocas empresas pueden ser consideradas como grandes fábricas o “verdaderas industrias” (SENMA, 1993), para el análisis de fuentes fijas se elaboró un registro de actividades industriales, semi-industriales y artesanales en el que se incluyeron todas aquellas empresas que a pesar de tener carácter artesanal o industrial de muy pequeña escala, representan riesgos potenciales de emisión de contaminantes atmosféricos, que en la globalidad y sinérgicamente pueden contribuir a desmejorar la calidad del aire.

Se utilizaron las categorías propuestas por la SENMA (1993) y se tomaron como base datos de la Cámara Nacional de Industrias (CNI 1994, 1995) y el Registro de Actividades con Factores de Riesgo Ambiental de la Oficina de Control de Medio Ambiente de la Dirección de Saneamiento Urbano del Gobierno Municipal de La Paz (OCMA-DSU-GMLPZ 1995).

Para determinar los contaminantes atmosféricos más importantes emitidos por fuentes fijas en la ciudad de La Paz, se evaluaron las emisiones potenciales de cada actividad registrada utilizando una matriz elaborada a través de consulta a literatura especializada, incluyendo los trabajos de Castillo (1992a; 1992b), Connell y Miller (1984), Dickson (1990), Perkins (1973), Sanz Sa (1991), y Stocker y Seager (1981). Para las actividades que no figuran en la matriz, se recurrió a consultas personales a diferentes autoridades y profesionales que trabajan en la temática del medio ambiente en nuestro medio.

## **- Otras fuentes:**

Por su importancia en el contexto local se consideraron tres fuentes adicionales que tienen incidencia en la emisión o inmisión de contaminantes atmosféricos en la ciudad de La Paz:

- La estrecha relación con la ciudad de El Alto, por lo que se analizaron registros de industrias y otros datos de contaminación atmosférica y contaminantes que pueden ser emitidos en El Alto y ser transportados a diferentes zonas de la hoya paceña. Al igual que en el caso de la ciudad de La Paz, las principales fuentes fueron la CNI (1994, 1995) y la OCMA-DSU-GMLPZ (1995). También se utilizaron los trabajos de Flores (1993) y Cardona et al. (1992).
- Las quemas agrícolas rurales conocidas como "chaqueos" que se efectúan cada año y tienen una gran incidencia sobre la calidad del aire en la ciudad de La Paz en ciertos periodos del año.
- La incineración de residuos urbanos a cielo abierto que constituye una práctica lamentablemente común en diferentes barrios y lechos de ríos en toda la ciudad. Se efectuaron estimaciones en base a los factores de emisión propuestos por Wetzenfeld (1985).

## Resultados

### Encuestas

La totalidad de personas encuestadas (35) considera que existen problemas de calidad del aire en la ciudad de La Paz, sin embargo la mayoría (54.29%) considera que estos problemas son moderados (Fig. 2).

De los 35 entrevistados, nueve (25.71%) consideran que los problemas de calidad del aire son altos; solamente dos (5.71%) sostienen que éstos son bajos y cinco (14.29%) no respondieron por considerar que son muy variables y pueden ser importantes en determinadas épocas del año, bajos en otras o pueden variar en función al tipo de contaminante, siendo altos para algunos y muy bajos para otros.

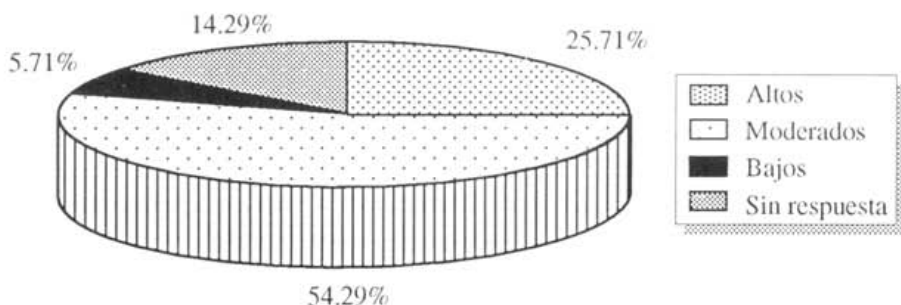


Fig. 2: Opinión de los expertos: ¿Cuál es la magnitud de los problemas de calidad del aire en La Paz?

En relación al lugar de prioridad que la contaminación atmosférica tiene en nuestro medio, 91.4% (32) de los entrevistados considera que se trata de un problema prioritario (Fig. 3).

De acuerdo con los entrevistados, la principal fuente de emisión de aeropolutantes en la ciudad de La Paz son los vehículos a gasolina y diesel, en orden de importancia siguen las emisiones de origen industrial y la quema de residuos urbanos. Son también importantes las quemas agrícolas rurales (chaqueos) y los talleres artesanales u otras actividades semi-industriales entre los que destacan las ladrilleras, las torrefactoras de café y los hornos de panificación. Finalmente se encuentran las características urbanas de la ciudad que incluyen la existencia de sedimentos erosionables, en las laderas del la hoyada, calles sin cobertura, numerosos ríos que cruzan la ciudad y otras relacionadas con el ordenamiento urbano que son importante fuente de emisión de polvo y gérmenes biológicos (Fig. 4).

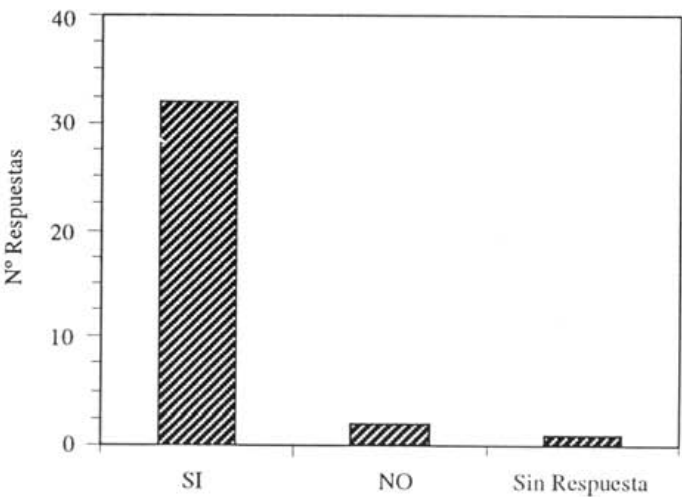


Fig. 3: Opinión de los expertos: La contaminación atmosférica es un problema prioritario en nuestro medio?

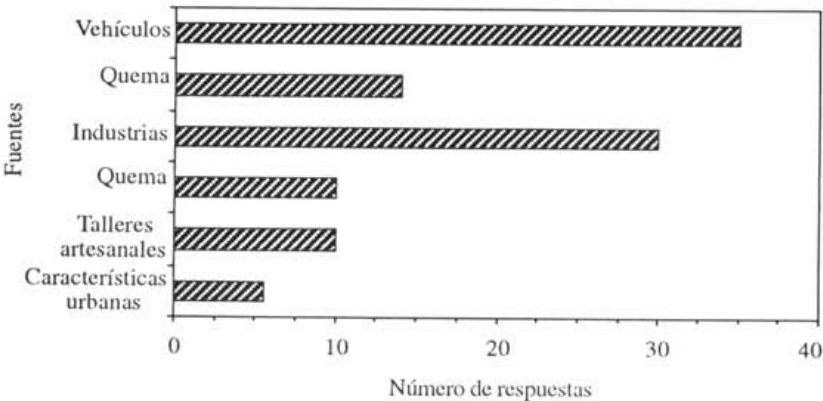


Fig. 4: Opinión de los expertos: ¿Cuáles son las principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos en la ciudad de La Paz?

En orden de importancia los contaminantes atmosféricos que podemos esperar encontrar en la ciudad de La Paz, en opinión de los expertos son: plomo, material particulado, óxidos de azufre y nitrógeno, dióxido y monóxido de carbono, otros metales pesados (Al, Fe, Cd, Cu, Zn, As, Cr, etc.), hidrocarburos y fotooxidantes (Fig. 5).

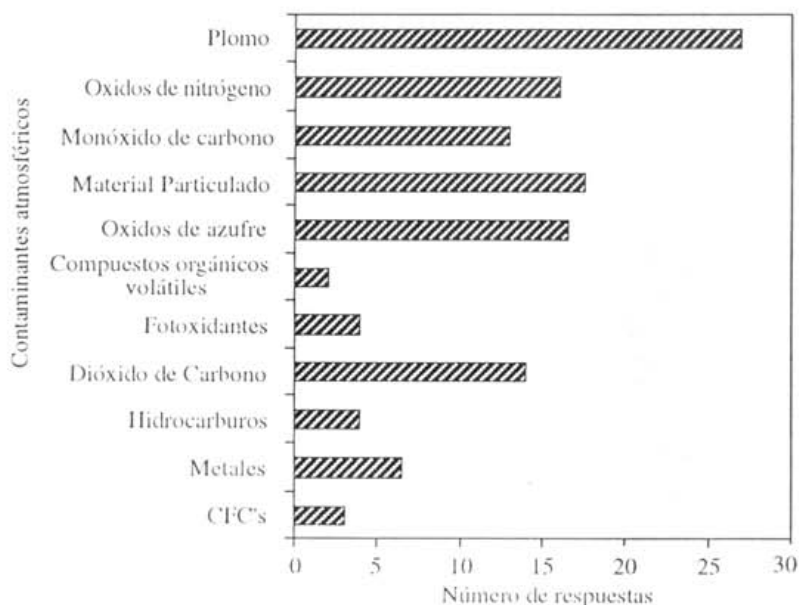


Fig. 5: Opinión de los expertos: ¿Qué contaminantes podemos esperar encontrar en el aire de la ciudad de La Paz?

## Inventario de emisiones

### a) Fuentes móviles:

Del total de vehículos registrados en la ciudad de La Paz, hasta junio de 1995, 77,82% corresponden a la categoría particular, 15,98% son vehículos de transporte público y solamente 6,20% corresponden a vehículos de servicio oficial (Fig. 6).

En relación al tipo de vehículos registrados, (Fig. 7), predominan aquellos que funcionan a gasolina: automóviles (37,8%), vagonetas (20,54%), camionetas (10,19%), jeeps (10,08%), motocicletas (3,31%) y otros. Entre aquellos vehículos que funcionan a diesel son importantes los camiones (10,99%), microbuses (4,86%) y omnibuses (1,95%). De la anterior observación puede establecerse, de manera muy general, que alrededor del 75-80% de los vehículos que circulan por la ciudad de La Paz utilizan gasolina como combustible.

En lo que se refiere al parque automotor se ha registrado en los últimos 22 años un incremento promedio anual de alrededor de 4.152 vehículos, lo que supone una tasa promedio de incremento anual de 6,95%. En la ciudad de La Paz, este incremento ha experimentado un comportamiento lineal (Fig. 8) que permite establecer que para el año 2.000 -siempre que se continúe con el mismo patrón de crecimiento- tendremos en la ciudad de La Paz 125.100 vehículos legalmente registrados; para el año 2.005 la cifra alcanzará los 142.836 motorizados y en solo 30 años (para el año 2.025) el parque automotor actual se duplicaría.

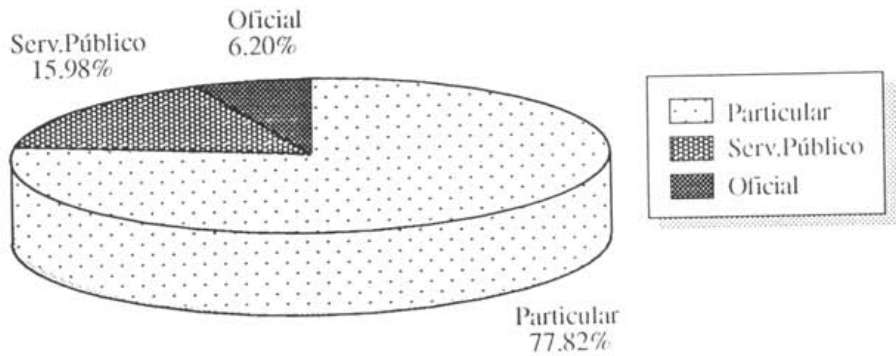


Fig. 6: Clasificación del Parque Automotor de la ciudad de La Paz según clase de servicio.

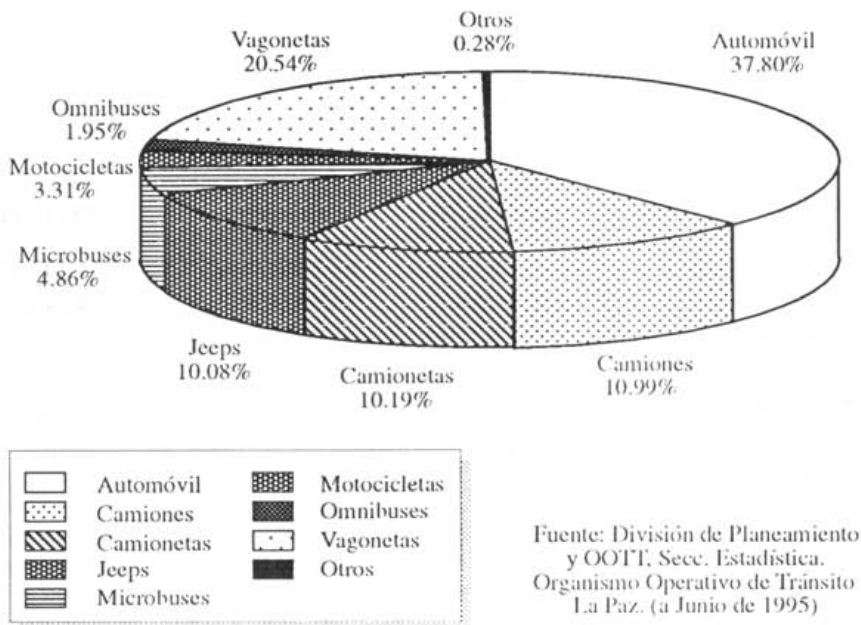


Fig. 7: Composición del Parque Automotor de la Ciudad de La Paz según tipo de vehículo

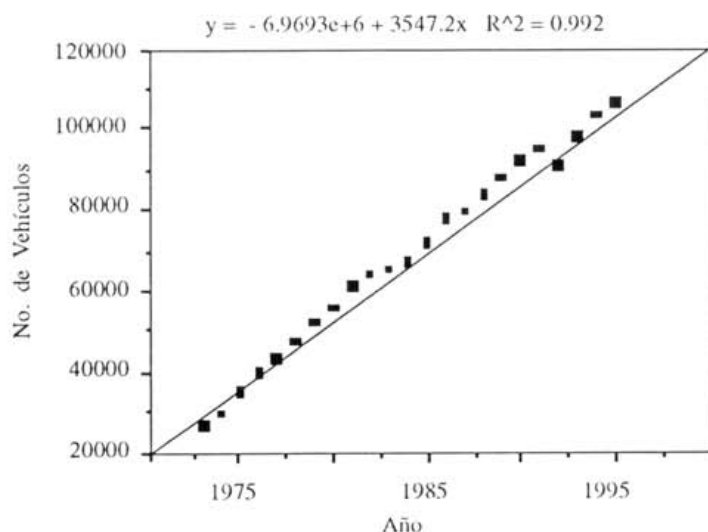


Fig. 8: Incremento del Parque Automotor en la Ciudad de La Paz para el periodo 1973 - 1995.

Con la información anterior y aplicando factores de emisión propuestos por Perkins (1973) se tiene en la siguiente tabla una estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de vehículos a gasolina y diesel para la ciudad de La Paz:

**Tabla 1: Emisión de contaminantes atmosféricos de origen vehicular en la ciudad de La Paz.**

| Parámetro           | Emisiones de Vehículos (Tn.año-1) |                 |                  |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|
|                     | Gasolina*                         | Diesel*         | *TOTAL           |
| Partículas          | 278,58                            | 908,11          | 1.186,69         |
| Oxidos de azufre    | 202,60                            | 330,22          | 4.390,58         |
| Hidrocarburos       | 4.596,52                          | 1.122,75        | 5.719,27         |
| Monóxido de carbono | 52.676,43                         | 495,33          | 53.171,76        |
| <b>TOTAL</b>        | <b>60.311,97</b>                  | <b>4.689,15</b> | <b>65.001,12</b> |

Emisiones calculadas bajo los siguientes supuestos:

\* Aproximadamente 72.5% del parque automotor (76.496 vehículos) utiliza gasolina como combustible. Este porcentaje corresponde al consumo de gasolina en función al consumo total de combustibles (gasolina y diesel = 250.370.418 litros/año; promedio 1992-1993, según datos de YPFB).

\*\* Todo el diesel que se consume en La Paz 68.900.436 litros por año (promedio para el periodo 1992-1993 - según datos de YPFB), es utilizado por vehículos que funcionan con este combustible. Entre estos vehículos se encuentran camiones, microbuses, ómnibuses y otros que constituirían el 27.5% restante del parque automotor.



Se registran un total de **65.001,12 toneladas** de aeropolutantes emitidos por año de las cuales 92,78% provienen de vehículos a gasolina, siendo los más importantes en orden de magnitud el monóxido de carbono, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno. Los factores de emisión son para gasolina sin plomo por lo que esta estimación no considera este importante contaminante de origen vehicular.

Los vehículos a diesel aportan solo con el 7.22% de las emisiones lo que está en directa relación con el consumo de este combustible que todavía es bajo en relación a la gasolina especial (octanaje RON 80 min), que es la que más se vende en nuestro medio. En orden de importancia los vehículos a diesel contribuyen con emisiones de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y material particulado.

## b) Fuentes fijas

### Industrias

Se registraron un total de 761 empresas entre industrias, pequeñas industrias y actividades artesanales relevantes para nuestro medio por presentar riesgo de emisión de contaminantes atmosféricos. De éstas se considerarán en otro acápite 57 que se localizan en el Alto o tienen registradas solamente oficinas en el centro, desconociéndose la ubicación de la planta o taller. (ver capítulo Otras fuentes).

Se considera entonces un universo de 704 empresas, de las cuales las más importantes son: servicios industriales (32,39%), industrias alimenticias (16,9%), industria del petróleo y sus derivados (13,21%), materiales para la construcción (11,51%), industria química (7,10%), textil (6,82%) e industrias relativas a metales (3,27%) (Fig. 9).

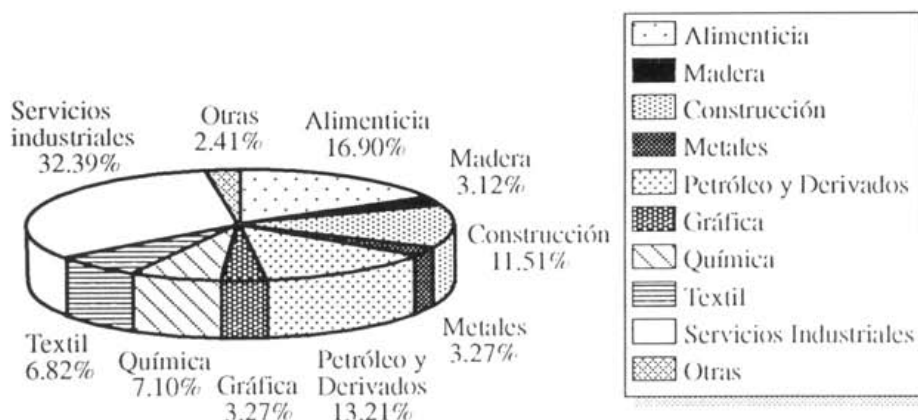


Fig. 9: Distribución porcentual de las industrias, pequeñas industrias y actividades artesanales registradas en la ciudad de La Paz de acuerdo con la categoría a la que pertenecen.

- En la categoría de servicios industriales se registraron un total de 228 empresas, con 114 talleres de mecánica y chapería, 43 cerrajerías, 14 llanterías, 12 muellerías, 12 tornerías, 9 limpiezas en seco y en menor número talleres de soldadura, tapicería, remachado de balatas, radiadores, baterías, hojalatería y un horno crematorio.
- En la categoría de industrias alimenticias, segunda en importancia, se registraron 119 empresas entre las que destacan 74 hornos de panificación artesanal, 9 hornos de panificación industrial, 7 torrefactoras de café, 6 hornos de salteñería y pastelería, 6 embotelladoras de bebidas gaseosas, 5 fábricas de helados, 4 fábricas de chocolates y en menor proporción beneficiadoras de café, cervecerías, fábricas de dulces, fábricas de fideos y molinos.
- En la categoría de industria del petróleo y sus derivados se registraron 93 empresas: 77 talleres de cambio de aceite y venta de lubricantes, 15 estaciones de servicio (gasolineras) y una planta asfaltadora.
- En la categoría de industria de materiales para la construcción se registraron 81 empresas entre las que destacan 71 ladrilleras, 2 marmoleras, 2 fábricas de vidrio y cristal, 2 fábricas de estructuras prefabricadas de hormigón y otras como estuqueras, fábrica de cerámica, fábrica de plastoform y talleres en fibra de vidrio.
- En la categoría de industria química se registraron 50 empresas: 15 productoras de plástico, 11 laboratorios de producción de medicamentos, 6 productores de detergentes y productos de tocador, 5 fábricas de pintura, 5 fábricas de espuma y en menor proporción destilerías, fábricas de productos de caucho, y productores de otras sustancias químicas.
- En la categoría de industria textil se registraron 48 empresas con 27 dedicadas a confecciones y manufacturas, 13 fábricas de telas y tejidos, 4 fábricas de medias y calcetines, 3 fábricas de hilados y lanas y una fábrica de botones.
- En la categoría de industria de los metales se registraron 23 empresas: 6 fábricas de muebles metálicos, 5 fábricas de maquinaria y repuestos, 4 fábricas de enseres metálicos, 3 fábricas de estructuras metálicas, 2 talleres artesanales de objetos metálicos, 1 fábrica de alambre, 1 rectificadora de motores y una fundición de hierro y otros minerales.
- En la categoría de industria gráfica se registraron 23 empresas entre las que destacan 22 imprentas y editoriales y una fábrica de letreros. En la categoría de industria de la madera se registraron 22 empresas con 8 aserraderos, 8 talleres de carpintería y 6 mueblerías.
- Finalmente se registraron 17 empresas en diferentes categorías que por su número reducido se presentan como "otras industrias"; entre ellas destacan 3 fábricas de zapatos, 4 curtiembres, 3 fábricas de papel y cartón, 4 procesadoras de papel, 1 fábrica de cigarrillos y dos fábricas de discos y cassettes.

Ponderando las emisiones potenciales por el número de "empresas" registradas, incluyendo aquellas que necesitan verificación de procesos o producen emisiones de muy baja intensidad, se establece que en orden de importancia los principales contaminantes atmosféricos, en función al número de emisores potenciales son: material particulado (624), ruido (531),

hidrocarburos (464), compuestos orgánicos volátiles (440), monóxido de carbono (306), metales pesados (304), óxidos de nitrógeno (232), óxidos de azufre (138) y fluoruros (87).

En cuanto a la distribución de las fuentes fijas de emisión de contaminantes atmosféricos en la ciudad de La Paz se distinguen, por la diversidad de actividades presentes, las siguientes zonas:

- \* Challapampa en la que se localizan además de las panificadoras artesanales y los servicios industriales, importantes actividades como una fábrica de maquinaria y repuestos, fábricas textiles, curtiembre, imprenta, fábrica de pinturas, e inclusive una fundición de metales.
- \* Pura Pura y Achachicala con presencia de fábrica de vidrio, fábricas de papel, fábrica de plásticos, curtiembre, fábricas textiles, fábrica de jabón y detergentes y servicios industriales.
- \* Las Villas El Carmen y La Merced por la presencia de torrefactoras de café, barracas y aserraderos, fabrica de plásticos, fábrica de vidrios y cristales, fábrica de medicamentos, fábrica textil y servicios industriales.
- \* Villa Fátima y el Barrio Petrolero con la presencia de fábrica de pinturas, fábrica de plásticos, fábricas textiles, torrefactora de café, embotelladora de bebidas gaseosas, servicios industriales, fábrica de maquinarias y repuestos.
- \* Santa Bárbara con panificadoras artesanales, barracas y aserraderos, fábrica de plásticos, imprentas, fábrica de enseres metálicos y servicios industriales.
- \* Callampaya, 14 de Septiembre y El Rosario con fábricas de espuma, fábricas textiles, fábrica de medicamentos, fábrica de plásticos, aserraderos y barracas, panificadoras artesanales, horno crematorio y otros servicios industriales.
- \* Miraflores Centro y Sur con la presencia de fábrica textil, aserraderos y barracas, panificadora industrial, fábrica de maquinarias y repuestos fábricas de medicamentos, torrefactora de café, imprentas, horno crematorio y una gran cantidad de servicios industriales.
- \* Alto Sopocachi y Tembladerani con torrefactoras de café, panificadoras artesanales, aserraderos y barracas, fábricas de medicamentos, embotelladora, fábrica de jabón y detergentes, fábrica de pinturas, imprentas y servicios industriales.
- \* Alto y Bajo San Pedro con la mayor concentración de panificadoras artesanales e industriales además de embotelladora, fábrica de pinturas, curtiembre y gran cantidad de servicios industriales.
- \* Llojeta y Bajo Alpacoma donde se concentran casi la totalidad de ladrilleras registradas en la ciudad (25 y 44 respectivamente).

Como es obvio, las actividades con mayor distribución son los servicios industriales, las gasolineras, los talleres de venta y cambio de lubricantes que se encuentran casi por toda la ciudad. También es destacable la presencia de las panificadoras artesanales, en todas las laderas colindantes con la Ciudad de El Alto, desde La Portada hasta Pasanqueri.

## Otras fuentes

### Ciudad de El Alto

En la tabla 2 se tiene una síntesis de los registros encontrados en la Cámara Nacional de Industrias y la Oficina de Control de Medio Ambiente de la Dirección de Saneamiento Urbano. Se evidencia que en orden de importancia los contaminantes emitidos son: material particulado, ruido, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, metales pesados, óxidos de azufre y fluoruros.

**Tabla 2: Registro de actividades industriales en la ciudad de El Alto y sus emisiones potenciales de aeropolutantes**

| Actividad                    | Nº | Emisiones Potenciales                                                                                                   |
|------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beneficiadora de Café        | 1  | Partículas, ruido                                                                                                       |
| Embotelladora                | 5  | Partículas, CO, COV, ruido                                                                                              |
| Fbca. Fiambres y embutidos   | 1  | Partículas, CO, HC, COV, ruido                                                                                          |
| Fbca. Fideos                 | 3  | Partículas, ruido                                                                                                       |
| Molinos                      | 1  | Partículas, ruido                                                                                                       |
| Torrefactora de café         | 1  | Partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, ruido                                                               |
| Barracas y aserraderos       | 1  | Partículas, ruido                                                                                                       |
| Mueblería                    | 2  | Partículas, HC, COV, ruido                                                                                              |
| Fbca. de Cemento             | 1  | Partículas, SO <sub>x</sub> ?, NO <sub>x</sub> , CO, ruido                                                              |
| Fbca. Plastoform             | 1  | Partículas, HC, COV                                                                                                     |
| Ladrillera                   | 2  | Partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, metales, ruido                                                      |
| Fbca. Calaminas              | 1  | Partículas, metales, ruido                                                                                              |
| Fbca. Enseres metálicos      | 1  | Partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, HC, metales                                                         |
| Fbca. Maquinaria y repuestos | 5  | Partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, HC, metales, COV, ruido                                             |
| Fundiciones metálicas        | 6  | Partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, HC, metales, COV, ruido                                             |
| Fbca. de pinturas            | 1  | Partículas, HC, metales, COV, ruido                                                                                     |
| Fbca. de plásticos           | 4  | Partículas, HC, metales, COV, ruido                                                                                     |
| Fbca. de textiles            | 4  | Partículas, CO, HC, COV, ruido                                                                                          |
| Otras actividades            | 14 |                                                                                                                         |
| Total                        | 57 | <b>Contaminantes más frecuentes*</b><br>Partículas, ruido, CO, COV, HC, NO <sub>x</sub> , metales, SO <sub>x</sub> , HF |

Referencias: SO<sub>x</sub> (Óxidos de azufre), NO<sub>x</sub> (Óxidos de nitrógeno), HC (Hidrocarburos), HF (Fluoruros), COV (Compuestos orgánicos volátiles).

Para tener una idea de la magnitud de estas emisiones se tienen datos de estudios como el de Cardona et al. (1993) cuya síntesis se muestra en la tabla 3.

Los resultados evidencian que en la ciudad de El Alto existen problemas de contaminación atmosférica con emisiones importantes de gases y metales que podrían llegar a la hollada paceña en función a la relación geográfica y la dinámica de vientos entre ambas ciudades.

Debe considerarse que la ciudad de El Alto limita con la ciudad de La Paz en todo su borde este y noreste, región conocida como la "Ceja de El Alto". Los vientos registrados en la estación El Alto (4.038 msnm.) tienen dirección este la mayor parte del año, entre los meses de octubre y abril. El resto del año, es decir entre los meses de mayo y septiembre, los vientos dominantes tienen dirección oeste (Cardona et al., 1993).

**Tabla 3: Resultados de medidas de contaminantes atmosféricos en la ciudad de El Alto. Fuente: Cardona et al. (1993)**

| Contaminante                              | Punto de Muestreo                            | Valor registrado                                           | Norma de referencia <sup>1</sup> | Observaciones                                                                             |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| SO <sub>2</sub><br>(Dióxido de azufre)    | alrededores laboratorio ensayos de minerales | 260 µg.m <sup>-3</sup><br>hasta<br>480 µg.m <sup>-3</sup>  | 365 µg.m <sup>-3</sup>           | La mayoría fuera de los límites permisibles excepto los alrededores de la Fbca. de Vidrio |
|                                           | alrededor industria química y metalúrgica    | 950 µg.m <sup>-3</sup><br>hasta<br>1930 µg.m <sup>-3</sup> |                                  | Alrededores de la Fbca. de Vidrio                                                         |
|                                           | alrededores fundición metálica               | 105 µg.m <sup>-3</sup><br>hasta<br>970 µg.m <sup>-3</sup>  |                                  |                                                                                           |
|                                           | carretera a Oruro                            | 29 µg.m <sup>-3</sup><br>hasta<br>313 µg.m <sup>-3</sup>   |                                  |                                                                                           |
|                                           | alrededores fábrica de vidrio                | 17 µg.m <sup>-3</sup><br>hasta<br>64 µg.m <sup>-3</sup>    |                                  |                                                                                           |
| NO <sub>2</sub><br>(Dióxido de nitrógeno) | alrededores fábrica de vidrio                | 28 µg.m <sup>-3</sup><br>hasta<br>43 µg.m <sup>-3</sup>    | 150 µg.m <sup>-3</sup>           | Dentro de los límites permisibles                                                         |
| As<br>(Arsénico)                          | alrededor industria química y metalúrgica    | 11 µg.m <sup>-3</sup><br>hasta<br>115 µg.m <sup>-3</sup>   | 0.02 µg.m <sup>-3</sup>          | Muy por encima de los límites permisibles                                                 |
|                                           | alrededores fundición metálica               | 18<br>hasta<br>26                                          |                                  |                                                                                           |

<sup>1</sup> Normas bolivianas de acuerdo a la propuesta de la Dirección de Control de Calidad Ambiental (1995). Todas son para medidas en 24 horas excepto el arsénico cuyo estándar se fija como promedio anual.

También debe considerarse la posibilidad, muy poco estudiada, que por la dinámica de vientos relacionada con la estructura de valle de la ciudad de La Paz y la diferencia de altitud con la ciudad de El Alto, especialmente durante el invierno, se produzcan descensos de masas de aire frío durante la noche que transportan masas gaseosas desde El Alto hacia el valle de La Paz. Esta ciudad amanece con el cielo cubierto por una capa de partículas y gases que, por la dinámica inversa, es despejado durante el día cuando el aire se calienta y empieza a ascender desde el valle hacia las regiones más altas. Sin embargo, por fenómenos de inversión térmica éstas masas de aire pueden mantenerse hasta cerca al mediodía o inclusive las primeras horas de la tarde.

### **Quemas agrícolas rurales (Chaqueos)**

Los denominados "chaqueos" son parte de un sistema tradicional de agricultura de corte y quema. Esta práctica es muy común en los Yungas de La Paz e inclusive en las planicies del Beni porque constituye una alternativa económica para los pobladores de estos lugares que practican la agricultura como principal medio de supervivencia y en algunos casos como medio de generación de excedentes económicos. También se producen quemas en bosques y sabanas para favorecer la actividad ganadera y muchas veces se generan incendios forestales o en áreas abiertas, sin razón aparente.

El problema con los chaqueos surge precisamente en el hecho de que al quemar la vegetación se producen importantes cantidades de material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y óxidos de azufre, que son transportados por el viento, llegando a formar una densa nube que se deposita y es atrapada en el Valle de La Paz, pudiendo permanecer allí varios días o semanas.

En los últimos años se ha hecho característico el cielo cubierto de la ciudad de La Paz principalmente en los meses de julio y agosto, en los que esta práctica tiene su mayor incidencia.

### **Incineración de residuos urbanos (quema de basura)**

La quema de basura a cielo abierto es uno de los problemas cotidianos de la ciudad de La Paz. Como consecuencia de un sistema de recojo de residuos urbanos muchas veces poco eficiente y en buena medida por falta de educación ambiental en la población, se producen quemas de basura en muchos lechos de ríos en la zona sur de la ciudad, así como en diferentes laderas y aún en los mismos contenedores de basura ubicados en diferentes puntos de la ciudad.

Este problema es muy difícil de cuantificar, pues no existen datos exactos de la cantidad de basura que los vecinos queman por año. Sin embargo considerando que por cada tonelada de basura que se quema se emiten a la atmósfera 42 kg de monóxido de carbono (CO), 15 kg de hidrocarburos (HC), 8 kg de partículas (PTS), 3 kg de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y 0.5 kg de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) (Wetzel, 1985), se pueden hacer las siguientes estimaciones:

Si un vecino quema lo que corresponde a un basurero de tamaño mediano (25 litros de capacidad), es decir aproximadamente 7 kg de basura una vez por semana (28 kg por mes y 336 kg al año) bastará con que 3 personas hagan lo mismo para llegar a la tonelada de basura quemada por año.

Finalmente si el 10% de la población de la ciudad de La Paz, es decir 119.382 personas hacen lo mismo tendremos en la atmósfera de la ciudad anualmente 1.671 toneladas (Tn) de monóxido de carbono, 596 Tn de hidrocarburos, 318 Tn de partículas, 119 Tn de óxidos de nitrógeno y 20 Tn de dióxido de azufre.

## Conclusiones y discusión

A través del presente trabajo se ha obtenido una evaluación parcial de las principales fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad de La Paz. Esto constituye un primer esfuerzo que deberá ser completado y mejorado en el futuro, pero que contiene información que puede ser tomada como base para inventariaciones futuras más completas.

Se ha puesto de manifiesto el hecho de que aunque la contaminación atmosférica tiene magnitud moderada en la ciudad de La Paz, es un problema ambiental prioritario al que deberá dedicarse mayor esfuerzo e investigación para un adecuado control de calidad del aire adecuado en el marco de las nuevas políticas de Gestión Ambiental que buscan garantizar la existencia de un ambiente saludable para la población y su patrimonio.

A través del inventario de emisiones y la opinión de los expertos se ha evidenciado que las “fuentes móviles” son las más importantes en la emisión de contaminantes atmosféricos en la ciudad de La Paz. Este problema se ve incrementado por las mismas condiciones atmosféricas de la ciudad que por su altura sobre el nivel del mar y la consecuente disminución en la cantidad de oxígeno, que facilita la liberación de contaminantes atmosféricos por combustión incompleta.

A pesar de que la estimación de la magnitud de la emisión de contaminantes atmosféricos por vehículos automotores (alrededor de 65.000 Tn/año) ofrece resultados menores en relación a lo que se reporta para otras ciudades de Latinoamérica (Anze, 1993b; Wetzenfeld, 1985) debe considerarse la influencia del tipo de factor de emisión que se aplica que en este caso corresponde a situaciones idealizadas de número de vehículos que circulan a 40 km por hora como promedio. Debe considerarse que en general estas aproximaciones subestiman la emisión de contaminantes porque no consideran el mal estado en que pueden encontrarse muchos vehículos del parque automotor, la falta de control de emisiones por falta de autoridades competentes y las características propias de la ciudad que se mencionaron anteriormente y que favorecen la liberación de contaminantes a la atmósfera.

Otros estudios que utilizaron factores de emisión que se relacionan con el consumo de gasolina (Anze, 1993) obtuvieron cifras mayores de hasta 111.660 Tn/año, que tal vez son más realistas, pero que también se encuentran bajo el margen de error que supone la aplicación de factores diseñados en condiciones que no siempre reflejan la situación real de nuestro medio. De cualquier forma, se puso de manifiesto la importancia de las fuentes móviles en la emisión global y actual de contaminantes atmosféricos y a futuro, pues a pesar de que el incremento es menos drástico de lo que se podía esperar, cualquiera que haya conducido un vehículo por el centro de la ciudad, (peor aún si ha caminado por el centro respirando gases y humos negros), puede dar testimonio de la magnitud del problema y puede muy bien imaginarse la situación en pocos años cuando circulen por la ciudad el doble de vehículos.

Por la calidad de las emisiones provenientes de “fuentes móviles”, se destaca la emisión de precursores de fotooxidantes como son los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )



lo que supondría una alta posibilidad de presencia en el aire de contaminantes secundarios fotoquímicos como el ozono o el peroxiacetilnitrato. Las condiciones climáticas de la ciudad de La Paz con altos valores de radiación solar durante todo el año, especialmente en los meses de invierno, contribuyen a la posibilidad de la formación de fotooxidantes importantes, a partir de la emisión de estos precursores.

Las emisiones de hidrocarburos han sido pobremente documentadas en nuestro medio como es el caso del trabajo de la Dirección de Control de Calidad Ambiental (MDSMA-DCCA, 1994b) que lastimosamente tiene deficiencias técnicas considerables pues además de no mencionar el número total de vehículos del estudio, expresa los resultados en unidades poco adecuadas que no permiten compararlos con estándares nacionales o foráneos. A pesar de estas limitaciones muestra en forma no muy clara que hasta el 50% de los vehículos de cilindrada mayor a 2.000 cc no cumplen con las normas argentinas para la emisión de hidrocarburos. Resulta entonces muy obvia la necesidad de tener estudios más serios que nos den información más fidedigna sobre emisiones de estos precursores, que como se dijo anteriormente contribuyen de manera importante a la formación de nieblumo (smog) fotoquímico.

Además de los precursores de fotooxidantes, los vehículos a diesel y gasolina que circulan por la ciudad de La Paz contribuyen con emisiones importantes de otros contaminantes, entre los que destacan el material particulado, los óxidos de azufre y el monóxido de carbono.

Entre las "fuentes fijas", que corresponden a "industrias" y que pueden considerarse como las segundas en importancia en emisión de contaminantes atmosféricos en la ciudad de La Paz, se ha elaborado un inventario parcial que contempla sólo aquellas industrias, pequeñas industrias o actividades artesanales que figuran en algún registro de la Cámara Nacional de Industria o de la Oficina de Control de Medio Ambiente de la Dirección de Saneamiento Urbano del Gobierno Municipal de La Paz. Se han incluido muchas actividades artesanales y servicios industriales que a pesar de tener influencia principalmente local, se encuentran ampliamente distribuidas en la ciudad, se desarrollan muchas veces sin considerar normas mínimas de protección ambiental y se van incrementando en número en forma considerable cada año, por lo que contribuyen cada vez más a la problemática ambiental de la ciudad.

Aunque probablemente se tiene, en estos registros, sólo una pequeña porción de las actividades reales, por lo que los resultados pueden subestimar la problemática de calidad del aire, al mismo tiempo se proporciona el registro más completo que se dispone a la fecha y que puede servir de base para estudios futuros.

Entre las "actividades artesanales o semi-industriales" destacan por su mayor riesgo de contaminación atmosférica los hornos de panificación artesanal e industrial, las torrefactoras de café, una planta asfaltadora, las ladrilleras y una serie de "servicios industriales", categoría que engloba a los talleres de mecánica, chapería, soldadura y otros como limpiezas en seco y hornos crematorios. A estas deben añadirse aquellas "industrias", más grandes y con mayor riesgo de contaminación atmosférica entre las que destacan fábricas de maquinaria y repuestos, fundiciones, curtiembres, fábricas de papel, fábricas de vidrio, fábricas de plásticos, fábricas de pintura y otras.

Se ha determinado que las diferentes industrias y actividades artesanales o semi-industriales registradas en la ciudad de La Paz tienen importancia en la emisión fundamentalmente de



material particulado, hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, metales pesados (en especial plomo, hierro, cobre, níquel y otros), óxidos de nitrógeno y azufre, y en menor proporción fluoruros.

También se ha evidenciado que el problema del ruido es fundamental en el sector industrial, semi-industrial y aún artesanal. Es necesario puntualizar la importancia de encarar programas de control de ruido en el ambiente laboral y en el entorno urbano, pues este problema se acrecienta día a día y en los próximos años puede alcanzar niveles intolerables.

En este sentido son importantes los esfuerzos que en último semestre de 1996 desarrolló la Oficina de Control de Medio Ambiente de la Dirección de Saneamiento Urbano del Gobierno Municipal de La Paz.

Entre las “fuentes fijas”, no menos importantes, aunque menos cuantificables, son aquellas consideradas como “otras fuentes” que han puesto de manifiesto el hecho de que la ciudad de La Paz está sujeta cada año a una serie de emisiones temporales de gran intensidad como en el caso de los chaqueos; o a emisiones de baja intensidad pero de duración casi permanente como son las quemas de basura y el transporte de contaminantes emitidos en la ciudad de El Alto por una dinámica climática y geográfica aún muy poco estudiada. Como consecuencia de estas “otras fuentes” se emiten a la atmósfera principalmente monóxido de carbono, material particulado, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y azufre, y en menor proporción metales y compuestos orgánicos volátiles.

En síntesis, a pesar de que evidentemente la ciudad de La Paz aún no presenta problemas agudos de contaminación atmosférica, por el crecimiento de la población y la cada vez mayor actividad industrial, es necesario considerar este problema como prioritario. Los parámetros de mayor interés a ser monitoreados en aire de la ciudad de La Paz, en orden de importancia son: material particulado, fotooxidantes (ozono, PAN, etc.) y sus precursores (hidrocarburos y óxidos de nitrógeno), metales pesados (principalmente plomo, en menor proporción hierro, cobre, cromo y otros), óxidos de azufre y monóxido de carbono.

Finalmente, se ha puesto en evidencia la importancia y necesidad de la implementación de redes de monitoreo para estos contaminantes atmosféricos, como una urgente necesidad de contar con información básica que nos permita encarar el problema de la gestión ambiental y control de la calidad del aire, sin especulaciones y sin minimizar el problema, interpretando datos poco válidos como sucede en la actualidad.

## **Resumen**

### **Evaluación rápida de fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad de La Paz**

Se presenta una evaluación rápida de fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad de La Paz, que a través de la opinión de expertos y el desarrollo de un inventario parcial de emisiones, pone de manifiesto la importancia de fuentes móviles (vehículos a gasolina y diesel), industrias y otras fuentes fijas como los chaqueos (quemas rurales agrícolas) y la quema de basura a cielo abierto en la calidad del aire de la ciudad. Se determinó que los contaminantes atmosféricos de mayor interés a ser monitoreados en la ciudad, por su relación con las diferentes fuentes de

emisión, son (en orden de importancia): material particulado, fotooxidantes y sus precursores (óxidos de nitrógeno e hidrocarburos), monóxido de carbono, plomo y dióxido de azufre.

## **Abstract**

### **Rapid Atmospheric Pollution Sources Assessment in the City of La Paz.**

The work presents a rapid atmospheric pollution sources assessment in the city of La Paz. Through the consensus of experts in the subject and the development of a partial sources inventory, it reveals the importance of mobile sources (gasoline and diesel powered vehicles), industries and other point sources such as slash and burn agriculture and the open incineration of urban solid waste, in the quality of the inmission complex in the city. It was determined that the most important air pollutants that should be monitored in La Paz are (in order of importance): particles (TSP), photooxidants and their precursors, carbon monoxide, lead and sulphur dioxide.

## **Agradecimientos**

El autor desea expresar su sincero agradecimiento al Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología y al Convenio GTZ-IE por permitir la realización del trabajo. A Margot Franken, Cecile B. de Morales y Juan Carlos Enriquez por todas las sugerencias y consejos. Al personal del Organismo Operativo de Tránsito, al Lic. Antonio Quisbert y el Ing. Gustavo Calderón de la Unidad de Control de Medio Ambiente de la Dirección de Saneamiento Urbano y al Ing. Miguel Rojas de la Dirección de Tráfico y vialidad del Gobierno Municipal de La Paz por su colaboración al permitir el acceso a información sobre los diferentes aspectos evaluados en el estudio.

## **Referencias**

- Anze, R., 1993.  
Indicadores de contaminación atmosférica en la Ciudad de La Paz. Documento no publicado elaborado para LIDEMA, La Paz, 51 pp.
- C.N.I., 1994.  
Guía directorio de la industria boliviana: 1994. La Paz: Cámara Nacional de Industrias, 152 pp.
- C.N.I., 1995.  
Lista de socios registrados en La Paz a Julio de 1995 La Paz: Cámara Nacional de Industrias, 6 pp.
- Cardona, A., M. Libermann, M. Nasif y H. Salm, 1992.  
Estudio del impacto ambiental de los agentes contaminantes sobre aire, aguas superficiales y subterráneas, suelo, vegetación y niveles de ruido en el ámbito urbano de la ciudad de El Alto. PNUD-HABITAT, La Paz: 78 pp.

Castillo, H., 1992a.

Guía específica de impacto ambiental de proyectos de la industria alimenticia. Manual de evaluación de impacto ambiental para proyectos de desarrollo urbano: Tomo III. Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), La Paz.

Castillo, H., 1992b.

Análisis ambiental para proyectos de la industria de la curtiembre. Manual de evaluación de impacto ambiental para proyectos de desarrollo urbano: Tomo IV. Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), La Paz.

Connel, D.W. & G.J. Miller, 1984.

Chemistry and ecotoxicology of pollution. John Wiley & Sons, New York: 444 pp.

Dickson, T.R., 1990.

Química: enfoque ecológico. Limusa, México D.F.: 406 pp.

Flores, X., 1993.

Evaluación de la situación ambiental urbana. PNUD-Habitat, La Paz: 36 pp.

MDSMA-DCCA, 1994b.

Informe: Estudio de emisión de gases contaminantes procedentes de motores de vehículos a explosión. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente-Dirección de control de calidad ambiental, La Paz: 17 pp.

MDSMA, 1995.

Reglamento de contaminación atmosférica: Documento para aprobación en el Honorable Congreso Nacional. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente-Secretaría Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Subsecretaría de Medio Ambiente, La Paz: 33 pp.

OCMA-DSU-GMLPZ, 1995.

Registro de actividades con factores de riesgo para el medio ambiente. Gobierno Municipal de La Paz - Dirección de saneamiento urbano-oficina de control de medio ambiente, 1995. La Paz, 12 pp.

Perkins, H., 1973.

Air pollution. Copenhagen: Danmarks Tekniske Højskole, 401 pp.

Quadri, G. y L.R. Sánchez, 1994.

La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Limusa, México D.F.: 316 pp.

Salinas, J., 1995.

Contaminación atmosférica en Bolivia. Documento preparado para el curso modular de calidad ambiental de la Maestría en Ecología y Conservación del Instituto de Ecología - UMSA, La Paz, 50 pp.

Sanz Sa, J.M., 1991.

La contaminación atmosférica. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 200 pp.

Secretaría Nacional de Medio Ambiente (SENMA); Ministerio de Minería y Metalurgia y Sistemas Ambientales de Suecia, 1993.

Evaluación Ambiental de los Sectores Minero e Industrial (Manufacturero): Informe Final y Apéndices Técnicos. La Paz: SENMA, 160 pp.

Stoker, H.S. y S.L. Seager, 1981.

Química Ambiental: Contaminación del aire y del agua. Blume, Barcelona: 320 pp.

Wetzenfeld, H., 1985.

Evaluación rápida de fuentes de contaminación ambiental-experiencia en América Latina para emisiones de aire. Contaminación Ambiental (Medellin) 8 (15): 51-63.

### **Dirección del autor**

Gary Rafael Anze Martin MSc.

Casilla 11538

e-mail: gram@wara.bolnet.bo

La Paz, Bolivia