



# **PLAN DE ACCION PARA COMBUSTIBLES Y VEHÍCULOS MÁS LIMPIOS EN PARAGUAY**

**DIAGNÓSTICO DE CONTAMINACIÓN  
ATMOSFÉRICA Y RECOMENDACIONES  
PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE**

Elaborado por Centro Mario Molina Chile



***PETROBRAS***

Abril 2011

**PCFV Financial Donors:**

Asian Clean Fuels Association (ACFA), Global Environment Facility (GEF), European Union, ExxonMobil, FIA Foundation, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA), Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment of The Netherlands, TNT, United Nations Environment Programme (UNEP), US Environmental Protection Agency (USEPA)



## CONTENIDOS

<b><u>CAPÍTULO I. PRESENTACIÓN</u></b> .....	<b>6</b>
JUSTIFICACIÓN. <i>PARTNERSHIP FOR CLEAN FUELS AND VEHICLES (PCFV)</i> .....	6
<b><u>CAPÍTULO II. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS. ORIGEN Y EFECTOS EN LA SALUD</u></b> .....	<b>7</b>
CONTAMINACIÓN URBANA .....	7
EMISIÓN Y FORMACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS .....	8
EFECTOS EN SALUD Y MEDIOAMBIENTE .....	11
<b><u>CAPÍTULO III. VEHICULOS Y COMBUSTIBLES EN PARAGUAY</u></b> .....	<b>14</b>
FLOTA VEHICULAR .....	14
MERCADO AUTOMOTRIZ .....	16
REGULACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES .....	18
<b><u>CAPÍTULO IV. MARCO INSTITUCIONAL AMBIENTAL</u></b> .....	<b>19</b>
INSTITUCIONES RESPONSABLES .....	19
NORMATIVA GENERAL DE CALIDAD DEL AIRE. ....	20
LEGISLACIÓN SOBRE AIRE EN PARAGUAY .....	21
NORMATIVA INTERNACIONAL CALIDAD DEL AIRE .....	22
NORMATIVA GENERAL DE EMISIONES .....	22
NORMATIVA AMBIENTAL DEL TRANSPORTE .....	22
<b><u>CAPÍTULO V. CALIDAD DEL AIRE Y SALUD EN PARAGUAY - INVIERNO 2010</u></b> .....	<b>24</b>
ESTUDIO DE CALIDAD DEL AIRE EN ASUNCIÓN. ....	24
DISEÑO DE LA CAMPAÑA .....	25
RESULTADOS CAMPAÑA DE MONITOREO. ....	28
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE GASES EN ASUNCIÓN .....	37
TOXICIDAD RELATIVA DEL MATERIAL PARTICULADO .....	38
CONCLUSIONES GENERALES .....	49
ESTUDIO DE PREVALENCIA DE SÍNTOMAS ALÉRGICOS NAALES Y BRONQUIALES EN ASUNCIÓN .....	50
<b><u>CAPÍTULO VI. INVENTARIO DE EMISIONES DEL TRANSPORTE EN PARAGUAY</u></b> .....	<b>52</b>

CATEGORÍAS Y NÚMERO DE VEHÍCULOS-----	52
NIVEL DE ACTIVIDAD-----	54
INVENTARIO DE EMISIONES DEL TRANSPORTE DE PARAGUAY 2008-----	55

**CAPÍTULO VII. PROPUESTAS PARA UN PLAN DE ACCIÓN PARA COMBUSTIBLES Y VEHÍCULOS MÁS LIMPIOS EN EL PARAGUAY ----- 58**

ESTABLECER UNA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN ZONAS URBANAS. -----	59
GENERAR LAS CONDICIONES PARA UN CRECIMIENTO MÁS SUSTENTABLE DE LA FLOTA VEHICULAR -----	60
AUTOMÓVILES DE PASAJEROS, DE CAMIONETAS Y VEHÍCULOS TODOS TERRENOS. -----	60
ALTERNATIVAS PARA MITIGAR EL CRECIMIENTO DE LAS EMISIONES DE AUTOMÓVILES, CAMIONETAS Y TODOTERRENOS -----	61
BUSES Y CAMIONES -----	63
MOTOCICLETAS -----	64
COMBUSTIBLES-----	64
PROMOVER UNA MAYOR CONSCIENCIA DE LA COMUNIDAD RESPECTO DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA SALUD-----	64
<b><u>ANEXO 1. ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE-----</u></b>	<b>66</b>

## CAPÍTULO I. PRESENTACIÓN

### *Justificación. Partnership for Clean Fuels and Vehicles (PCFV)*

La iniciativa *Partnership for Clean Fuels and Vehicles (PCFV)*, desarrollado por *United Nations Environment Programme (UNEP)*, desde el año 2002, tiene como objetivo apoyar a los países en vías de desarrollo en sus esfuerzos para mejorar las tecnologías de combustibles y vehículos que reducen la contaminación del aire, a través de la promoción de combustibles sin plomo y con bajo contenido de azufre (<50ppm). En la actualidad, el programa cuenta con más de 110 socios, incluyendo gobiernos, sociedades civiles, organizaciones internacionales e instituciones de educación superior.

Basándose en las tendencias actuales, el *PCFV* busca adoptar requerimientos para vehículos con tecnologías más limpias y más eficientes, a la vez que realiza esfuerzos para ayudar a los países en vías de desarrollo en la formulación de normativas en ésta área.

En Paraguay, actualmente, no existe normativa de calidad del aire y no se realiza monitoreo de contaminantes atmosféricos, sea público o privado. Este contexto generó la firma de un acuerdo entre *UNEP* y Petrobras, con el objeto de cooperar en la promoción de combustibles y vehículos más limpios. Posteriormente, el 16 de diciembre de 2009, Petrobras firmó un acuerdo con Centro Mario Molina Chile, en el que ambas instituciones se comprometieron a cooperar con el programa *PCFV*, desarrollando e implementando un monitoreo piloto exploratorio de la calidad de aire en la ciudad de Asunción.

La finalidad del monitoreo fue realizar un primer diagnóstico de la calidad del aire en la ciudad de Asunción, identificando relativamente las fuentes que impactan a este componente medioambiental, y con esta información apoyar el trabajo de la Mesa del Aire y la Salud con una propuesta de plan de acción para combustibles y vehículos más limpios.

El diseño de la campaña contempló la instalación de equipos de monitoreo continuo y discreto para material particulado fino ( $MP_{2,5}$ ) y carbono elemental (CE) en dos sitios de la ciudad. Uno de ellos se emplazó a nivel de calle en el centro de la ciudad, por lo que estuvo impactado directamente por el transporte vehicular; mientras que el segundo sitio se ubicó en altura y en una zona urbana, evitando el impacto directo de fuentes emisoras especialmente del transporte (que representa el nivel de base o background urbano de la ciudad).

La campaña de monitoreo se realizó durante el mes de junio del año 2010. Se obtuvieron 60 muestras para  $MP_{2,5}$  en filtros de teflón para análisis de gravimetría y elementos (entre ellos algunos metales pesados). Adicionalmente, se tomaron muestras de material particulado para ensayos toxicológicos agudos, y se realizó una caracterización vehicular durante el período de medición.

Paralelamente se diseñó una red de monitoreo de gases, con 20 sitios distintos para el muestreo de dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO/NO_x$ ), con el fin de conocer la distribución espacial de concentración dentro de la ciudad.

## CAPÍTULO II. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS. ORIGEN Y EFECTOS EN LA SALUD

### Contaminación urbana

La contaminación atmosférica se define como la presencia o acumulación en la atmósfera de uno o más contaminantes, como polvo, gases, olores, nieblas o vapores, en cantidades y duración tales, que puedan causar daño a la salud humana, a sus bienes, a la flora, la fauna y al ambiente en general.

Por su parte, la contaminación atmosférica urbana puede tener diversos orígenes, dentro de ellos se encuentran: las fuentes móviles, caracterizadas por el transporte vehicular (buses, camiones, automóviles y camionetas); y por otra parte, las fuentes fijas, caracterizadas por las industrias, la combustión de biomasa y las construcciones entre otras.

En la figura 1 se muestra un esquema de la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos, identificando el Background (línea base) Regional con las zonas rurales, específicamente aquellas donde la actividad de las fuentes fijas y móviles es nula o de muy baja intensidad. Mientras que identifica el Background Urbano con las áreas urbanas con mayor densidad poblacional, donde existe un impacto asociado al transporte y a la actividad industrial, principalmente. Los peaks marcados en colores amarillo y rojo, indican niveles de contaminantes de sitios específicos, mientras que la curva de color azul, indica el nivel promedio de contaminación urbana.

En el caso de Paraguay, se estima que las fuentes móviles son particularmente importantes en la contribución a la contaminación de las áreas urbanas, ya que el transporte está conformado por un parque vehicular antiguo como rasgo distintivo, tal como se observa en la figura 2.

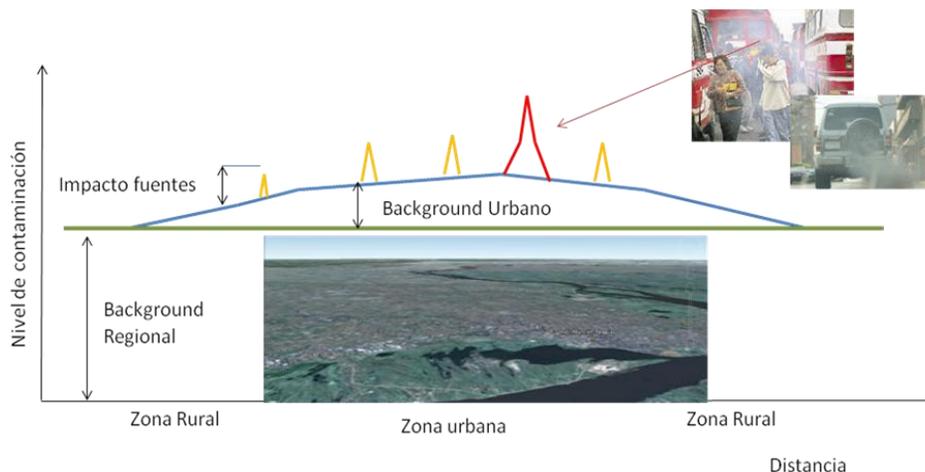


Figura 1. Representación de los distintos niveles de contaminación.



Figura 2. Emisiones del transporte.

Por otra parte, la meteorología local es el factor más importante que condiciona las concentraciones de contaminantes en el aire, ya que modula su formación, transformación, permanencia y remoción en la atmósfera. Estas condiciones meteorológicas están relacionadas con la velocidad/dirección del viento, precipitaciones, temperaturas, radiación solar, altura de capa de mezcla, entre otras.

### Emisión y formación de contaminantes atmosféricos

El origen de los contaminantes atmosféricos es múltiple, existiendo procesos de tipo físico, químico o biológico, tanto biogénicos (naturales) como antropogénicos (producidos por las diversas actividades humanas). Dentro del origen biogénico se encuentran: aerosoles marinos, erupciones volcánicas y polvo re-suspendido levantado desde el suelo por la acción del viento, entre otros. Mientras que dentro del origen antropogénico se encuentran: combustión de productos derivados del petróleo (calderas, transporte, centrales termoeléctricas, etc.), quemas agrícolas, quema de leña, procesos desarrollados en faenas mineras, polvo re-suspendido levantado desde el suelo por la acción del transporte y diversos procesos industriales.

De acuerdo con el mecanismo de incorporación a la atmósfera, los contaminantes se clasifican como “primarios” a aquellos emitidos directamente desde su fuente emisora, y como “secundarios” a aquellos que son formados in situ en la atmósfera a partir de la emisión (antropogénica o biogénica) sus precursores (ver figura 3).

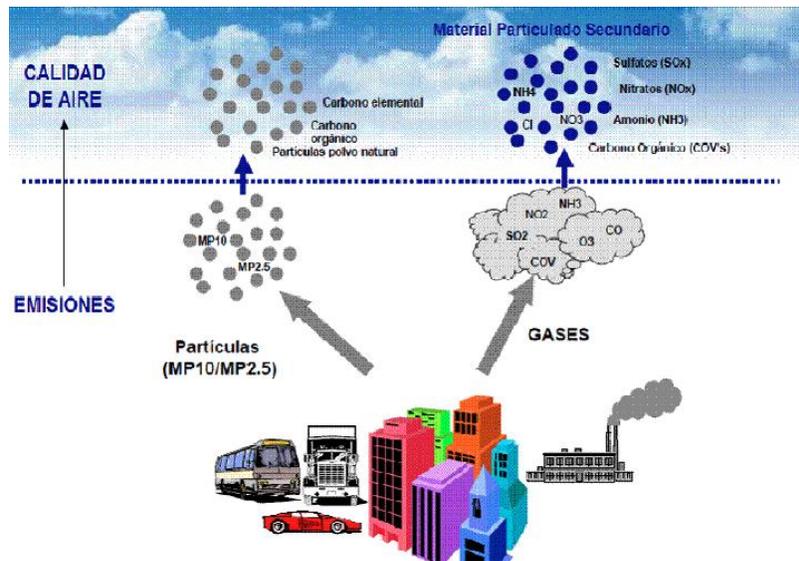


Figura 3. Contribución de las distintas fuentes de emisión a la contaminación urbana.

Internacionalmente se han definido una serie de contaminantes atmosféricos criterios que son utilizados para evaluar la calidad del aire de un sitio determinado. Éstos son el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>=NO+NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) y material particulado (MP). Todos son gases, con excepción del último que está conformado por aerosoles sólidos o líquidos. A su vez, el MP se clasifica según su diámetro aerodinámico, tal como se describe a continuación:

- ✚ MP<sub>10</sub>: Son todas las partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros<sup>1</sup>.
- ✚ Fracción gruesa del MP<sub>10</sub> (MP<sub>2,5-10</sub>): Son todas las partículas con un diámetro aerodinámico comprendido entre 2,5 y 10 micrómetros.
- ✚ MP<sub>2,5</sub> (fracción fina del MP<sub>10</sub>): Son todas las partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micrómetros.

La figura 4 muestra una comparación entre el diámetro de un cabello humano y el diámetro del material particulado.

<sup>1</sup> 1 micrómetro (1µm) = 0,001 milímetro (1mm) = 0,000001 metro (1m)

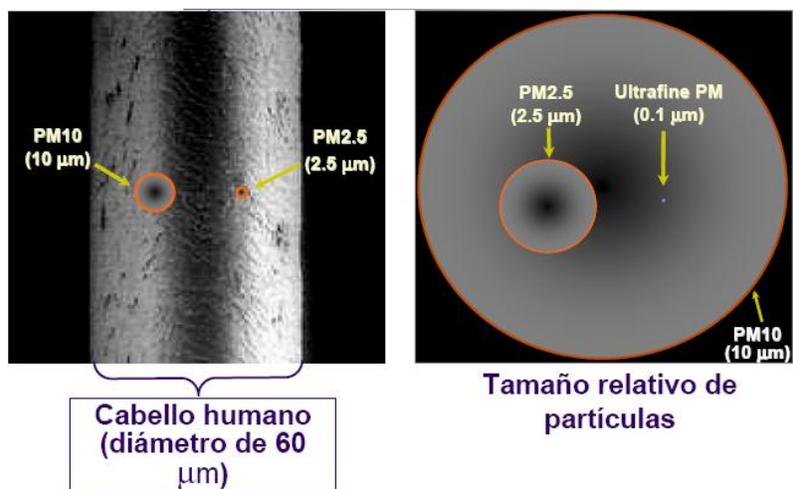


Figura 4. Comparación entre el tamaño del material particulado y un cabello humano.

Desde el punto de vista químico, el material particulado suele prorratearse según sus principales componentes químicos, distinguiéndose entre componentes inorgánicos (nitrato, sulfato, amonio) y componentes orgánicos (carbono orgánico y carbono elemental). Esta composición puede variar ampliamente dependiendo del lugar de origen<sup>2</sup>, y distribución espacio-temporal (tiempo y lugar de permanencia en la atmósfera).

Conocer la composición química del material particulado es de particular interés científico y gubernamental, debido a que como se verá en la siguiente sección, está asociado a efectos adversos para la salud humana ya sea por su nivel de penetrabilidad al organismo como por su composición química, generando así un efecto sinérgico.

<sup>2</sup> De esta forma, la composición del MP<sub>2,5</sub> de, por ejemplo, la ciudad de Santiago de Chile, podría ser muy distinto al MP<sub>2,5</sub> de la ciudad Asunción.

## Efectos en salud y medioambiente

En esta sección se entrega un resumen de los impactos asociados a los contaminantes atmosféricos regulados internacionalmente.

La contaminación atmosférica puede afectar la salud de muchas maneras. Existe numerosa evidencia científica que ha relacionado la contaminación del aire con problemas a la salud de la población<sup>3</sup>, tales como agravamiento de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares; reducción de la función pulmonar e incremento de la frecuencia y severidad de los síntomas respiratorios, como tos y dificultad al respirar; aumento de la susceptibilidad a contraer infecciones respiratorias; efectos en el sistema nervioso; cáncer; y muertes prematuras.

En el caso del material particulado, la intensidad de los impactos en salud depende fuertemente del tamaño y composición. En la figura 5 se muestra un esquema de la respirabilidad del MP de acuerdo a su tamaño.

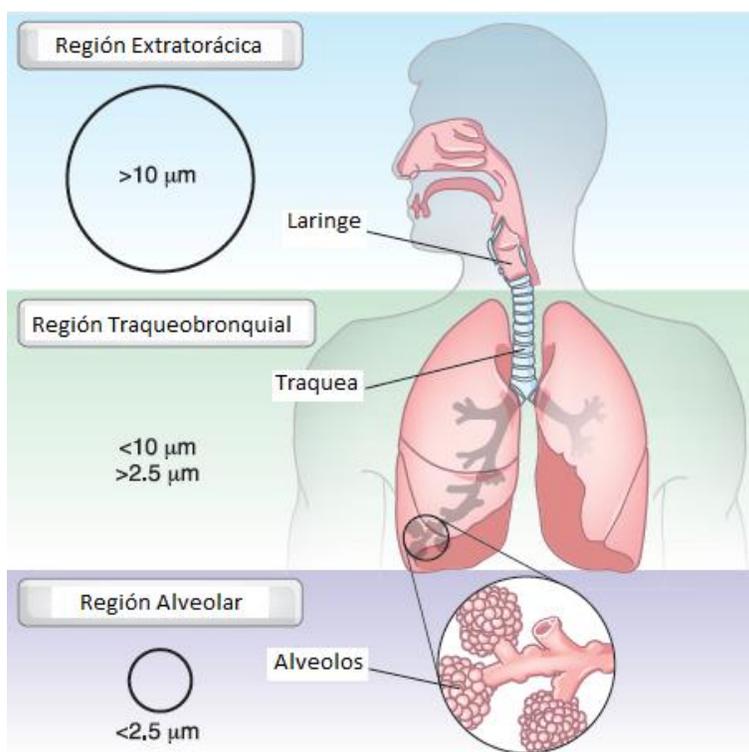


Figura 5. Respirabilidad del material particulado. Fuente: Morton Lippmann: Targeting the components most responsible for airborne particulate matter health risks, 2010, Department of Environmental Medicine, New York University School of Medicine, Tuxedo, New York, USA.

El material particulado genera diversos efectos sobre el organismo humano, tal como se muestra en la figura 6.

<sup>3</sup> Bert Brunekreef and Stephen T Holgate (2002). Air pollution and health. The Lancet. 360: 1233-1242



Figura 6. Efectos de la inhalación del material particulado en el funcionamiento de órganos del cuerpo humano. Fuente: C.A. Pope III y D.W. Dockery: *Health effects of fine particulate air pollution: Lines that Connect*, 2006, JAWMA (Adaptación de estudio *Calidad del aire en la Región Metropolitana: Análisis retrospectivo, 1997-2007*, Centro Mario Molina Chile).

En el medioambiente, los impactos se relacionan con la pérdida de la visibilidad, que puede verse reducida por la dispersión y absorción de la luz generada por la presencia de distintos contaminantes en la atmósfera; ensuciamiento y corrosión de los materiales en general (consecuencia de la lluvia ácida), pérdida de capacidad de producción agrícola, etc.



Figura 7. Deterioro acelerado en ambientes contaminados. Escultura de arenisca del Castillo de Herten, Recklinghausen, localizado en la cuenca del Rin (Alemania) y construido en 1702. Aspecto del motivo en 1908, mostrando deterioro moderado, y en 1969, prácticamente destruido. (de Winkler, 1973, Fig. 72).

En la tabla 1 se muestran las fuentes, efectos en salud y en el medioambiente asociados a los contaminantes criterio señalados anteriormente.

**Tabla 1. Efectos en salud y en el medioambiente de los distintos contaminantes atmosféricos regulados internacionalmente**

CONTAMINANTE	FUENTES	EFFECTOS EN SALUD	EFFECTOS EN MEDIOAMBIENTE
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>	Contaminante secundario formado por reacciones químicas de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) en presencia de luz solar.	Agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, disminución de función pulmonar e incremento de síntomas respiratorios, incremento de la susceptibilidad a infecciones respiratorias y muerte prematura.	Puede dañar la vegetación impactando el crecimiento de los árboles y reduciendo la producción agrícola.
<b>Material particulado (MP)</b>	Emitido en forma directa por procesos de combustión (p.e. quema de carbón, leña, diesel), procesos industriales, agricultura (quema de rastrojos, incendios forestales) y caminos no pavimentados. También se forma a través de reacciones químicas a partir de gases precursores como NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> .	Agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, disminución de función pulmonar, incremento de síntomas respiratorios y muerte prematura.	El MP tiene efectos climáticos derivados de su capacidad de absorber, dispersar y reflejar radiación solar, modificando, p.e, los niveles de visibilidad. Genera efectos sobre ecosistemas (fertilización, acidificación, etc) y degrada materiales de construcción.
<b>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Procesos de combustión de elementos que contienen azufre, generación eléctrica y procesos industriales; fuentes naturales como volcanes.	Agravamiento de asma e incremento de síntomas respiratorios. Contribuye a la formación de partículas que tienen impacto en la salud.	Enfriamiento de la atmósfera.  Al oxidarse forma ácido sulfúrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> un componente de la lluvia ácida que es nocivo para las plantas.  Ataca a los materiales de construcción que suelen estar formados por minerales carbonatados, como la piedra caliza o el mármol, formando sustancias solubles en agua y afectando a la integridad y la vida de los edificios y esculturas.
<b>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</b>	Procesos de combustión, p.e. centrales termoeléctricas, calderas industriales, transporte y quema de leña.	Agravamiento de enfermedades respiratorias e incremento de la susceptibilidad a las infecciones respiratorias. Contribuye a la formación de ozono y de partículas que tienen impacto en salud.	El óxido de nitrógeno (NO) se oxida muy rápidamente convirtiéndose en dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) y posteriormente en ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> ), produciendo lluvia ácida.
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	Procesos de combustión (especialmente en automóviles).	Reduce la habilidad de la sangre de transportar oxígeno. Agravamiento de enfermedades cardiovasculares.	No se tiene constancia de que el carbono tenga efectos negativos sobre el medio ambiente. Su oxidación produce dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), gas de efecto invernadero, que genera el calentamiento de la atmósfera.

## CAPÍTULO III. VEHICULOS Y COMBUSTIBLES EN PARAGUAY

### Flota vehicular

De acuerdo a la información del año 2009, la flota vehicular en Paraguay alcanzó un total de 730 mil automóviles y camionetas, representando a un 53% del total de vehículos del país. Mientras que el diesel es el combustible más empleado, representando un consumo de 95% para camionetas y de un 60% para automóviles.

El 80% de la flota vehicular utiliza diesel, principalmente de origen japonés importado de segunda mano. Esta es una situación excepcional en la región latinoamericana, donde la gran mayoría del parque vehicular utiliza gasolina.

El parque vehicular de Paraguay es uno de los menores en tamaño de Latinoamérica, tal como se observa en la figura 8, y es una de las de mayor antigüedad (el 60% de los vehículos tiene más de 10 años de uso).

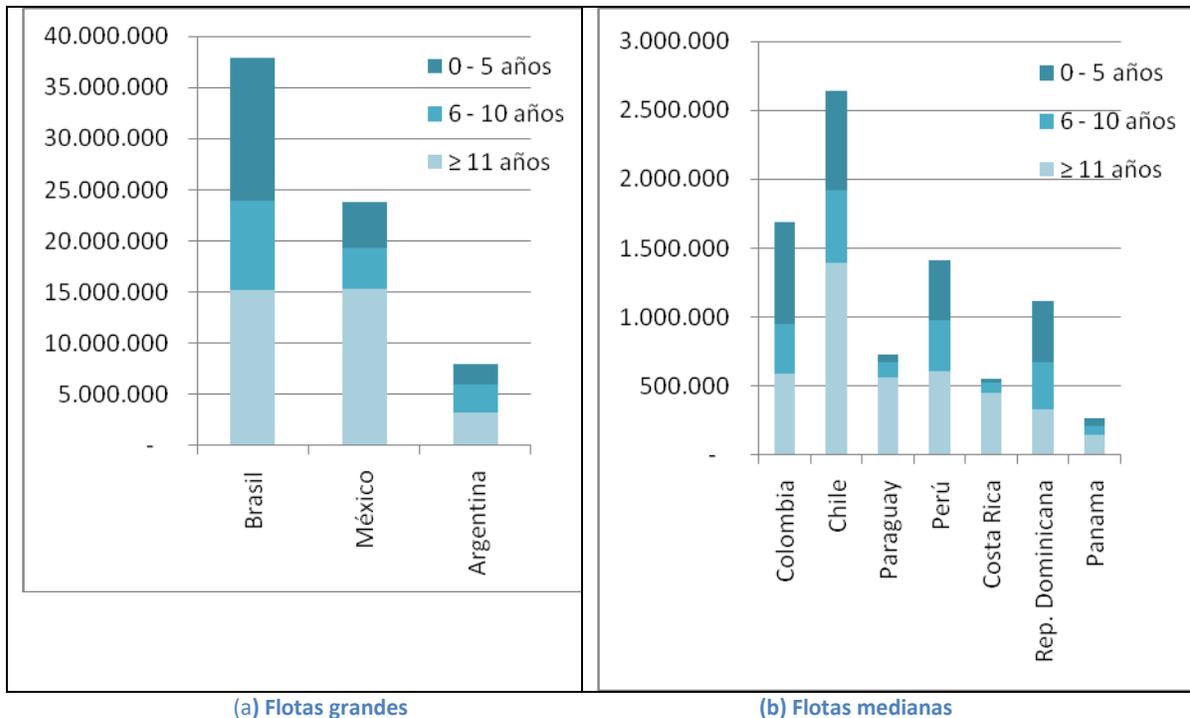


Figura 8. Comparación de flotas vehiculares Latinoamericanas

En vista que Paraguay tiene un número relativamente menor de habitantes en comparación a otros países de la región, es útil apreciar la tasa de motorización. En la figura 9 se presenta esta tasa para el año 2007, como el número de vehículos por cada 10 habitantes, observándose que

Paraguay presenta una tasa mayor que Perú, Colombia y Panamá; en tanto que es menor que México, Brasil, Argentina y Chile, y más bien similar a Costa Rica y República Dominicana. En general se observa una baja tasa de motorización en Latinoamérica con relación a las que presentan países desarrollados (Estados Unidos, Alemania y España), que cuentan con índices superiores a 5 automóviles por cada 10 habitantes. Por lo tanto, es de esperar que el crecimiento económico signifique un aumento sustancial de la flota vehicular en Paraguay.

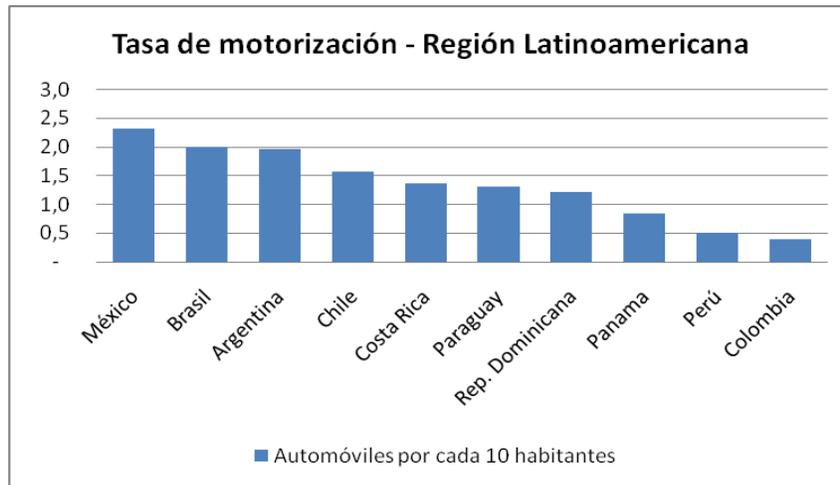


Figura 9. Número de vehículos por cada 10 habitantes.

## Mercado automotriz

Anualmente ingresan al país 130 mil vehículos, cifra considerablemente alta en comparación con la flota existente, siendo usados, el 60% de estos vehículos, que deben cumplir únicamente con la exigencia de tener menos de 10 años de antigüedad.

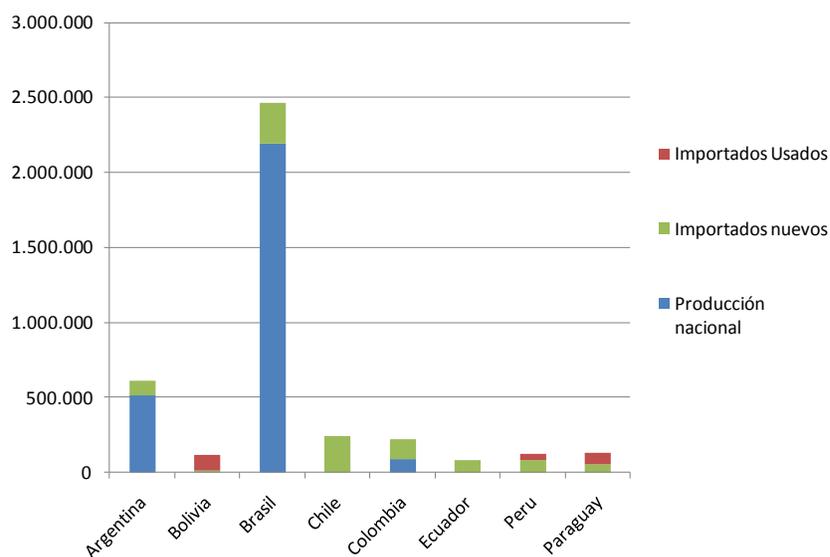


Figura 10. Mercado automotriz por país (2008)\* para Bolivia la información no está desagregada

En comparación con el resto de los países latinoamericanos, Paraguay presenta las menores exigencias ambientales a la importación de vehículos, siendo uno de los países latinoamericanos que no cuenta con normas para el mercado automotriz. En contraste con la situación de Bolivia y Perú que también permiten la importación de vehículos usados, pero que sin embargo, exigen que éstos tengan 5 años de antigüedad máxima y adicionalmente, que incorporen convertidores catalíticos, que disminuyen la contaminación del aire. Por su parte, Argentina, Brasil, Colombia, Chile y Ecuador no permiten importación de vehículos usados.

Paraguay presenta un rezago en la región en cuanto a las normativas para vehículos que ingresan al mercado, dado que no existen normas de emisión que deban ser cumplidas por los importadores de automóviles. En la tabla 2 se presentan las normas exigidas en los países latinoamericanos. Las normas Tier I corresponden a las exigidas por la Agencia de Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) a partir del año 1994. Las normas EURO II corresponden a las exigidas en la Comunidad Económica Europea a partir del año 1996.

Tabla 2. Regulaciones de emisiones en los mercados automotrices Latinoamericanos.

País	Norma de emisión vehículos livianos nuevos
Ecuador	Otto: EPA 87/EURO I Diesel: Tier I / EURO II
Bolivia	De cumplimiento voluntario, desde año 2008 Tier I/EURO II
Brasil	Otto: Tier I año 2007/ NLEV año 2009
Chile	Región Metropolitana: Otto EPA Tier I/EURO III Diesel: Tier I / EURO IV A partir del 2011 EPA Tier 2 Bin 8 o EURO V (IV para gasolineros)
Argentina	EURO IV desde enero 2009
Perú	Tier I/EURO III año 2007
Colombia	Tier I- EPA 98/EURO II

Desde el punto de vista de los incentivos para el mercado automotriz, la única tecnología promovida en Paraguay es el *flex fuel* (mezcla de combustible fósil con biocombustible, principalmente etanol, en distintas proporciones según las características del motor), debido a la cercanía con Brasil, mayor exportador de etanol del mundo en la actualidad<sup>4</sup>, y en cuyo mercado automotriz los vehículos que utilizan este tipo de combustible, juegan un rol importante. El instrumento de incentivo es el descuento del arancel aduanero.

El Ministerio de Industria y Comercio de Paraguay aprobó el año 2006 una resolución que permitía un contenido de 24% de etanol (E24) en la gasolina de 85 octanos y que exigía un contenido de 18% de etanol (E18) en la de 95 octanos.

Empresarios y autoridades del gobierno de Paraguay iniciaron negociaciones en 2007 con los fabricantes brasileros con el propósito de importar vehículos *flex fuel* a etanol, con lo cual, Paraguay se convertiría en el primer destino de exportaciones brasileras de sus vehículos de combustible flexible<sup>5</sup>. En mayo de 2008 el gobierno paraguayo anunció un plan para liberar a los vehículos *flex fuel* del pago de impuestos de importación. Este plan también incluye la compra de 20.000 automóviles *flex fuel* en 2009 para uso de la flota oficial del gobierno<sup>6</sup>.

La producción nacional de etanol tiene como objetivo aumentar la seguridad energética del país, mediante la sustitución de importaciones de gasolina por etanol producido en el país a partir de caña de azúcar.

<sup>4</sup> <http://www.brasil.gov.br>

<sup>5</sup> <http://noticias.uol.com.br/economia/ultnot/2007/05/24/ult35u53557.jhtm>

<sup>6</sup> [http://oglobo.globo.com/economia/mat/2008/05/02/paraguay\\_lanca\\_programa\\_de\\_estimulo\\_carros\\_flex\\_-427180175.asp](http://oglobo.globo.com/economia/mat/2008/05/02/paraguay_lanca_programa_de_estimulo_carros_flex_-427180175.asp)

Al igual que el resto de los países de la región, Paraguay no cuenta con normas de emisión de CO<sub>2</sub> ni de consumo de combustibles para el transporte. De igual manera, no existe un inventario nacional de gases de efecto invernadero, pero dado que Paraguay es un país con bajo desarrollo industrial y la matriz energética se basa principalmente en la hidroelectricidad, se estima que es el transporte el mayor responsable de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

A partir del año 2000 se prohibió la comercialización de gasolina (nafta) con plomo. La gasolina sin plomo tiene un límite de 1.000 ppm de azufre, y representa el 25% de las ventas de combustibles para el transporte.

El diesel (gasoil) presenta tres niveles de calidad distintos (150, 2.000 y 5.000 ppm de azufre), sin embargo, el más demandado es el de menor calidad, debido a que es el único que tiene una menor carga impositiva. La justificación de esto se basa en el supuesto de que las de mejor calidad son para los vehículos más nuevos, que son de propiedad de las personas con mayores ingresos.

El diesel más comercializado en Paraguay se encuentra dentro de los de peor calidad de la región latinoamericana, tal como se observa en la figura 11.

Existe una creciente producción nacional de biodiesel, que permitiría, según el Ministerio de Industria y Comercio que el próximo año se comercialice el gasoil corriente con un 3% de biodiesel.

### Regulación de la calidad de los combustibles

En el año 2001 se estableció la Resolución N° 435 mediante la cual se establecieron los niveles de calidad de los combustibles. Posteriormente, fue derogada en el año 2009 por la Resolución N° 260, por la cual se reglamenta el Decreto N° 1.234/2008, que modifica el Decreto N° 10.397/2007, que es el que establece los niveles mínimos de calidad de los combustibles, adicionalmente, se amplía el Decreto N° 10.911/2000 que reglamenta la refinación, importación, distribución y comercialización de los combustibles derivados del petróleo y se deroga la Resolución N° 435/2001.

El decreto más reciente de la legislación paraguaya en cuanto a la regulación de la calidad de los combustibles, es el Decreto N° 1.645/2009. Por otra parte, la ley N° 2.748/2005, de fomento a los biocombustibles, señala que la mezcla de etanol y biodiesel (debe ser establecida por el Ministerio de Industria y Comercio) es obligatoria desde la promulgación del reglamento de la ley (Decreto N° 7.412/2006) para el biodiesel con el gasoil o diesel; y del etanol absoluto con las gasolinas, excepto la de aviación y la de 97 octanos (desde 1999 mediante Decreto del Poder Ejecutivo, se venían utilizando los biocombustibles).

Se menciona que la finalidad de la ley sobre biocombustibles es facilitar la implementación de proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio y la consecución de los objetivos constantes en la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> ANALISIS DE LEGISLACIÓN SOBRE BIOCMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA, 2007, OLADE

De acuerdo a lo indicado por participantes de la Mesa Del Aire y la Salud, se requiere establecer un sistema de control y aseguramiento de la calidad de las mediciones de composición de combustibles que se emplean para verificar el cumplimiento de las normas de calidad de combustibles antes mencionadas.

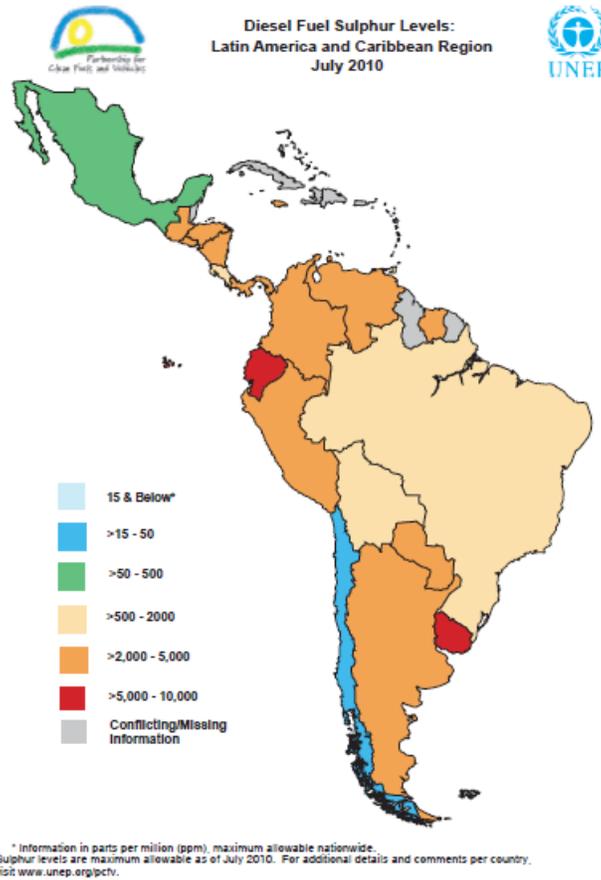


Figura 11. Niveles de azufre en el diesel en los países latinoamericanos

## CAPÍTULO IV. MARCO INSTITUCIONAL AMBIENTAL

### Instituciones responsables

En Paraguay, la institucionalidad está materializada en la Secretaría del Ambiente (SEAM), dependiente de la Presidencia de la República, creada en el año 2000 mediante la Ley N°1.561. Adicionalmente, esta ley creó el Sistema Nacional del Ambiente (SISNAM) y el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), para el desempeño de las funciones de la SEAM. El marco legal contempla la asistencia del CONAM y el SISNAM que constituyen instancias deliberativas y de coordinación a nivel nacional.

El marco legal instituye a la SEAM, propender a la descentralización y reducción del aparato estatal, impulsando el traspaso de responsabilidades y potestades del gobierno central a gobiernos locales, a mecanismos sub-regionales y organizaciones de la sociedad civil<sup>8</sup>.

Finalmente, las Municipalidades, en ejercicio de sus atribuciones reglamentarias en materia de gestión ambiental (cf. Artículo 168 Constitución Nacional), también tienen potestad para regular la descarga de contaminantes a la atmósfera dentro de su jurisdicción territorial.

## **Normativa general de calidad del aire.**

Las normas de calidad del aire tienen por objetivo definir límites máximos para la presencia de contaminantes en el aire, para determinados periodos de tiempo; si estos límites son superados, las autoridades tienen que tomar medidas para proteger la salud de la población ante:

---

<sup>8</sup> <http://www.seam.gov.py/la-seam.html>

- ✚ Exposición aguda de unas pocas horas;
- ✚ Exposición crónica durante muchos años.

### Legislación sobre aire en Paraguay

Actualmente, el aire es el recurso que menos regulación legal registra en Paraguay. En efecto, no existe disposición constitucional que trate en forma específica sobre él, aunque su protección puede considerarse incluida en las disposiciones de los artículos 7 y 8 de la Constitución Nacional.

Paraguay ha ratificado una serie de convenios internacionales, que son los instrumentos jurídicos más importantes del mundo para combatir los compuestos químicos y metales pesados en el aire. Ha firmado, por una parte, el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (ambos instrumentos ratificados mediante Ley 61/92).

En junio de 1992, suscribió la Convención Marco sobre Cambio Climático, adoptada durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo -La Cumbre para la Tierra- celebrada en la Ciudad de Río de Janeiro, Brasil. La Convención pasó a integrar el derecho positivo paraguayo, al ser aprobada por la ley Nº 251/93 y su Protocolo de Kyoto (ratificado mediante Ley 1.447/99). La ley 1.561/2000 creó el Consejo Nacional del Ambiente y la Secretaría del Ambiente (SEAM) y le otorgó a esta última el carácter de autoridad de aplicación de la Ley Nº 251/93. En octubre de 2001, fue dictado el Decreto Nº 14.943/01, por el cual se implementa el Programa Nacional de Cambio Climático.

Por otra parte, firmó el Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (PIC), en septiembre de 1998, y el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (POP o COP), en octubre de 2001. Sin embargo, no ha ratificado ninguno de estos convenios.

En el nivel legal, la regulación que controla la calidad del aire son los artículos 66 y 67 del Código Sanitario (Ley Nº 836/80), que establece que el Ministerio de Salud determinará los límites máximos de emisión de contaminantes a la atmósfera. No obstante, dicho Ministerio aún no ha emitido ninguna reglamentación al respecto.

Particularmente, la Ciudad de Asunción, se cuenta con la Ordenanza Nº 19/1997, que ordena a la Intendencia fijar mediante reglamentación los límites máximos de emisión de contaminantes sobre la base de las recomendaciones de normas internacionales. Sin embargo, si no existe reglamentación municipal sobre límites de emisión, la prueba en sede civil de alguno de los extremos mencionados no tiene la entidad suficiente para completar el tipo penal del artículo 198 del Código Penal, que considera que una medida de contaminación se entenderá como indebida cuando se sobrepasen los límites administrativos. Por otra parte, cuenta con la ordenanza Nº 119/2007 para Contaminación aire urbano, quema de basuras, control.

La SEAM estableció los controles y multas por la emisión de contaminantes atmosféricos a medios de transporte que utilicen todo tipo de combustibles con la Resolución Nº 520B/2008, emitida en

fecha noviembre de 2008 donde se establecen parámetros y multas por emisión de contaminantes, que deroga la Resolución N° 0001/2008 de la Secretaría.

Sin embargo, pese a los intentos realizados, Paraguay es uno de los países Latinoamericanos que no cuenta, en la actualidad, con normas de calidad del aire.

### Normativa internacional Calidad del Aire

A nivel internacional existen distintos estándares de calidad del aire definidos para proteger la salud de la población (en especial los grupos más susceptibles) según su nivel de exposición a los contaminantes. Los niveles más estrictos corresponden a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En la siguiente tabla se muestran los distintos valores de estándares adoptados por la Unión Europea (UE), los Estados Unidos (EE.UU.) y Chile, comparados con las recomendaciones de la OMS.

Tabla 3. Regulación internacional de contaminantes atmosféricos.

CONTAMINANTE	PERIODO	CHILE	ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SALUD	ESTADOS UNIDOS	UNION EUROPEA
MP <sub>10</sub>	Media 24 horas	150 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 35 veces por año civil
	Media anual	50 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>	DEROGADA	40 µg/m <sup>3</sup>
MP <sub>2,5</sub>	Media 24 horas	50 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>	35 µg/m <sup>3</sup>	-
	Media anual	20 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>	24 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	Media 10 minutos	-	500 µg/m <sup>3</sup>	-	-
	Media horaria	-	-	-	350 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse por año civil
	Media 24 horas	250 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>	365 µg/m <sup>3</sup>	125 µg/m <sup>3</sup>
	Media anual	80 µg/m <sup>3</sup>	-	80 µg/m <sup>3</sup>	-
O <sub>3</sub>	Media 3 horas consecutivas	-	-	-	240 µg/m <sup>3</sup> (definido como "nivel de alerta" por la Directiva 2008/50/CE)
	Media móvil 8 horas consecutivas	120 µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>	-
CO	Media horaria	30.000 µg/m <sup>3</sup>	-	40.000 µg/m <sup>3</sup>	-
	Media móvil 8 horas consecutivas	10.000 µg/m <sup>3</sup>	-	10.000 µg/m <sup>3</sup>	10.000 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Media horaria	400 µg/m <sup>3</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>	-	200 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 18 veces por año civil
	Media anual	100 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>

### Normativa general de emisiones

#### Normativa ambiental del transporte

La ley Nº1.590/2000 que regula el Sistema Nacional de Transporte, crea la Dirección Nacional de Transporte (DINATRAN) y la Secretaría Metropolitana de Transporte (SMT). La DINATRAN tiene las atribuciones de dictar los reglamentos sobre la habilitación, concesión y permiso para la prestación del servicio público de pasajeros y cargas, y proteger los derechos del usuario del medio ambiente, entre otras<sup>9</sup>.

La resolución Nº 11/2005, que establece los niveles admisibles de emisión de gases contaminantes aplicables a los vehículos de transporte público de pasajeros y cargas movidos a gasoil, en su artículo 1º establece que dichos niveles para los vehículos mencionados anteriormente, acelerados a las revoluciones de corte, deben ser menores a 5 unidades de la Escala Bacharach<sup>10</sup>.

Ley Nº 3850/2009 crea el Sistema Nacional de Inspección Técnica de vehículos y establece la obligatoriedad de la realización de la inspección técnica como requisito previo para la obtención o renovación de la patente municipal de rodados en todo el territorio nacional.

En la ley de transporte de Paraguay no se hace referencia a los niveles de emisión de contaminantes permitidos para vehículos particulares.

---

<sup>9</sup> <http://www.dinatran.gov.py/legislacion.html>

<sup>10</sup> Escala que sirve para comparar el ennegrecimiento de los humos, consistente en un conjunto de placas gradualmente oscurecidas desde el blanco, que corresponde al cero, al negro, que corresponde al nueve. Para utilizar esta escala se hace pasar una cantidad normalizada de gas a través de un papel de filtro, cuyo ennegrecimiento se compara luego con el de las placas.

## CAPÍTULO V. CALIDAD DEL AIRE Y SALUD EN PARAGUAY - INVIERNO 2010

### Estudio de calidad del aire en Asunción.

El monitoreo de calidad del aire en centros urbanos es una herramienta de gestión ambiental ampliamente utilizada en países desarrollados. Países con mayor avance en regulaciones ambientales cuentan con sistemas de monitoreo en línea que permite evaluar el nivel de exposición a contaminantes de la población, información sobre períodos de episodios críticos (dentro de los cuales se sugiere a la población abstenerse de realizar actividades físicas, por ejemplo), y analizar los avances de medidas adoptadas en pos de la recuperación de la calidad del aire. Esta información es pública, y por lo general se encuentra en línea. Entre algunos de los ejemplos latinoamericanos se menciona:

-  Santiago, Chile: Red MACAM operada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud.
-  Buenos Aires, Argentina: Red de Monitoreo de la Agencia de Protección Ambiental.
-  Sao Paulo, Brasil: Red de monitoreo automática operada por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB).
-  Bogotá, Colombia: Red de monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

Estas redes de monitoreo tienen la función de evaluar el cumplimiento o incumplimiento de las normativas de calidad del aire, que dan origen a la adopción de medidas necesarias para la recuperación de este componente, en el caso que los niveles se encuentren en estado de saturación (sobre el nivel de la norma) o en estado de latencia (entre el 80% y el 100% del nivel de la norma).

El establecimiento de este tipo de redes permanentes requirió la elaboración de campañas de diagnósticos exploratorios, para la elección de sitios de monitoreo apropiados, según las necesidades de cada país.

De esta manera, se ha desarrollado un primer estudio piloto exploratorio en el país, consistente en la implementación de una campaña de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Asunción durante el mes de junio del año 2010. Para esto se utilizó equipamiento de monitoreo de material particulado para especiación química (Harvard Impactor)<sup>11</sup> y equipos de colección de material particulado para ensayos toxicológicos (Tox Sampler)<sup>12</sup>, ambos desarrollados por la Universidad de Harvard. Adicionalmente, se han incorporado en dentro de la campaña, períodos de medición

---

<sup>11</sup> Impactor Design. VIRGIL A. MARPLE and KLAUS WILLEKE (1976). Atmospheric Environment. Vol 10 pp. 891-896.

<sup>12</sup> Development and validation of a high-volume, low-cutoff inertial impactor. Ilias G. Kavouras, Stephen T. Ferguson, Jack M. Wolfson, Petros Koutrakis. Inhalation Toxicology, 12 (supplement 2):35-50, 2000.

continua de  $MP_{2,5}$  con equipo Dust-trak<sup>13</sup> y carbono negro (hollín) con un Microaetalómetro<sup>14</sup>. Las mediciones meteorológicas fueron entregadas por la Universidad Católica<sup>15</sup>.

## Diseño de la Campaña

### Monitoreo de $MP_{2,5}$

La campaña de muestreo discreto se realizó en el mes de junio del año 2010, en 3 sitios de la ciudad de Asunción:

- ✚ **Sitio Background de Transporte 1 (BT1)**, lugar impactado directamente por el tránsito vehicular: los equipos estuvieron emplazados en la intersección de las calles Cerro Corá y Brasil (en el techo de una estación de expendio de combustible perteneciente a Petrobras). Estas calles se caracterizan por poseer un flujo vehicular intenso tanto público como privado. Este sitio se mantuvo durante toda la campaña de monitoreo (desde el 2 al 29 de junio).
- ✚ **Sitio Background de Transporte 2 (BT2)**, lugar impactado directamente por el tránsito vehicular: Este sitio se ubicó a aproximadamente 50 metros del sitio BT1, ubicado en la calle Cerro Corá. El monitoreo en este sitio solo contempló la medición de  $MP_{2,5}$  para especiación química, con una duración de solo 9 días (desde el 21 al 29 de junio).
- ✚ **Sitio Background Urbano (BU)**, ubicado en la zona con mayor densidad poblacional: Los equipos monitores estuvieron emplazados en el techo del Edificio de Contables de la Universidad Católica. Este sitio evita el impacto directo de las emisiones de fuentes cercanas, por lo que representa las condiciones de fondo o línea base de concentraciones de la ciudad. Se realizaron mediciones de  $MP_{2,5}$  para especiación química y para análisis toxicológicos (entre el 2 al 20 de junio).

La elección de estos sitios de monitoreo se realizó considerando recomendaciones internacionales especializadas en mediciones de calidad del aire<sup>16</sup>.

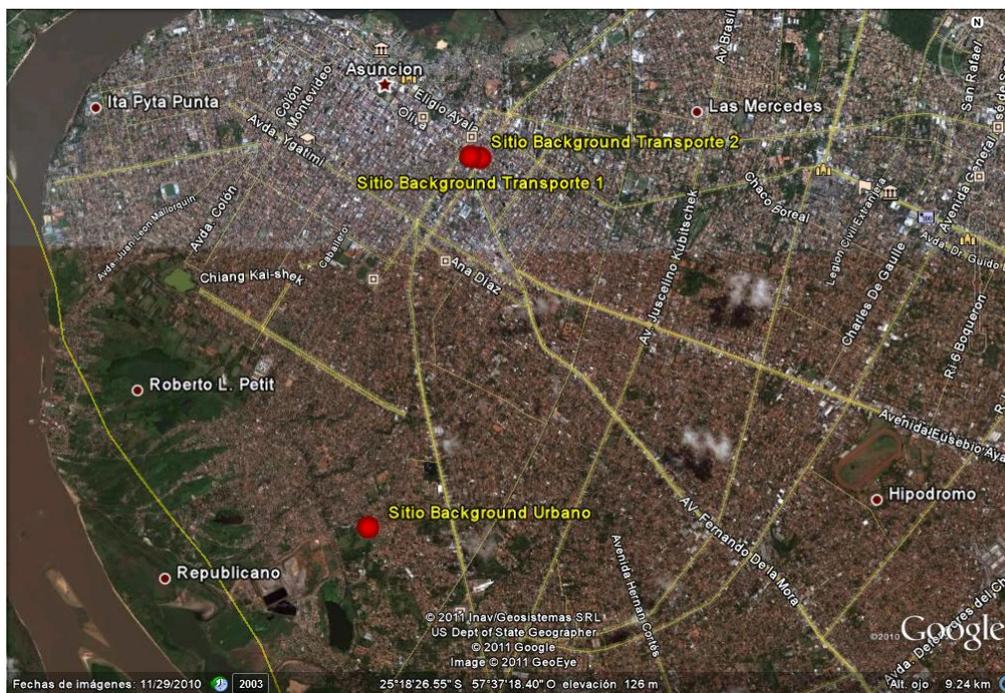
---

<sup>13</sup> Equipo desarrollado por TSI inc.

<sup>14</sup> MircoAeth<sup>®</sup> Model AE51.

<sup>15</sup> Información facilitada por Fabiola Adam – Coordinadora de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica

<sup>16</sup> Estudio: Evaluación y propuesta de rediseño para la Red de Monitoreo Automático de Calidad del Aire de la Región Metropolitana, Red MACAM-2. Centro Mario Molina Chile 2007



(a)



(b)



(c)

Figura 12. Sitios de muestreo (a) Ubicación geográfica, (b) Background Transporte, (c) Background Urbano

A las muestras colectadas con los equipos Harvard Impactor se les determinó la concentración gravimétrica de  $MP_{2,5}$ , y análisis elemental (metales) mediante metodología ICP-MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo). Todos estos análisis fueron realizados en el Instituto Noruego de Investigación de la Atmósfera (NILU).

Los análisis toxicológicos fueron realizados en el Laboratorio de Biomedicina y Estrés Celular de la Universidad de Chile.



Figura 13. Filtro utilizado por equipo Harvard Impactor antes y después del muestreo.

Algunos períodos de medición continua de  $MP_{2,5}$  y hollín fueron incorporados dentro de la campaña de invierno para conocer el perfil diario de concentración e influencia de algunas fuentes emisoras durante el recorrido por algunas calles de la ciudad. Fotografías de los equipos monitores se muestran a continuación.



Figura 14. Equipos utilizados para el monitoreo continuo de hollín (izquierda) y  $MP_{2,5}$  (derecha).

### Monitoreo Pasivo de Gases

El monitoreo de gases  $SO_2$  y  $NO_x$  fue realizado con la utilización de muestreadores pasivos desarrollados por el Instituto Sueco IVL. Estos muestreadores fueron instalados en diferentes puntos estratégicos de la ciudad, con la finalidad de obtener una distribución espacial de la concentración de los gases, con un resultado promedio de concentración de acuerdo con el período de exposición. La exposición fue de una semana aproximadamente, de acuerdo con los requerimientos del fabricante. Una fotografía de los muestreadores pasivos se entrega a continuación.

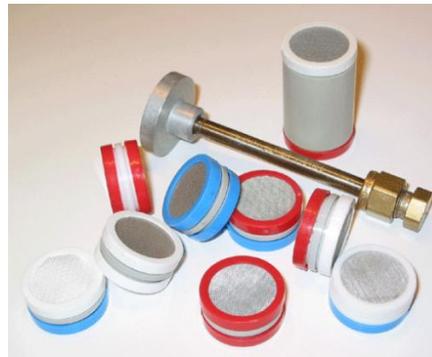


Figura 15. Muestreadores pasivos IVL.

### Resultados campaña de monitoreo.

#### Análisis meteorológico

El procesamiento de la información meteorológica relativa a los parámetros: velocidad, dirección, temperatura, humedad y precipitaciones de la estación meteorológica de la Universidad de Católica, ha entregado los resultados mostrados a continuación.

El perfil promedio diario de velocidad del viento es mostrado en la Figura. Es posible observar mayores velocidades entre las 9 y las 18 horas, producto del calentamiento de la superficie terrestre debido a la mayor disponibilidad de radiación solar. Se observan velocidades altas incluso durante los meses de junio y julio, donde el promedio de temperatura decrece entre 10 y 15 °C con respecto a los medidos durante enero y febrero. Si bien, las velocidades altas son esperables para un clima subtropical, también puede haber relación con un offset de las mediciones de velocidad de viento.

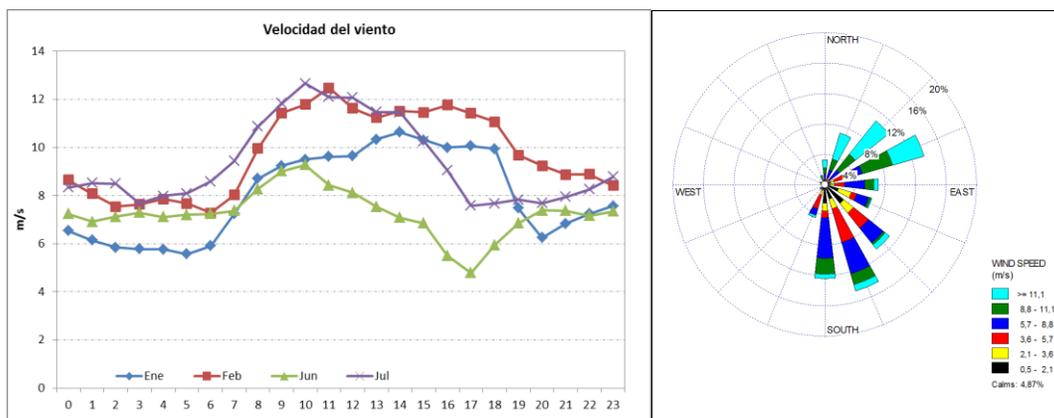


Figura 16. Izquierda, perfil de velocidad promedio diario en Asunción. Derecha, rosa de viento para el mes de marzo 2010.

Como se mencionó anteriormente, existe una diferencia considerable en la temperatura de al menos 10°C entre los meses enero-febrero con Junio-julio, no obstante no hay una diferencia considerable en la humedad relativa.

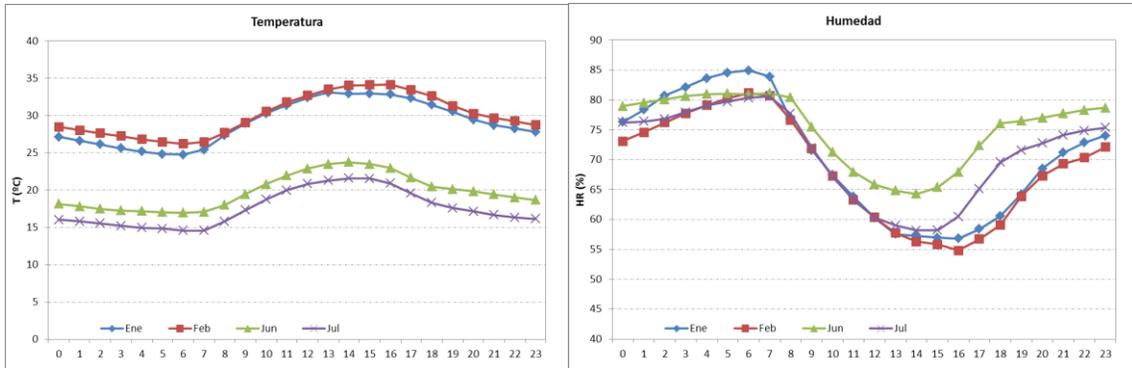


Figura 17. Izquierda, perfil promedio diario de temperatura. Derecha, humedad relativa medida durante meses del año 2010 en Asunción.

El análisis de dirección del viento es entregado por las rosas de viento de la Figura18. Es posible indicar que durante la noche predominan vientos con componente Noreste (NE) y Este Noreste (ENE), en tanto que en la medida que la radiación solar comienza a calentar la superficie terrestre, adquiere fuerza los vientos con componente Sur Sureste (SSE) y Sur (S). Los vientos con componente Norte debieran ser consecuencia de la influencia del Río de la Plata, en tanto que los con componente Sur obedecen más bien a patrones meteorológicos regionales, con una marcada influencia del océano Atlántico.

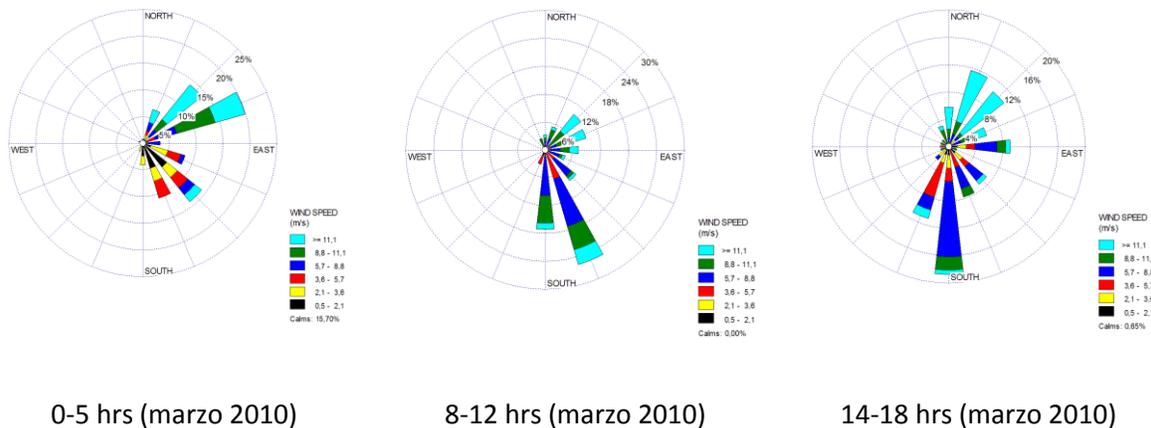


Figura 18. Rosas de viento medidas en Asunción para el mes de marzo 2010.

Existen precipitaciones durante todo el año, en especial concentradas en los meses de noviembre y diciembre, lo que obedece a un clima subtropical. Las precipitaciones se dan principalmente con vientos provenientes de SE, indicando una marcada influencia del océano Atlántico.

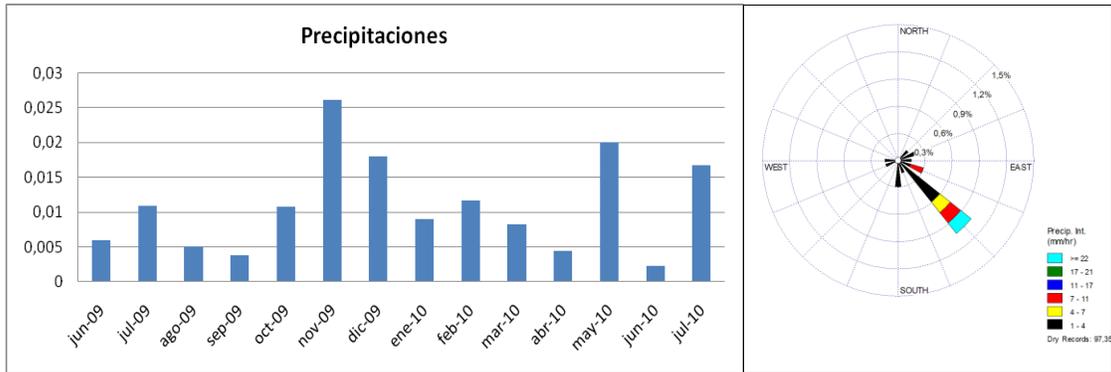


Figura 19. Izquierda, precipitaciones promedio (mm). Derecha, rosa de precipitaciones, Asunción

En resumen, se puede afirmar que Asunción presenta buenas condiciones de ventilación prácticamente durante todo el año, con velocidades de vientos altas y alta pluviometría que favorecen la dispersión y remoción de contaminantes.

### Análisis de concentraciones de MP<sub>2,5</sub>

Los resultados de concentración de MP<sub>2,5</sub> se muestran en la Figura 20, para los 3 sitios de monitoreo. Se comparan las concentraciones promedio de 24 horas para la fracción fina del material particulado obtenidas en Asunción, contrastadas con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de la agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés).

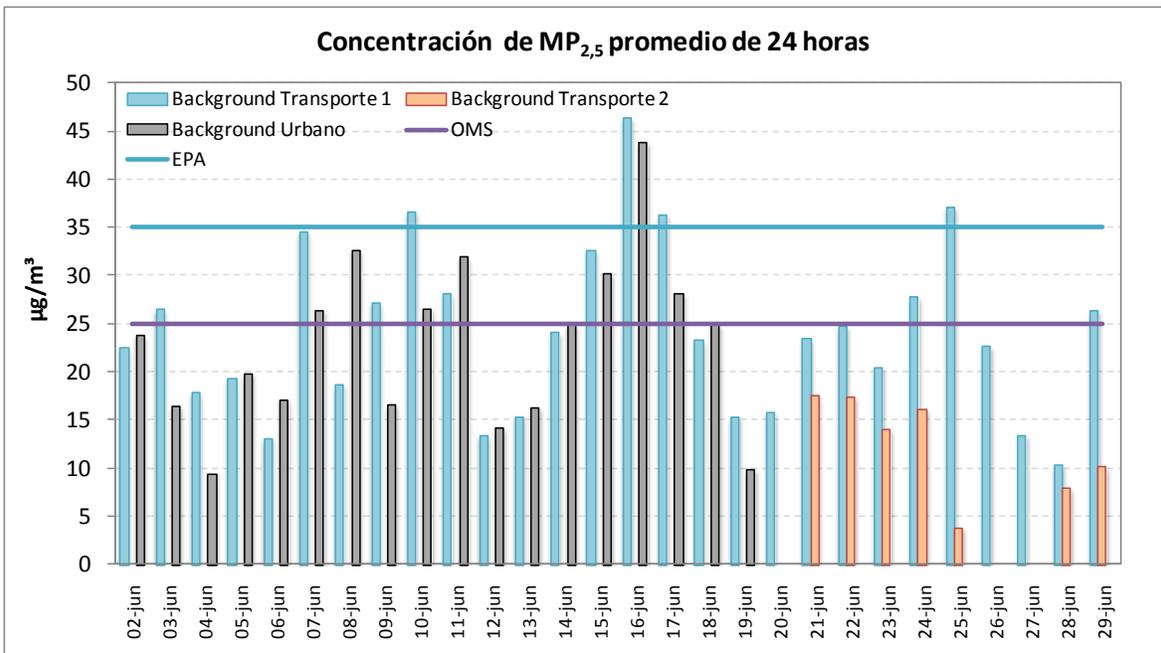
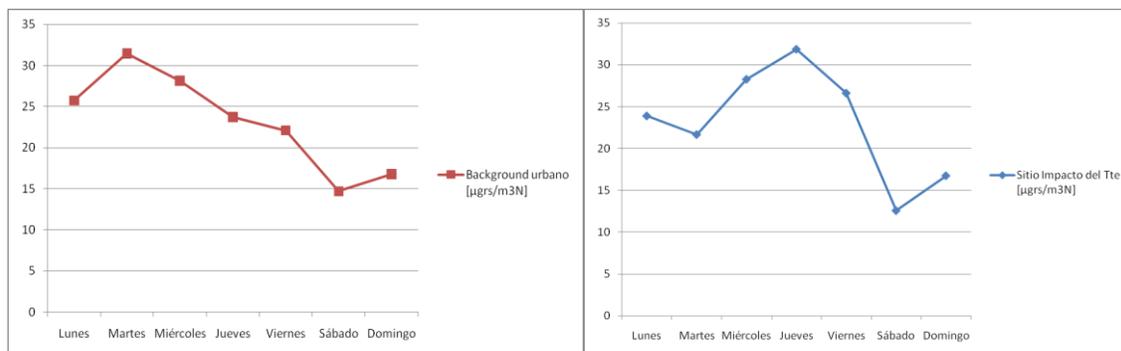


Figura 20. Concentraciones de  $MP_{2,5}$  promedio de 24 horas ( $\mu g/m^3$ ), Asunción 2010.

Es posible observar, tanto en los sitios de transporte como urbano, varios días sobre los valores límites establecidos, representando en total un 39% de superación. Como tendencia general se afirma que los estándares de 24 horas (EPA y OMS aquí mostrados), obedecen a la protección de la población con respecto a los efectos agudos sobre la salud de las personas. Producto de esto, el estándar de 24 horas presenta usualmente un 98% de excedencia en un año, sin embargo de acuerdo con el análisis meteorológico llevado a cabo en la sección anterior, las condiciones de ventilación son más bien constantes durante todo el año en Asunción, por lo que es posible inferir que el mes de junio debiera ser bastante similar a los otros meses del año. Si esto fuese correcto se puede estimar un incumplimiento de los niveles EPA y OMS durante el año.

El análisis del perfil semanal de concentraciones de  $MP_{2,5}$  es mostrado en la Figura 21. Para ambos sitios, las concentraciones de  $MP_{2,5}$  disminuyen en los días de fin de semana, lo que daría cuenta de una disminución en el uso del transporte. Mientras que para el sitio Background Transporte el perfil semanal indica que aumentan a mediados de la semana (miércoles y jueves), comienzan a disminuir desde el día viernes, sin embargo, para el sitio Background Urbano, las concentraciones disminuyen gradualmente desde el día martes hasta el día sábado.



(a) Sitio Background Urbano

(b) sitio Background Transporte 1

Figura 21. Perfil semanal de concentraciones de MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>).

Conocer la composición química del MP<sub>2,5</sub> es especialmente útil en estudios de contaminación atmosférica, debido a que permite la identificación de posibles fuentes emisoras más relevantes. El análisis de composición química de las muestras se entrega en la Tabla para las ciudades de Asunción y Santiago de Chile<sup>17</sup>. Ésta considera solo mediciones realizadas durante el mes de junio, para facilitar una comparación directa. Con el fin de evitar el sesgo de los valores extremos se ha considerado el cálculo con medianas en lugar de promedios.

Cabe mencionar que el sitio Background Transporte 2 tiene solo unos pocos días analizados, y podría no responder exactamente a la mediana mensual. Para todos los elementos y MP<sub>2,5</sub> que están disponibles en ambos lugares simultáneamente, se observaron concentraciones más altas en la ciudad de Santiago que en la ciudad de Asunción. Las altas concentraciones en Santiago son consecuencia de las pobres condiciones de dispersión de contaminantes durante los meses de invierno, escenario característico en esta ciudad. En asunción se esperan mejores condiciones de dispersión, debido a que existen mecanismos eficientes de remoción atmosférica tales como lluvias y humedad.

El aporte para cada elemento a la concentración del MP<sub>2,5</sub> se muestra en la Tabla. Éste puede ser utilizado para identificar en términos relativos algunos tipos de fuentes emisoras. Así, el K<sup>+</sup> (ión potasio) ha sido asociado con la quema de biomasa, sin embargo los resultados disponibles para Santiago y Asunción representan el potasio total (K elemental). A pesar que no se tienen resultados de K<sup>+</sup>, un impacto importante proveniente de la quema de biomasa debería incrementar tanto las concentraciones de K<sup>+</sup> como de K elemental. Por lo tanto, y producto que no existen otras fuentes importantes de K elemental en Santiago y Asunción, la concentración elemental de K de este estudio puede ser utilizada como trazador de quema de biomasa. Los sitios de monitoreo de Asunción (Background Transporte 1 y Background Urbano) mostraron

<sup>17</sup> Los análisis de elementos para Santiago se llevaron a cabo por fluorescencia de rayos X, mientras que para este estudio se utilizó ICP-MS. Ambos métodos analíticos son internacionalmente aplicados, y deberían ser perfectamente comparables.

porcentajes de concentraciones de  $MP_{2,5}$  y elementos considerablemente más altos que Santiago, indicando un importante impacto de este tipo de fuentes.

En Paraguay, la quema de residuos de la caña de azúcar (zafra), es una actividad bastante común, ver Figura22, y podría explicar el alto aporte de potasio al  $MP_{2,5}$ , pese a que es una actividad no desarrollada en la ciudad de Asunción. Si bien la zafra es una actividad de carácter agrícola, y por lo tanto, desarrollada fuera del área urbana, la velocidad del viento es considerablemente alta en Asunción, lo que facilitaría el transporte de masas de aire en grandes distancias. De esta forma es esperable un impacto importante dentro del área urbana, proveniente de masas de alrededores de la ciudad.

El elemento calcio (Ca) mostró un alto porcentaje sólo en el sitio Background Urbano en Asunción, incluso más alto que Santiago. Esto puede ser indicativo de actividades de construcción y en menor grado levantamiento de polvo.

Por otra parte, el sodio (Na) es generalmente asociado con aerosoles marinos, y se observaron porcentajes levemente más altos en el sitio Background Transporte 1.

Finalmente, el zinc (Zn) presenta un porcentaje similar en el sitio Background Transporte 1 y Santiago, y valores bajos en el sitio Background Urbano. Esto indica que puede estar asociado con el uso de combustibles fósiles (diesel, gasolina, etc.), y por lo tanto, en Asunción este elemento puede ser utilizado como trazador del tráfico vehicular.



Figura 22. Zafra, quema de caña de azúcar

Tabla 4. Concentraciones reportadas durante el mes de junio en Santiago (Parque O'Higgins) y los sitios de este estudio. Se comparan las medianas  $\pm$  desviación estándar. "nd" indica no detectado.

Material particulado y elementos	Santiago, Chile		Asunción, Paraguay 2010		
	Parque O'Higgins		Background Urbano	Background Transporte 1	Background Transporte 2
	1999	2010			
MP2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	83 $\pm$ 31.34	66.6 $\pm$ 11.36	24.4 $\pm$ 8.81	23.4 $\pm$ 8.76	14 $\pm$ 5.26
Ag			0.1 $\pm$ 0.6	nd	nd
Al	77.3 $\pm$ 31.46	129.5 $\pm$ 98.03	41.6 $\pm$ 27.61	54.1 $\pm$ 37.64	36.5 $\pm$ 24.97
As			0.1 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.12	nd
Bi			0.1 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.03
Ca	112.2 $\pm$ 60.84	150.2 $\pm$ 30.15	31.2 $\pm$ 142.42	43.5 $\pm$ 24.31	34.1 $\pm$ 9.96
Cd			0.1 $\pm$ 0.14	0.1 $\pm$ 0.08	0.1 $\pm$ 0.04
Cr	4 $\pm$ 2.94	2.5 $\pm$ 8.35	nd	nd	nd
Cu	63.8 $\pm$ 27.69	31.9 $\pm$ 43.25	2.3 $\pm$ 1.28	1.5 $\pm$ 0.75	1.2 $\pm$ 0.27
Fe	323.3 $\pm$ 229.91	406.1 $\pm$ 83.42	41.9 $\pm$ 26.18	70.7 $\pm$ 29.28	49.2 $\pm$ 20.13
K	403.7 $\pm$ 177.88	421.8 $\pm$ 87.89	384.3 $\pm$ 207.01	492.6 $\pm$ 229.01	316.5 $\pm$ 126.12
Mg ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )			4.9 $\pm$ 1.76	6.3 $\pm$ 4.32	3.7 $\pm$ 2.22
Mn	17.2 $\pm$ 22.44	20.7 $\pm$ 174.51	2.6 $\pm$ 1.17	3.3 $\pm$ 1.14	2.7 $\pm$ 1.02
Na	43.7 $\pm$ 26.35	209.9 $\pm$ 71.97	54.5 $\pm$ 53.55	77.9 $\pm$ 48.69	49 $\pm$ 20.51
Ni			nd	nd	nd
Pb	328 $\pm$ 199.2	33.9 $\pm$ 10.81	1.4 $\pm$ 1.8	4.2 $\pm$ 2.3	3.4 $\pm$ 1.74
Sb			1 $\pm$ 0.96	1.2 $\pm$ 0.69	0.7 $\pm$ 0.59
V			0.2 $\pm$ 0.07	0.3 $\pm$ 0.17	0.1 $\pm$ 0.07
Zn	111.3 $\pm$ 68.98	65.3 $\pm$ 35.8	15.5 $\pm$ 8.42	15.9 $\pm$ 25.41	nd
Br	122.9 $\pm$ 46.73	15 $\pm$ 6.82			
Si	232.9 $\pm$ 97.9	240.5 $\pm$ 68.19			
S	1240.4 $\pm$ 963.25	801.8 $\pm$ 242.3			

Tabla 5. Aporte (%) de cada elemento al MP<sub>2,5</sub> medido en los sitios Transporte 1 y Urbano (Asunción) y Santiago para el mes de junio del año 2010.

	BACKGROUND TRANSPORTE 1				BACKGROUND URBANO				SANTIAGO			
	Promedio	Std Dev	MIN	MAX	Promedio	Std Dev	MIN	MAX	Promedio	Std Dev	MIN	MAX
Ag	nd	nd	nd	nd	0,0018%	0,0035%	0,0001%	0,0147%				
Al	0,2699%	0,1770%	0,0757%	0,6275%	0,2672%	0,2895%	0,0936%	1,2654%	0,2503%	0,1413%	0,1205%	0,5329%
As	0,0005%	0,0004%	0,0001%	0,0018%	0,0005%	0,0004%	0,0001%	0,0011%				
Bi	0,0004%	0,0003%	0,0001%	0,0012%	0,0007%	0,0005%	0,0002%	0,0022%				
Ca	0,1728%	0,0933%	0,0590%	0,3217%	0,4567%	0,8874%	0,0666%	2,6422%	0,2501%	0,0640%	0,1552%	0,3678%
Cd	0,0005%	0,0004%	0,0000%	0,0015%	0,0005%	0,0005%	0,0000%	0,0012%				
Cr	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,0100%	0,0123%	0,0020%	0,0357%
Cu	0,0068%	0,0037%	0,0019%	0,0148%	nd	nd	nd	nd	0,0778%	0,0645%	0,0302%	0,2058%
Fe	0,3015%	0,1117%	0,1417%	0,6233%	0,1928%	0,1362%	0,0100%	0,5917%	0,6621%	0,2342%	0,4600%	1,1683%
K	1,7768%	0,8615%	0,2421%	3,5658%	1,8378%	1,0372%	0,3027%	4,0499%	0,7527%	0,1640%	0,5294%	0,9780%
Mg	0,0299%	0,0212%	0,0091%	0,1123%	0,0243%	0,0143%	0,0034%	0,0667%				
Mn	0,0141%	0,0041%	0,0068%	0,0212%	0,0117%	0,0056%	0,0025%	0,0237%	0,1296%	0,2511%	0,0138%	0,6952%
Na	0,4101%	0,2181%	0,1997%	1,0797%	0,3711%	0,3105%	0,0856%	1,3839%	0,3881%	0,1242%	0,1740%	0,5248%
Pb	0,0187%	0,0106%	0,0026%	0,0507%	0,0111%	0,0080%	0,0017%	0,0269%	0,0619%	0,0323%	0,0297%	0,1285%
Sb	0,0056%	0,0038%	0,0006%	0,0200%	0,0053%	0,0038%	0,0001%	0,0112%				
V	0,0015%	0,0008%	0,0004%	0,0036%	0,0011%	0,0006%	0,0000%	0,0025%				
Zn	0,1011%	0,1221%	0,0308%	0,4537%	0,0742%	0,0402%	0,0255%	0,1478%	0,1434%	0,1055%	0,0710%	0,3770%
Br									0,0271%	0,0108%	0,0074%	0,0367%
Cl									1,0249%	0,7165%	0,2240%	2,0970%
S									1,2162%	0,3330%	0,7603%	1,6036%
Si									0,4040%	0,1774%	0,2066%	0,7615%

El monitoreo continuo de carbono elemental se llevó a cabo realizando 3 recorridos distintos por las principales avenidas de la ciudad de Asunción. El modo de muestreo consistió en monitorear recorriendo la ruta mostrada en la Figura 23.b. Este tipo de mediciones se conoce internacionalmente como “exposición personal”, y pretende reflejar en términos relativos el impacto de determinadas fuentes emisoras sobre vías que usualmente utiliza la población. Debido a que la principal fuente de hollín (carbono elemental) en Asunción es el tráfico vehicular, caracterizado por ser antigua (recordar sección “Vehículos y combustibles en Paraguay”) es razonable pensar que los máximos mostrados en la serie de tiempo de la Figura 23.a, se deban a emisiones vehiculares de escape. Efectivamente, estos puntos corresponden principalmente a cruces de calles y avenidas con considerable tráfico.

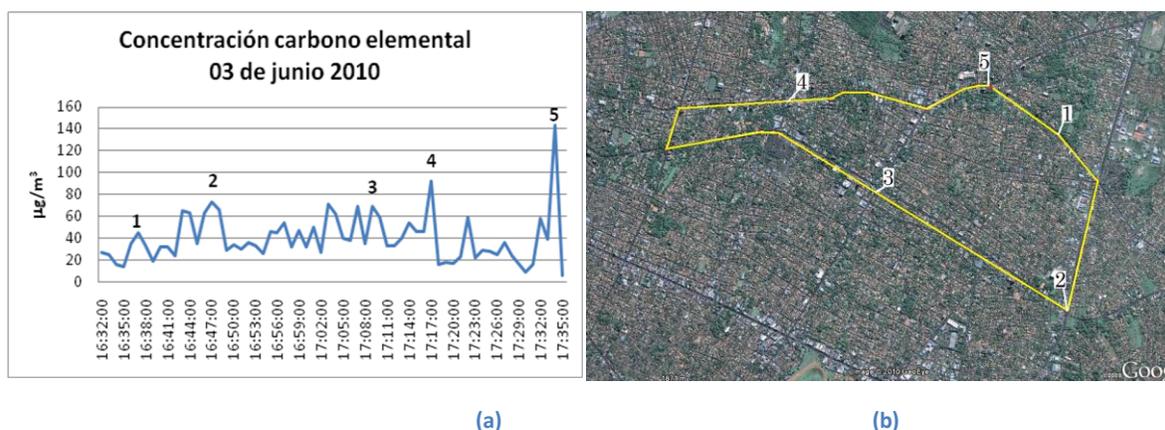


Figura 23. (a) Serie de tiempo obtenida el día 3 de junio en el recorrido de las calles y avenidas Aviadores del Chaco con Santa Teresa, Mariscal Lopez, Brasilia, España, Aviadores del Chaco hasta Santa Teresa. (b) Recorrido completo. Tramo 1: Santa Teresa-Bernardino Caballero, tramo 2: Mariscal López-Madame Lynch, tramo 3: Mariscal López-Rep. Argentina, tramo 4 España-Sacramento, tramo 5: Santa Teresa-Aviadores del Chaco.

La influencia vehicular en las mediciones de hollín puede ser observado en la Figura. Estas mediciones fueron realizadas durante aproximadamente un día en el sitio Background Transporte 1. Se puede observar altas mayores concentraciones de hollín durante el día (entre las 17 y las 20 hrs), y menores durante la noche (entre las 6 hrs). Este ciclo se repite, y obedece al perfil vehicular reportado a partir de la caracterización vehicular mostrada en la Tabla <sup>18</sup>.

<sup>18</sup> El esquema de conteo fue configurado para 3 períodos, 2 horarios peak (7.00-8.00 y 17.00-18.00, respectivamente) y un horario fuera de punta (12.00-13.00).

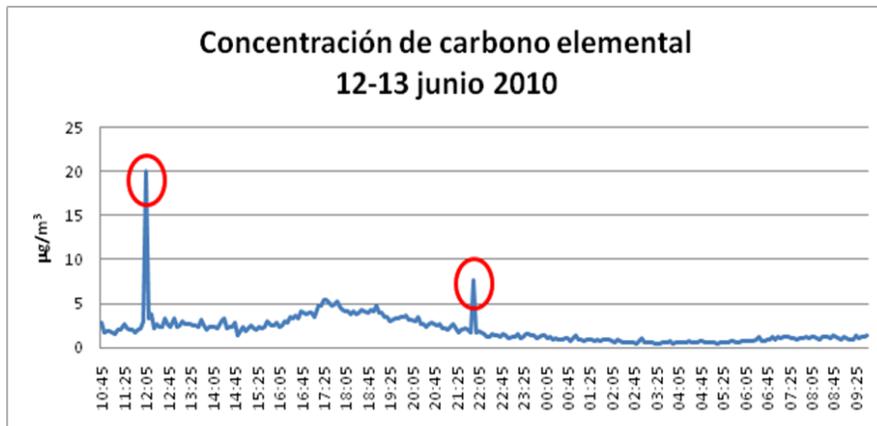


Figura 24. Serie de tiempo obtenida en el fin de semana del 12-13 de junio, 23 horas de muestreo.

Tabla 6. Resultados del conteo de vehículos.

Tipo de vehículo	Horario		
	7.00 - 8.00	12.00 - 13.00	17.00 - 18.00
Automóvil	1.020	733	933
Motocicleta	166	117	244
Bus	63	51	68
Camión	94	117	120
<b>Total</b>	<b>1.343</b>	<b>1.018</b>	<b>1.365</b>

Para finalizar el análisis de material particulado se puede observar que el impacto del transporte es significativo no solo en las concentraciones de hollín, sino también en las mediciones de MP<sub>2,5</sub>. En la Figura 25 se puede observar que la concentración durante los fines de semana decae considerablemente, en comparación con las medidas dentro de la semana. Estos resultados concuerdan con los presentados en la Figura 21, y además se puede corroborar la influencia del tráfico vehicular al notar que los máximos atribuidos al incremento del flujo son mayores durante los días de semana.

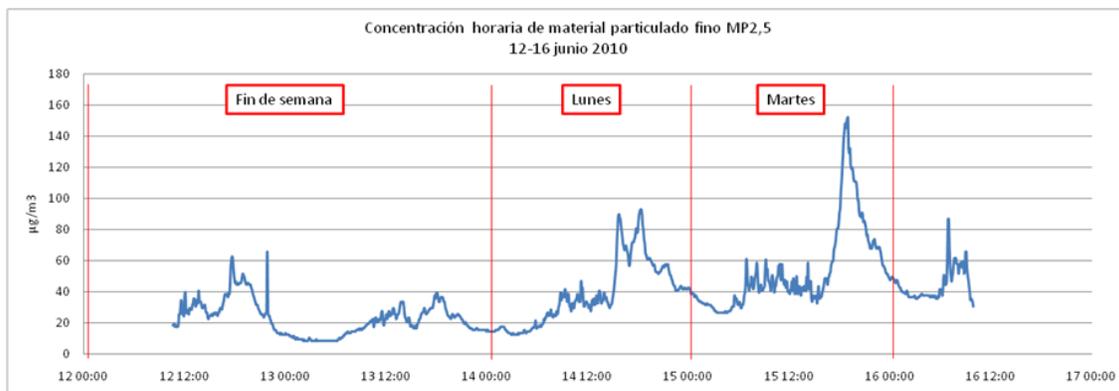


Figura 25. Serie de tiempo de MP<sub>2,5</sub> obtenida de 12 a 16 junio en sitio Background de Transporte

**Distribución espacial de gases en Asunción**

Adicionalmente al muestreo discreto, se contó con una red de 20 monitores para muestreo de gases (SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>). Estos monitores fueron ubicados en las principales vías de la ciudad y estuvieron expuestos durante 10 días, desde el 8 al 18 de junio de 2010. La red de monitores se muestra en la Figura 26.



**Figura 26. Red de tubos pasivos de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>**

**Tabla 7. Ubicación de la red de monitores de gases.**

Monitor	Ubicación	Monitor	Ubicación
1	Artigas-Tomas Lombardo	11	Av. Fernando de la Mora
2	Traschaco	12	Mariscal López - Brasil
3	Perón - Argoña	13	Aviadores del Chaco - Madame Lynch
4	Eusebio Ayala - Coronel Aguiar	14	Cerro Cora - Brasil
5	Mariscal López - Venezuela	15	Sacramento - Cervantes
6	Primer presidente - Carlos Antonio López	16	Mariscal López
7	Santa Teresa - Aviador	17	Mariscal López - San Martín
8	Av. España - Coronel Araya	18	Mariscal López - Legión civil
9	Colón Ygatimi	19	España - San José
10	Mariscal López-Sta. Teresa	20	Eusebio Ayala - José de la Cruz

El óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) están asociados a emisiones del transporte, principalmente del diesel.

En la Figura 27 se entrega la distribución espacial de concentraciones obtenidas de los gases en los 20 puntos de monitoreo de la ciudad de Asunción. Se observa una distribución homogénea de estos contaminantes sobre toda la zona urbana, lo que significa un impacto generalizado del transporte.

Ciertos puntos de concentración, en especial Primer presidente - Carlos Antonio López, presentan máximos de concentración para NO y SO<sub>2</sub>, indicando el impacto más fuerte del transporte. Contrariamente, el NO<sub>2</sub> se encuentra distribuido en forma homogénea sobre toda la ciudad, producto que hay mayor nivel de transformación atmosférica (oxidación).

El promedio de concentración de NO<sub>2</sub> para este período de muestreo fue de 39,1 µg/m<sup>3</sup>N. La recomendación de norma anual por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para este gas de 40 µg/m<sup>3</sup>N.

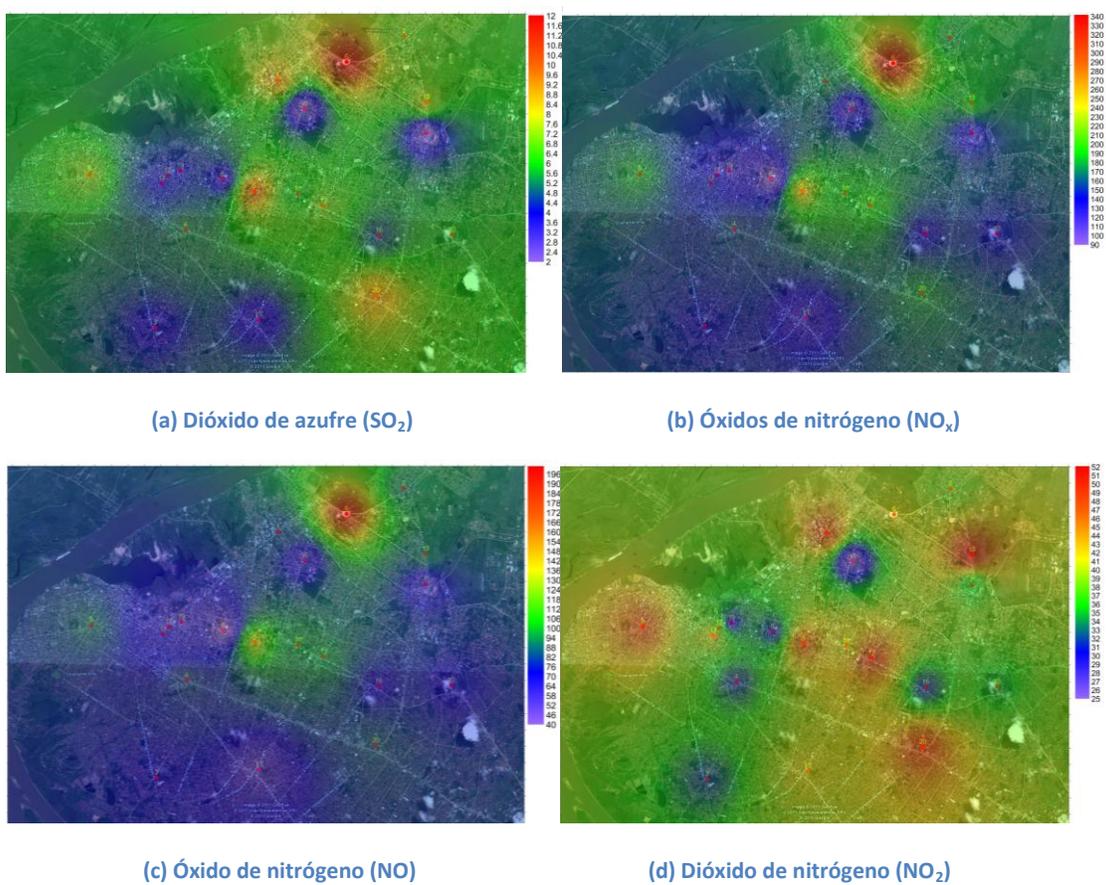


Figura 27. Concentraciones µg/m<sup>3</sup> de gases obtenidas en la ciudad de Asunción

### Toxicidad relativa del material particulado

Se tomaron, paralelamente, muestras de material particulado grueso (10-2.5 µm), fino (2.5-1.0 µm) y ultrafino (< 1.0 µm), para análisis toxicológicos.



Figura 28. Espuma de poliuretano (EPUs) y filtro de material particulado ultrafino después de muestreo.

La campaña de monitoreo fue realizada entre el 1 y el 30 de junio del 2010 y contempló 3 sitios. Un sitio de background urbano (BU) y dos sitios de background de transporte (BT1 y BT2).

Tabla 8. Fecha de inicio y término del monitoreo de material particulado para análisis toxicológicos

Sitio de monitoreo	Fecha de inicio	Fecha de término
Background Transporte 1	01-06-2010	08-06-2010
Background Urbano	02-06-2010	08-06-2010
Background Transporte 2	21-06-2010	30-06-2010

### Metodología de evaluación

El método de evaluación de la toxicidad del material particulado (MP) consistió en coleccionar semanalmente muestras de MP en un sustrato denominado “espuma de poliuretano (EPU)”. Estas espumas presentan una serie de ventajas respecto a los filtros usados comúnmente. Las EPU evitan el rebote de las partículas y no necesitan la aplicación de aceites u otros compuestos que retengan las partículas. Una vez que las EPU contienen el material particulado es posible extraer dicho material usando metanol. Este solvente permite la obtención de una gran cantidad de masa de las EPU contribuyendo al elevado rendimiento de extracción característico de este sustrato. Los análisis para toxicología se realizan con ratas de la cepa *Sprague Dawley*.

Una vez que el material particulado es extraído, es re-suspendido en solución salina (NaCl 0.9%). Tres ratas por grupo (triplicado) reciben esta solución directamente en sus pulmones vía instilación intratraqueal. Todas las ratas reciben el mismo volumen de solución pero distintas dosis de MP re-suspendido. Las dosis recibidas son proporcionales a la concentración de MP en el aire durante la semana de monitoreo. Por cada  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de MP en la atmósfera, la rata recibe 1 miligramo de MP en sus pulmones, dichas dosis han sido probadas con anterioridad y demostraron generar respuestas lineales y comparables.

Una vez que las ratas son instiladas con la solución, viven con el MP en sus pulmones durante 24 horas, durante este tiempo el MP es capaz de producir un daño pulmonar agudo medible. Transcurrido este periodo, las ratas son sacrificadas y tres marcadores de daño pulmonar agudo son medidos en el lavado broncoalveolar. Los marcadores de daño corresponden a: proteína total, que da cuenta de la destrucción celular en los pulmones ya que es medida en el medio extracelular, un aumento de dicho marcador refleja un mayor daño en los pulmones<sup>19</sup>. La actividad de la enzima Lactato Deshidrogenasa (LDH), al igual que las proteínas da cuenta del daño pulmonar agudo. Esta enzima es estable en el medio extracelular y la medición de un producto coloreado da cuenta de la actividad de dicha enzima<sup>20</sup>. El conteo celular es un marcador de inflamación y la concentración de las células en el lavado broncoalveolar es dependiente de procesos inflamatorios desencadenados debido a la exposición del material particulado<sup>21</sup>, ver Figura .

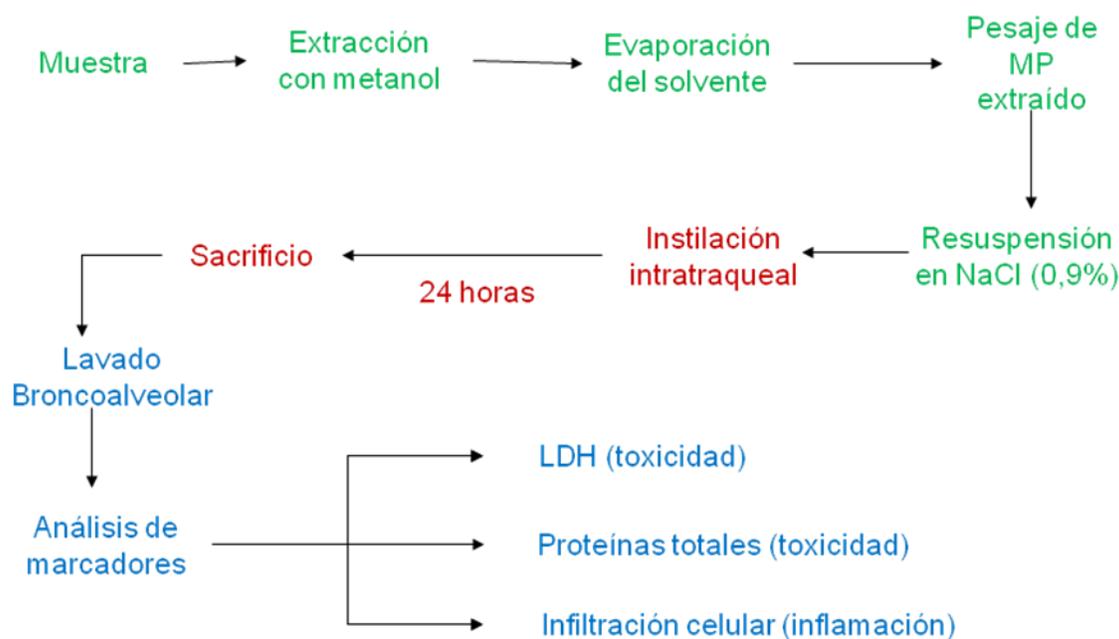


Figura 29. Pasos experimentales en la preparación de muestras de material particulado, la instilación intratraqueal y el análisis en ratas. El esquema resume los pasos necesarios para la obtención de muestras y la realización de los ensayos toxicológicos en ratas. En color verde se presenta la fase de colección y preparación de las muestras; en color rojo se presenta la fase de exposición de la muestras y el color azul se presenta la fase de evaluación de las muestras.

<sup>19</sup> Grossblatt. (1989). Biologic Markers in Pulmonary Toxicology, Subcommittee on Pulmonary Toxicology, Committee on Biologic Markers, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission on Life Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C.

<sup>20</sup> Drent, M., Cobben, N. A. M., Henderson, R. F., Wouters, E. F. M. and Van Diejzen-Visser, M. (1996). Usefulness of lactate dehydrogenase and its isoenzymes as indicators of lung damage or inflammation. Eur Respir J. 9: 1736-1742.

<sup>21</sup> Tzortzaki, E. G., Lambiri, I., Vlachaki, E. and Siafakas, N. M. (2007). Biomarkers in COPD. Current medicinal Chemistry. 14: 1037-1048.

Todos los resultados fueron comparados usando el test estadístico *T de Student* y las diferencias se consideraron significativas cuando alcanzaron un valor p menor o igual a 0.05.

### Resultados y Discusión

Para calcular las dosis de material particulado que son instiladas a los animales es necesario conocer la concentración de MP medida durante el periodo de monitoreo. Se efectuaron comparaciones entre las concentraciones obtenidas con los equipos Tox Sampler y Harvard Impactor.

Usando el Tox Sampler fue posible obtener la concentración de la fracción de partículas MP10, la fracción gruesa MP<sub>2.5-10</sub> y la fracción fina MP<sub>2.5</sub> separadamente. Con el Harvard Impactor fue posible obtener la concentración de la fracción fina usando filtros que fueron pesados antes y después del monitoreo (Tabla).

**Tabla 9. Concentraciones de material particulado en los tres sitios de monitoreo, considerando dos métodos de monitoreo (Tox Sampler y Harvard Impactor).**

Fracción del material particulado (MP)	Sitio de monitoreo	Monitoreo de MP con equipo Tox Sampler $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Monitoreo de MP con equipo Harvard Impactor $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MP $>_{10}$	Background Urbano	10,46	
	Background Transporte 1	10,40	
	Background Transporte 2	18,15	
MP Grueso (MP <sub>2.5-10</sub> )	Background Urbano	13,73	
	Background Transporte 1	12,87	
	Background Transporte 2	17,81	
MP Fino (MP <sub>2.5</sub> )	Background Urbano	12,01	20,9
	Background Transporte 1	11,91	21,8
	Background Transporte 2	12,10	12,5

Al comparar los resultados de concentración de MP fino (MP<sub>2.5</sub>) obtenidos con los dos métodos de monitoreo observamos claras diferencias (Figura). Considerando que el Harvard Impactor es un equipo diseñado para coleccionar muestras de MP que posteriormente serán pesadas, se utilizaron los datos entregados con este método de colección para el cálculo de dosis instiladas en los animales de laboratorio.

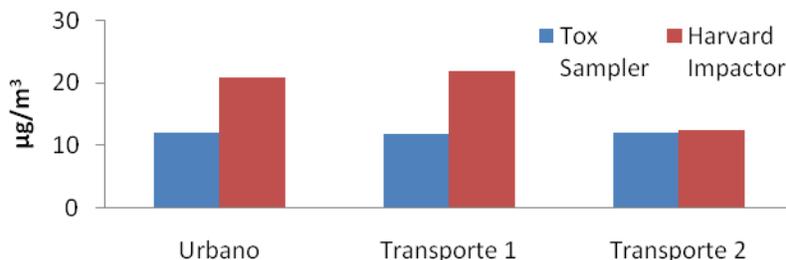


Figura 30. Comparación de las concentraciones de material particulado fino usando dos métodos de monitoreo (Tox Sampler y Harvard Impactor).

Las dosis entregadas a cada rata se presentan en la Tabla . Dichas dosis fueron proporcionales a las concentraciones medidas durante la semana de monitoreo, tanto para el MP fino como para el MP grueso.

Tabla 10. Dosis de material particulado grueso y fino instilado por rata. Cada grupo de animales recibió distintas dosis de material particulado en un volumen de 500 µl de solución salina.

Fracción del MP	Sitio del monitoreo	Miligramos instilados por cada rata
<b>Grueso</b>	Background Transporte 1	0,257
	Background Urbano	0,275
	Background Transporte 2	0,356
<b>Fino</b>	Background Transporte 1	0,436
	Background Urbano	0,418
	Background Transporte 2	0,250

Los marcadores medidos muestran el efecto tóxico del material particulado en los pulmones de las ratas instiladas (Figura , Figura y Figura). Para el marcador “proteína” las muestras capaces de generar las mayores magnitudes y diferentes respecto al grupo control de manera significativa, fueron las colectadas en los sitios cercanos al transporte, específicamente la fracción gruesa de dichas muestras (Figura ). Para el marcador “LDH”, todos los resultados mostraron una alta variabilidad y sólo la muestra de MP grueso urbano fue estadísticamente significativa respecto al grupo control (Figura ). Para el marcador “conteo celular” las diferencias entre el grupo control y los grupos tratados son estadísticamente significativas para todas las muestras excepto para la fracción fina en el sitio transporte 2 (Figura).

CALIDAD DEL AIRE EN ASUNCIÓN, PARAGUAY

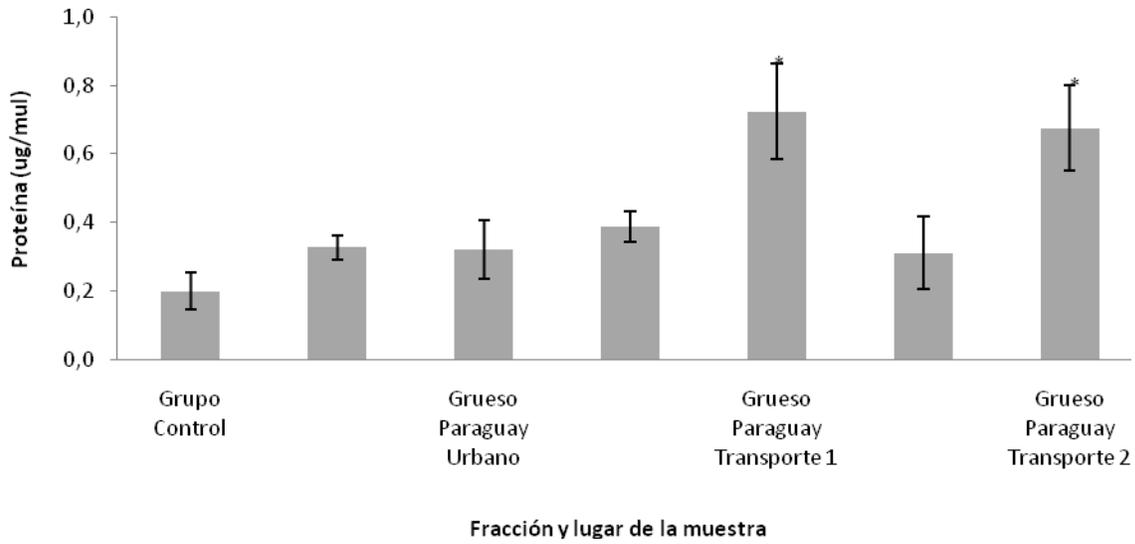


Figura 31. Concentración de proteínas en el lavado broncoalveolar de ratas tratadas con muestras de material particulado proveniente de Asunción. \*=  $p < 0.05$ .

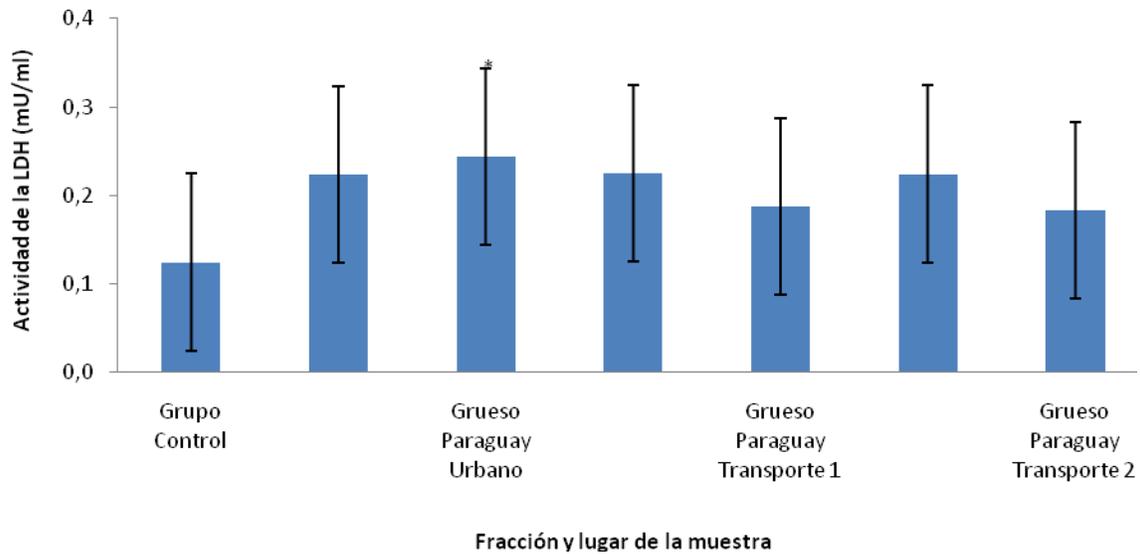


Figura 32. Actividad de la enzima LDH en el lavado broncoalveolar de ratas tratadas con muestras de material particulado proveniente de Asunción. \*=  $p < 0.05$ .

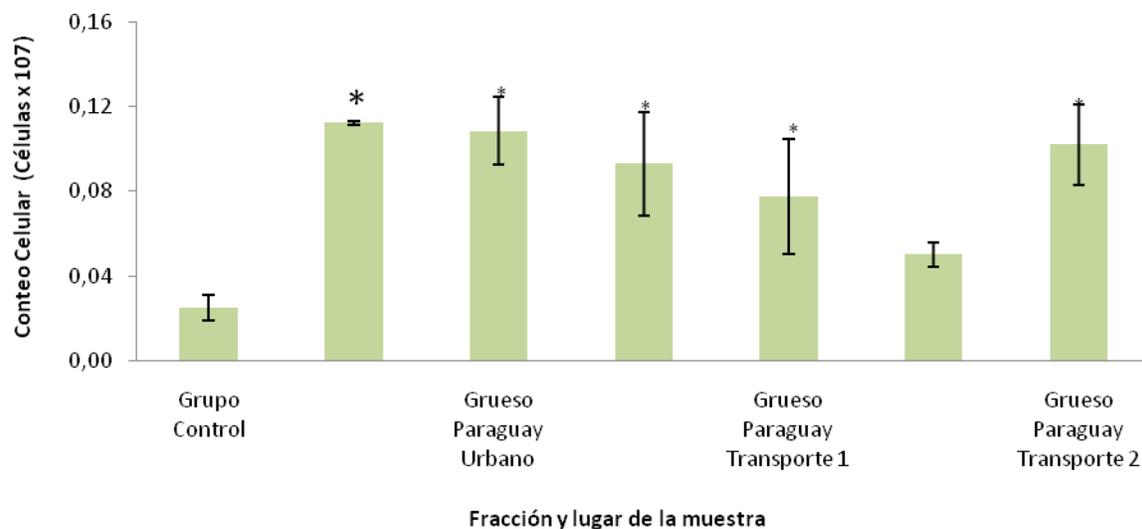


Figura 33. Conteo celular en el lavado broncoalveolar de ratas tratadas con muestras de material particulado proveniente de Asunción. \* =  $p < 0.05$ .

Los resultados mostraron una toxicidad relativa mayor de la fracción gruesa respecto a la fina. El método de evaluación toxicológica no permite incluir la variable “tamaño de partícula” ya que las muestras fueron re-suspendidas en líquido para ser instiladas y nos son respiradas directamente por las ratas. Considerando esta característica del método de evaluación, generalmente los sitios de transporte resultaron ser responsables de una toxicidad relativa mayor.

Para interpretar los resultados obtenidos en este análisis, las magnitudes de los diferentes marcadores fueron comparadas con resultados obtenidos con anterioridad en un proyecto desarrollado en las ciudades de Santiago y Concepción de Chile, durante el año 2008<sup>22</sup>. Para comparar la toxicidad relativa de las muestras se obtuvo el cociente entre la magnitud entregada por el marcador y la magnitud entregada por el grupo control asociado a cada medición (Figura ).

<sup>22</sup> Análisis de la Toxicología de los Contaminantes del Material Particulado MP10 y MP2.5”. 2009. Centro Premio Nobel Mario Molina Chile.

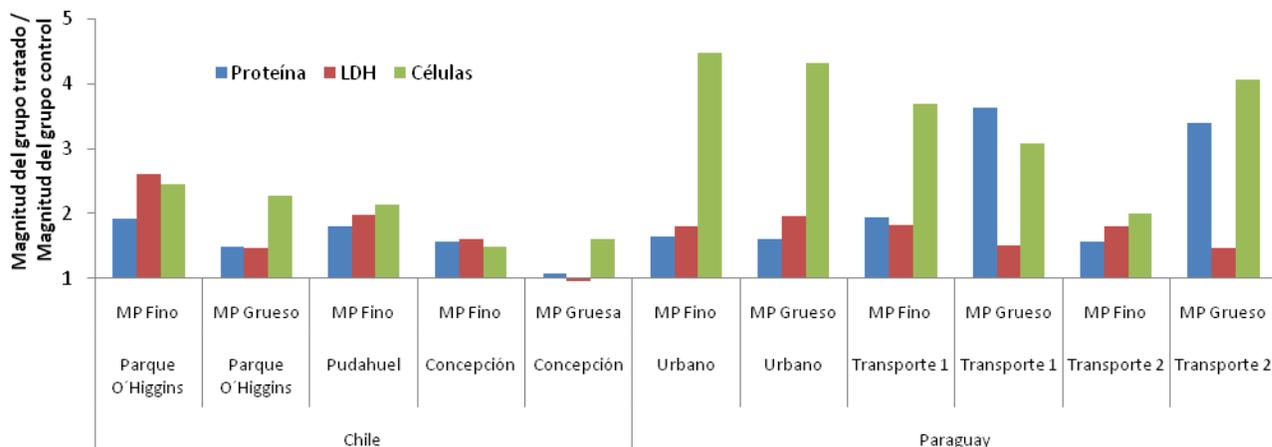


Figura 33. Toxicidad relativa comparada entre muestras provenientes de Santiago de Chile durante el año 2008 y muestras provenientes de Asunción durante el 2010.

De acuerdo a la comparación realizada, las muestras provenientes de la ciudad de Asunción resultaron tener un potencial tóxico pulmonar agudo mayor que las muestras analizadas en Chile durante el año 2008. Para establecer una comparación más profunda entre ambas evaluaciones, se analizó la

Sitio	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		Elementos $\text{ng}/\text{m}^3$							
	$\text{MP}_{2.5}$	K	Na	Al	Fe	Mg	Pb	Mn	V	Bi
Background Urbano	20.87	20.84	4.00	2.49	2.00	0.21	0.14	0.12	0.01	0.009
Background Transporte 1	21.83	19.90	4.25	1.57	2.87	0.36	0.28	0.14	0.02	0.003
Background Transporte 2	12.47	11.04	2.07	1.78	2.26	0.17	0.16	0.11	0.01	0.004

se analizó la composición elemental para ambos estudios. En la

se muestra la concentración de los elementos obtenidos en el estudio realizado en Asunción. Los elementos mostrados corresponden a aquellos presentes en los dos estudios y que cumplen con requisitos estadísticos como la existencia de un número de filtros analizados exitosamente y el reporte de valores superiores al límite de detección.

Tabla 11. Concentración de  $\text{MP}_{2.5}$  y diversos elementos en los tres sitios de monitoreo dispuestos en Asunción.

Sitio	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		Elementos $\text{ng}/\text{m}^3$							
	$\text{MP}_{2.5}$	K	Na	Al	Fe	Mg	Pb	Mn	V	Bi
Background Urbano	20.87	20.84	4.00	2.49	2.00	0.21	0.14	0.12	0.01	0.009
Background Transporte 1	21.83	19.90	4.25	1.57	2.87	0.36	0.28	0.14	0.02	0.003
Background Transporte 2	12.47	11.04	2.07	1.78	2.26	0.17	0.16	0.11	0.01	0.004

Con la concentración de los elementos químicos en el  $\text{MP}_{2.5}$  es posible establecer un valor de aporte relativo obtenido como el cociente entre la concentración del elemento ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) y la concentración de  $\text{MP}_{2.5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Este aporte no es un aporte porcentual ya que las magnitudes de concentración comparadas son diferentes.

En el aporte relativo de las diferentes muestras al  $\text{MP}_{2.5}$  es posible observar que en el estudio realizado en Chile durante el año 2008, todos los elementos aportan en mayor proporción al  $\text{MP}_{2.5}$ , excepto el Potasio (Figura 2, 35, 36 y 37). Este resultado se condice con el análisis realizado en sección anterior.

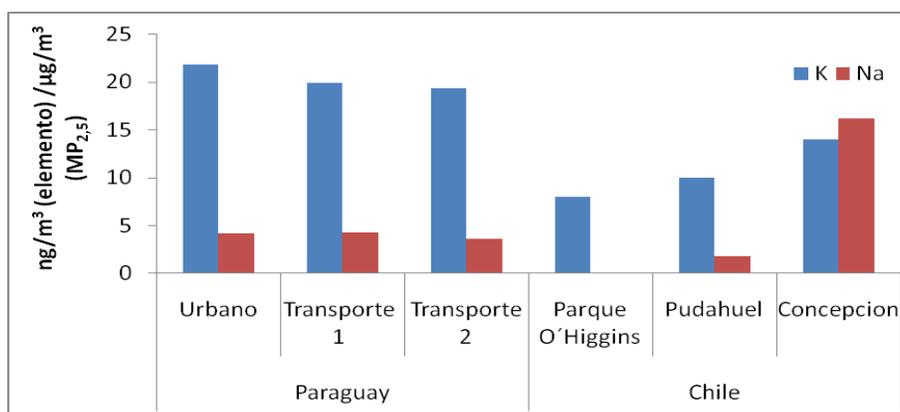


Figura 234. Comparación entre el aporte de potasio (K) y sodio (Na) al  $\text{MP}_{2.5}$  en los distintos sitios de monitoreo de las ciudades de Asunción y Santiago.

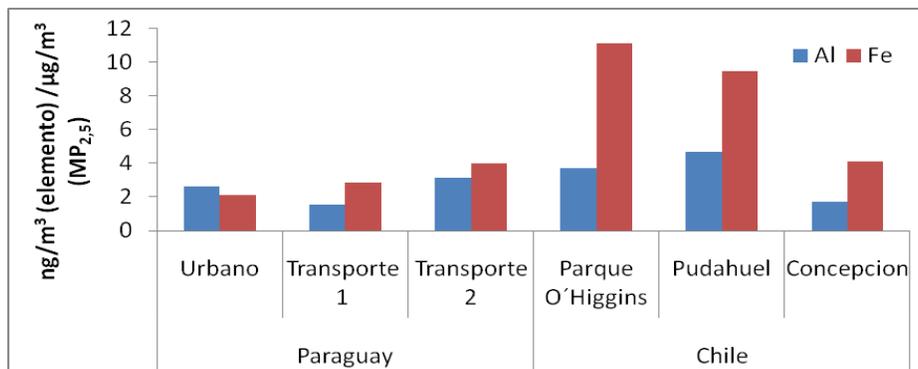


Figura 3. Comparación entre el aporte de aluminio (Al) y hierro (Fe) al  $MP_{2,5}$  en los distintos sitios de monitoreo de las ciudades de Asunción y Santiago.

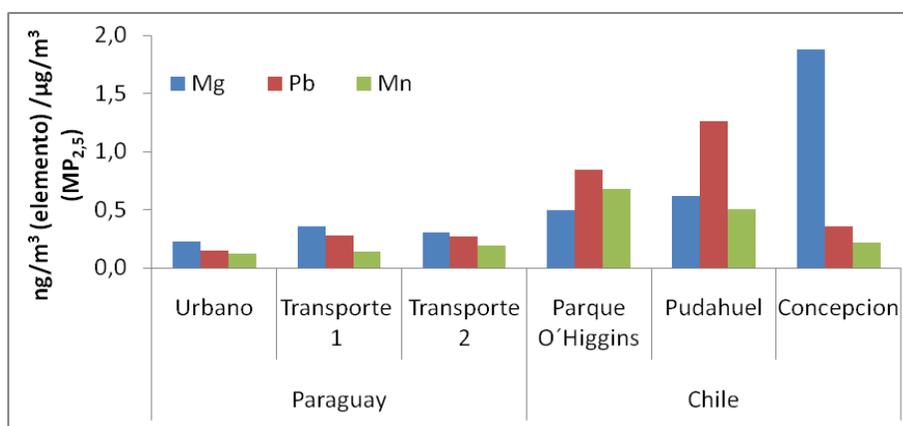


Figura 4. Comparación entre el aporte niveles de magnesio (Mg), plomo (Pb) y manganeso (Mn) al  $MP_{2,5}$  en los distintos sitios de monitoreo de las ciudades de Asunción y Santiago.

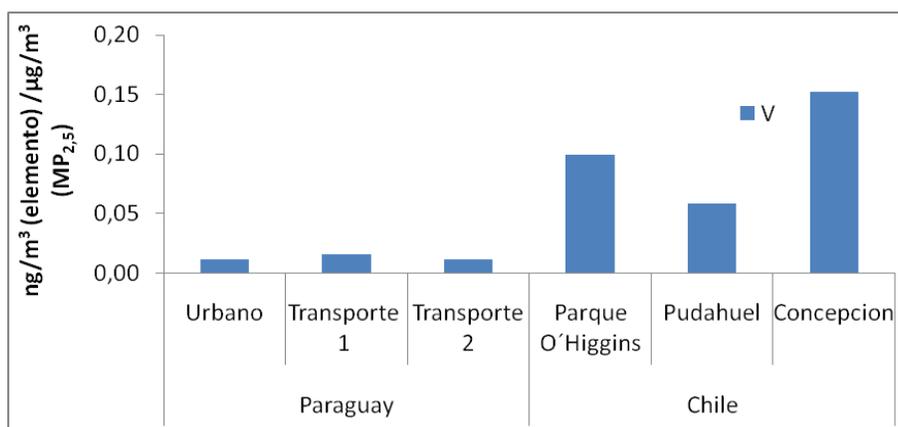


Figura 5. Comparación entre el aporte niveles de vanadio (V) al  $MP_{2,5}$  en los distintos sitios de monitoreo de las ciudades de Asunción y Santiago.

El potasio es un conocido trazador de quema de biomasa<sup>23</sup>, el aporte de este elemento al MP<sub>2.5</sub> podría dar señales de la quema de caña de azúcar (zafra) que tiene lugar en Paraguay. Existe numerosa evidencia que relaciona las emisiones de la quema de biomasa con efectos tóxicos a nivel pulmonar<sup>24</sup>. Este evento no entrega suficiente evidencia para explicar la alta toxicidad relativa observada en Asunción, por lo que es necesario efectuar estudios que consideren un mayor número de muestras y determinen la asociación entre algún elemento y/o fuente contribuyente al MP<sub>2.5</sub> y magnitudes de los marcadores toxicológicos.

Por otro lado, Asunción posee condiciones que podrían explicar la alta toxicidad relativa medida en las muestras analizadas. Las fuentes móviles (parque automotriz) y la calidad de sus combustibles se encuentran muy por debajo a los niveles de calidad existentes en las ciudades chilenas estudiadas. Esta observación se valida con las mediciones de carbono elemental (CE) efectuadas en este estudio, mostradas en sección anterior, donde la concentración de CE alcanza un máximo superior a los 140 µg/m<sup>3</sup> durante un recorrido por la ciudad (figura 23).

Los resultados aquí expuestos, no consideran efectos no pulmonares producidos por el MP<sub>2.5</sub> que han sido ampliamente descritos en estudios epidemiológicos y toxicológicos<sup>25</sup>. En este sentido, se recomienda la prosecución de este tipo de estudios considerando una mayor cantidad de muestras y efectos no analizados en este trabajo.

---

<sup>23</sup> Caseiro, A., Bauer, H., Schmidl, C., Pio, C. A. and Puxbaum, H. (2009). Wood burning impact on PM10 in three Austrian regions. *Atmospheric Environment*. 43: 2186-2195.

<sup>24</sup> Naeher L.P., Brauer M., Lipsett M., Zelikoff J. T., Simpson C. D., Koenig J. Q. and Smith K. R. 2007. Woodsmoke Health Effects: A Review. *Inhal. Toxicol.* 19:67–106.

<sup>25</sup> Pope, C. A. III and Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc.* 56: 709-742.

## Conclusiones generales

A partir de los análisis de las muestras colectadas durante las campañas de monitoreo realizadas en la ciudad de Asunción y de la información recopilada, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- ✚ La población de Asunción está expuesta a niveles de contaminación atmosférica por partículas y dióxido de nitrógeno que pone en riesgo su salud;
- ✚ El transporte tiene un rol importante en este problema;
- ✚ Paraguay está retrasado a nivel latinoamericano en la dictación de normas básicas para el control de la contaminación atmosférica:
  - No cuenta con normas de calidad del aire;
  - No cuenta con normas de emisión para el mercado automotriz;
  - Permite la importación de vehículos usados;

Por otra parte, el diesel utilizado en Paraguay es uno de los de peor calidad ambiental en la región, lo que podría generar un empeoramiento ostensible de la situación de la calidad del aire, fruto del crecimiento de la flota de vehículos, hecho que indica la urgencia de iniciar una gestión de la calidad del aire, comenzando por la dictación de normas de calidad del aire y emisiones, y por otra parte, implementar exigencias a la importación de vehículos usados.

Adicionalmente,

- ✚ Los niveles de concentraciones de contaminantes observados están determinados principalmente por la actividad del transporte y por las precipitaciones.
- ✚ Las emisiones del diesel juegan un rol importante
- ✚ En un día de semana sin lluvia es muy probable que se supere la norma recomendada por la OMS.

- ✚ Al parecer en toda la zona urbana se encuentran niveles similares de  $MP_{2,5}$

## Estudio de prevalencia de síntomas alérgicos nasales y bronquiales en Asunción

La prevalencia de síntomas alérgicos nasales y bronquiales han sido estudiadas en Asunción, a través del proyecto ISAAC (International Study of Asthma and Allergy in Childhood). El estudio evaluó la prevalencia de síntomas nasales y bronquiales en niños de 13-14 años, estudiantes de colegios de la capital, que fueron elegidos al azar. Fueron encuestados alrededor de 3.000 niños entre los años 1998 (Fase I) y posteriormente repetidos en el año 2002 (Fase III).

Los resultados de la fase I mostraron altos índices en la prevalencia de síntomas nasales persistentes (rinitis alérgica) con una prevalencia de alrededor del 34%, que resultó ser la prevalencia de rinitis alérgica más alta en Latinoamérica. Sin embargo, lo más sorprendente fue que al repetir las encuestas en el 2002 durante la fase II, la prevalencia de síntomas nasales persistentes pasó del 34 para el 42%. Estos datos demuestran la alta incidencia de síntomas nasales persistentes en los niños, haciendo que la rinitis alérgica sea considerada en la actualidad como la enfermedad crónica más frecuente en los niños de Asunción.

Los resultados en relación a los síntomas bronquiales persistentes (asma bronquial) mostraron una prevalencia del 19% (fase I) y del 20% (fase III) en niños de 13-14 años. Son datos igualmente altos, sin embargo, con una tendencia a permanecer estables cuando comparados entre ambas fases.

La fase II del estudio ISAAC tuvo por objetivo examinar las probables causas que puedan explicar la alta prevalencia de síntomas alérgicos en el mundo actualmente con clara tendencia al aumento. Las evidencias acumuladas muestran claramente como los cambios ambientales (aumento de las temperaturas, niveles de humedad, alteraciones en la calidad del aire) influyen notoriamente en las prevalencias actuales de alergia. Lo anteriormente expuesto da cuenta de la relevancia de realizar estudios tendientes a la evaluación de las condiciones de la calidad del aire en las áreas urbanas y el establecimiento de niveles máximos aceptables para la población.

**Tabla 12. Tasas de mortalidad por neumonía e influenza en niños menores de 5 años, 1999. Tasas por 100,000 habitantes del grupo de edad.**

Tasa de Mortalidad	País
--------------------	------

## CALIDAD DEL AIRE EN ASUNCIÓN, PARAGUAY

>60	Guyana, Perú
50-59	Ecuador, Republica Dominicana
40-49	El Salvador, Paraguay
30-39	México
20-29	Brasil, Chile, Colombia, Nicaragua, Panamá, Uruguay, Venezuela
10-19	Argentina, Costa Rica
<10	Cuba

## **CAPÍTULO VI. Inventario de emisiones del transporte en Paraguay**

El estudio de la calidad del aire en Asunción ha demostrado que existe un impacto del transporte, el cual podría también observarse en otras zonas urbanas, debido a la antigüedad de la flota de vehículos y a la deficiente calidad de los combustibles.

Para una mejor orientación de las acciones que permitan mitigar los impactos ambientales de este sector, se ha elaborado un primer inventario de emisiones del transporte, en base a la información de flota reportada para el año 2008 por CADAM en noviembre del año 2010<sup>26</sup>.

Este inventario ha sido elaborado empleando el programa COPERT 4, que es un software elaborado para la Agencia de Medioambiente de la Unión Europea por la Universidad de Thessaloniki, y que es ampliamente usado en Europa<sup>27</sup>.

Este es un primer inventario que debe ser mejorado progresivamente en base a mejor información operacional de los vehículos, y si fuera más adelante factible, mediante la incorporación de información de emisiones más representativas. Independiente de esto, el inventario permite identificar las responsabilidades relativas de los distintos medios de transporte en la emisión de contaminantes atmosféricos y de CO<sub>2</sub>, facilitando así el análisis de alternativas que permitan mitigar sus impactos en la calidad del aire.

### **Categorías y número de vehículos**

Se han definido los siguientes sectores de vehículos:

- Passenger cars (automóviles privados);
- Light duty vehicles (camionetas, furgones y vehículos todo terreno);
- Heavy duty trucks (camiones y tracto camiones);
- Buses;
- Motocicletas.

En la siguiente figura se presenta el total de vehículos por sector.

---

<sup>26</sup> CADAM, Situación del parque automotor, Noviembre del 2010.

<sup>27</sup> Más información en <http://www.emisia.com/copert/>

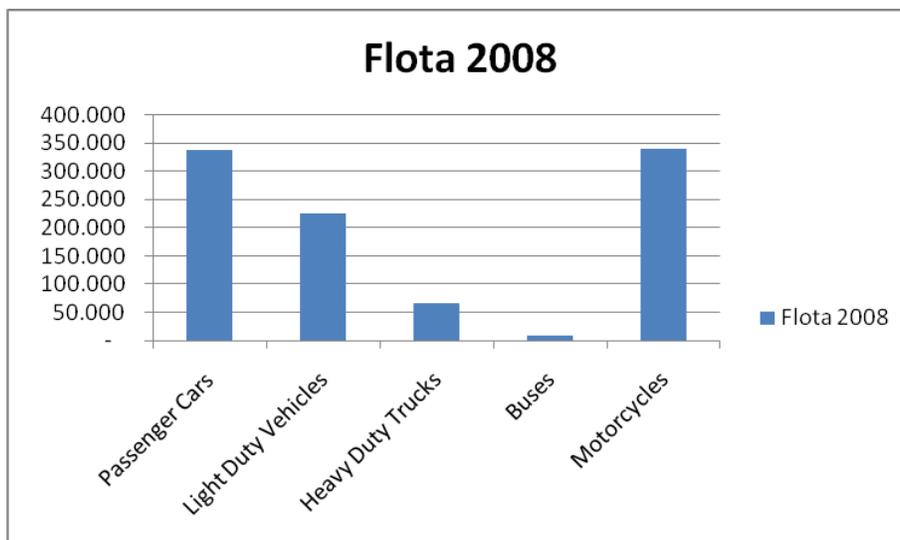


Figura 38. Número total de vehículos por sector

Para cada una de estas categorías se han definido subsectores, como automóviles privados a gasolina y automóviles privados diesel. En la tabla 13 se presenta la flota considerada para el inventario 2008, distribuida por sectores y subsectores, indicándose además la tecnología que representa el subsector.

Para el sector de automóviles privados (passenger cars) se ha considerado que todos los vehículos registrados antes del año 2000 corresponden a vehículos sin tecnología de control de emisiones, con motores de cilindrada menor a 1,4 litros en el caso de los gasolineros y menor de 2 litros en el caso de los diesel. Los automóviles privados registrados entre los años 2000 y 2005 corresponden a tecnología Euro 1, y los registrados posteriormente, a tecnología Euro 2. Del mismo modo se ha procedido con los otros sectores (light duty, heavy trucks y buses), salvo en el caso de las motocicletas, en que se ha considerado que todas las motocicletas tienen motores de 4 tiempos, con cilindrada igual o menor a 250 centímetros cúbicos, y tecnología Euro 1. De acuerdo a CADAM el número de motocicletas puede ser mucho mayor que el registrado, por lo que se ha asumido un tamaño de flota compatible con la demanda de gasolina estimada para el 2008.

Tabla 13. Flota vehicular 2008 por sector, subsector y tecnología.

Sector	Subsector	Technology	Flota 2008
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	Open Loop	27.938
	Gasoline <1,4 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC	46.563
	Gasoline <1,4 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC	10.160
	Diesel <2,0 l	Conventional	83.814
	Diesel <2,0 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC	139.690
	Diesel <2,0 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC	30.478
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	Conventional	74.502
	Diesel <3,5 t	LD Euro 1 - 93/59/EEC	124.169
	Diesel <3,5 t	LD Euro 2 - 96/69/EEC	27.092
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	56.456
	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	1.004
	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	1.366
	Articulated 20 - 28 t	Conventional	6.496
	Articulated 20 - 28 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	109
	Articulated 20 - 28 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	52
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	Conventional	8.205
	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	64
	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	174
Motorcycles	4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	Mot - Euro I	338.840

## Nivel de actividad

Para estimar las emisiones se debe asignar un kilometraje anual promedio por sector y subsector, ya que existen diferencias en el nivel de actividad de los vehículos, dependiendo del uso al que están destinados, siendo los de mayor kilometraje los destinados al transporte de carga y al transporte público.

Se efectuó una asignación preliminar de kilometraje anual por sector y subsector, en base a la información de otros países de la región, y se ajustó de forma tal que coincidiera con las ventas de gasolina y diesel observadas en Paraguay el año 2008.

Tabla 14. Kilometraje anual por sector y subsector.

Sector	Subsector	Technology	Kilometraje anual
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	Open Loop	10.000
	Gasoline <1,4 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC	15.000
	Gasoline <1,4 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC	20.000
	Diesel <2,0 l	Conventional	10.000
	Diesel <2,0 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC	15.000
	Diesel <2,0 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC	20.000
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	Conventional	10.000
	Diesel <3,5 t	LD Euro 1 - 93/59/EEC	15.000
	Diesel <3,5 t	LD Euro 2 - 96/69/EEC	20.000
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	24.000
	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	32.000
	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	32.000
	Articulated 20 - 28 t	Conventional	24.000
	Articulated 20 - 28 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	32.000
	Articulated 20 - 28 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	40.000
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	Conventional	30.000
	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	40.000
	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	40.000
Motorcycles	4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	Mot - Euro I	20.000

Se consideró que salvo los camiones, el resto de los sectores tienen un uso mayoritariamente urbano, y que su velocidad promedio de operación ciudad es de 15 km/hr. Para la estimación de emisiones se consideró el diesel común de 4.000 ppm de azufre.

## Inventario de emisiones del transporte de Paraguay 2008

En base a los antecedentes anteriores, se presenta a continuación las emisiones estimadas por subsector empleando el programa COPERT 4.

Tabla 15. Emisiones estimadas por subsector

Vehicle Type	Emisión [ton/año]			
	CO	NOx	MP	CO <sub>2</sub>
Gasoline Passenger Cars	9.434	603	3	263.401
Diesel Passenger Cars	2.674	3.108	413	832.392
Diesel Commercial	2.735	5.854	451	1.009.525
Buses	1.725	3.100	290	293.543
Trucks	5.531	16.527	799	1.318.518

<b>Motorcycle</b>	84.856	1.855	136	571.380
<b>Total</b>	106.954	31.047	2.093	4.288.758

Junto con validar el inventario mediante la comparación de la demanda estimada de combustible con las ventas observadas en Paraguay, se puede verificar si las emisiones se encuentran en un orden de magnitud similar a otros inventarios de emisiones del transporte. Al comparar las emisiones totales de CO<sub>2</sub> de los sectores “passenger cars” y “light duty vehicles” con el inventario de emisiones de CO<sub>2</sub> de los mismos sectores en Chile, se observa que las emisiones corresponden a un cuarto de las de este último país, que tiene tres veces más vehículos. Si se considera que en Chile los vehículos recorren más kilómetros anuales, y que son en su mayoría gasolineros, se puede explicar la diferencia observada. De acuerdo a esto, el inventario de Paraguay presenta valores dentro de rangos esperables para un país con este tamaño de flota.

Es importante mencionar que el estudio de calidad del aire de Asunción demostró un problema de contaminación por material particulado (MP). No se dispone información de los niveles de monóxido de carbono (CO), pero este es un contaminante con un riesgo menor para la salud que la fracción más fina del MP (MP<sub>2,5</sub>).

Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y MP están relacionadas con el MP<sub>2,5</sub>, ya sea porque son emisiones directas de este contaminante, o porque son precursores de su formación en la atmósfera, tal como se señaló en sección anterior.

Se observan diferencias de responsabilidad entre los sectores y subsectores, ver figura 39. Se observa que las motocicletas son responsables de gran parte de las emisiones de CO, porque la emisión de este contaminante está asociada principalmente a la combustión de gasolina. El aumento explosivo de las ventas de motocicletas puede significar un aumento importante de las emisiones de CO. Internacionalmente se han normado las emisiones de estos vehículos para evitar este impacto. Por ejemplo, en Brasil y Chile rigen hoy las normas Euro III para las motocicletas nuevas.

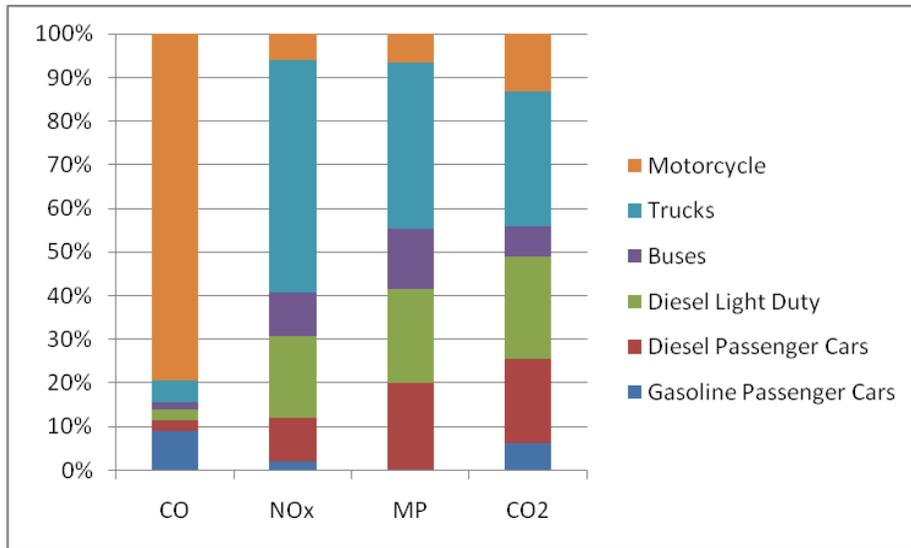


Figura 39. Porcentaje de responsabilidad por sector en la emisión de contaminantes atmosféricos

El transporte de carga tiene la mayor responsabilidad en la emisión de los óxidos de nitrógeno y del MP, pero hay que considerar que parte de las emisiones de este sector son fuera de la ciudad, porque este es el tipo de vehículo que tiende a viajar más en carreteras. En el caso de emisiones urbanas, los buses, automóviles, camionetas y vehículos todoterrenos diesel comparten responsabilidades con el transporte de carga.

Tal como se observa en la siguiente figura, la responsabilidad de los camiones se debe a la mayor antigüedad de este sector en comparación a los demás.

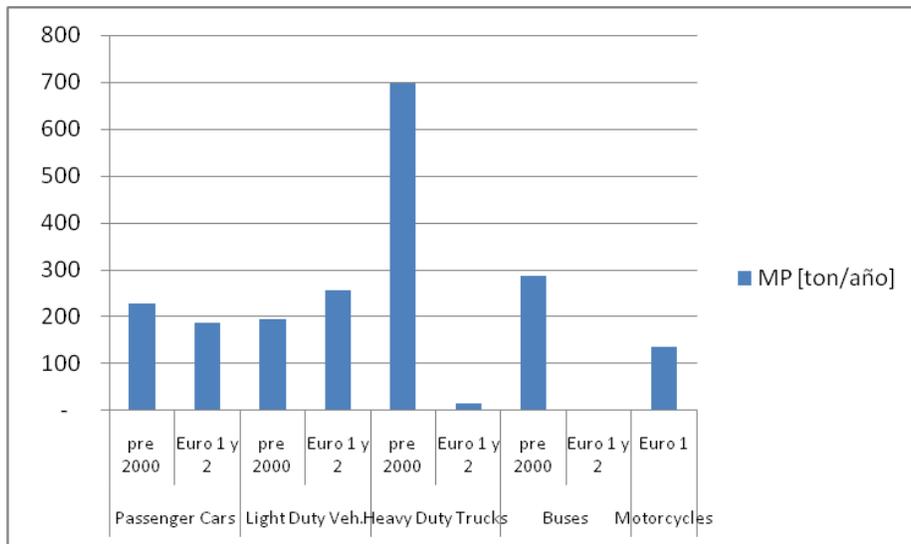


Figura 40. Responsabilidad por sector en la emisión de contaminantes atmosféricos expresados en toneladas de material particulado por año.

## **CAPÍTULO VII. Propuestas para un Plan de Acción para Combustibles y Vehículos más Limpios en el Paraguay**

Junto con las actividades de monitoreo y estudio de la contaminación atmosférica en Asunción, se ha contemplado el apoyo a la Mesa del Aire y la Salud en la identificación y descripción de acciones que permitan avanzar en la gestión de la calidad del aire en el país, con énfasis en la reducción del impacto del transporte.

Los antecedentes recabados como parte de las actividades del PCFV en Paraguay, han permitido comenzar a dimensionar el problema de contaminación atmosférica que afecta a la ciudad de Asunción, y que eventualmente puede repetirse en otras zonas urbanas del país.

Se ha constatado que el marco legal e institucional para la gestión ambiental requiere un reforzamiento que permita contar con herramientas específicas para el control de la contaminación atmosférica.

Por otra parte, se ha demostrado que el transporte juega un rol importante en la contaminación atmosférica urbana, por lo que es necesario avanzar en la implementación de acciones que permitan una reducción progresiva de su impacto.

De acuerdo a la experiencia internacional, se recomienda establecer un Plan de Acción que contemple las siguientes líneas de acción:

-  Establecer una vigilancia de la calidad del aire en zonas urbanas;
-  Generar las condiciones para un crecimiento más sustentable de la flota vehicular;
-  Promover una mayor consciencia de la comunidad respecto del impacto de la contaminación atmosférica en la salud;
-  Generar capacidades técnicas que permitan el desarrollo de estas actividades en el largo plazo.

Se presentan a continuación las recomendaciones elaboradas a partir del encuentro sostenido el día 14 de octubre de 2010 con los miembros de la Mesa de Aire y Salud.

## Establecer una vigilancia de la calidad del aire en zonas urbanas.

A partir de la experiencia internacional, para prevenir o corregir problemas de contaminación atmosférica el Estado debe contar con la capacidad de gestionar la calidad del aire. Para esto requiere de bases legales específicas que permitan una vigilancia de la calidad del aire y un control de las principales fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos. Como se indicó anteriormente, Paraguay no cuenta con un marco legal para la gestión del aire, por lo que se propone la promulgación de una Ley de Aire que defina las condiciones generales para la vigilancia de este componente y el control de las fuentes emisoras de contaminantes.

Una Ley de Aire debe, en primer lugar, considerar las condiciones para el establecimiento de normas nacionales de calidad del aire. Estas corresponden a un nivel de calidad del aire, establecido por las autoridades, en el cual no debiera verse afectada la salud de la población. Para un contaminante dado, este nivel se define como una concentración máxima permitida para un periodo de tiempo dado. En el Capítulo IV (tabla 3) se presenta un resumen de los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) junto con las normas vigentes en la Unión Europea, Estados Unidos y Chile.

En conjunto con la dictación de las normas, se deben asignar responsabilidades institucionales respecto del monitoreo de calidad de aire, junto con los requerimientos para los sitios donde se emplacen las estaciones de monitoreo, debiéndose indicar además los métodos de medición aceptados. De la experiencia internacional, los organismos que habitualmente tienen esta responsabilidad son los gobiernos regionales o locales, las agencias o ministerios de medioambiente y los ministerios de salud. Estas funciones son prestadas directamente por las instituciones públicas cuando cuentan con recursos humanos calificados para ello, o son contratados como servicios a terceros. La experiencia en Latinoamérica en la operación de redes de monitoreo muestra que es necesario observar cuidadosamente la relación entre recursos humanos y materiales disponibles para la operación más que el costo de inversión. A partir de esto se recomienda contar con un número pequeño de estaciones (no más de dos o tres para una ciudad de un millón de habitantes). En el anexo 1 se presenta la configuración más común de las estaciones de monitoreo.

Una ley de aire debe incluir además los requisitos de aseguramiento y el control de la calidad en la operación y el manejo de la información de las redes de monitoreo. Para esto las autoridades competentes deberán dictar un reglamento específico. La ley también debe exigir que las autoridades responsables pongan a disposición de la comunidad la información de monitoreo, a través de internet y por otros medios, como diarios.

## Generar las condiciones para un crecimiento más sustentable de la flota vehicular

Una ley de aire debe sentar también las bases para el control de las fuentes de contaminación atmosférica. De acuerdo al inventario de emisiones presentado en el capítulo anterior, el mayor riesgo de aumento de emisiones del transporte está asociado al crecimiento de las ventas de automóviles de pasajeros, de camionetas y vehículos todoterreno. En cambio los camiones y buses crecen a una tasa menor, pero por su mayor antigüedad son los sectores con mayores emisiones. El incremento del número de motocicletas también significa un riesgo de aumento de emisiones.

### Automóviles de pasajeros, de camionetas y vehículos todos terrenos.

Se deben generar las condiciones para prevenir y mitigar el deterioro de la calidad del aire como resultado del crecimiento del parque vehicular. En las siguientes figuras se presenta el cambio en las emisiones al año 2015 en un escenario en que no se implementa ninguna modificación en las regulaciones actuales que aplican a la importación de automóviles (gasoline passenger cars y diesel passenger cars), camionetas y vehículos todo terreno (diesel light duty).

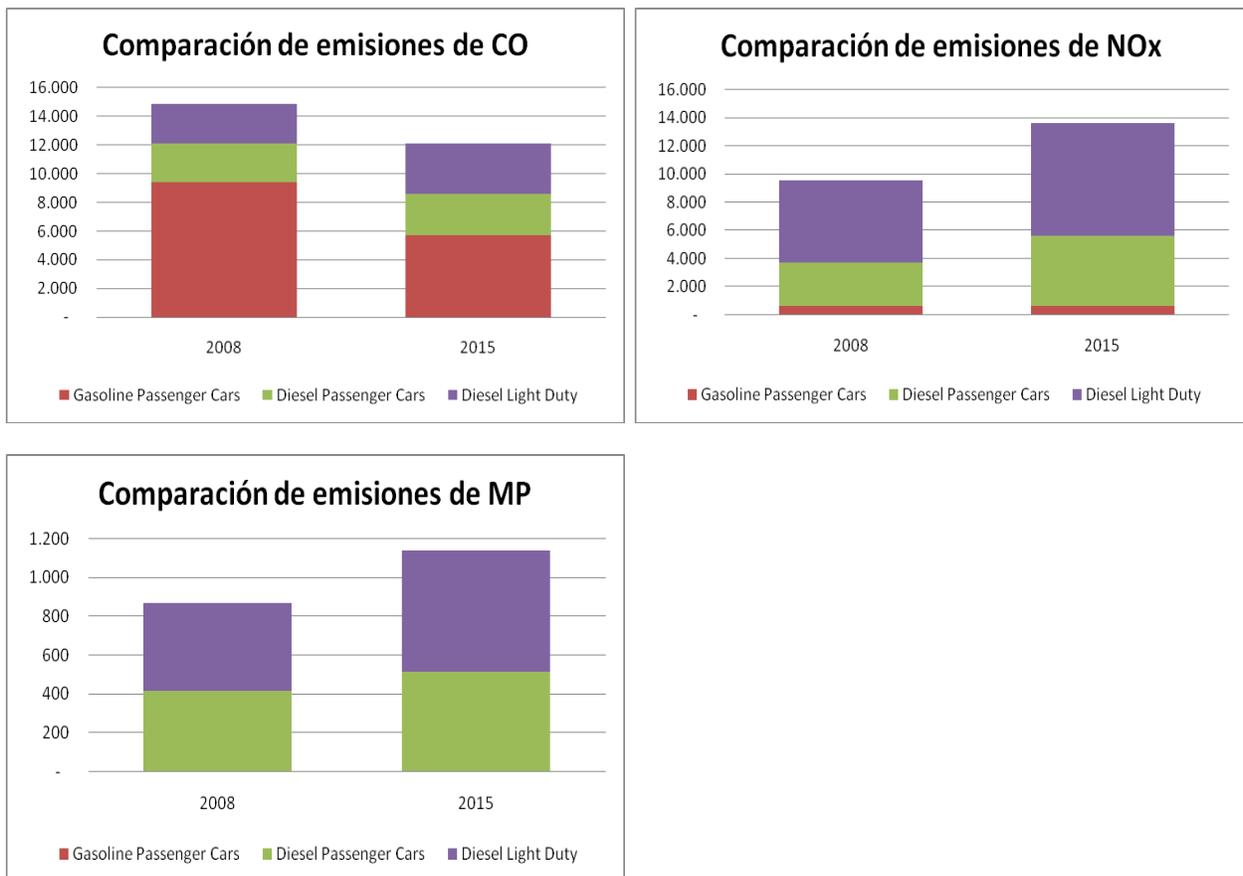


Figura 41. Incremento de Emisiones [toneladas/año] en escenario base 2015.

En este escenario, donde el número de automóviles, camionetas y vehículos todoterreno se incrementa en un 37% en un plazo de seis años, las emisiones de NOx provenientes de este sector aumentan un 42% y las de MP un 31%.

#### Alternativas para mitigar el crecimiento de las emisiones de automóviles, camionetas y todoterrenos

Considerando las regulaciones vigentes, se han evaluado dos alternativas de optimización de ellas, que permitan mitigar el aumento de emisiones asociado al crecimiento del parque vehicular:

- ✚ Escenario Euro 4: considera que todos los vehículos importados nuevos y usados corresponden a la tecnología Euro 4, y que se mantiene la proporción de diesel y gasolina observada hasta ahora en la flota. Para cumplir con la condición de ser Euro 4, los vehículos importados usados correspondientes a este sector deben limitar su antigüedad a 5 años. Este escenario requiere de una disponibilidad mayor del diesel con 50 ppm de azufre, y que este combustible tenga el mismo precio que el diesel común.
- ✚ Escenario Euro 4 gasolina: considera que todos los vehículos importados nuevos y usados corresponden a tecnología Euro 4 a gasolina. Para esto se requiere que la gasolina esté disponible a un precio competitivo con el diesel común.

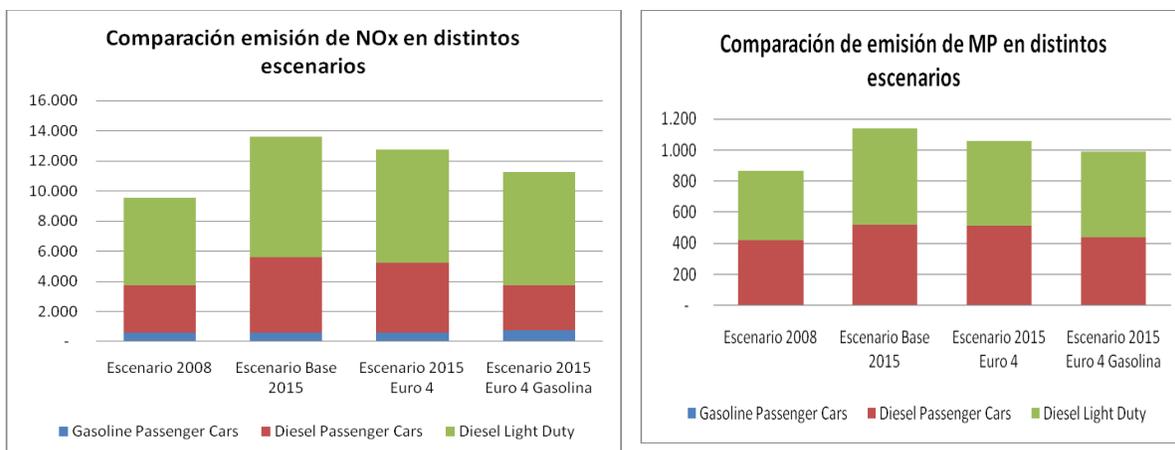
En la siguiente tabla se presenta la reducción de emisiones de estos escenarios respecto del inventario 2008 y de la situación base 2015 (business as usual o BAU):

Tabla 16. Reducción de emisiones para distintos escenarios respecto del inventario 2008 y de la situación base 2015.

Contaminante	Escenario Base 2015	Escenario 2015 Euro 4	Escenario 2015 Euro 4 Gasolina
NOx	42%	33%	18%
MP	31%	22%	14%
CO <sub>2</sub>	48%	49%	51%

Como se puede observar, en cualquier escenario el mayor número de vehículos significará un incremento de las emisiones. Este incremento será más pronunciado mientras más vehículos diesel antiguos ingresen al país.

### Comparación de escenarios [ton/año]



Por lo tanto, se debe establecer un mínimo tecnológico aceptable para los vehículos que ingresan al país, tanto para los nuevos como para los usados.

Los automóviles disponibles en el mercado internacional son fabricados en base a exigencias ambientales para las emisiones de sus escapes. Las más conocidas son las de la Unión Europea, denominadas normas EURO.

Los vehículos diesel tienen un impacto mayor que los de gasolina en la calidad del aire. Considerando la importancia de los vehículos diesel en el Paraguay, es conveniente considerar las normas de la UE que comenzaron a regir el año 2005, denominadas EURO 4; esto significa que cada vehículo nuevo que se comercialice debiera corresponder a un modelo que cumpla con la norma EURO 4, y que los vehículos importados no tengan una antigüedad mayor de cinco años. Considerando que Japón es el origen más importante de los vehículos importados de segunda mano, es importante mencionar que en el año 2005 también en este país comenzaron a regir normas más estrictas para los automóviles comerciales y de pasajeros diesel.

Para los vehículos a gasolina, las normas internacionales también han sido progresivamente más exigentes, pero las diferencias no son tan relevantes como en el caso de los vehículos diesel. Por esta razón, es posible considerar las normas EURO 4 en conjunto con otras, como la normativa vigente en Brasil (PROCONVE).

La práctica más común es que los Ministerios de Transportes o las agencias ambientales sean los responsables de la autorización de los modelos de vehículos que se pueden importar nuevos al país, así como también del control que debe ejercerse para que las unidades que se comercialicen correspondan a un modelo autorizado. Este proceso de autorización de modelos de vehículos internacionalmente se denomina “homologación”.

## Buses y camiones

La situación de buses y camiones es distinta a los automóviles y camionetas, ya que se requiere mitigar sus emisiones actuales más que prevenir un deterioro debido a un crecimiento acelerado de la flota. La antigüedad media de los camiones alcanza a los 24 años y la de los buses a 22, las que son extremadamente altas, lo que significa que muchos de estos vehículos se encuentran obsoletos técnicamente. Por esta razón no es posible reducir las emisiones de estos sectores mediante la introducción de tecnologías de control de emisiones como filtros de partículas y convertidores catalíticos de oxidación.

De acuerdo a la experiencia internacional, los caminos más adecuados para mitigar los impactos ambientales de estos sectores son la exigencia de inspecciones de emisiones periódicas y la renovación progresiva de la flota. También la reducción del contenido de Azufre en el diesel permitiría una reducción de las emisiones de material particulado y de Óxidos de Azufre.

La promulgación del reglamento nacional de inspección técnica vehicular es un avance importante, y es destacable que ponga énfasis en la revisión más frecuente de los vehículos de transporte público. Es necesario incorporar procedimientos de inspección de los vehículos diesel actualizados y con límites máximos que permitan la detección de los vehículos que no se encuentran en buenas condiciones de mantenimiento mecánica. En particular, es importante incorporar por lo menos mediciones de opacidad en flujo parcial en una prueba en aceleración en vacío.

En otras ciudades latinoamericanas, como por ejemplo Lima y Bogotá, la renovación de la flota de buses ha sido parte central del proceso de modernización de los sistemas de transporte público. Existen experiencias exitosas en la transformación de pequeñas empresas operadoras de buses hacia grandes operadores con capacidad de financiar la adquisición de mejores vehículos. Estas transformaciones han considerado la agrupación de los antiguos operadores, como parte de un proceso de regulación más eficiente de la prestación de servicios de transporte masivo de pasajeros.

La modernización del transporte público de la región ha elevado el estándar de los buses que ingresan a sus flotas, exigiéndose en la mayoría de ellas normas Euro 4 o similares, para lo que disponen de diesel de 50 ppm de Azufre. Este es el caso de Colombia, Argentina y Santiago, y a partir del próximo año en las principales urbes de Brasil, donde comenzará a regir Euro 5.

Como referencia se ha estimado que el reemplazo de un tercio de los buses de más de 20 años de antigüedad por buses Euro 4, significaría una reducción del 13% de las emisiones de NOx y un 44% de las emisiones de material particulado del total de buses.

### **Motocicletas**

Las motocicletas corresponden a un sector parcialmente informal, ya que existe la opinión<sup>28</sup> de que muchos de estos vehículos circulan sin registro. El esfuerzo de la autoridad por formalizar a los propietarios y conductores facilitará el control del impacto en la contaminación atmosférica asociado a estos vehículos. Es necesario considerar que estos vehículos también rindan una inspección anual de gases, y establecer una norma de emisión para la venta de nuevas motocicletas. Para este fin es necesario considerar que Brasil ha establecido como norma Euro 3 y China también cuenta con su producción nacional cumpliendo esta norma desde principios del presente año.

### **Combustibles**

Debe existir una coherencia entre la calidad de los combustibles disponibles y la norma exigida a los vehículos que ingresan al país.

Los vehículos EURO IV requieren de un diesel con un contenido máximo de Azufre de 50 partes por millón. De la experiencia internacional, las opciones son:

- igualar los precios de las distintas calidades de combustibles, o dejar que los precios reflejen el impacto ambiental de los combustibles, porque los beneficios para la sociedad al incentivar un combustible más sucio son superados por los perjuicios en la salud de la población; Un ejemplo es Perú, donde se ha definido un cargo ambiental a los combustibles en función de su impacto ambiental.
- norma la calidad, permitiendo sólo la comercialización de bajo contenido de azufre. Este es el caso más común. Por ejemplo en Chile, se permiten dos calidades de diesel: de un máximo de 50 ppm en la Región Metropolitana de Santiago (que presenta la mayor contaminación) y un máximo de 100 ppm para el resto del país.

Desde el punto de vista de las capacidades institucionales es necesario desarrollar un sistema de control y aseguramiento de la calidad de las inspecciones de las formulaciones de los combustibles, de responsabilidad del Viceministerio de Minas y Energía.

### **Promover una mayor conciencia de la comunidad respecto del impacto de la contaminación atmosférica en la salud**

Los medios de comunicación han prestado atención a los resultados del estudio de calidad del aire de Asunción, los cuales han sido muy difundidos por televisión y la prensa escrita. Esto demuestra

---

<sup>28</sup> CADAM, Situación del parque automotor, Noviembre del 2010.

que hay un interés ciudadano por el riesgo para la salud que puede significar la exposición a altos niveles de contaminación atmosférica.

Es necesario establecer normas de calidad del aire y estaciones para su vigilancia, de forma tal de informar permanentemente a la comunidad. Tanto respecto de la evolución de largo plazo de la contaminación asociada a la exposición crónica de la población, como también en episodios de exposición aguda, cuando se encuentre en riesgo inmediato la salud de los sectores más vulnerables, como infantes, ancianos y personas que presentan enfermedades crónicas de las vías respiratorias.

Es necesario que esta información esté disponible en tiempo real en sitios web de las instituciones responsables, así como en la prensa escrita.

En la experiencia del combate a la contaminación en ciudades como Santiago y Ciudad de México en la década de los noventa, se observó que los días críticos de alta contaminación motivaron una exigencia ciudadana por acciones estructurales que permitieran reducir de forma sostenida el riesgo para la salud. En el caso de Santiago, gracias a esa presión se logró implementar acciones como mejoras de las calidades de los combustibles y la exigencia de normas más estrictas al mercado automotriz. Estas acciones significaron que el porcentaje de las muertes anuales no accidentales asociadas a la contaminación atmosférica descendiera de un 13% a un 7% s en el período del año 1997 al 2007.

Es destacable también la experiencia vivida en Lima en el año 2005, en que un gran movimiento ciudadano apoyo la promulgación de una normativa que aplica un cargo ambiental a los combustibles, en relación al riesgo para la salud que significan, denominado Índice de Nocividad de los Combustibles.

La gestión de la calidad del aire requiere de una comunidad más informada y de un fortalecimiento de las instituciones responsables de esta gestión.

## ANEXO 1. Estaciones de monitoreo de calidad del aire

Configuraciones más comunes de estaciones de monitoreo de contaminantes atmosféricos:



Estación de monitoreo convencional	Estación de monitoreo con tecnología óptica
------------------------------------	---

Ubicación de las estaciones:

Se requiere de estaciones que permitan representar la calidad del aire en:

- Zona urbana impactada por el tránsito de vehículos;
- Zona urbana residencial, sin fuentes de contaminación importantes próxima;
- Zona rural.