Check Point Threat Extraction secured this document

Get Original

Partnership for Clean Fuels and Vehicles

Promoting Better Air Quality in Cities

Centro Mario Molina • Chile

DIAGNÓSTICO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN ASUNCIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE.

"Urban Outdoor Air Quality, Cleaner Fuels and Vehicles, and More Efficient Road Transport"

Estudio preparado para:

UNEP United Nations Environment Programme

PETROBRAS

Congreso Nacional República del Paraguay CONADERNA

TEKOHA RESÁI SÃMBYHYHA SECRETARÍA DEL AMBIENTE

TETÃ REKUÁI GOBIERNO NACIONAL Jajapo Oñondivepa Tape Pyahu Construyendo Juntos un Nuevo Rumbo

Marzo 2015

El Centro Mario Molina Chile agradece la cooperación efectuada por Petrobras Paraguay en el marco de este estudio. Agradece también las gestiones efectuadas por la Comisión Nacional de Defensa de los Recursos Naturales, la Secretaria del Ambiente, la iniciativa *Partnership for Clean Fuels and Vehicles*, así como también el financiamiento recibido a través del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente**.**

DIAGNÓSTICO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN ASUNCIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE.

1. PRESENTACIÓN. 7
1.1 Efectos de la exposición a contaminantes atmosféricos. 8
2.1 El cambio en la perspectiva del Black Carbon. 11
3.1 Beneficios de la introducción de diésel limpio 12
4.1 Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios. 14
5.1 Panorama de Calidad del Aire de Asunción 2010. 14
6.1 Avances en Gestión de Calidad del Aire, panorama 2014. 16
2. CALIDAD DEL AIRE EN ASUNCIÓN: DIAGNÓSTICO 2014. 18
7.1 Concentración de $MP_{2.5}$. 19
8.1 Composición elemental del $MP_{2.5}$. 22
9.1 Concentración de BC. 25
10.1 Concentración de gases SO_2 y NO_x 27
11.1 Análisis del factor meteorológico. 32
3. RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE. 35
12.1 Definición de las normas de calidad del aire. 36
13.1 Mejorar la caracterización de los problemas de calidad del aire en Asunción. 36
14.1 Elaboración de una estrategia integral para vehículos más limpios y eficientes. 38
15.1 Enfoque estratégico utilizado en Santiago de Chile. 40
4. ANEXO. TÉCNICAS DE MONITOREO. 42
16.1 Harvard Impactor: impactador en cascada. 42
17.1 XRF: cuantificación de elementos químicos. 43
18.1 DustTrak: monitoreo continuo MP. 47
19.1 Microaethalometer: monitoreo continuo BC. 47
20.1 Difusores pasivos de gases. 47
5. ANEXO: DIVULGACIÓN 48
6. REFERENCIAS. 50

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIÓN DE ESTÁNDARES DE CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE MATERIAL PARTICULADO. 9
TABLA 2. PROMEDIOS Y MÁXIMOS DE $MP_{2.5}$ (MG/M^3) REGISTRADOS LOS AÑOS 2010 Y 2014 EN LA CIUDAD DE ASUNCIÓN. SE INDICA EL PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE LOS NIVELES. 20
TABLA 3. PROMEDIO DIARIO, MÁXIMO DIARIO Y MÁXIMA CONCENTRACIÓN DE BC REGISTRADA (MG/M^3), EN ASUNCIÓN, JUNIO 2014 ... 26

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMATIZACIÓN DEL TAMAÑO Y PRINCIPAL SITIO DE ATAQUE DEL MATERIAL PARTICULADO EN EL CUERPO HUMANO. 8
FIGURA 2. REPRESENTACIÓN DEL TAMAÑO RELATIVO DEL MP_{10} Y $MP_{2.5}$. 10
FIGURA 3. REPRESENTACIÓN DE NÚCLEO DE EC EN LA FORMACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO. 11
FIGURA 4. LÍMITE MÁXIMO DEL CONTENIDO DE AZUFRE EN DIÉSEL EN PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE 13
FIGURA 5. NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE $MP_{2.5}$ EN ASUNCIÓN, 2010. 15
FIGURA 6. RED DE MONITOREO DE GASES SO_2 Y NO_x SOBRE LA CIUDAD DE ASUNCIÓN, JUNIO 2010. 16
FIGURA 7. PORCENTAJE DE VENTAS DE COMBUSTIBLES EN ASUNCIÓN 2011-2013. 17
FIGURA 8. LITROS DE COMBUSTIBLE VENDIDOS POR AÑO EN ASUNCIÓN, SEGÚN TIPO DE DIÉSEL. 17
FIGURA 9. UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO. 19
FIGURA 10. MONITORES CONTINUOS EN TIEMPO REAL (1 MINUTO). MONITOREO DISCRETO DE GASES. 19
FIGURA 11. CONCENTRACIÓN DIARIA DE $MP_{2.5}$ EN LA CIUDAD DE ASUNCIÓN, 2014, REGISTRADO EN LA ESTACIÓN DE BACKGROUND URBANO (UNIVERSIDAD) E IMPACTO DE TRANSPORTE (TOURING). 20
FIGURA 12. PROMEDIO DE $MP_{2.5}$ EN ASUNCIÓN, INVIERNO 2010 Y 2014. 21
FIGURA 13. PERFIL HORARIO DE CONCENTRACIONES DE $MP_{2.5}$ (MG/M^3). 21
FIGURA 14. PERFIL SEMANAL DE LA CONCENTRACIÓN DE $MP_{2.5}$ (MG/M^3). COMPARACIÓN ENTRE DATOS DE AÑO 2010 Y 2014. 22
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA PRESENCIA DE ELEMENTOS QUÍMICOS EN $MP_{2.5}$ DE ASUNCIÓN, 2014. 23
FIGURA 16. COMPARACIÓN PORCENTUAL DE ELEMENTOS EN $MP_{2.5}$ DE ASUNCIÓN, AÑO 2010 Y 2014. 24
FIGURA 17. CONTRIBUCIÓN ESTIMADA PARA DISTINTAS FUENTES EN LA CONCENTRACIÓN DE MP2.5 DE ASUNCIÓN. 24
FIGURA 18. PERFIL HORARIO DE BC (MG/M^3) EN ESTACIÓN URBANO Y TRANSPORTE. 25
FIGURA 19. CONCENTRACIÓN DE BC (MG/M^3) DURANTE RECORRIDO POR LAS PRINCIPALES AVENIDAS DE ASUNCIÓN. 26
FIGURA 20. APOYO GRÁFICO DE LA SITUACIÓN VEHICULAR EN SITIO TRANSPORTE. 27
FIGURA 21. EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO DE SO_2 REGISTRADO EN ASUNCIÓN, AÑO 2010 Y 2014. 28
FIGURA 22. EVOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SO_2 (MG/M^3) EN LA CIUDAD DE ASUNCIÓN, AÑO 2010 Y AÑO 2014 29
FIGURA 23. EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO DE NO_x REGISTRADO EN ASUNCIÓN, AÑO 2010 Y 2014.. 30
FIGURA 24. EVOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NO_x (MG/M^3) EN LA CIUDAD DE ASUNCIÓN, AÑO 2010 Y AÑO 2014. 31
FIGURA 25. ROSA DE VIENTOS PARA ASUNCIÓN, JUNIO 2014. 32
FIGURA 26. PERFIL TEMPORAL DE VELOCIDAD DEL VIENTO Y TEMPERATURA EN ASUNCIÓN. JUNIO 2014. 33
FIGURA 27. PERFIL HORARIO DE HUMEDAD RELATIVA (HR) Y RADIACIÓN SOLAR (IZQUIERDA). 34
FIGURA 28. PRECIPITACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE $MP_{2.5}$. 1 A 24 DE JUNIO DEL 2014. 34
FIGURA 29. IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE MONITOREO DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y METEOROLOGÍA 38
FIGURA 30. EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL $MP_{2.5}$ EN SANTIAGO DE CHILE. 41
FIGURA 31. DIAGRAMA DE PARTES DE UN HARVARD IMPACTOR PARA $MP_{2.5}$. 42
FIGURA 32: EPSILON 5 XRF SPECTROMETER. 43
FIGURA 33: CORRELACIÓN ENTRE LAS CANTIDADES DE LOS ELEMENTOS ALUMINIO Y SILICIO EN LOS FILTROS 44

RESUMEN

El año 2010, el Centro Mario Molina Chile realiza por primera vez actividades de monitoreo de contaminación atmosférica en la ciudad de Asunción, las cuales dieron como resultado la entrega de un estudio diagnóstico sobre la calidad del aire que permitieron comenzar a dimensionar el problema de contaminación que afectaba la capital paraguaya, y que eventualmente podría encontrarse repetido en otras zonas urbanas del país.

Los antecedentes conseguidos en ese entonces, manifestaron la necesidad de establecer un marco legal e institucional para la gestión ambiental, así como también el reforzamiento de herramientas específicas para el control de la contaminación atmosférica. La identificación y descripción de acciones que permitiesen avanzar en la gestión de la calidad del aire en el país, se enfocó en la reducción del impacto provocado por el transporte, especialmente debido a la permanencia de un transporte público obsoleto, combustibles de mala calidad y la presencia de un parque automotor compuesto por vehículos importados de segunda mano.

De acuerdo a la experiencia internacional, se recomendó establecer un Plan de Acción que contemplase líneas de trabajo para combustibles y vehículos más limpios, así como también la generación de condiciones para lograr un crecimiento sustentable de la flota vehicular. Cuatro años después se encontraban realizados avances en cuanto a la disminución del contenido máximo de azufre en los combustibles, el fortalecimiento de la Mesa del Aire y la Salud, así como también la destacable Ley de Calidad del Aire, que protege la salud de toda la población paraguaya.

Luego de cuatro años, el Centro Mario Molina Chile presenta el segundo estudio de monitoreo de contaminación atmosférica en Asunción, en el cual se encuentran reflejados los avances anteriormente comentados. A través de los registros que expresaron una disminución de los niveles de material particulado fino, fue posible asociar el éxito de la desulfuración del diésel, como medida promovida y ligada a la promoción de combustibles limpios y eficientes. Esta medida además se relacionó con una disminución del gas dióxido de azufre contenido en la ciudad, aproximadamente en un 34%.

Calidad del aire mejorada, en beneficio de una parte significativa de la salud de la población, no obstante el monitoreo efectuado el año 2014 permitió seguir observando episodios de contaminación ambiental, que excedieron los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud. De la misma forma, la aún presente abundancia del gas dióxido de nitrógeno, permite establecer que siguen siendo necesarias las políticas públicas orientadas a incrementar paulatinamente la calidad de los combustibles, la promoción de una flota de transporte público de nueva tecnología, y el establecimiento de normas de calidad del aire que permitan efectuar posteriores programas de descontaminación ambiental.

Actualmente, el transporte demostró ser la principal fuente de contaminación urbana, por lo que es imperante el avance en la implementación de acciones que permitan una reducción progresiva de su impacto en el aire de la ciudad. En comparación al año 2010, las personas de Asunción se encontraron expuestas a un 30% menos de contaminación por material particulado fino. La relación directa con el tráfico se reflejó en los incrementos de contaminación durante los horarios de mayor flujo vehicular, así como también con los días laborales.

Los análisis químicos efectuados al material particulado que se encuentra suspendido en el aire de Asunción, indicaron nuevamente la alta presencia de azufre, que se relacionó a la mayor demanda que

aún se mantiene por el consumo por diésel de menor calidad, cuyo contenido máximo de azufre es cercano a los 1800 partes por millón.

La falta de control en los automóviles, es uno de los problemas que deberá superar el país en los próximos años. Una mayor estrictez aplicada a la importación de autos usados, será acompañada de una serie de beneficios en términos de las emisiones totales de contaminantes. La promoción de la importación de nuevas tecnologías vehiculares, podrá aliviar los impactos en la salud humana consecuencia del aumento del parque vehicular.

El documento a continuación no solo refleja los avances en los niveles de calidad del aire en la ciudad de Asunción, sino que también entrega propuestas y recomendaciones para el establecimiento de las bases para una gestión de largo plazo, que incluye los problemas de contaminación atmosférica y cambio climático. El desafío más importante derivado de la aprobación de la Ley de Aire, incumbe la formulación de políticas nacionales en materia de gestión de calidad del aire, el establecimiento de estándares o normas de calidad del aire, y también la elaboración de un Plan Nacional para la gestión de fuentes fijas y móviles que permitan establecer límites de emisiones para estos sectores, especialmente para los vehículos.

En base a las recomendaciones realizadas el año 2011, así como también considerando nuevos desafíos que impone la Ley de Calidad del Aire, se plantea avanzar en tres aspectos específicos que deben ser abordados de manera prioritaria. En primer lugar, la definición de las normas de calidad del aire se sustenta en la necesidad de proteger la salud pública contra los efectos adversos de la contaminación atmosférica. La Ley otorga un año de plazo para la publicación, por lo cual se debe avanzar lo más rápido posible en la elaboración de una propuesta de normas, que debiera incorporar una norma diaria y anual para $MP_{2.5}$.

Adicionalmente, para implementar un plan de gestión de calidad del aire en Asunción se requiere contar con capacidades de monitoreo, y de la misma forma, profundizar la comprensión de los aportes de los distintos sectores a la contaminación en la zona urbana. En este sentido, es necesario desarrollar un estudio que permita diseñar la red de monitoreo de calidad del aire, de forma tal, que responda al desafío de hacer el seguimiento a un plan de gestión de la calidad del aire, focalizado en el control de las partículas finas y ultrafinas.

La finalidad del actual documento pretende destacar el impacto negativo en el medio ambiente, que es provocado por el crecimiento del parque vehicular en condiciones de carencias de políticas medioambientales y eficiencia energética. La forma más eficiente de reducir los riesgos en salud asociados al crecimiento del parque vehicular, es normando el mercado automotriz, por la vía de establecer normas de entrada para los vehículos que ingresan al país. Con base en lo anterior, se expresan en los siguientes capítulos los motivos por los cuales en necesario establecer una *Estrategia Integral para Vehículos más Limpios y Eficientes*, que debe ser complementario al enfoque del programa PCFV, a través de propuestas orientadas al ahorro de combustibles. En particular, es importante identificar las alternativas de reducción de *black carbon* en el transporte, al mismo tiempo que se establecen normas más exigentes y posibles con los combustibles disponibles, y se instauran mecanismos de incentivos para vehículos más limpios y eficientes.

1. PRESENTACIÓN.

El crecimiento de la población y de la economía a nivel mundial ha provocado una gran demanda de energía y recursos naturales, al mismo tiempo que los nuevos estándares de vida y modelos de consumo generan una presión negativa sobre el medio ambiente. Adicionalmente al pronosticado escenario de cambio climático, suscitado por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se espera que para el año 2050 la contaminación del aire se convierta en la principal causa ambiental de mortalidad prematura en el mundo, provocando alrededor de 4 millones de muertes al año[1].

Con el actual ritmo de desarrollo, se estima que en 30 años el consumo energético mundial sea un 80% superior, siendo predominante la proporción de energía fósil utilizada, principalmente en grandes países con economías emergentes. Las concentraciones de contaminación en el aire de algunas ciudades ya exceden los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en cuanto a los límites de impacto en la población. Es por esta razón, que se vuelve imperante una gestión efectiva de la calidad del aire, enfocada en la reducción de la exposición poblacional al mínimo, especialmente al tener en cuenta que incluso a bajas concentraciones de contaminantes en el aire, la carga sobre la salud puede ser sustancial.

A pesar de los esfuerzos realizados para medir el impacto que tienen las partículas inhaladas, aún estamos lejanos a la comprensión absoluta de todos los efectos y mecanismos involucrados en sistemas biológicos. No obstante, cada vez son más los países en el mundo que se encuentran adaptando Normas de Calidad del Aire, aunque varios de ellos las han establecido con mayor flexibilidad que las guías recomendadas. Como resultado, un importante avance se ha efectuado en la disminución de contaminantes, entre los que se incluyen dióxido de azufre, monóxido de carbono, plomo y óxidos de nitrógeno, algunos causantes de la mayor parte de los problemas respiratorios.

El “Año del Aire”, declarado por la Comisión Europea durante el 2013, permitió la revisión exhaustiva de su existente legislación ambiental sobre contaminantes liberados a la atmósfera. Basándose en las conclusiones de la revisión, se creó un nuevo programa estratégico para mejorar la calidad del aire en los próximos 15 años, en los que se incluyen, límites de emisiones más estrictos para los seis principales contaminantes, e iniciativas para la introducción temprana de vehículos limpios en áreas urbanas con problemas en su atmósfera.

La decisión de designar el 2013 como el Año del Aire, refleja tanto la seriedad económica del asunto, como también el impacto que tiene en los seres humanos. Las expectativas de vida son dramáticamente disminuidas debido a la contaminación del aire, así como también el aumento de las enfermedades respiratorias crónicas, que forjan la vida miserable para muchos habitantes alrededor del mundo. Actuar hoy es económicamente racional, la ejecución de políticas bien diseñadas aportan beneficios sociales que se asocian a la reversión de la tendencia de empeoramiento ambiental existente. Demoras en la ejecución provoca que el problema se vuelva más difícil y caro de superar, mientras que la conducción efectiva plantea oportunidades para asegurar la calidad de vida de la sociedad, en nuestro desarrollo futuro.

1.1 Efectos de la exposición a contaminantes atmosféricos.

Dentro del grupo de contaminantes existentes en el aire se encuentran una serie de compuestos con capacidad carcinogénica conocida, es decir, se han asociado a incrementos en el riesgo de padecer cáncer de pulmón. A partir de los últimos 50 años, una serie de evidencias han indicado que tanto la contaminación exterior, como la interna a los domicilios, son asociables al riesgo en desarrollar cáncer pulmonar, específicamente, en ambientes con elevados niveles de partículas. La serie de estudios, complementadas con asociaciones históricas de incrementos en las visitas a salas de emergencia y mortalidad [2], promovieron que el año 2013, la OMS a través de su Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC), no solo clasificara por primera vez la contaminación del aire como factor carcinogénico, sino que también la considerara primera causa ambiental en muertes por esta enfermedad.

Las partículas inhaladas ingresan al tracto respiratorio donde impactan en diferentes sitios anatómicos, dependiendo entre otras características, de su tamaño aerodinámico. Las partículas son categorizadas en MP_{10}, fracción toráxica (≤ 10 µm), y $MP_{2.5}$, o fracción fina (≤ 2.5 µm). A su vez, las partículas con tamaño aerodinámico menor o igual a 0.1 µm, son designadas a la fracción ultrafina (UFP), las cuales son la principal emisión de la combustión de diésel. El blanco anatómico primario al cual son capaces de impactar las partículas con diferentes tamaños, se encuentra ilustrado en la Figura 1.

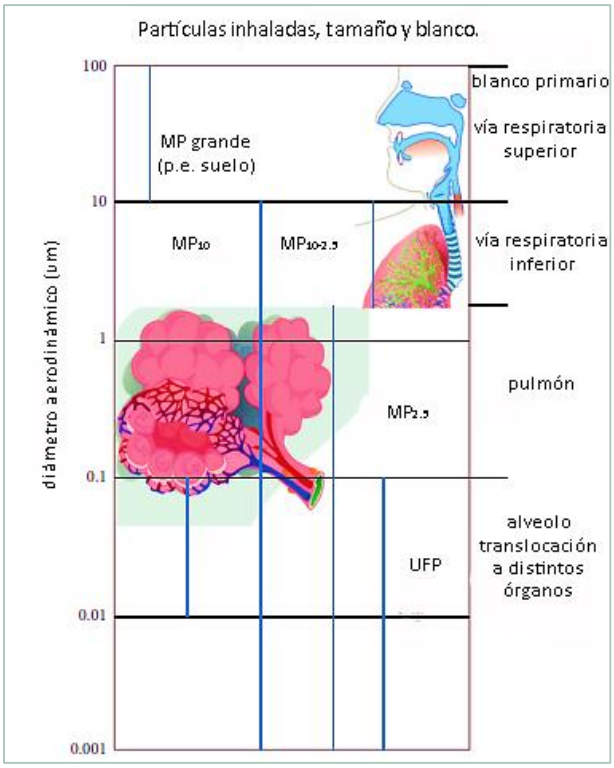


Figura 1. Esquematización del tamaño y principal sitio de ataque del material particulado en el cuerpo humano[3].

Los Estándares de Calidad del Aire han sido adaptados en múltiples lugares del mundo, con la finalidad de proteger la salud pública contra los efectos adversos de la contaminación atmosférica. La OMS, que tiene la representación de aproximadamente 200 países, recomienda que la concentración diaria de MP_{10} no exceda los 50 µg/m^3, mientras que para el $MP_{2.5}$, este valor disminuye a la mitad[4]. No obstante, y como fue mencionado en párrafos anteriores, muchos países han adaptado estándares más flexibles, de acuerdo a revisiones de políticas nacionales e informaciones científicas, que demuestran plausiblemente la asociación entre los problemas a la salud, con niveles de exposición a los contaminantes. Los límites para concentraciones de MP_{10} y $MP_{2.5}$ usados en diferentes países y regiones, son ilustrados a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de estándares de concentración máxima de material particulado.

	MP_{10} (µg/m^3)		$MP_{2.5}$ (µg/m^3)	
Fuente	*1 año*	*24 hrs*	*1 año*	*24 hrs*
OMS	20	50	10	25
Unión Europea	40	50	25	
Estados Unidos	50	150	12	35
Japón		100	12	65
Brasil	50	150		
México	50	120	15	65
Sudáfrica	60	180	15	65
India (Población sensible/residencial/industrial)	50/60/120			
China (clase I/II/III)	40/100/150	50/150/120		35

Las partículas provenientes del empleo de combustibles tradicionales, tales como biomasa, carbón, madera, petróleo crudo y diésel con alto contenido de sulfuro, son encontrados en la actualidad a concentraciones menores que las registradas hace 40 años atrás, debido al progreso y avance en las tecnologías limpias. No obstante, la distribución relativa en cuanto al tamaño de las partículas ha cambiado, y otros contaminantes han cobrado relevancia, como por ejemplo, las partículas de la fracción ultrafina. Este reciente, y más liviano material particulado, es hallado no solo en grandes ciudades, sino que también es posible encontrarlo en pequeños poblados. Interesantemente, estas ínfimas partículas difieren en la composición de diversos metales pesados y compuestos de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), que a menudo son asociados con un elevado potencial tóxico y oxidativo.

Dependiendo de la fuente y composición del MP, es posible encontrar diferentes compuestos químicos entre las distintas fracciones. El $MP_{2.5}$ comprende la fracción que contiene el carbono elemental (CE), hollín, o *black carbon*, así como también las partículas formadas a partir de la subsecuente aglomeración y condensación de compuestos provenientes de la fase gaseosa (vapores metálicos y orgánicos). El $MP_{2.5}$ incluye iones inorgánicos (sulfato, nitrato y amonio), además de compuestos de carbono provenientes de procesos de combustión. La fracción gruesa del aerosol respirable ($MP_{10-2.5}$) es dominada por partículas que han sido mecánicamente desgastadas, asimismo de aquellas provenientes

de la erosión del suelo, conteniendo minerales finamente divididos, como lo son los óxidos de aluminio, sílice, hierro, calcio, magnesio y potasio[5].

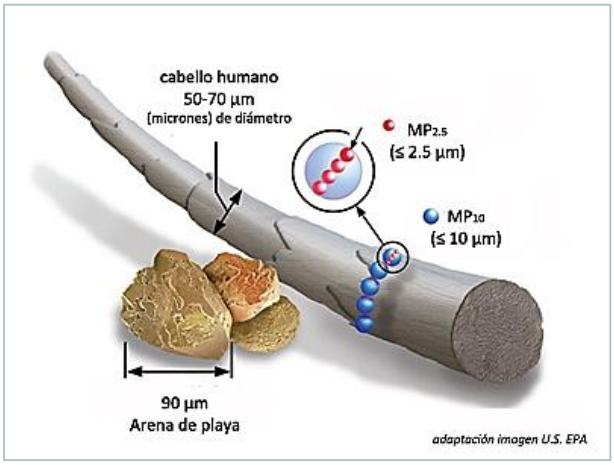


Figura 2. Representación del tamaño relativo del MP_{10} y $MP_{2.5}$.

La fracción UFP está compuesta tanto de material particulado primario como secundario. El componente primario es aquel emitido directamente desde la fuente, en los cuales se incluyen agregados de partículas más pequeñas que abarcan un rango entre 30 y 100 nm. La fracción primaria está, por lo general, asociada a motores diésel, emisiones de automóviles y combustión de biomasa, que generan las partículas primordiales de alrededor de 30 nm de diámetro (modo de nucleación). Posteriormente, estas partículas coagulan hacia la formación de otras, de mayores tamaños. Por otro lado, la fracción secundaria está compuesta de partículas que son formadas en la atmósfera, producto de reacciones con compuestos orgánicos de baja volatilidad, ácido sulfúrico y sulfatos. Las foto-reacciones de productos gaseosos de la combustión, como óxidos de nitrógeno (NO_X) y dióxido de azufre (SO_2), están involucradas en este proceso.

Los contaminantes gaseosos no solamente influyen en la formación de partículas potencialmente dañinas para la salud, sino que también provocan agravamiento de enfermedades respiratorias, disminución de la función pulmonar, incrementos de síntomas respiratorios y susceptibilidad a contraer una infección respiratoria. Los efectos en el medio ambiente se asocian principalmente a la producción de lluvia ácida, debido a la presencia de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3) en la atmósfera, como también al incremento de los niveles de ozono (O_3) a nivel superficial.

El rol que tiene la composición del MP sobre los efectos tóxicos observados, ha sido explorado desde la última década. El dogma durante los años noventa fue que el tamaño de la partícula era el factor de toxicidad predominante, siendo las más pequeñas aquellas más tóxicas. No obstante, durante los últimos 15 años, las investigaciones han evidenciado que tanto el tamaño, la caracterización fisicoquímica, como la composición química, son necesarios para entender la toxicidad de las partículas. En el campo de las partículas urbanas, consideradas como una mezcla compleja de compuestos, no existen estándares de medición para las propiedades fisicoquímicas, sin embargo la determinación de carbono total, *black*

carbon, metales de transición, nitratos, sulfatos, potencial oxidativo, e hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), están dentro de los componentes más evaluados. Un reciente estudio de meta-análisis, que evaluó el carbono elemental, carbono orgánico, sulfato y nitrato en $MP_{2.5}$, junto a sus relaciones con las admisiones hospitalarias, demostraron que cambios en el contenido de carbono elemental (*black carbon*) estaban fuertemente asociados al incremento de admisiones hospitalarias por problemas cardiovasculares[6].

2.1 El cambio en la perspectiva del Black Carbon.

El año 2012, la OMS clasificó las emisiones de diésel como carcinogénicas, sugiriendo a su rama europea la creación de estándares de salud pública para los niveles de *black carbon* (BC). Un año antes, investigadores de la Unión Europea habían estimado que la expectativa de vida podía ser extendida entre cuatro a nueve veces, al reducir una unidad de BC, en comparación a la reducción de una unidad de $MP_{2.5}$[7]. Este tipo de conclusiones solo ha podido ser llevado a cabo recientemente, luego de que mejoras constantes en metodologías de investigación, como la incorporación de análisis de especies carbonáceas en estudios de corte epidemiológico, permitiesen tales juicios. Por otra parte, los estudios toxicológicos han adicionado una ilustración de los mecanismos biológicos, acerca de cómo los compuestos de carbono causan daño. Los últimos antecedentes han demostrado que el BC de variadas fuentes pareciera estar implicado en todas las causas de mortalidad y morbilidad cardiovascular, cáncer de pulmón, y tal vez, efectos adversos de nacimiento en el sistema nervioso[8].

El carbono elemental (EC) es una forma no volátil de carbono, semejante en estructura al grafito. De tamaño nanométrico, nunca se encuentra en forma pura en la atmósfera, debido a que variados compuestos, ya sean metálicos o de carbono orgánico (OC), están adsorbidos en su núcleo. Esta mezcla compleja de materiales carbonáceos e inorgánicos, es conocida como *black carbon*.

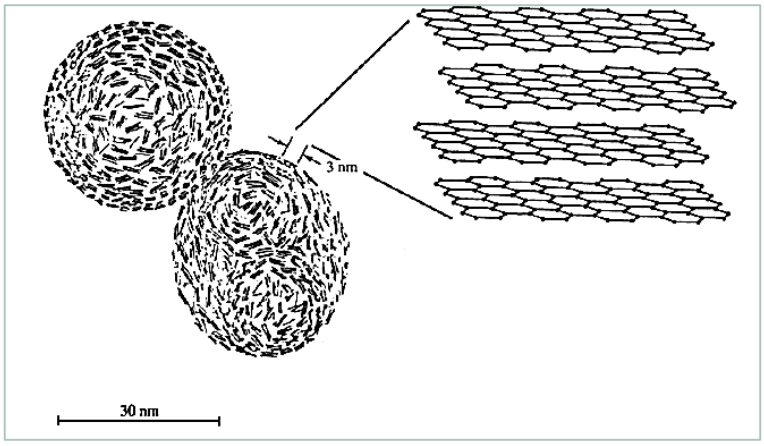


Figura 3. Representación de núcleo de EC en la formación del material particulado[9].

Tanto el término BC como EC son usualmente utilizados de manera intercambiable entre los epidemiólogos, debido a que son productos de las mismas emisiones. El BC es altamente correlacionado con otros compuestos de gases carbonáceos y con trazas de metales de los aceites lubricantes. Muchos de los gases carbonáceos de origen antropogénico, o bien de fuentes naturales, son transformados químicamente en la atmósfera, hacia partículas de baja volatilidad, denominándose compuestos secundarios de carbono (SOC). Los efectos en la salud observados en la exposición a fuentes de BC, están muchas veces relacionados, en parte, no solo al contenido de BC, sino que a tipos específicos de co-emisiones de estos gases, que incluyen los PAHs.

La estimación mundial de BC, al año 2010, fue de 8 111 Gigagramos por año, siendo el Este de Asia la región con el mayor aporte[10]. En orden correlativo continúan los aportes de África, Sudeste asiático, América Latina, Estados Unidos de Norteamérica y Europa OECD, entre otros. La fuente individual y primordial en Estados Unidos y Europa OECD, es el transporte (mayormente en motores diésel), mientras que la fuente líder en Asia es la industria y las residencias. La quema de carbón para fines domésticos e industriales, sin control de partículas, es la principal fuente de emisiones en el Este asiático. En África y Centro-Sur América, la quema de biomasa en terrenos abiertos (incendios y quemas agrícolas) es la primera fuente de BC en la región.

Si bien se espera que las emisiones globales de BC disminuyan en todo el mundo en las próximas décadas, debido a la implementación de mejoras tecnológicas en países desarrollados, esta tendencia puede ser eclipsada por el crecimiento de las emisiones en los principales sectores de crecimiento (transporte e industria) de los países en vías de desarrollo. El BC, emitido a la atmósfera en forma de minúsculas partículas ($MP_{2.5}$), es una de las formas más efectivas, por unidad de masa, de absorber la energía solar en la atmósfera, contribuyendo también de esta forma, al efecto de cambio climático.

Considerado el segundo mayor colaborador al forzamiento radiativo mundial (luego del CO_2), el BC tiene una corta vida atmosférica, de días a semanas. Lo anterior se ha relacionado con una serie de impactos climáticos, que incluyen el aumento de las temperaturas y el derretimiento acelerado de masas de hielo, en regiones árticas y de montaña. La reducción de las emisiones actuales de BC puede ayudar a retardar la tasa de cambio climático, especialmente en regiones sensibles como el Ártico. Es por esta razón, que las estrategias dirigidas a reducciones directas a fuentes ricas de BC, como por ejemplo el incentivo a los combustibles limpios, pueden proporcionar beneficios concretos para el clima en las próximas décadas.

3.1 Beneficios de la introducción de diésel limpio.

La reducción de contaminación en el aire, implica inexorablemente la reducción del contenido de azufre en los combustibles. La presencia de este elemento tiene doble impacto, al ser un contaminante en sí mismo, además de impedir la adopción de tecnologías avanzadas para el control de las emisiones vehiculares. Ninguna estrategia de reducción de contaminantes atmosféricos puede ser exitosa, si no se logra disminuir los niveles de azufre de los combustibles. Al evaluar las opciones de mitigación, es importante recordar que el BC es emitido en conjunto a otras partículas y gases. Los vehículos a diésel son una de las variadas fuentes de BC, sin embargo gracias a la disminución del contenido de azufre en los

combustibles, avances en el diseño de los motores y tecnologías de control de emisiones (filtros DPF), se ha logrado que en la actualidad las emisiones de BC y material particulado proveniente de los vehículos que utilizan diésel limpio, hayan sido virtualmente eliminadas.

El azufre, componente natural del petróleo crudo, se encuentra tanto en gasolina como en el diésel. Durante la combustión, la formación de dióxido de azufre y sulfatos incrementan los niveles de partículas, incluyendo el $MP_{2.5}$ del ambiente. Es por esta razón que cualquier reducción en el contenido de azufre en los combustibles se traduce en una serie de beneficios, al disminuir las emisiones totales de estos contaminantes.

El caso de los países cuyas exigencias han sido menores en temas de normativa, el contenido de azufre sigue siendo alto, lo que impide la introducción de nuevas tecnologías vehiculares. Esto se debe a que el azufre contenido en el diésel contribuye al incremento del nivel de ácido, causando daños al sistema de control de emisiones. La presencia de este componente limita la efectividad de muchas de las tecnologías de tratamiento de emisiones para el tubo de escape, resultando en un incremento de las emisiones de otros contaminantes como COVs, MP, CO y NO_x.

A nivel mundial, la mayoría de los países desarrollados, tienen un límite máximo de contenido de azufre igual a 15 partes por millón (ppm). En América Latina y el Caribe, el contenido de azufre sigue siendo alto, no obstante países como Costa Rica, Colombia, Chile y Uruguay, ya han adoptado normas de emisión que limitan el máximo de azufre por debajo de los 50 ppm. Muchos del resto de los países a lo largo de la región están en proceso de transición hacia un diésel progresivamente reducido en azufre, aunque ocurriendo de manera lenta, mientras que otros aún no tienen en proyecto la elaboración de planes regulatorios.

Figura 4. Límite máximo del contenido de azufre en diésel en países de América Latina y el Caribe (International Fuel Quality Center, enero 2014).

4.1 Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, *United Nations Environment Programme*) ha asistido a países en vías de desarrollo mediante la implementación de políticas medioambientales, entre las que se cuenta la iniciativa *PCFV (Partnership for Clean Fuels and Vehicles)*. Su principal objetivo ha sido reducir la cantidad de contaminantes provenientes del transporte, a través de la promoción de combustibles libre de plomo y con bajo contenido de azufre, así como también, a través de mejoras en tecnologías y normativas vehiculares. En la actualidad, el programa cuenta con más de 110 socios, incluyendo gobiernos, sociedades civiles, organizaciones internacionales e instituciones de educación superior.

Desde la puesta en marcha el año 2002, casi la totalidad de los más de 100 países que utilizaban gasolina con plomo en ese momento, la han eliminado. El éxito de la iniciativa se concentró principalmente en países del África subsahariana, donde la eliminación se completó rápidamente entre los años 2002 y 2006. Se considera de suma importancia abordar la promoción de combustibles y vehículos limpios en los países en desarrollo, especialmente al reflexionar sobre el crecimiento exponencial que ocurrirá en el parque vehicular de estas naciones. Se espera que la cantidad de vehículos sea duplicada para el año 2030, y triplicada para el año 2050[11].

Basándose en las tendencias actuales, el *PCFV* busca adoptar requerimientos para vehículos con tecnologías más limpias y 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 este contexto, Paraguay hace 5 años no contaba con normativa de calidad del aire y tampoco se realiza monitoreo de contaminantes atmosféricos, fuese público o privado. Lo anterior generó la firma de un acuerdo entre *UNEP* y Petrobras, con el objeto de cooperar en la promoción de combustibles y vehículos más limpios. De igual forma, 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 impactaban a este componente Medio Ambiental, y con esta información apoyar el trabajo de la Mesa del Aire y la Salud, con una propuesta de plan de acción para vehículos eficientes y combustibles más limpios.

5.1 Panorama de Calidad del Aire de Asunción 2010.

Con un 80% de la flota vehicular utilizando diésel, esencialmente de origen japonés y de segunda mano, se caracterizó a la ciudad de Asunción por poseer uno de los parques vehiculares de mayor antigüedad en la región. Al año 2009, ingresaban al país 150 mil vehículos, de los cuales el 60% eran usados. En comparación al resto de los países latinoamericanos, Paraguay presentaba las menores exigencias ambientales a la importación de vehículos, con la inexistencia de normas de emisiones para el mercado

automotriz, así como también la alta demanda de diésel de peor calidad (5000 ppm de azufre). En un panorama de retraso con respecto a la región, se diseñó un programa para evaluar de manera diagnóstica, la calidad del aire de la ciudad de Asunción. La campaña de monitoreo, efectuada en junio del 2010, contempló la instalación de equipos de medición continua y discreta (filtros) para $MP_{2.5}$ y BC, en dos sitios de la ciudad.

Uno de ellos, emplazado a nivel de calle en el centro de la ciudad, estuvo directamente impactado por el transporte vehicular. Por el contrario, el segundo sitio fue ubicado en altura, en una zona urbana donde se evitó el impacto directo de fuentes móviles, representando el nivel base (background) urbano de la ciudad.

Los análisis del $MP_{2.5}$ recolectado, indicaron que en ambos sitios se presentaba un 39% de superación de los valores estándares establecidos por la OMS, para concentraciones de 24 horas (Figura 5). En el caso del perfil semanal de $MP_{2.5}$, las concentraciones tendieron a disminuir durante los días de fin de semana, lo que reflejaba el directo impacto del transporte vehicular en la generación de material particulado.

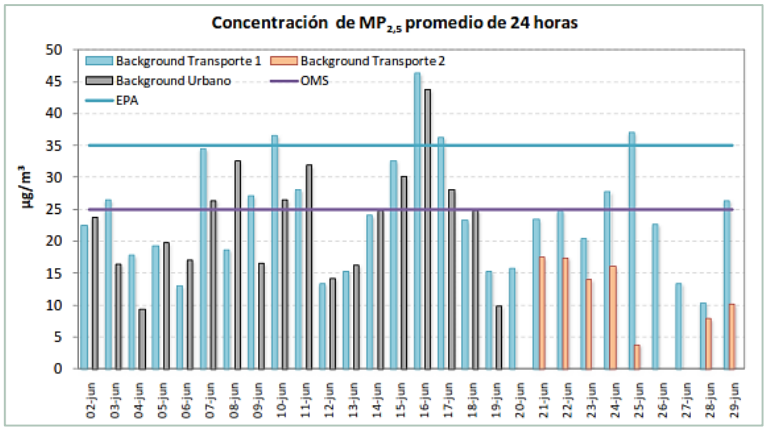


Figura 5. Niveles de concentración de $MP_{2.5}$ en Asunción, 2010[12].

El aporte para cada elemento a la concentración del $MP_{2.5}$ fue utilizado para identificar en términos relativos algunos tipos de fuentes emisoras. De esta manera, se informó el posible impacto proveniente de la quema de biomasa, al presentarse altos valores de potasio (K). En adición, la presencia del elemento calcio (Ca) indicó la contribución de las actividades de construcción, mientras que el zinc (Zn) fue señalado como trazador del impacto del tráfico vehicular y el uso de combustibles fósiles (diésel, gasolina, etc).

El monitoreo de BC mostró que la principal fuente de este contaminantes correspondía a las emisiones vehiculares de escape. De la misma forma, el impacto del transporte no solo fue significativo en las concentraciones de hollín, sino que también en las mediciones de MP durante los días de semana, que llegaron a registrar niveles por sobre los 140 $\mu g/m^3$.

Durante las primeras dos semanas de junio del 2010, 20 monitores para el muestreo de gases fueron distribuidos a lo largo de la cuidad, contemplando el monitoreo discreto de gases SO_2 y NO_x. Los monitores ubicados en las principales vías e intersecciones de la ciudad, indicaron que la concentración de estos gases provenientes de la combustión de gasolina y diésel, se distribuían de manera regular sobre Asunción, con máximos impactos sobre zonas de gran tráfico vehicular. En cuanto al gas NO_2, se indicó además, su gran predominancia en concentración, muy cercana al nivel máximo recomendado por la OMS.

Figura 6. Red de monitoreo de gases SO_2 y NO_x sobre la ciudad de Asunción, junio 2010.

Con resultados que indicaban también, la alta presencia de sustancias tóxicas en el aire, las principales conclusiones establecieron que la ciudad de Asunción se encontraba expuesta a niveles de contaminación atmosférica por partículas finas y dióxido de nitrógeno, que ponían en riesgo la salud de su población. El transporte vehicular fue señalado como el principal responsable, aunque también se mencionó el retraso en cuanto a la dictación de normas básicas para el control de la contaminación atmosférica. En vista de lo anterior, se indicaron algunos pasos a considerar en la solución de este problema, como la creación de normas de calidad del aire, normas de emisión para el mercado automotriz, y normas para la importación de vehículos usados.

6.1 Avances en Gestión de Calidad del Aire, panorama 2014.

Durante los años 2011 a 2013, el diésel tipo III, con alto contenido de azufre, siguió siendo el combustible mayormente comercializado en la capital paraguaya. No obstante, el diésel tipo I, de bajo contenido de azufre, incrementó su consumo de manera progresiva, indicando el interés de un grupo de consumidores, por el uso de combustibles de mejor calidad (Figura 8). Este grupo está probablemente formado por los vehículos importados nuevos, que incrementaron también, significativamente su participación en el parque automotriz[13].

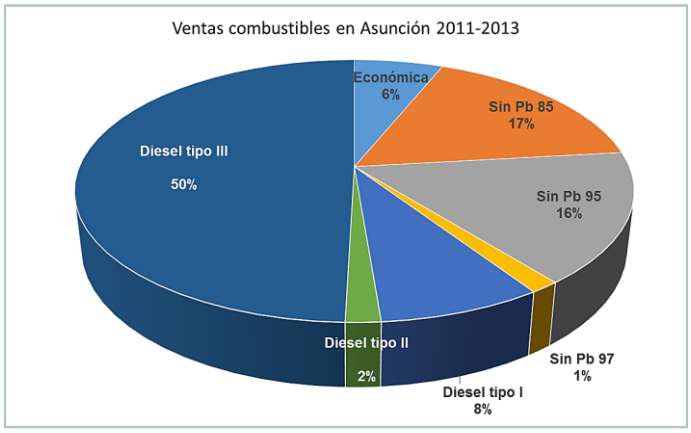


Figura 7. Porcentaje de ventas de combustibles en Asunción 2011-2013. Estadísticas Ministerio de Industria y Comercio.

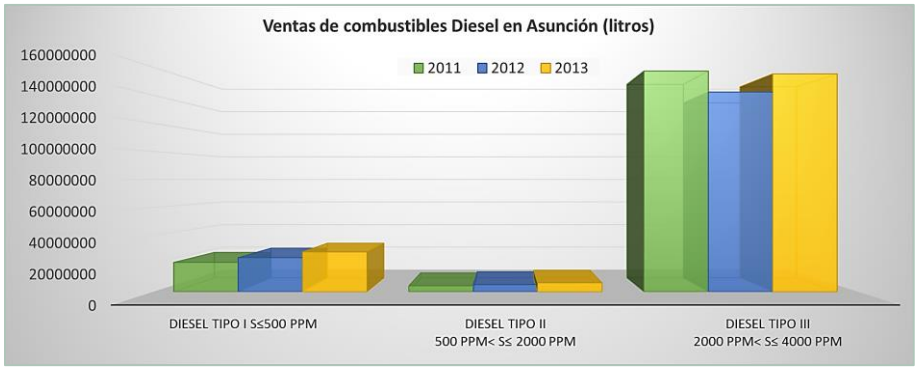


Figura 8. Litros de combustible vendidos por año en Asunción, según tipo de diésel.

Adicionalmente a las expectativas del aumento futuro del consumo de diésel limpio, en noviembre del año 2013, el Ministerio de Industria y Comercio emitió la resolución N°13136 que especifica técnicas de importación y comercialización de combustibles, reduciendo los estándares máximos de azufre en el diésel utilizado. De esta forma, y con el objetivo de contribuir a un ambiente más saludable, el límite del diésel de peor calidad disminuyó de 2500 a 1800 ppm, en su contenido de azufre, mientras que el de mejor calidad, disminuyó de 500 a 50 ppm.

El esfuerzo más grande realizado en el escenario actual, corresponde a la creación de la Ley de Calidad del Aire en Paraguay durante junio del 2014, cuyo enfoque se centra en el control de la emisión de contaminantes al aire. En lo que respecta, se establece la creación de un programa de control y monitoreo de las emisiones producidas por las distintas actividades que generan contaminación, así como también la regulación de las mismas, el establecimiento de estándares permisibles, sanciones a los transgresores y el desarrollo de programas de educación ambiental, entre otros. Esta Ley otorga a la autoridad de aplicación, la responsabilidad de elaborar un plan nacional de gestión integrada de las emisiones de gases de fuentes fijas (instalaciones, equipos) y fuentes móviles (vehículos). Simultáneamente, se responsabiliza a las municipalidades en el cumplimiento de los parámetros de protección de la buena calidad del aire,

fiscalizando directa o indirectamente la emisión de todo tipo de vehículos, incluyendo el transporte público y privado.

Es destacable la incorporación de estándares de la OMS, junto al Ministerio de Salud Pública, en el proceso para la elaboración de los niveles permisibles de contaminantes, y asimismo, la obligatoriedad de inspección técnica vehicular requerida para los vehículos importados previamente usados, indicados como uno de los factores que más propician los problemas de contaminación atmosférica en el país.

De esta forma, Paraguay se aproxima al nivel de avance en temática de calidad del aire, realizado ya en países vecinos de la región. En lo que sigue, la reciente creación de la Dirección General del Aire (DGA), plantea el reto de proporcionar una reglamentación a la referida normativa, mientras surge la oportunidad de continuar progresando en el logro de un aire limpio y sin riesgos para la salud de la población.

2. CALIDAD DEL AIRE EN ASUNCIÓN: DIAGNÓSTICO 2014.

El Centro Mario Molina Chile, realizó durante el mes de junio del 2014, una campaña de monitoreo que involucró mediciones en un sitio fuertemente impactado por el transporte, y un sitio representativo de la situación basal (*background*) de contaminación.

El sitio *transporte* se ubicó en la intersección de las avenidas Cerro Corá y Brasil, edificio de Touring y Automóvil Club Paraguayo. Este sector se caracterizó por poseer un flujo vehicular intenso, tanto público como privado. En una zona sin el impacto directo de alguna fuente cercana, el sitio background *urbano* correspondió al edificio de Contables, en la Universidad Católica. Este sitio representó las condiciones de fondo, es decir la línea base de las concentraciones de contaminantes en la ciudad.

Durante aproximadamente un mes, el material particulado fino ($MP_{2.5}$) existente en la ciudad de Asunción, fue colectado a través de la instalación de equipos de monitoreo discretos, con muestras de aire recolectado durante 24 horas. El equipo *Harvard Impactor* (HI), correspondiente a un impactador en cascada, permitió que el $MP_{2.5}$ recolectado en filtros, fuera posteriormente posible de analizar para la determinación de masa y elementos químicos, en el laboratorio de Química Ambiental, de la Escuela de Salud Púbica de Harvard (HSPH).

Conjuntamente, la concentración de $MP_{2.5}$ y BC en tiempo real, fue medida utilizando monitores continuos, durante dos semanas, en cada una de las estaciones mencionadas anteriormente. La distribución espacial de gases SO_2 y NO_X fue determinada a través de la utilización de muestreadores por difusión, instalados en una red de puntos que abarcó la mayor parte de la capital paraguaya (Figura 6). Durante dos semanas fueron expuestos los filtros de gases, que se ubicaron en las principales intersecciones y zonas de impacto directo del transporte, de igual manera que el estudio realizado el año 2010. La cuantificación de la concentración de gases colectados, fue efectuada en el Instituto Sueco de Investigación Ambiental (IVL).

Mayores detalles de la metodología empleada, es descrita en el capítulo anexo al presente informe.

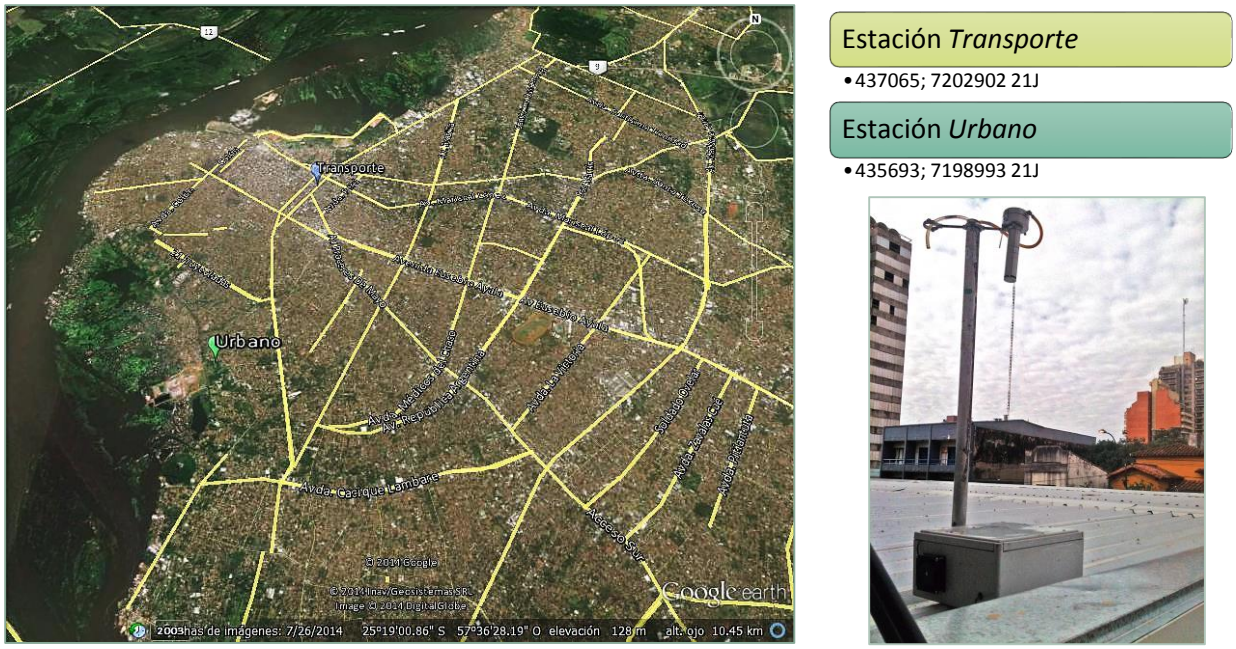


Figura 9. Ubicación de estaciones de monitoreo. Equipo de monitoreo discreto Harvard Impactor sobre el techo de estación Transporte.

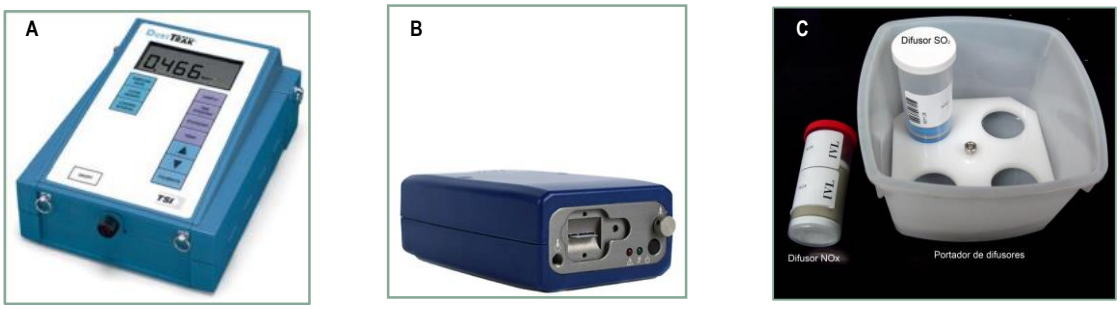


Figura 10. Monitores continuos en tiempo real (1 minuto), A: DustTrak (TSI) para monitoreo de $MP_{2.5}$. B: Microathalometer (AethLabs) para monitoreo de BC. Monitoreo discreto de gases. C: Difusor de gases (IVL) para monitoreo discreto de SO_2 y NO_X.

7.1 Concentración de $MP_{2.5}$.

Durante junio del año 2014, el aire de Asunción registró en promedio, 15.7 µg/m^3 de $MP_{2.5}$, un 30% menos que los niveles registrado durante la campaña de monitoreo del año 2010. No obstante, de igual manera fueron observadas ocasiones en las cuales se superaron los límites establecidos por la OMS u otros organismos similares. En aproximadamente un mes de invierno, la cantidad de días en que la población se expuso a concentraciones sobre las recomendadas, fue igual a 2. En contraste, para la anterior situación observada el año 2010, se indicó que la cantidad de días con superaciones de límites seguros para la salud de la población, correspondió a un total de 8.

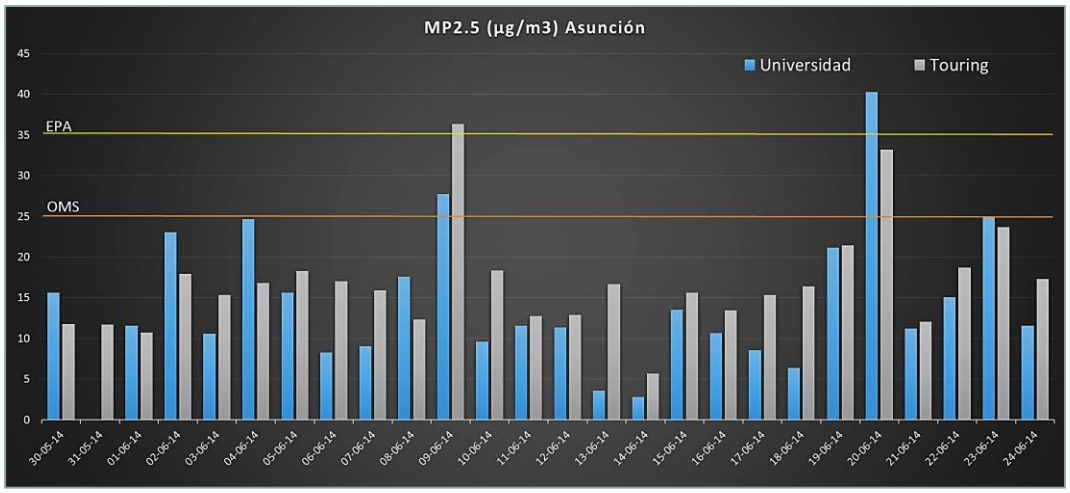


Figura 11. Concentración diaria de $MP_{2.5}$ en la ciudad de Asunción, 2014, registrado en la estación de background urbano (universidad) e impacto de transporte (touring). Se señalan los límites establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US.EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La evolución de la calidad del aire en Asunción, permite señalar el logro de una mejoría ambiental, expresada a través de la disminución en los niveles de material particulado existente en el aire de Asunción, no obstante aproximándose a límites saludables. Tanto la estación *Transporte* como la estación *Urbano* fueron capaces de registrar este fenómeno, aunque en magnitudes distintas (Figura 12).

Al mismo tiempo en el cual disminuyó el promedio de $MP_{2.5}$, los valores máximos también lo hicieron. La estación relacionada al transporte disminuyó pero liderando como el sitio más impactado, lo que refleja de manera gruesa la responsabilidad del sector móvil en este lugar.

Tabla 2. Promedios y máximos de $MP_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) registrados los años 2010 y 2014 en la ciudad de Asunción. Se indica el porcentaje de variación de los niveles.

PROMEDIOS			
	2010	**2014**	% variación
Transporte	23.5	16.8	-28%
Urbano	21.8	14.6	-33%
TOTAL	22.6	15.7	↓ **30.5%**

MÁXIMOS			
	2010	**2014**	% variación
Transporte	46.4	36.4	-22%
Urbano	43.9	40.3	-8%
TOTAL	45.1	38.3	↓**14.9%**

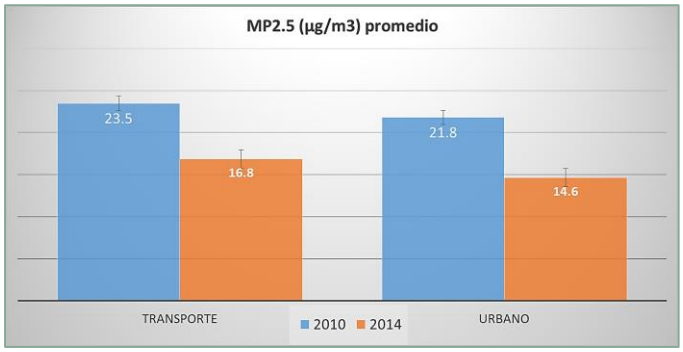


Figura 12. Promedio de $MP_{2.5}$ en Asunción, invierno 2010 y 2014. Barras de error estándar.

El análisis temporal efectuado sobre las mediciones continuas, indican que las mayores concentraciones de $MP_{2.5}$ se generaron a partir de las 5 pm, momento en que fue registrado el inicio del flujo vehicular intenso en la ciudad.

El perfil horario ilustrado en la Figura 13 permite visualizar el comportamiento de la contaminación por material particulado a lo largo del día. El nivel de fondo urbano, señala dos periodos diarios de aumento en $MP_{2.5}$, el primero entre las 6 y 8 de la mañana, mientras que el segundo ocurre entre las 17 y 22 horas. Estos resultados reflejan la contribución del sector transporte en los niveles de fondo de contaminación, indicándolo nuevamente como una de las principales fuentes de contaminación en la ciudad. En general, la estación *Transporte*, mantuvo niveles horarios en un carácter constante, y en niveles más altos que los registrados en la estación *Urbano*, especialmente en el horario esperado de mayor impacto por el transporte.

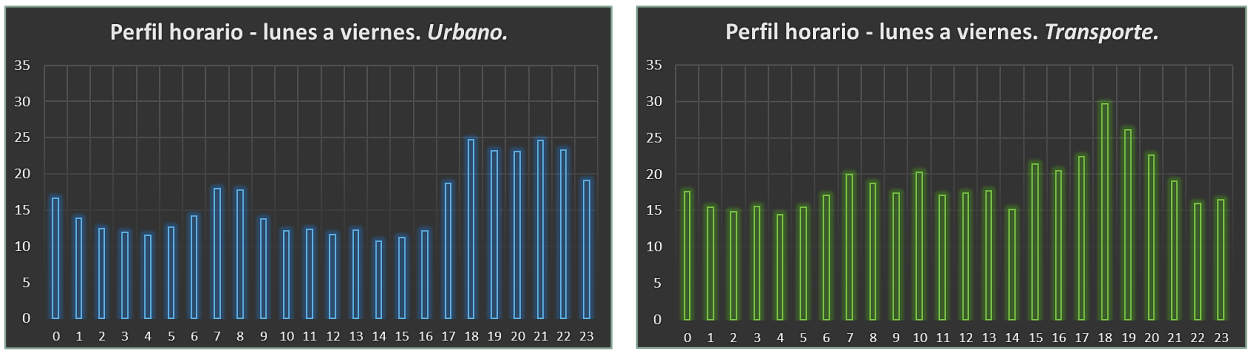


Figura 13. Perfil horario de concentraciones de $MP_{2.5}$ ($\mu g/m^3$).

El perfil semanal de las concentraciones señaló una tendencia de reducción de la contaminación del aire, cuyo máximo fue el día lunes, y el mínimo nivel el día sábado. El perfil registrado el año 2010, reveló de manera similar, la disminución de las concentraciones de $MP_{2.5}$ en los días de fin de semana, lo que fue asociado a la disminución en el uso de transporte, tanto público como privado.

Por el contrario, la estación representativa de las zonas fuertemente impactadas por este tipo de fuente, ilustraron un perfil semanal que alcanzó sus mayores niveles los días lunes, luego de mejorías en la calidad del aire durante el fin de semana. (Figura 14).

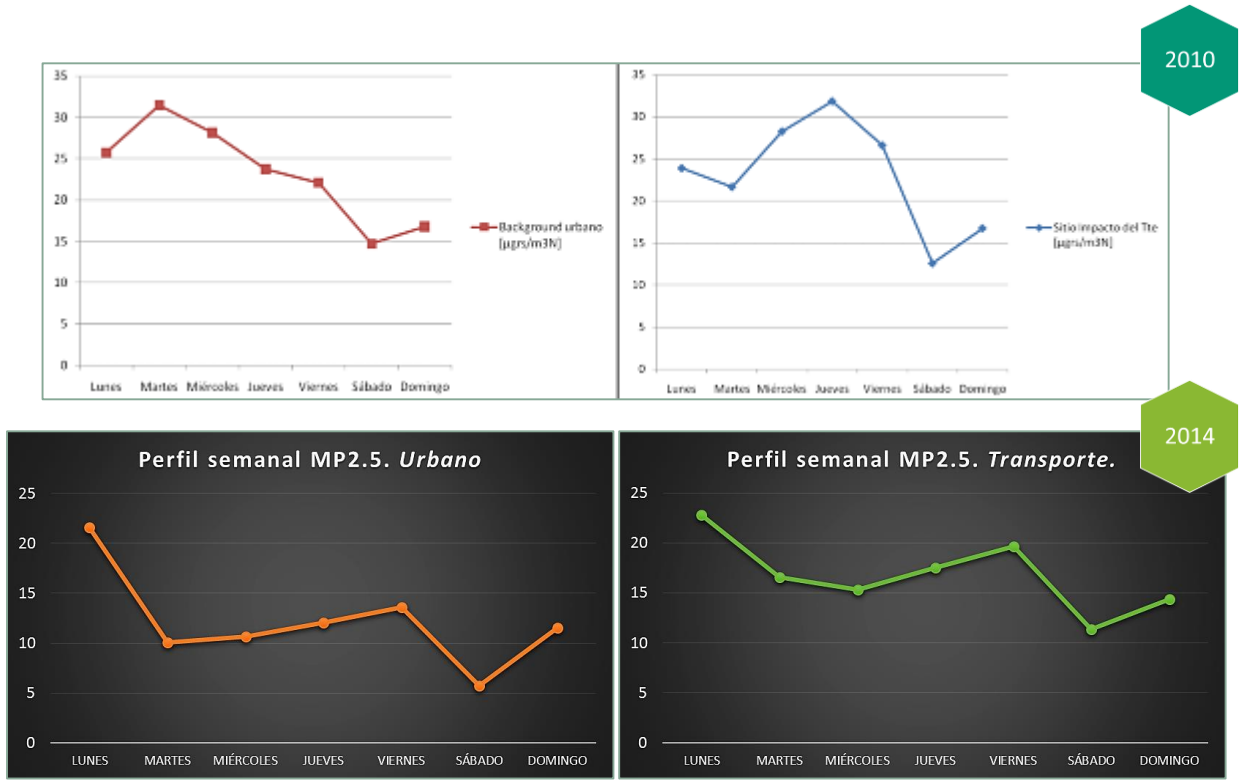


Figura 14. Perfil semanal de la concentración de $MP_{2.5}$ (µg/m³). Comparación entre datos de año 2010 y 2014.

8.1 Composición elemental del $MP_{2.5}$.

De los 71 elementos que la técnica XRF es capaz de identificar (descripción en anexo metodológico), solamente 48 elementos fueron detectados en el $MP_{2.5}$ proveniente de la ciudad de Asunción. Algunos de estos elementos corresponden a metales vigilados por la salud pública internacional (cromo, plomo, níquel, entre otros), no obstante en cantidades trazas. Elementos de la corteza terrestre como calcio (Ca), hierro (Fe), aluminio (Al) y silicio (Si), asociados principalmente a partículas provenientes del suelo terrestre (polvo mineral), fueron encontrados en mayores concentraciones.

En total, la masa elemental y metálica del $MP_{2.5}$ se aproximó a un 9%, siendo levemente mayor en el material particulado colectado para el fondo urbano. En orden de abundancia, el potasio (K), elemento asociable la materia vegetal recientemente quemada, se ubicó como el elemento presente en mayor cantidad, de igual forma que lo registrado el año 2010.

El segundo lugar en abundancia fue ocupado por el elemento azufre (S), el cual se asocia a la persistencia del uso de combustibles fósiles que incorporan grandes cantidades de este elemento en su

composición (diésel de baja calidad, petróleo industrial). El orden correlativo en que siguió la abundancia de elementos continúa con Si, Al, Fe, Ca y Sodio (Na).

Resaltó en un porcentaje cercano al 1% del total de la masa elemental, la presencia de elementos químicos de la serie de las "tierras raras" o lantánidos, como el samario (Sm) y europio (Eu). Estos elementos, de los cuales se ha estudiado poco sobre su distribución en la atmósfera, pueden provenir de fuentes naturales, ya que son parte de la composición geológica de algunos tipos de suelos. No obstante, también puede provenir de fuentes antropogénicas, entre las que se incluye la industria petrolífera y cerámica.

La distribución de los elementos más abundantes encontrados en la campaña 2014, son ilustrados en la Figura 15. Se puede observar similitud en la distribución entre ambas estaciones, lo cual refleja que la masa de aire contaminado es homogénea para toda la ciudad. Las leves diferencias se asociaron al K, cuyo mayor registro fue en el sitio urbano, posiblemente más próximo a regiones que realizan incineraciones de materia vegetal (quema de restos agrícolas, caña de azúcar y leña, entre otros), así como también un mayor porcentaje de Ca y S en el sitio de transporte, los cuales son derivados de actividades de construcción y movilización vehicular, realizadas con mayor intensidad en el núcleo de la ciudad.

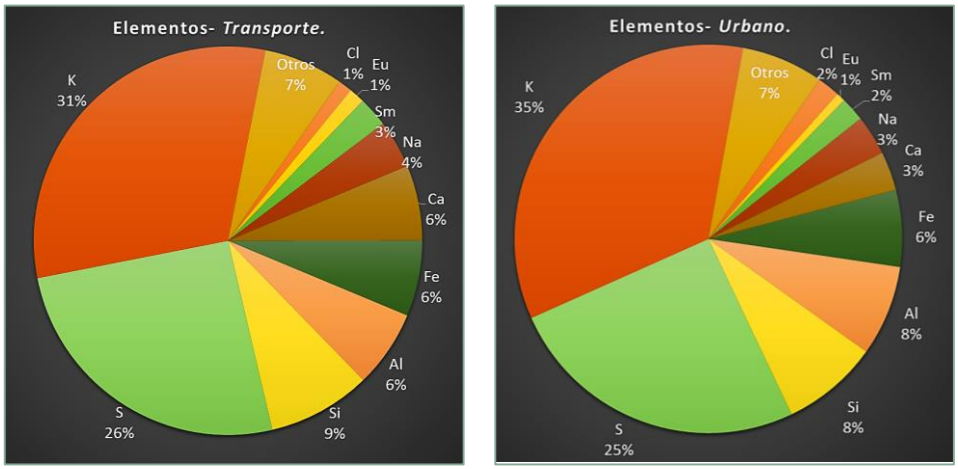


Figura 15. Distribución porcentual de la presencia de elementos químicos en $MP_{2.5}$ de Asunción, 2014.

Previamente, el estudio del año 2010 indicó que la quema de residuos agrícolas, actividad común en las cercanías de la ciudad, podría explicar la contribución que tiene el K en el $MP_{2.5}$. La distribución porcentual alcanzada por este elemento en el estudio actual, fue similar a la registrada el año 2010, lo que indica que se ha mantenido al mismo ritmo desde ese entonces (Figura 16).

En cuanto a los elementos minoritarios, se destaca la reducción porcentual de algunos elementos asociados a la generación de partículas producto del desgaste de neumáticos y sistemas de frenos, como por ejemplo el zinc (Zn), cobre (Cu) y Cadmio (Cd), lo que puede responder a la actualización del parque vehicular y restricciones al uso de vehículos obsoletos.

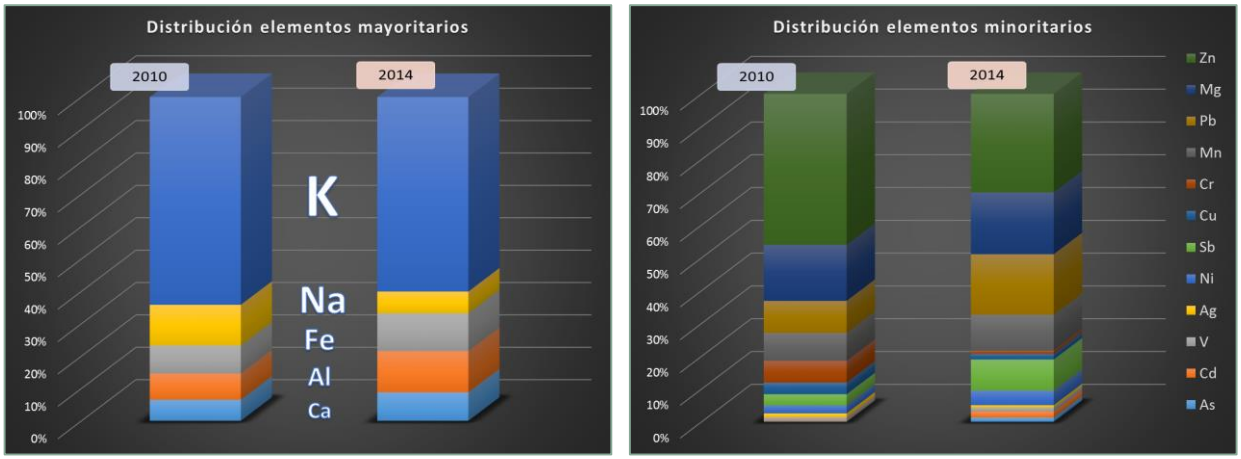


Figura 16. Comparación porcentual de elementos en $MP_{2.5}$ de Asunción, año 2010 y 2014.

Con la finalidad de analizar en mayor detalle el tipo de fuente que más contribuyó en la generación del $MP_{2.5}$ encontrado la ciudad de Asunción, se realizó el análisis estadístico de modelo receptor PMF (Positive Matrix Factorization)[14]. Este modelo ha sido ampliamente promovido por la U.S EPA debido a su alto aporte científico que provee en estudios de carácter medioambiental. En resumen, se ingresaron las concentraciones de cada elemento y sus incertezas analíticas, en el software *EPA PMF 5*.0, sobre el cual se procesaron los datos para la obtención de diferentes *factores*, que en este caso representan diferentes fuentes y origen del material particulado.

De esta forma, las fuentes que resaltaron demostraron ser altamente dependientes de combustible fósil. En el sitio de transporte, tres de los cuatro fuentes identificadas, fueron altamente responsables de la emisión de azufre, alcanzando una resposabilidad de cerca un 67%. El sector vehicular se aproximó a un 40% de responsabilidad sobre la contaminación en la ciudad, no obstante se puede señalar por primera vez, una asociación entre la emisión de S y fuentes industriales, que corresponde a un sector el cual necesita vigilar sus emisiones. Ambos sitios reflejaron una contribución incipiente de la metalurgía, y un mayor impacto de las quemas en el sitio asociado al fondo urbano.

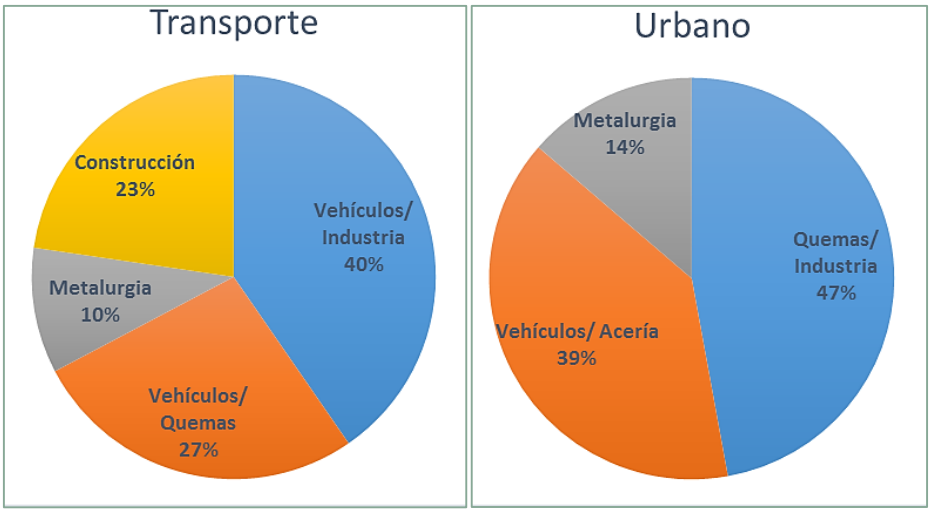


Figura 17. Contribución estimada para distintas fuentes en la concentración de MP2.5 de Asunción. Software U.S EPA PMF 5.0.

9.1 Concentración de BC.

Los vehículos que utilizan combustible tipo diésel pueden ser grandes emisores de BC, si es que no poseen la tecnología adecuada para mitigarlo. Actualmente, países como Estados Unidos se encuentran desarrollando una serie de normativas que afectarán la próxima tecnología vehicular, y con la cual se pretende reducir en 86% las emisiones de BC al año 2030.

Los nuevos estándares para los vehículos nuevos incluye el requerimiento de filtros de partículas (DPF) en conjunto al uso de combustibles con bajo contenido de azufre. Distintos países de Europa han desarrollado otros mecanismos para controlar este tipo de emisiones, entre los que se mencionan las "zonas de baja emisión", es decir zonas de la ciudad que permiten el acceso exclusivo para vehículos de bajas emisiones, la medida de tarificación vial aplicado al cargo por uso de carreteras, programas de filtros para el servicio de transporte público, así como también el recambio de autobuses y camiones viejos que aún transitan por la ciudad.

El nivel de BC en la ciudad de Asunción fue registrado continuamente en ambas estaciones de monitoreo. El principal resultado obtenido del sitio *Transporte* revela el impacto que aún mantiene este tipo de fuente, sobre las concentraciones de BC. La Figura 18 muestra el perfil horario rescatado de cada estación. Igualmente que lo observado en el perfil de $MP_{2.5}$, el horario de mayor contribución de este contaminante es producido durante el periodo en que se espera que aumente el tráfico vehicular, es decir a partir de las 17 horas.

En contraste a lo anterior, se observó que los máximos horarios presentaban un patrón definido. En el sitio urbano se presentaron los máximos en los periodos de 6 a 8 de la mañana, y de 17 a 18 horas en la tarde. En cuanto al sitio impactado por transporte, se observaron incrementos entre 6 a 8 am, posteriormente a partir de las 11 am, y el periodo principal de mayor impacto entre las 16 a 19 horas. Aun cuando el BC decae en concentración durante la noche, la subsistencia de esta partícula en el aire permite que se aglomeren compuestos volátiles o gaseosos ($MP_{2.5}$ secundario), y con ello aumente la concentración en masa de material particulado. En su superficie se ven favorecidos reacciones de condensación, producto del efecto ejercido por el cambio en ciertos parámetros físicos-meteorológicos, como temperatura y humedad relativa, entre otros.

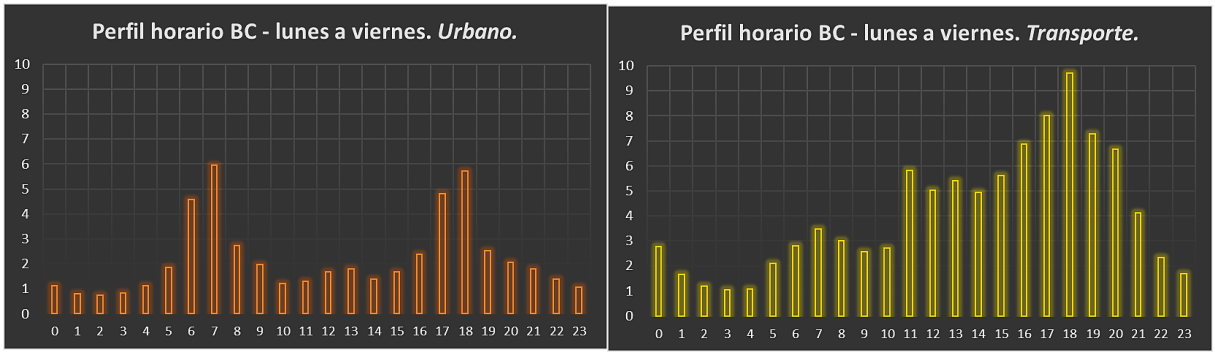


Figura 18. Perfil horario de BC (µg/m³) en estación urbano y transporte.

La influencia del sector vehicular sobre los niveles de BC es significativa. El estudio efectuado el año 2010 indicó por primera vez la existencia de altas concentraciones registrada en la estación monitora *transporte*, y de la misma forma, el patrón característico que se puede asociar al perfil vehicular reportado en Asunción (aumento durante la tarde). Los promedios diarios y valores máximos monitoreados durante el actual estudio diagnóstico, son mostrados en la Tabla 3. Se puede observar la diferencia en valores respectivos a ambas estaciones monitoras, en las cuales predominaron mayores concentraciones en el sitio impactado por el tráfico vehicular. En general, el sitio *Transporte* presentó un promedio diario 3 veces superior a su contraparte *Urbano*, mientras que el máximo diario fue superado en un orden de 5 veces.

Tabla 3. Promedio diario, máximo diario y máxima concentración de BC registrada (µg/m³), en Asunción, junio 2014.

	Promedio diario	***Máximo diario***	***Máx. registro***
Transporte	4.4	9.4	41
Urbano	1.4	1.9	19

La relación entre el $MP_{2.5}$ y BC de Asunción es lineal y estadísticamente significativa. Lo anterior se deduce de la Figura 20 que ilustra un análisis de correlación para ambos contaminantes. De esta forma, es posible asociar los incrementos de nivel de material particulado de la ciudad, con el fuerte dominio que aún posee el sector de transporte.

Como ya fue señalado en párrafos previos, el aumento de $MP_{2.5}$ no se restringe únicamente al incremento de BC, sino que también a una variedad de materiales particulados y gaseosos que escapan en el proceso de la combustión vehicular, especialmente a diésel. El capítulo a continuación comenta el estado de la concentración de gases contaminantes, principales agentes responsables de la formación secundaria de material particulado, así como también la evolución de su tendencia en la ciudad. La disminución de los niveles de SO_2 y NO_x es un claro indicador del logro que se establece en calidad del aire, especialmente en relación al éxito de un programa estratégico de descontaminación, que se basa en el mejoramiento de la calidad del combustible usado por la población, como así también el progreso en la tecnología vehicular disponible.

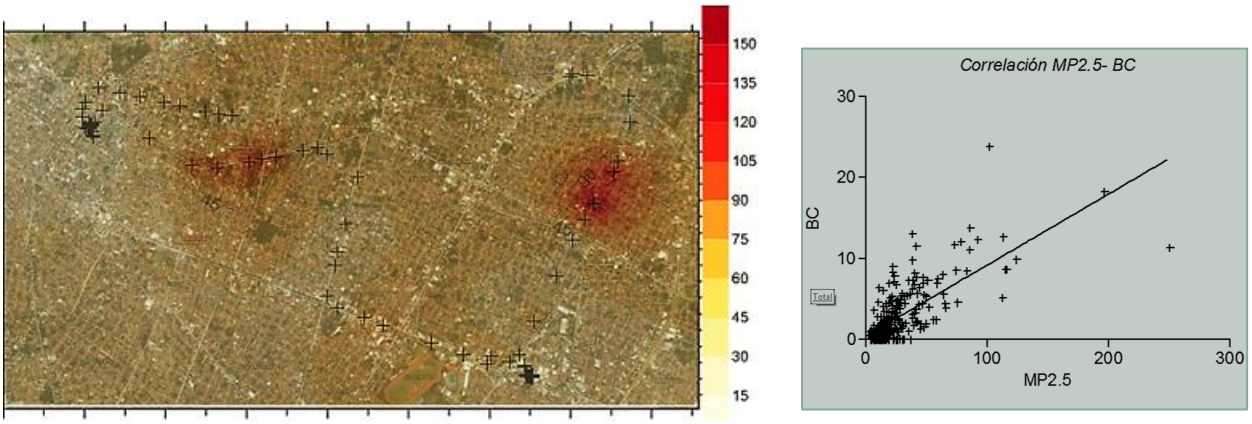


Figura 19. Concentración de BC (µg/m³) durante recorrido por las principales avenidas de Asunción. Relación $MP_{2.5}$ y BC. (r Pearson=0.72; p<0.0001).

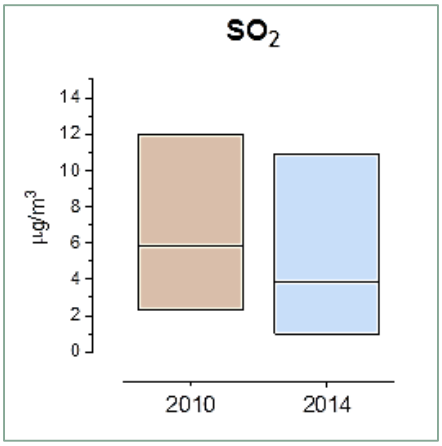
Figura 20. Apoyo gráfico de la situación vehicular en sitio transporte.

10.1 Concentración de gases SO_2 y NO_x

El monitoreo de gases realizado en 20 puntos de la ciudad de Asunción, entregó una distribución espacial de los contaminantes gaseosos SO_2 y NO_x, que anteriormente en el estudio 2010, se expresaron de manera homogénea sobre la ciudad.

En el actual estudio, la evolución de ambos gases se relacionó a una disminución del 34%, en cuanto a la concentración del gas SO_2, y una disminución de 57% respecto a los gases NO_x. La desulfuración del diésel y gasolina, fue una de las principales medidas gestionadas por la autoridad local, no obstante aún siguen observándose valores máximos que fueron similares a los registrados el año 2010.

La resolución N°13136 que reguló la comercialización de combustibles, reduciendo los estándares máximos de azufre en el diésel y gasolina utilizado, debe ser el inicio de una serie de regulaciones que la autoridad local debe realizar en los próximos años. Disminuir la demanda por combustible de baja calidad es un desafío que debe ser superado, así como también la fiscalizando directa o indirecta, de la emisión de todo tipo de vehículos, incluyendo el transporte público y privado.



Promedio (µg/m³)			
	2010	**2014**	% variación
SO_2	5.8	3.8	↓ **34%**

Figura 21. Evolución del promedio de SO_2 registrado en Asunción, año 2010 y 2014. Gráfico box-plot (barra flotante) indica rango de valores registrados y valor promedio (línea dentro de la barra). Derecha: Apoyo gráfico de difusores de gases instalados en la ciudad.

El impacto generalizado del sector transporte, se expresó con mayor fuerza en las intersecciones de la Avenida Mariscal López, con las Avenidas Venezuela y San Martín, principales rutas de tránsito de la cuidad. La evolución de la distribución espacial de este gas es mostrado en la Figura 22, la cual permite observar una disminución de los niveles de SO_2 en la mayor parte del territorio cubierto por la red de monitores gaseosos.

En particular, se observaron nuevamente los máximos registros en el sector norte de la ciudad, así como también en las cercanías de las calles comprendidas entre Eusebio Ayala, Aviadores del Chaco y Madame Lynch.

Avenidas	SO2 µg/m3
Av Venezuela- Mariscal López	10.9
Mariscal Lopez- San Martín	8.4
Eus. Ayala- Def. del Chaco	6.3
Dr. Manuel Peña- Dr. Anibal Mena	5.8
Aviadores del Chaco- Madame Lynch	5.1
Av España- Ayala Velásquez	3.6
Av España- San José	3.6
Cerro Corá- Brasil	3.4
Fernando de la Mora- Rep. Argentina	2.7
Mariscal López- Brasil	2.4
Av Transchaco- Semidei	2.4
José Asunción Flores- Aguilar	1.6
Aviadores del Chaco- Sta. Teresa	1.5
Guido Espano- Cnel. Escurra	1.5
Primer Presidente- Itapua	1.2
Gral. Garay- Del Maestro	1.0

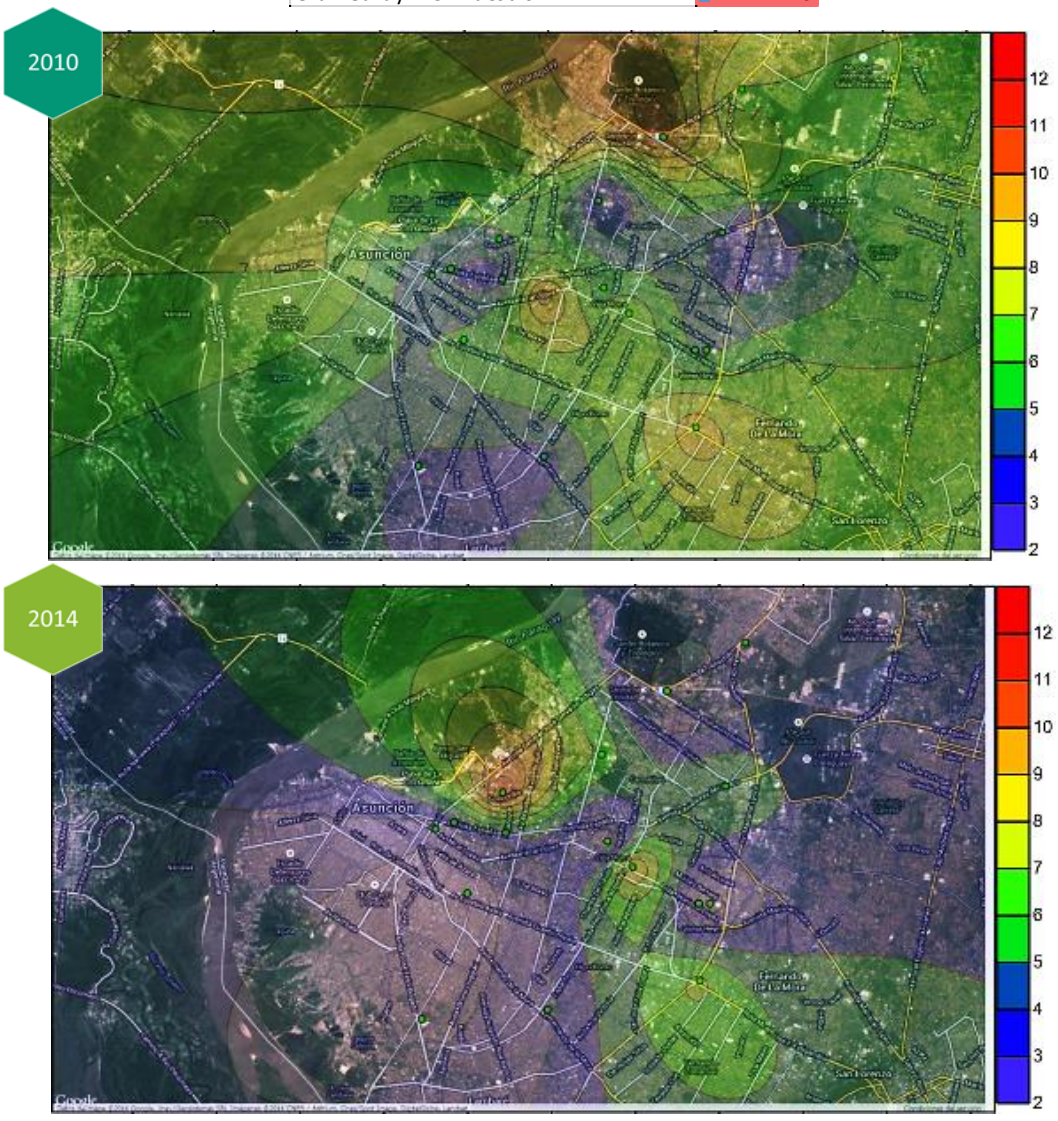
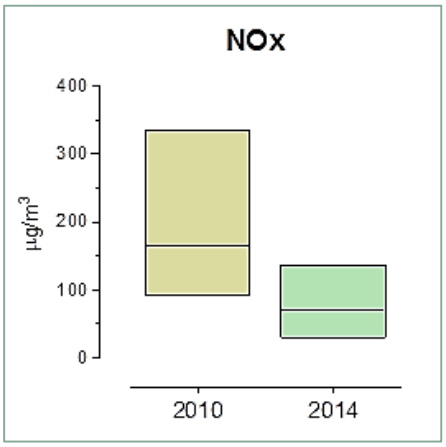


Figura 22. Evolución de la distribución espacial de SO_2 ($\mu g/m^3$) en la ciudad de Asunción, año 2010 y año 2014

Como contaminantes atmosférico, los gases SO_2 y NO_x pueden relacionarse a variadas actividades, no obstante las principales fuentes de emisiones antropogénicas son los procesos de combustión utilizados para calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos.

Sobre los gases de óxido de nitrógeno (NO y NO_2), se puede mencionar que es la fuente principal de los aerosoles de nitrato, que constituye una parte importante del $MP_{2.5}$ (secundario), y en presencia de luz ultravioleta, es la fuente principal de la generación del gas ozono. En el caso de la evolución observada para el NO_x, se pudo constatar que el promedio de este contaminante en la ciudad de Asunción disminuyó un 57%, respecto al año 2010 (Figura 23).



Promedio (µg/m³)			
	2010	**2014**	% variación
NO_x	166	71	↓ **57%**

Figura 23. Evolución del promedio de NO_x registrado en Asunción, año 2010 y 2014. Gráfico box-plot (barra flotante) indica rango de valores registrados y valor promedio (línea dentro de la barra).

Los mayores registros fueron obtenidos en la intersección de la Avenida Venezuela y Mariscal López, de igual forma que lo registrado para el SO_2. Lo anterior se vuelve a relacionar con el mayor impacto que se produce en las rutas que son marcadas por poseer un alto tráfico vehicular.

De forma contraria a lo expuesto anteriormente, la concentración del gas NO_2 fue la única que no disminuyó respecto al estudio del año 2010. El aumento del parque vehicular puede ser asociado como el principal responsable, ya que la desulfuración del diésel no produce efectos directos sobre la emisión de este contaminante. Previamente el año 2010 se expuso la alta concentración de este gas en la ciudad de Asunción, cuyos niveles bordeaban la recomendación de la OMS (40 µg/m^3). Durante el mes de junio del 2014, el promedio de los puntos de monitoreo correspondió a 41.5 µg/m^3, con niveles que sobrepasaron los 60 µg/m^3, especialmente en las intersecciones de la Avenida Mariscal López con San Martín (60.6), y Colon con Ygatamí (60.8). El NO_2 aparte de ser tóxico es un gas altamente reactivo en el aire, formando partículas de nitrato y ácido nítrico, de carácter corrosivo. Es por esta razón que se debe orientar líneas de gestiones hacia el recambio del parque automotor, así como también hacia el uso de vehículos con mejores tecnologías y control de emisiones que los actualmente movilizados por la ciudad.

Avenidas	NOx µg/m3
Av Venezuela- Mariscal López	136.6
Eus. Ayala- Def. del Chaco	119.8
Aviadores del Chaco- Madame Lynch	109.3
Dr. Manuel Peña- Dr. Anibal Mena	105.2
Cerro Corá- Brasil	98.5
Av España- Ayala Velásquez	86.3
Colón- Ygatimí	74.9
Mariscal Lopez- San Martín	70.0
Av España- San José	59.5
Mariscal López- Brasil	54.5
Aviadores del Chaco- Sta. Teresa	54.2
Av Perón- Av Argaña	49.4
José Asunción Flores- Aguilar	43.6
Av Transchaco- Semidei	40.7
Primer Presidente- Itapua	40.1
Guido Espano- Cnel. Escurra	35.3
Gral. Garay- Del Maestro	30.5

Avenidas	NO2 µg/m3
Colón- Ygatimí	60.8
Mariscal Lopez- San Martín	60.6
Av Venezuela- Mariscal López	54.0
Eus. Ayala- Def. del Chaco	50.7
Dr. Manuel Peña- Dr. Anibal Mena	48.4
Aviadores del Chaco- Madame Lynch	43.5
Mariscal López- Brasil	43.3
José Asunción Flores- Aguilar	42.9
Cerro Corá- Brasil	42.3
Av Perón- Av Argaña	42.2
Av España- Ayala Velásquez	40.0
Av Transchaco- Semidei	36.5
Guido Espano- Cnel. Escurra	34.5
Av España- San José	29.8
Gral. Garay- Del Maestro	28.8
Aviadores del Chaco- Sta. Teresa	27.6
Primer Presidente- Itapua	20.3

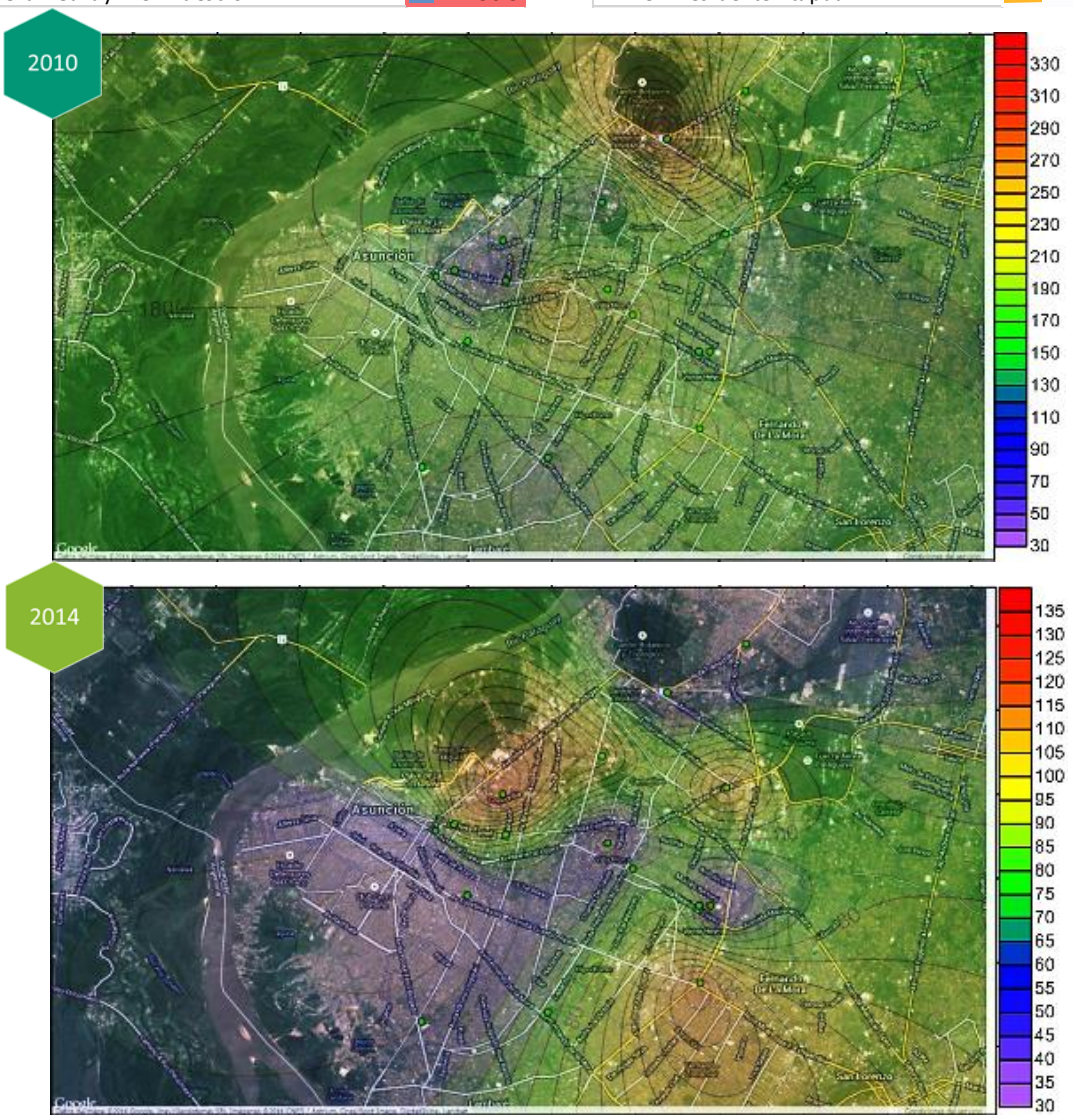


Figura 24. Evolución de la distribución espacial de NO_x (µg/m³) en la ciudad de Asunción, año 2010 y año 2014.

11.1 Análisis del factor meteorológico.

El análisis de la información meteorológica es de relevancia, ya que indica la forma en que se dispersan las masas de aire contaminadas sobre la ciudad. Los principales parámetros de medición corresponden a velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, precipitaciones y radiación solar recibida. Todos estos parámetros influyen de alguna forma en el tiempo de residencia que poseen los contaminantes emitidos, ya sea debido a procesos de transporte, dispersión y transformaciones químicas que condicionan la remoción de las partículas y gases de la atmósfera.

El transporte de contaminantes se efectúa por medio de la acción del viento, según su capacidad para alejar un contaminante desde su fuente emisora. La dispersión, por su parte, resulta de las características turbulentas de la atmósfera, y transporta contaminantes en todas las direcciones espaciales, incluyendo movimientos verticales. Anteriormente, el año 2010, se describió el perfil anual de velocidad del viento, cuya tendencia es similar a lo largo del año, con velocidades que fluctúan entre los 6 y 12 metros por segundo (m/s) en invierno, esperables en una zona con clima subtropical.

La característica del viento en Asunción durante el mes de junio del 2014, indicó predominancia en tiempo de vientos que circulan desde el Sursureste (SSE), obedeciendo a la influencia marcada por las masas de aire provenientes del Océano Atlántico, y mayormente por vientos polares que atraviesan Argentina. La Figura 25, ilustra la dirección y velocidad del viento registrada en la estación meteorológica (Universidad Católica), la cual indica además la presencia de vientos fuertes provenientes del Nornoroeste (NNE) aunque por breves periodos de tiempo.

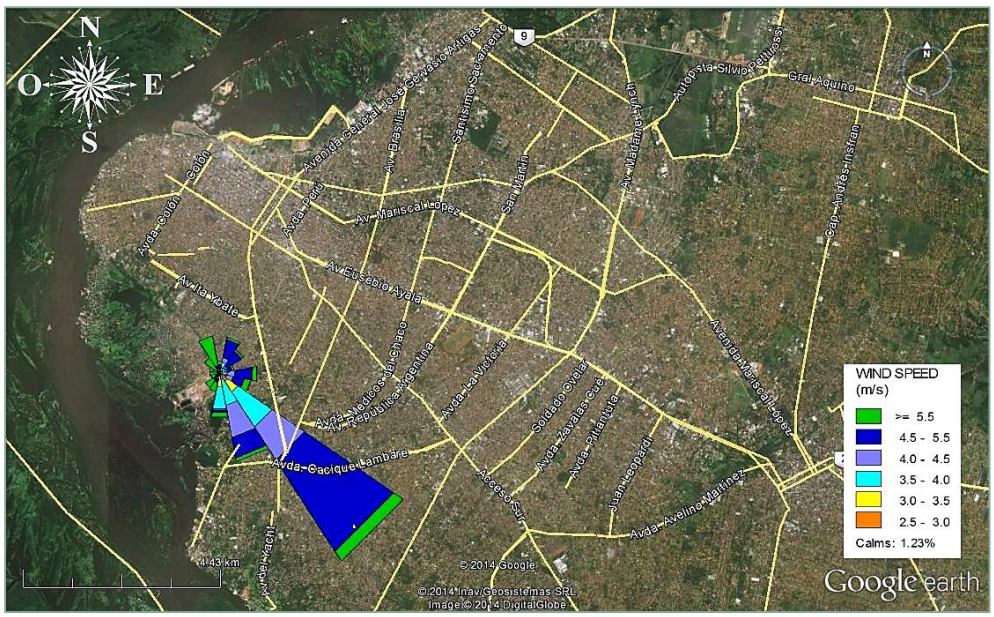


Figura 25. Rosa de vientos para Asunción, junio 2014. Se indica la dirección de donde provienen los vientos, su dominancia en tiempo y velocidad alcanzada.

La anterior configuración del viento permite explicar la leve diferencia existente entre los niveles de $MP_{2.5}$ registrados en la estación *transporte* de la estación *urbana*. La predominancia de vientos sobre los 4.5 m/s (16 km/h) permite caracterizar un estado de buena ventilación en la zona, no obstante esta aseveración permite pensar en la existencia de otros parámetros meteorológicos que se encuentran condicionando la concentración de contaminantes atmosféricos en la ciudad.

El clima de Asunción corresponde a un subtipo de clima subtropical que le otorga la capacidad de presentar altas temperaturas durante todos los meses del año, incluyendo los meses de invierno. Durante el mes de junio del 2014, los promedios diarios de temperatura fluctuaron entre los 14 y 25 °C, con máximos alcanzados durante el día, cercanos a los 30 grados. Bajo estas temperaturas, es muy probable que un porcentaje importante de los contaminantes del aire se encuentren en fase gaseosa, en oposición al porcentaje que se encuentra en fase particulada (sólida). No es extraño observar que los días en que ocurrieron "episodios" de contaminación ambiental, es decir superaciones de los estándares de la OMS (9 y 20 de junio), sean coincidentes con los días en que existieron menores temperaturas y menores velocidades del viento, lo cual probablemente favoreció la condensación de contaminantes en estado gaseoso hacia el estado sólido del material particulado (Figura 26).

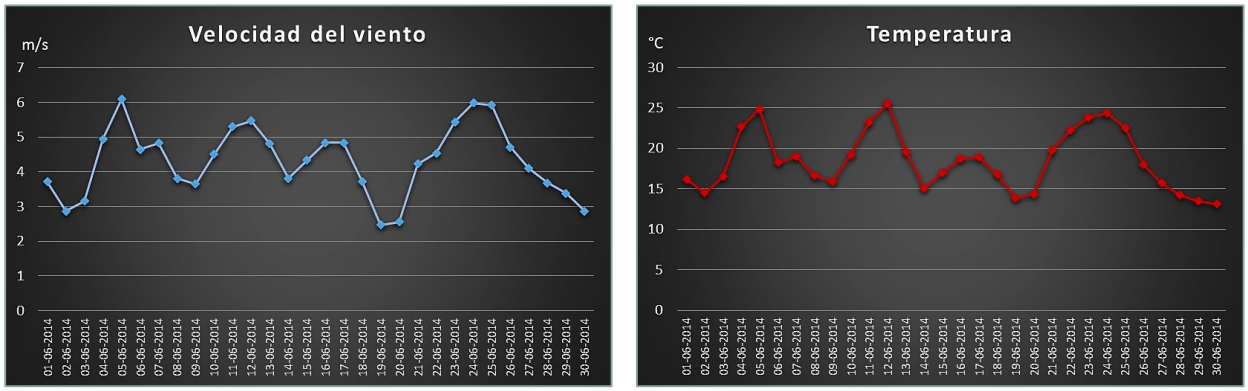


Figura 26. Perfil temporal de velocidad del viento y temperatura en Asunción. Junio 2014.

No obstante, fueron dos de los parámetros meteorológicos nombrados inicialmente, los cuales presentaron correlación estadística con los niveles de $MP_{2.5}$. Entre estos, se incluye la humedad relativa y la radiación solar (valor p de significancia: 0.01 y 0.008 respectivamente). Ambos parámetros además, son los principales agentes naturales en favorecer la formación de material particulado, a partir de los gases SO_2, y en especial, del abundante NO_2.

La humedad relativa en Asunción se mantuvo alta durante todo el invierno, aunque con variaciones diarias importantes. En general, resaltaron noches más húmedas que el resto del periodo del día. Al mismo tiempo, la radiación solar recibida durante junio fue variable, generando condiciones de mucha energía para la reacción de los gases contaminantes, aunque también existieron días en los cuales bajó considerablemente (Figura 27).

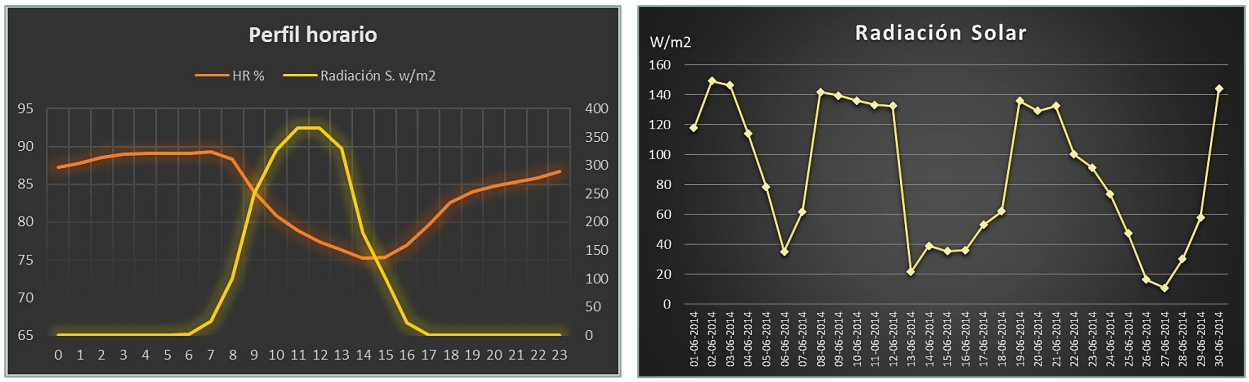


Figura 27. Perfil horario de humedad relativa (HR) y radiación solar (izquierda). Perfil diario de radiación solar (derecha).

Tanto el ambiente húmedo de la ciudad de Asunción, como así también la energía solar disponible, hacen de la zona un ambiente químico propicio para que el $MP_{2.5}$ sea formado a través de la transformación de gases, que en la superficie de partículas húmedas se convierten en sólidos de sulfatos y de nitratos. En estas reacciones se ven involucrados una serie de gases, también contaminantes, tales como amoniaco (NH_3) y ozono que aún no son monitoreados en Asunción.

La eliminación de las partículas del aire se produce por deposición, principalmente por efecto de la lluvia. Asunción, caracterizada por poseer un invierno seco, presentó en promedio 4 días de lluvia considerable, durante el periodo en que se efectuó el monitoreo. Los mayores niveles de $MP_{2.5}$ ocurrieron en días secos, en contraste de los días lluviosos en los cuales el material particulado es removido de la atmósfera al disolverse en una gota de agua (Figura 28).

Si bien la meteorología es un factor clave para el desarrollo de condiciones de alta contaminación, las medidas necesarias para reducir el impacto provocado por la formación de partículas finas en el aire, corresponden a la regulación de sus precursores gaseosos, así como también la emisión de *black carbon*. Las normas aplicadas a la calidad del combustible han sido eficiente en cuanto al logro de la disminución de SO_2, no obstante el real efecto será observado recién en los próximos años. El capítulo a continuación dispone de recomendaciones y experiencias, en las cuales se puede basar un programa estratégico de gestión de calidad aire, adaptables a la ciudad de Asunción.

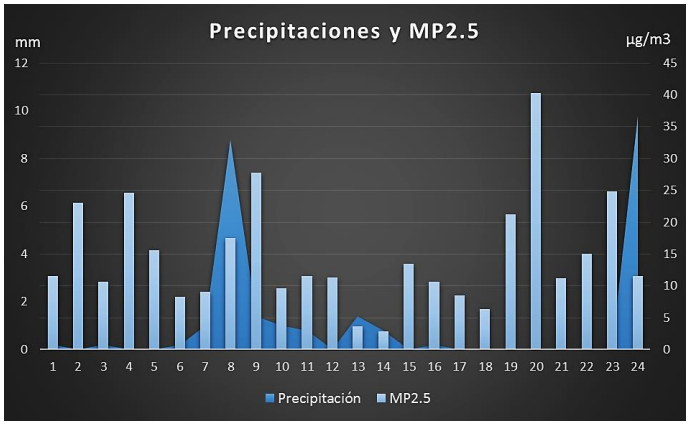


Figura 28. Precipitación y concentración de $MP_{2.5}$. 1 a 24 de junio del 2014.

3. RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE.

El año 2011, el Centro Mario Molina Chile elaboró las primeras recomendaciones para asegurar una buena calidad del aire, basado en la experiencia internacional en la gestión de la calidad del aire urbana. En ese momento se plantearon las siguientes recomendaciones para establecer un Plan de Acción en Paraguay, que contemplaba básicamente cuatro líneas de trabajo:

- 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 permitiesen el desarrollo de estas actividades en el largo plazo.

Tres años más tarde, se observan avances en los niveles de calidad del aire en la ciudad de Asunción y también en el establecimiento de las bases para una gestión de largo plazo de los problemas de contaminación atmosférica y cambio climático. El avance más importante lo constituye la aprobación de la Ley de Aire, que establece entre otras, las siguientes funciones que deben ser aplicadas por la autoridad ambiental:

- Formular políticas nacionales en materia de gestión de la calidad del aire y la atmósfera.
- Establecer estándares de calidad del aire (en un plazo de un año desde la publicación de la Ley).
- Elaborar un Plan Nacional para la gestión de las emisiones de Fuentes Fijas y Fuentes Móviles.
- Establecer límites de emisiones a las Fuentes Fijas y a las Fuentes Móviles.
- Realizar los estudios técnicos para identificar las fuentes que causan del deterioro de la calidad del aire.
- Promover el uso de tecnologías limpias.

Esta Ley también plantea la necesidad de establecer incentivos para la incorporación de tecnologías limpias en los sistemas de transporte público masivo, además de promover el uso y el desarrollo de un parque automotriz que utilice vehículos limpios.

Con base en las recomendaciones realizadas el año 2011, así como también considerando nuevos desafíos que impone la Ley de calidad del aire, se plantea avanzar en los siguientes tres aspectos:

1. Definición de las normas de calidad del aire (desarrollo durante el año 2015).
2. Mejorar la caracterización de los problemas de calidad del aire en Asunción, mediante el diseño e implementación una red de monitoreo autónoma.
3. Elaborar una estrategia integral para vehículos más limpios y eficientes.

12.1 Definición de las normas de calidad del aire.

La primera recomendación se sustenta en la necesidad de regulación de los contaminantes considerados peligrosos para la salud pública. Internacionalmente existe una variedad de normas que fijan las concentraciones límite en la cual se resguarda la salud de las personas, especialmente de los grupos poblacionales sensibles, tales como infantes y ancianos (Tabla 1). Las normas adaptables en el país debieran ser orientadas a la protección de estos grupos sensibles. El establecimiento de las guías de la OMS como normas a seguir, ofrece una oportunidad posible de alcanzar en la capital paraguaya, no obstante también involucra el desafío de seguir unas de las normas más estrictas del mundo.

Es recomendable comenzar con normas similares al resto de los países latinoamericanos, como por ejemplo los estándares de México, normado los contaminantes señalados en la Ley de Aire (Art.12, Cap. III). El rango de contaminantes controlables es amplio, por eso la prioridad debe ir enfocada en el control del $MP_{2.5}$, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno (especialmente NO_2), CO, y contaminantes de vida corta, como el *black carbon*.

Si bien el ozono no ha sido incorporado en la Ley, es importante monitorearlo e investigar su presencia en la atmosfera de la ciudad. Los altos niveles de radiación UV y las elevadas concentraciones de NO_2, son precursores directos para la formación de este gas, altamente oxidante e irritante de las vías respiratorias. En cuanto al tiempo de exposición establecido en cada norma, se puede seguir un patrón de uso internacional, como por ejemplo promedios de 24 horas y anuales. La unidad de la medida para el estándar, es decir la cantidad del contaminante en un metro cúbico de aire, es recomendable que sea en el orden de microgramos ($\mu g/m^3$).

Se recomienda priorizar la oficialización de las normas de calidad del aire, de forma tal de contar con el respaldo jurídico necesario para un proceso de gestión de calidad del aire.

La Ley de Aire otorga un año de plazo para publicar estas normas, por lo cual se debe avanzar lo más rápido posible en la elaboración de una propuesta de normas de calidad, que debiera incorporar una norma diaria y anual para $MP_{2.5}$

13.1 Mejorar la caracterización de los problemas de calidad del aire en Asunción.

La calidad del aire es recientemente conocida en Asunción, sin embargo la carencia de una red de monitoreo ha limitado la información necesaria para evaluar el real impacto en la población. El diseño e implementación de una red de monitoreo en la ciudad, se recomienda que sea considerado prioritario, y desarrollado en conjunto con la publicación de las futuras normas de calidad del aire.

Cómo referencia se pueden destacar aspectos generales que debieran orientar el diseño de las herramientas de seguimiento de la calidad del aire, en una zona metropolitana como Asunción:

- Para implementar un plan de gestión de calidad del aire en Asunción se requiere contar con capacidades de monitoreo y profundizar la comprensión de los aportes a la contaminación en la zona urbana.

- Es necesario desarrollar un estudio especializado para caracterizar el material particulado, así como también identificar el aporte de los diferentes sectores a la contaminación por partículas (transporte, industria, quemas, etc.) En este sentido, aún no ha sido evaluado el impacto que tendrían sectores como el industrial y portuario en la ciudad de Asunción.

- Desarrollar un estudio que permita diseñar la red de monitoreo de calidad del aire, de forma tal que responda al desafío de hacer el seguimiento a un plan de gestión de la calidad del aire focalizado en el control de las partículas finas y ultrafinas. La elección de los puntos fijos que se encuentren monitoreando la atmósfera, debe ser escogido en base a información estudiada. La representatividad de un lugar debe ser significativa, para así asegurar que se está protegiendo de manera efectiva la salud de la población. La creación de estaciones rurales permiten la visualización del aporte que viene de larga distancia, mientras que estaciones como las utilizadas anteriormente (urbanas y transporte) permiten evaluar la real contribución a la contaminación que produce la ciudad y sus actividades humanas.

- La calidad de la información científica que es capaz de entregar un instrumento de monitoreo, se restringe cuando no es correctamente operada o se descuida su mantención. Las estaciones de calidad del aire deben seguir protocolos internacionales, construcciones firmes e integración de parámetros que estén reglamentados por la autoridad, quien debe velar por la correcta medición y caracterización de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, de interés sanitario. Un reglamento debe aplicar condiciones para la instalación y funcionamiento de las estaciones de medición, indistintamente que pertenezcan a organismos públicos o privados. Toda instalación destinada a la verificación del cumplimiento de una norma primaria de calidad de aire y que deba ser calificada como de representación poblacional por la autoridad sanitaria, debe ser instalada considerando los criterios establecidos en las normas primarias de calidad de aire vigente.

- Lo anterior tendrá como consecuencia la posibilidad de contar con equipamiento moderno para monitoreo de partículas finas y *black carbon*. Para material particulado y gases, se deberá considerar el empleo de monitores continuos que puedan entregar información en línea, tanto a la autoridad ambiental en cargo, así como también al resto de la comunidad.

- La disposición de la información en un portal web a la comunidad, permite que la ciudad se encuentre mostrando instantáneamente su estado de contaminación a la población, que pueden optar por establecer actividades seguras o evitar una exposición prolongada al aire. La posibilidad de entregar información es un acto de justicia a la ciudadanía, quien también podrá evaluar la gestión ambiental realizada por la autoridad.

- Esto es complementario con la necesidad de implementar una plataforma para la administración, validación y difusión on-line de los datos de calidad del aire.

- Las estaciones de monitoreo de calidad del aire deberán estar construidas en materiales sólidos y resistentes a las distintas condiciones climáticas imperantes en los lugares en donde estén emplazadas. Las casetas de monitoreo en cuyo interior funcionen equipos o sensores, que trabajan en rangos de temperatura determinadas por los fabricantes, deben estar climatizadas entre 20° y 30° Celsius. Cualquier otro rango de temperatura existente al interior de la caseta debe ser tal que permita el buen funcionamiento de cada uno de los instrumentos, sensores o subsistemas que allí operen y, por tanto, debe contar con el correspondiente respaldo técnico.

- Finalmente, las estaciones de monitoreo deberán emplear instrumentos de medición que tengan certificación de que dan cumplimiento a los estándares de calidad exigidos en el país de origen. Sin perjuicio de lo dispuesto en las normas de calidad del aire, se puede optar por incluir instrumentos listados en el documento *List of Designated Reference and Equivalent Methods* (EPA, 2014), métodos denominados como referencia y equivalentes por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. También se puede optar por instrumentos que posean alguna certificación de las agencias de los países miembros de la UE que implementan las directrices del Comité Europeo para Estandarizaciones.

Figura 29. Implementación de una estación de monitoreo de contaminantes atmosféricos y meteorología (izquierda). Sensor continuo de $MP_{2.5}$ en mediciones horarias (derecha).

14.1 Elaboración de una estrategia integral para vehículos más limpios y eficientes.

Históricamente los tres principales motores que llevan a un crecimiento en la flota de vehículos del mundo, han sido el crecimiento de la población, la urbanización y la mejora de la economía. Se espera también que los tres sectores mencionados anteriormente, sigan aumentando en el mundo, especialmente en los países en desarrollo.

El crecimiento económico determina el crecimiento del parque vehicular, pero también determina el aumento de los impactos negativos en el medio ambiente, si no se cuenta con políticas ambientales y de eficiencia energética que permitan contener estos impactos, o en su defecto, reducirlos. La forma más eficiente de reducir los riesgos en salud asociados al crecimiento del parque vehicular, es normando el mercado automotriz, por la vía de establecer normas de entrada para los vehículos que ingresan al país. Paraguay presenta un rezago importante en el control de las emisiones vehiculares, especialmente por el ingreso de vehículos de segunda mano y la falta de normas más estricta para su entrada.

Otro aspecto a considerar, es que las emisiones del transporte tienen un impacto directo sobre las personas, especialmente en las zonas urbanas más congestionadas. Con base en lo anterior, se recomienda elaborar una *Estrategia Integral para Vehículos más Limpios y Eficientes*, para lo cual se puede complementar el apoyo del programa PCFV, a través de propuestas orientadas al ahorro de combustibles, para las cuales es importante identificar las alternativas de reducción de BC en el transporte.

Los principales ejes de una estrategia para vehículos más limpios y eficientes en Asunción, son:

a) Disponer de combustibles de bajo azufre.

En este sentido, el país ya ha realizado los primeros avances con la publicación de la resolución N° 13.136 del Ministerio de Industria y Comercio, en noviembre del año 2013, que establece especificaciones técnicas de importación y comercialización de combustibles, reduciendo los estándares máximos de azufre en el diésel utilizado. Los nuevos límites del contenido de azufre en diésel fueron establecidos en 1800 ppm para el diésel tipo III, 500 ppm para el diésel tipo II, y 50 ppm para el diésel tipo I. Este avance no solamente ha permitido mejorar la calidad del combustible, sino que ha ayudado a regular las estaciones de expendio de combustibles, mediante la declaración del tipo de combustible ofrecido.

La reducción del contenido de azufre en la gasolina (nafta) a 300 ppm se mantiene en la legislación vigente. Los combustibles bajo en azufre no solo permiten mayores beneficios al permitir la incorporación de filtros de partículas y equipos de absorción de NO_x, tanto en vehículos a diésel como gasolina. Es recomendable que la legislación paraguaya siga avanzando en la reducción paulatina del contenido de azufre en los combustibles, con el objetivo de igualar los límites establecidos por políticas desarrolladas en otros países latinoamericanos.

b) Establecer normas de entrada más exigentes posible con los combustible disponibles

Considerando que ya se cuenta con combustibles limpios en el país, se recomienda establecer normas de entrada Euro 5 para todas las categorías vehiculares, con la excepción de las motocicletas, que deberían avanzar hacia la norma Euro 3.

Junto con establecer estándares de entrada para los vehículos nuevos se debe avanzar en el diseño de mecanismos que permitan ir restringiendo paulatinamente la importación de vehículos de segunda mano. La justificación para estas restricciones se debe buscar en aspectos como el mayor impacto en emisiones, la menor eficiencia en el consumo de combustibles y también en aspectos de seguridad vial.

c) Establecer mecanismos de etiquetado e incentivos a los vehículos más limpios y eficientes.

El etiquetado de rendimiento y emisiones de NO_x, SO_x, CO y CO_2, entre otros, debe ser concebido como parte de un sistema en que puede complementarse con incentivos y estándares de emisión más exigentes. Junto con lo anterior, se debe asegurar que la etiqueta entregue información confiable a los consumidores, razón por la cual, se recomienda su implementación en la medida que se mejoren las capacidades de homologación. De esta forma el Estado podrá disponer de las bases de datos de rendimiento por cada marca-modelo.

Paraguay no cuenta actualmente con una base de datos de rendimiento para vehículos livianos-medianos, por marca y modelo, por lo cual se debe fortalecer las capacidades de homologación.

d) Implementar medidas para la reducción del *black carbon* en vehículos Pesados (Buses de Transporte Público – Camiones).

Es importante poder evaluar la incorporación de sistemas de control de partículas (DPF) en los ómnibus existentes, ya que la calidad del combustible actual lo permite. Al mismo tiempo, esta medida permitirá abrir la posibilidad de reemplazar los buses más antiguos por buses de tecnologías más recientes, como por ejemplo la normativa Euro 5.

Un aspecto adicional que debería ser contemplado en Asunción, es un análisis especial de las medidas factibles de implementar para el control de las emisiones provenientes del puerto, puesto que normalmente la actividad portuaria se caracteriza por un alto tráfico de camiones y barcos que utilizan petróleos pesados con altos niveles de azufre.

La elaboración de una estrategia integral para vehículos más limpios y eficientes, permite que se resuelvan los problemas de los sectores más contaminantes. Esta estrategia puede ser considerada dentro de un plan de prevención y descontaminación atmosférica, que a largo plazo sea orientado hacia un plan de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

15.1 Enfoque estratégico utilizado en Santiago de Chile.

La descontaminación de Santiago comenzó en 1990 en medio de una crisis ambiental por los altísimos niveles de MP_{10} y $MP_{2.5}$. La autoridad debió actuar decididamente por la presión pública, marcada durante los inviernos por los episodios críticos de alta contaminación. Al cabo de 24 años de gestión de la calidad del aire, se pueden constatar cambios estructurales en los patrones de producción y consumo de la Región Metropolitana que han permitido una reducción de la contaminación por partículas. Esta menor contaminación se observa en los promedios anuales, en los promedios de 24 horas, y en la disminución del número de episodios críticos de alta contaminación. Los principales cambios han sido una mejora notable de la calidad de los combustibles usados por el transporte, el uso de gas natural en parte de la industria, una transformación radical del transporte público y un control estricto del mercado automotriz, en términos de la incorporación de vehículos progresivamente más limpios. Estos son los cambios esenciales, que han permitido una reducción de la contaminación en un periodo de alto crecimiento económico. La figura siguiente resume este proceso de cambios estructurales para el control de partículas y sus precursores, principalmente el dióxido de azufre.

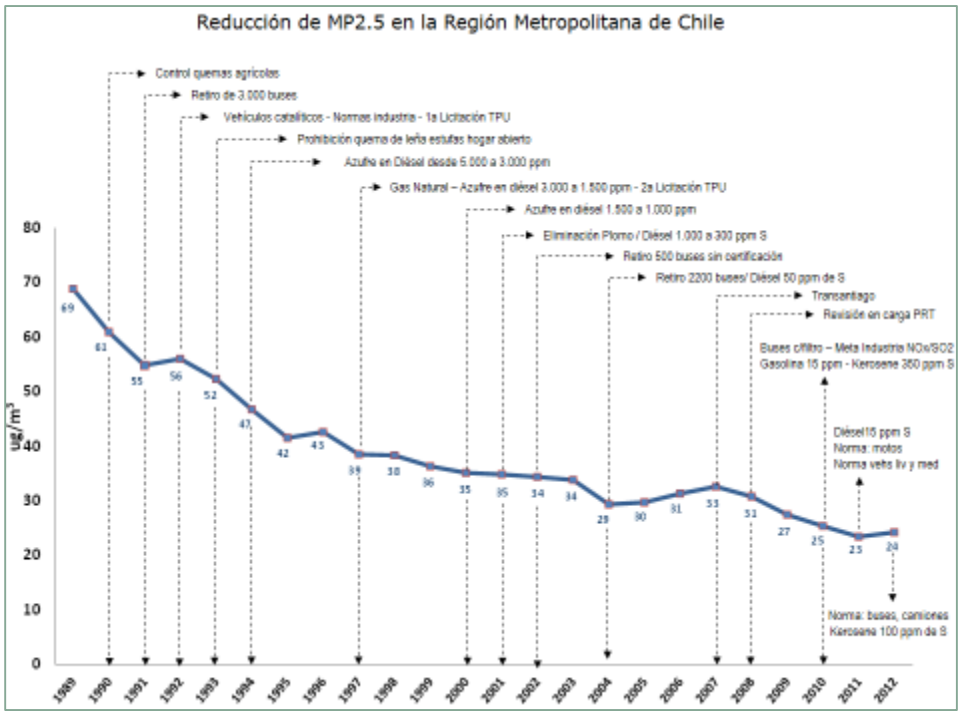


Figura 30. Evolución de la concentración del $MP_{2.5}$ en Santiago de Chile.

Actualmente, el programa se encuentra enfocado en la reducción del aporte de la industria a la contaminación de Santiago, donde probablemente el hito más relevante ha sido el desincentivo a la instalación de grandes actividades productivas en la región, que en algunos casos se han desplazado a las regiones periféricas de la Región Metropolitana que cuentan con regulaciones menos exigentes. No obstante, aún persisten actividades dentro de la Región Metropolitana que no han experimentado una transformación relevante en términos tecnológicos, lo que las ha ido convirtiendo en las mayores responsables de los niveles de contaminación observados en este momento. Estas son las residencias que emplean calefacción a leña, el transporte comercial y de carga urbano e interurbano, las empresas distribuidoras de combustibles que distribuyen las gasolinas sin un control adecuado de sus evaporaciones, la construcción y la agricultura que emplean equipos y maquinaria diésel sin control de emisiones, así como también las quemas de residuos agrícolas y ganaderos.

El próximo desafío para el plan de descontaminación de Santiago, es lograr una actualización de los sectores residencial y transportes, a tecnologías equivalentes a países OCDE. La descontaminación de Santiago y la mantención de los niveles de contaminación dentro de los límites definidos por las normas de calidad, van a depender estrictamente de la eficiencia energética alcanzada en el país.

4. ANEXO. TÉCNICAS DE MONITOREO.

16.1 Harvard Impactor: impactador en cascada.

Este tipo de muestreadores de material particulado fue descrito por primera vez por Marple y colaboradores, en la década de los 70[15]. Este tipo de muestreador clasifica el material particulado por tamaño aerodinámico con una curva de eficiencia vs tamaño, muy aguda. Lo anterior significa que una cantidad muy pequeña de partículas con tamaño distinto al requerido logran pasar hasta el filtro.

En un equipo impactador en cascada, el aire es succionado por una bomba, y pasa a través de un orificio ("nozzle") donde el flujo de aire, y las partículas son acelerados. A la salida del orificio, el flujo es dirigido a un impactador, donde el flujo se desvía siguiendo una trayectoria definida. Las partículas también se desvían siguiendo el flujo del aire, pero el ángulo de desviación depende de la masa de la partícula y de su velocidad. Las partículas más pesadas se desvían menos y chocan con la placa, adhiriéndose a ella, mientras las partículas más livianas siguen el flujo de aire y pueden pasar sin chocar, para luego ser colectadas en el filtro. El impactador usado en este estudio fue diseñado para captar las partículas menores o igual a 2.5 µm en diámetro aerodinámico cuando es operado a un flujo de 4 litros por minuto. Para maximizar la eficiencia, el flujo se revisó diariamente (flujómetro digital Challenger, BGI). Luego de los impactadores, el flujo de aire es dirigido a la base del impactador que permite albergar un soporte para filtro de 37 mm. Este soporte puede contener tanto filtros de teflón como filtros de cuarzo. El muestreador termina en una salida que permite la rápida conexión y desconexión a una manguera que conecta los muestreadores con las válvulas y bombas.

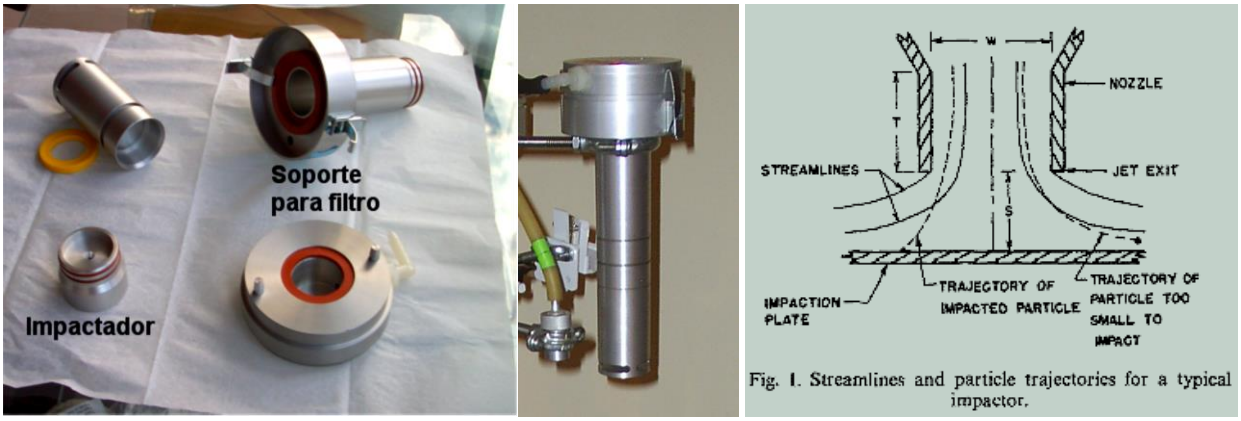


Figura 31. Diagrama de partes de un Harvard Impactor para $MP_{2.5}$. Diagrama de principio de operación de un impactador (Marple y Willeke 1976).

17.1 XRF: cuantificación de elementos químicos.

La espectroscopia por fluorescencia de rayos X (XRF) se utiliza para determinar elementos en el material particulado colectado en los filtros. Brevemente, la muestra del filtro es irradiada con un haz de rayos X, esta radiación interactúa con los elementos de la muestra y produce desprendimiento de electrones cercanos al núcleo del átomo. Para "rellenar" este espacio que quedó libre, electrones de las capas superiores bajan a las capas cercanas al núcleo, liberando energía en este proceso en forma de fotón, por lo que se dice que el material emite una radiación (florescencia) con cierta longitud de onda que es característica para cada elemento. Las longitudes de ondas emitidas son detectadas e indica que tipo de elementos están presentes, como también la cantidad de estos (correlativa a la intensidad de la emisión.

La XRF puede ser usada para determinar todos los elementos con pesos atómicos desde 11 (sodio) a 82 (plomo). Es una técnica no destructiva y posee límites de detección más altos que el resto de otras técnicas analíticas. El límite de detección depende del tipo de filtro usado, y las concentraciones son corregidas con un filtro blanco.

La cuantificación de elementos químicos en el $MP_{2,5}$ efectuada en el presente estudio, se realizó utilizando el equipo Epsilon 5 XRF Spectrometer de la empresa PANalytical. Esta técnica permite obtener resultados de múltiples elementos químicos (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, W, Au, Hg, Tl, Pb).

Figura 32: Epsilon 5 XRF Spectrometer.

El control y aseguramiento de calidad ser realizó considerando las indicaciones de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA). A continuación se muestran algunas curvas de calibración entre elementos que se correlacionan, realizadas con el equipo arriba descrito.

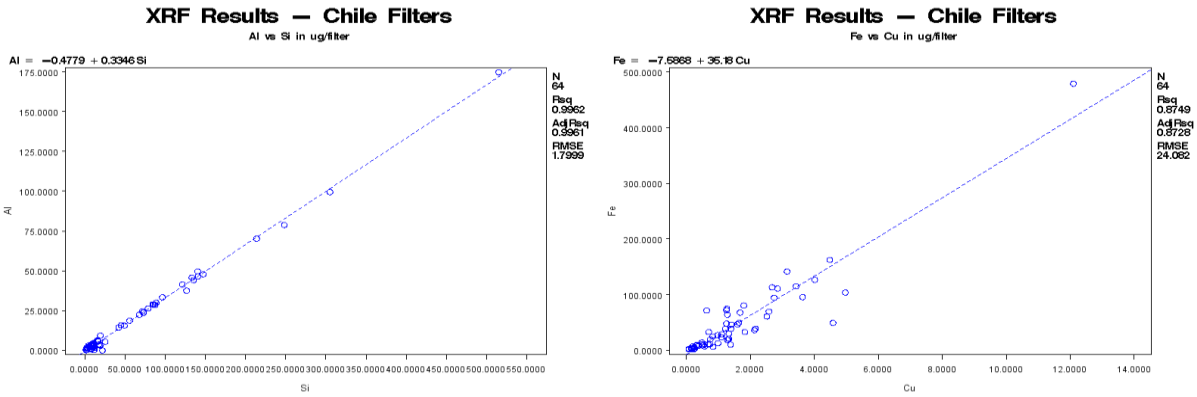


Figura 33: Correlación entre las cantidades de los elementos aluminio y silicio en los filtros

Landmark West

Room 405

401 Park Drive

Boston, MA 02215

Technical Report from the Environmental Chemistry Laboratory
Director: Petros Koutrakis, Ph.D
Manager: Mike Wolfson, Ph.D
Title: Gravimetric Analysis of Teflon Filters for $PM_{2.5}$ and PM_{10}

Method

HSPH procedures for weighing $PM_{2.5}$ and PM_{10} filter samples follow the guidelines/specifications set by the USEPA Federal Reference Method (FRM).

The MT5 balance is located in an environmentally controlled room to reduce the effects of static charge and variation in the amount of moisture adsorbed on the filters and the collected particles. The balance also requires stability for both temperature and humidity. Temperature must be maintained between 68 and 74F. Relative Humidity must be maintained between 35% and 45%. A recording hygrothermograph provides a weekly chart of balance room temperature and RH.

Prior to initial weighings the box containing filters is opened slightly to allow out-gassing for several weeks. This opening also allows for equilibration in the temperature and humidity controlled balance room. Prior to sampling, filters must be equilibrated for at least 24 hr prior to weighing. Post-sampling, filters must be equilibrated for at least 48 hr prior to weighing. New filters must be uninspected for holes. USEPA Federal Reference Method (FRM) guidelines require that filters be refrigerated directly after exposure.

Calibration and Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)

Autocalibration of the MT5 balance is performed every day prior to weighing filters. Following autocalibration, test weights of 100 and 200 µg are weighed to verify that the calibration is accurate. Annual performance checks are made by the service representative of the balance manufacturer.

Duplicate weighings are performed for both pre- and post-sampling for filters. If the first and second weights for a sample filter do not agree within a tolerance of ±5 µg, it must be re-weighed until this tolerance is achieved.

NIST-traceable temperature calibrations of the hygrothermograph are conducted on a regular basis, along with RH calibrations performed using an NIST traceable reference wet bulb/dry bulb psychrometer.

Signature: Mike Wolfson

Title: Manager of the Environmental Chemistry Laboratory

Technical Report from the Environmental Chemistry Laboratory
Director: Petros Koutrakis, Ph.D.
Manager: Choong-Min Kang, Ph.D
Title: Method for Determination of Elements using X-Ray Spectroscopy

Measurement principle

The PANalytical Epsilon 5 XRF analyzer (Netherlands) is used for filter sample analysis and based on energy dispersive x-ray fluorescence of elemental components in a thin film sample. The emissions of x-ray photons from the sample are integrated over time and yield quantitative measurements of elements ranging from sodium (Na) through lead (Pb). A spectrum of X-ray counts versus photon energy is acquired and displayed during analysis, with individual peak energies corresponding to each element and peak areas corresponding to elemental concentrations. The source of x-rays in the PANalytical Epsilon 5 analyzer is a side window x-ray tube with a dual (Sc/W) anode. X-rays are focused on one of 10 secondary targets which in turn emit polarized x-rays used to excite a sample. X-rays from a secondary target or the tube are absorbed by the sample, exciting electrons to high level orbitals. As the electrons return to their ground state, photons are emitted which are characteristic of the quantum level jumps made by the electron; the energy of the emitted photons are, therefore, characteristic of the elements contained in the sample. The fluoresced photons are detected in a solid state Germanium (Ge) X-ray detector. Each photon that enters the detector generates an electrical charge whose magnitude is proportional to the photon's energy. The electrical signals from the detector are sorted into energy channels, counted, and displayed. A sample spectrum consists of characteristic peaks superimposed on a background caused by the scatter of x-rays from the tube into the detector. The advantages of XRF analysis include high sensitivity for a number of elements, the ability to analyze small quantities of sample, and the non-destructive nature of the analysis.

Calibration

Three types of standards are used: elemental thin film standards from µMatter, multiple element thin film standards from µMatter, and NIST certified thin film standards. All standards are stored in PetriSlides and kept in a vacuum desicator when not in use to retard oxidation and loss of volatile elements. Certificates of elemental concentrations are provided by the manufacturer. The software package calculates a linear regression line for each element using Nuclepore blanks and at least one standard for each element. The XRF analyzer is recalibrated approximately every 12 months using the µMatter thin film standards. Standards including elements from Na to Pb are analyzed in standard 37 mm filter holders under the filter analysis application. Calibration factors in $\mu g/cm^2$ per counts per second per milliamp are calculated for each element using linear regression analysis by the Epsilon 5 software package. Recalibration is also performed whenever the QA standard indicated a drift of >±5% in calibration. Full calibrations are performed when the QA standard that is analyzed daily falls outside acceptable limits or when any significant repair or parts replacement is performed on the instrument.

Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)

As a part of QA/QC process, the standards used for calibration are also used as unknown concentration samples. The results as unknown samples are compared with certificate values provided by the manufacturer. A drift of >±10% is acceptable in replicate QA standard analysis. In addition, replicates of analyzed samples are performed. Replicate data is examined during the data validation and spectra review step. In general, the replicate $\mu g/cm^2$ data should be within ± 10% or within 3 times the reported analytical uncertainties. Exceptions to these criteria may be made for some trace elements, which may vaporize under the high vacuum and decrease between the first and second analyses. During loading and unloading of the filters from the analyzer the operator also should record and flags on the analysis logsheet for quality control.

Signature:

Title: Co-Manager of the Environmental Chemistry Laboratory

18.1 DustTrak: monitoreo continuo MP.

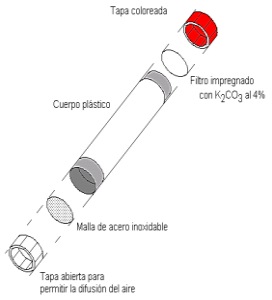
El equipo DustTrak 8520 de la empresa TSI (Shoreview, Minnesota, EEUU) es utilizado para monitorear $MP_{10,}$ $MP_{2.5}$ y $MP_{1.0}$ en forma continua. Este modelo opera a un flujo de 1.7 litros por minuto y usa un impactador para remover partículas sobre 2.5 µm, en el caso del presente estudio. Para determinar las concentraciones de partículas usa el método de dispersión de luz. Según este método, las partículas al pasar por un láser dispersan luz en forma proporcional a su diámetro. El equipo tiene un sensor de luz que permite contar tanto la cantidad de partículas como cuantificar la cantidad de luz que dispersan. De este modo calcula el volumen total de partículas en una muestra de aire. Para calcular concentraciones de material particulado el equipo Dusttrak requiere ser "recalibrado" para el tipo de aerosol en estudio usando muestras integradas co-localizadas. Esto se debe a que la calibración de fábrica se realiza con un aerosol mineral de una densidad mucho mayor (alrededor de 2.5 veces) a la densidad de un aerosol urbano. Es habitual que las mediciones sean "recalibradas" en terreno contra mediciones de masa o mediciones en tiempo real con equipos de atenuación.

19.1 Microaethalometer: monitoreo continuo BC.

El Microaethalometer (microaetalometro) es un monitor portátil que mide la tasa de cambio de absorción de luz debido al depósito continuo de aerosoles sobre un filtro. Las mediciones se realizan a 880nm lo que se interpreta como concentración de 'black carbon' o carbono elemental. Tiene una resolución 1s, 1 o 5 min y su bomba interna puede ser regulada a 50, 100 o 150 mL/min. Es capaz de almacenar data de hasta 1 mes en su memoria con una resolución de 5min. Para muestrear utiliza un inlet de 2.5 µm. Los datos fueron validados utilizando un algoritmo disponible online por parte de la empresa (Aethlabs). El anterior software permite filtrar y eliminar valores asociados a errores en la medición.

20.1 Difusores pasivos de gases.

Para el monitoreo de gases se emplearon difusores pasivos de gases, comúnmente llamados "tubos pasivos" (IVL, Suecia). Estos son dispositivos en donde la muestra se colecta por difusión. Un tubo pasivo consiste en un cuerpo de plástico que lleva en el centro un filtro impregnado, sujeto entre 2 anillos de plástico y una rejilla de acero inoxidable. Su uso permite disponer de concentraciones para distintos gases, entre los que se incluyen SO_2, NO_X, O_3, NH_3, compuestos orgánicos volátiles, entre otros.



5. ANEXO: DIVULGACIÓN.

Imágenes seleccionadas de la cobertura mediática y promoción del estudio diagnóstico 2014 de calidad del aire en Asunción.

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Asunción

"CAMPAÑA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE ASUNCION"

Miércoles 04 Junio 2014 ***Hora: 16:00h.***

Medición y actualización de datos sobre calidad del aire que respiramos en Asunción, con el apoyo de CONADERNA (Comisión Nacional de Defensa de Recursos Naturales), FIUNA y Petrobras

DISERTANTE

Ing. Física Ximena Jesús Díaz - Representante del CENTRO MARIO MOLINA CHILE

Salón Auditorio "Prof. Ing. ENZO DEBERNARDI"

Condiciones de entrada: LIBRE Y GRATUITA

DIRIGIDO A: Público en general, en especial alumnos y egresados de la FIUNA, profesionales, técnicos, empresarios, investigadores, consultores y funcionarios del sector del medioambiente y transporte.

MAYORES INFORMES: Dirección Extensión 585-581/4 Int.: 1570

SE OTORGARAN CRÉDITOS UNIVERSITARIOS DE EXTENSIÓN A ESTUDIANTES

Agencia de Información Paraguaya

SECRETARÍA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

GOBIERNO NACIONAL

INICIO | POLÍTICA | ECONOMÍA | SOCIEDAD | INTERNACIONALES | CULTURA | DEPORTES | CONTÁCTENOS | BRASIL 2014

Miércoles, 21 Mayo 2014 10:41

Inicia segundo estudio de calidad del aire en Asunción

Escrito por LQ

tamaño de la fuente | Imprimir | Email

Valora este artículo (1 Voto)

Presentacion de detalles del segundo diagnóstico de contaminación y calidad el aire

Asunción, IP.- **La Comisión Nacional de Defensa de los Recursos Naturales (Conaderna) presentó, este miércoles, detalles del segundo diagnóstico de contaminación atmosférica y de la calidad del aire en Asunción, que se realizará a lo largo de un mes, por técnicos del Centro Mario Molina Chile para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente.**

NOTICIAS | EDICIÓN IMPRESA | NACIONALES | DEPORTES | ESPECTÁCULOS | ESPECIALES | MULTIM

Inicio > Edicion Impresa > Locales > Asunción respira un aire cancerígeno por culpa del smog, sostiene experta

31 DE MAYO DE 2014| ALTOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN REDUCEN EXPECTATIVA DE VIDA DE LA POBLACIÓN

Asunción respira un aire cancerígeno por culpa del smog, sostiene experta

En varios puntos de Asunción se instalaron equipos para monitorear la calidad del aire, en el marco de una campaña de análisis de los niveles de polución en el ambiente. Ximena Díaz Ramírez, de la organización ambientalista Mario Molina, de Chile, dijo que en la ciudad se respira aire cancerígeno por los altos niveles de contaminación.

/ ABC Color

NOTICIAS | EDICIÓN IMPRESA | NACIONALES | DEPORTES | ESPECTÁCULOS | ESPECIALES | MULTIMED

Inicio > Nacionales > Elevada polución en Asunción

20 DE DICIEMBRE DE 2014 16:15

Elevada polución en Asunción

Pese a que en los últimos cuatro años se redujo un 30% el nivel de contaminación atmosférica en Asunción, los niveles de contaminación ambiental aún exceden los valores recomendados por la OMS, según un estudio sobre la calidad del aire en la capital.

Buses del transporte público son los principales contaminantes. / ABC Color

6. REFERENCIAS.

[1] OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequence of Inaction. ISBN 978-92-64-122161. OECD 2012.

[2] R.D. Brook, S.Rajagopalan, C.A Pope et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. Circulation, vol. 121, 21. 2331-2378. 2010.

[3] Abderrahim Nemmar, Jørn A. Holme, Irma Rosas, Per E. Schwarze, and Ernesto Alfaro-Moreno, Recent Advances in Particulate Matter and Nanoparticle Toxicology: A Review of the In Vivo and In Vitro Studies. BioMed Research International, vol. 2013, Artículo ID 279371, 22 pages, 2013.

[4] WHO air quality guidelines, global update. Report on Working Group meeting, Bonn, Alemania. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Dinamarca, 2005. http://www.euro.who.int/document/e87950.pdf

[5] U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Revisions to the ambient monitoring regulations: relevance for the AIRNOW community, 2007.

[6] J.I. Levy, D. Diez, Y. Dou, C.D. Barr, F. Dominici. A meta-analysis and multisite time-series analysis on the differential toxicity of major fine particles matter constituents. American Journal of Epidemiology. Vol. 175. N 11. Pp. 1091-1099. 2012

[7] Janssen, N.A.H., G. Hoek, M. Simic-Lawson, et al. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. Environ. Health Perspect. 119:1691–99. 2011.

[8] Thomas J. Grahame, Rebecca Klemm, Richard B. Schlesinger . Public health and components of particulate matter: The changing assessment of black carbon. Journal of the Air & Waste Management Association. Volume 64, Issue 6. Pp 620-660. 2014.

[9] Atmospheric Chemistry and Physics. 2° Edition. Seinfield, Pandis. p 629.

[10] Representative Concentration Pathways (RCP) database (version 2.0). IPCC Fifth Assessment Report (AR5). http://tntcat.iiasa.ac.at:8787/RcpDb/dsd?Action=htmlpage&page=welcome#intro

[11] Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability. World Bussines Council for Sustainable Development. 2004.

[12] Informe Final "Plan de acción para combustibles y vehículos más limpios en Paraguay. Diagnóstico de contaminación atmosférica y recomendaciones para la gestión de calidad del aire". Centro Mario Molina Chile, 2011.

[13] Estadísticas de importación primer semestre 2014. Cámara de Distribuidores de Automotor y Maquinarias (CADAM). 2014.

[14] Paatero Pentti, Tapper Unto. Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. Environmetrics. Volumen 5, pp. 111–126. 1994

[15] Virgil Marple, Klaus Willeke. Impactor Design. Atmospheric Environment. Vol 10. Pp. 891-896. 1976.

Centro Mario Molina • Chile