

Informe Técnico sobre Calidad del Aire

Facultad Ingeniería
Universidad Nacional de Asunción

Ing. Diego Fermín Palacios Riquelme

AGOSTO, 2.017

I. INTRODUCCIÓN.

El presente informe está orientado a establecer el soporte teórico y conceptual a la consultoría sobre monitoreo de calidad del aire realizada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción.

A tal fin se presenta un marco conceptual general de la calidad de aire y los factores que la alteran, así como una descripción de los principales contaminantes y sus efectos. A la vez se hace mención de los estudios más relevantes en la materia realizados en nuestro país y se detallan sus acciones, resultados, conclusiones y recomendaciones y se presenta un relato brevemente comentado del marco legal en materia de calidad de aire y sus antecedentes.

Para el logro de lo citado en los párrafos precedentes se ha recurrido a fuentes bibliográficas e informes de estudios realizados en la materia en nuestro país, tanto por autores e instituciones nacionales como extranjeras.

A. Marco Conceptual.

El Paraguay afronta serios y crecientes problemas ambientales según la Política Ambiental Nacional (PAN)¹, debido principalmente a la mala utilización de los recursos naturales, lo que repercute negativamente en los factores componentes de los ecosistemas tales como la biodiversidad, **el aire**, el agua y el suelo, entre otros y por ende compromete la sustentabilidad de los mismos.

Por otro lado, como un hecho positivo, la calidad del aire y la protección de la atmósfera se están convirtiendo en una prioridad en la agenda ambiental del Paraguay en los últimos años.

En general se entiende como **Calidad del aire** al estado de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos en un periodo de tiempo y lugar determinados, dentro de los niveles máximos permitidos de concentración que son catalogados por un índice estadístico atendiendo sus efectos en los seres vivos.

La calidad del aire está determinada por su composición. La presencia o ausencia de varias sustancias y sus concentraciones son los principales factores determinantes de la calidad del aire. Debido a esto, la calidad del aire se expresa mediante la concentración o intensidad de contaminantes, la presencia de microorganismos, o la apariencia física.

La composición del aire puede estar influenciada por diversos factores, los cuales pueden tener origen natural o antrópico.

¹ Aprobada por Resolución SEAM 04/05 en cumplimiento al mandato del Artículo 11 de la Ley 1561/00

Entre los factores que tienen un origen natural están, entre otros:

- **La temperatura**, que corresponde al mayor o menor cantidad de calor que se transfiere a la atmósfera y que puede ser modificada por la latitud, la altitud y la cercanía al mar. Las temperaturas más bajas contribuyen a una mayor permanencia de contaminantes en la superficie terrestre.
- **La humedad**, corresponde a la cantidad de vapor de agua que existe en la atmósfera. La humedad del aire es variable y depende fundamentalmente del grado de evaporación de los océanos u otras fuentes de agua. La humedad contribuye al lavado de contaminantes y por ende ayuda a una rápida dispersión y disipación de los contaminantes.

Con respecto a los factores antrópicos, éstos están determinados por los procesos de urbanización e industrialización, así como con malas prácticas ancestrales en las que la quema es el elemento esencial.

Así, en los procesos de urbanización resalta el incremento del parque automotor el cual genera emisiones que influyen directamente en la calidad del aire. Semejante situación ocurre con la industrialización la cual, en las diversas etapas de sus respectivos procesos presentan emisiones de sustancias que afectan la calidad del aire.

Con relación a las malas prácticas ancestrales vinculadas directamente al uso del fuego, éstas son realizadas a nivel rural, en la ganadería para la eliminación de la pastura seca, en la agricultura para la eliminación de rastrojos del periodo agrícola anterior², en el cambio de uso de suelo para la eliminación de la biomasa producto del desmonte, en los incendios forestales que en su mayoría son provocados de manera voluntaria o involuntaria, etc. A nivel urbano también se realizan quemas clandestinas para la eliminación de residuos sólidos, generando una fuerte amenaza a la calidad del aire.

Con la alteración de la calidad del aire se produce la **contaminación**, que afecta considerablemente a la calidad del ambiente y a la vez a la salud pública debido al aumento de las enfermedades respiratorias en los últimos años.

Según la Ley 5211/14 “De calidad del aire”, se entiende por **Contaminación del Aire o de la Atmósfera** a la introducción antrópica directa o indirecta de sustancias en el aire o en la atmósfera que pueden tener efectos perjudiciales para la calidad del ambiente o para la salud de los seres vivos o; que pueden causar daños a los bienes materiales o deteriorar o perjudicar el disfrute u otras utilidades legítimas del ambiente.

La contaminación del aire es una seria amenaza para la salud pública, el bienestar humano y la integridad de los ecosistemas. Entre sus efectos destacan una mayor mortalidad prematura, una morbilidad exacerbada, la pérdida de productividad, la degradación de los bosques, los daños en los cultivos y el aumento del calentamiento

² Esta práctica podría ser aceptada cuando se realiza de manera localizada y con fines estrictamente fitosanitarios a los efectos de controlar determinadas plagas.

global, efectos que se propagan tanto a escala local, como a escala regional y mundial. Estos efectos nocivos imponen unos altísimos costos, son moralmente inaceptables y perjudican principalmente a los grupos más vulnerables de la población, como son los niños y los ancianos, los enfermos y los pobres. Los efectos y costos de la contaminación del aire afectan severamente el potencial de desarrollo de los países.

En particular, la contaminación atmosférica constituye un grave problema en la región de América Latina y el Caribe. En las zonas urbanas de la región, la mala calidad del aire afecta a cientos de millones las personas, mientras que en muchas ciudades, la exposición a Material Particulado (PM) y Ozono Troposférico (O₃) son algunos de los riesgos más habituales y graves para la salud humana. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de 100 millones de personas están expuestas a niveles de contaminación atmosférica superiores a los lineamientos que recomienda. Además, estima que la contaminación atmosférica en las ciudades de la región provoca al menos 35.000 muertes prematuras al año. El Banco Mundial calcula que el costo en salud de la contaminación atmosférica representa alrededor del 1% del PIB nacional. Se prevé que para el año 2050 la contaminación del aire exterior podría haberse convertido en la principal causa de muertes relacionadas con el ambiente a nivel mundial. Actualmente, 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.

Más allá de sus efectos en el ámbito local, cada vez es más evidente que la contaminación atmosférica es un fenómeno de orden regional y mundial. Dada su capacidad para transformarse y recorrer largas distancias atravesando fronteras nacionales y continentes, los agentes contaminantes del aire pueden llegar a lugares muy alejados de sus fuentes. Por lo tanto, la calidad del aire de un lugar concreto puede verse afectada por la contaminación generada en otro lugar, al punto incluso de exceder los niveles críticos.

De acuerdo con el mecanismo de incorporación a la atmósfera, los contaminantes se clasifican como “primarios” a aquellos emitidos directamente desde su fuente emisora, y como “secundarios” a aquellos que son fenómenos in situ en la atmósfera a partir de la emisión de sus precursores.

Debido a sus considerables impactos en la calidad del aire y/o el cambio climático, así como los importantes beneficios de su control en la salud, sobre los ecosistemas y sobre la economía, entre otros, internacionalmente se han definido una serie de contaminantes atmosféricos criterios que son utilizados para evaluar la calidad del aire de un sitio determinado. Éstos son el Monóxido de Carbono (CO), el Dióxido de Azufre (SO₂), los Óxidos de Nitrógeno (NO_x = NO + NO₂), Ozono Troposférico (O₃) y Material Particulado (MP). Todos son gases, con excepción del último que está formado por aerosoles. A su vez, el MP se clasifica según su diámetro aerodinámico en:

- MP₁₀: Son todas las partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros o micrones³.

³ 1 micrómetro = 0,001 milímetro

- MP_{2,5}: Son todas las partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micrómetros o micrones.

Desde el punto de vista químico, el material particulado suele prorratearse según sus principales componentes químicos, distinguiéndose entre componentes inorgánicos (nitrato, sulfato, amonio) y componentes orgánicos (carbono orgánico y carbono elemental). Esta composición puede variar dependiendo del lugar y su distribución espacio – temporal.

Por su parte la Ley 5211/14 en su Artículo 12 expresa que las sustancias a ser controladas por la misma son, mínimamente, las siguientes:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Óxidos de Azufre (SO_x)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Contaminantes Climáticos de Vida Corta
- Material Particulado
- Compuestos Peligrosos del Aire (CPA)
- Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono
- Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)
- Gases de Efecto Invernadero
- Metales Pesados

En su último párrafo, el Artículo 12 de la Ley 5211/14 reza: *“La Secretaría del Ambiente (SEAM) queda facultada a actualizar por Resolución los listados de sustancias contaminantes controladas, prohibidas y sus sustitutos, establecidos por la normativa internacional ratificada por legislación nacional o aquellas de conocida nocividad a los seres vivos o al ambiente en general”*.

En ese sentido en 2015, la SEAM promulgó la Resolución 222/15 por la cual incluye al Ozono Troposférico en la lista de sustancias contaminantes controladas.

De todas las sustancias controladas, las que en Paraguay deben ser objeto de monitoreo de calidad del aire, según la Resolución SEAM 259/15 son:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Óxido de Azufre (SO₂)
- Dióxido de Nitrógeno (NO₂)
- Ozono Troposférico (O₃)
- Material Particulado (MP₁₀ y MP_{2,5})

B. Importancia de la calidad del aire.

Casi la mitad de la población mundial vive en zonas con aire contaminado, esto genera la necesidad de poner de manifiesto la importancia de la calidad del aire para mantener la salud en general.

Los aumentos en la contaminación del aire están ligados a patologías que afectan la función pulmonar y aumentos de los ataques cardíacos. Niveles altos de contaminación atmosférica perjudican directamente a personas que padecen asma y otros tipos de enfermedades pulmonares o cardíaca. Los ancianos y los niños son especialmente vulnerables a los efectos de la contaminación del aire.

En Paraguay, las enfermedades respiratorias se encuentran en el canal endémico desde el 2008. Es decir las patologías respiratorias que en su gran mayoría eran exclusivas de los meses fríos, actualmente están presentes durante todo el año.

El mantener la calidad del aire en niveles adecuados, además de disminuir la incidencia de determinadas enfermedades, representará un ahorro en el gasto estatal en salud pública.

II. ANÁLISIS DE CONTAMINANTES ESPECÍFICOS.

A. Monóxido de Carbono.

El monóxido de carbono (CO) es un contaminante criterio. Corresponde a un gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión incompleta de combustibles de hidrocarburos. El CO es peligroso para las personas y los animales, pues se fija en la hemoglobina de la sangre, interfiriendo con el transporte de oxígeno a los tejidos y dando como resultado numerosos efectos adversos para la salud.

Se diluye muy fácilmente en el aire ambiental, pero en medios cerrados su concentración lo hace muy tóxica e incluso mortal. No obstante, en las áreas muy urbanizadas puede haber concentraciones excesivas de CO, lo que lo hace peligroso para la salud de las personas. Asimismo su oxidación produce Dióxido de Carbono (CO₂), Gas de Efecto Invernadero que genera calentamiento global.

Según la Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica de América Latina y el Caribe, más del 80 por ciento del CO emitido en las zonas urbanas es una contribución de los vehículos motorizados.

B. Óxidos de Nitrógeno.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son considerados un contaminante criterio que causa impactos a la salud, es precursor de ozono y causante de acidificación y eutrofización. De entre los óxidos de Nitrógeno, el más frecuente es el dióxido de Nitrógeno (NO₂) cuyas principales fuentes de emisiones antropogénicas son los procesos de combustión (generación de energía, y los motores de combustión interna).

El NO₂ es la fuente principal de los aerosoles de nitrato, que constituyen una parte considerable del PM_{2,5} y en presencia de luz ultravioleta, se convierte en ozono. A exposiciones de corta duración es un gas tóxico que causa una importante inflamación

de las vías respiratorias. La acidificación tiene efectos en los ecosistemas terrestres, así como en los sistemas de agua dulce y marinos.

C. Dióxido de Azufre.

El dióxido de azufre (SO₂) es un contaminante criterio. Las fuentes primarias de SO₂ son el uso de combustibles con alto contenido azufre, como el carbón, combustibles para vehículos y otros usados para la generación de energía.

Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) tienen impactos en la salud como gas y también al contribuir a la creación de sulfatos como contaminantes secundarios bajo la forma de PM_{2.5}. El SO₂ también tiene efectos en los ecosistemas terrestres y de agua dulce por la acidificación. Debido a que los aerosoles de sulfato enfrían la atmósfera, es necesario considerar los impactos de su reducción en el diseño de políticas de mitigación del cambio climático.

Asimismo al oxidarse forma ácido sulfúrico, H₂SO₄ un componente de la lluvia ácida que es nocivo para los vegetales.

Además ataca los materiales de construcción que suelen estar formados por minerales carbonatados, como la piedra caliza o el mármol, formando sustancias solubles en agua afectando a la integridad y la vida de los edificios y esculturas.

D. Ozono Troposférico.

El ozono troposférico (que no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera superior) es un contaminante criterio que se localiza a nivel superficial en la atmósfera y es uno de los principales componentes del smog fotoquímico. Éste se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes de las emisiones de vehículos o de la industria y los compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos por los vehículos, los solventes y la industria.

El ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares. En la actualidad, se trata de uno de los contaminantes atmosféricos que más preocupan en Europa y en algunas zonas de Estados Unidos. Diversos estudios europeos han revelado un aumento de la mortalidad diaria y de la mortalidad por cardiopatías de 0,3% y 0,4%, respectivamente, por cada 10 µg/m³ de aumento en la concentración de ozono.

Asimismo, puede dañar la vegetación impactando el crecimiento de los árboles y reduciendo la producción agrícola.

Además de sus efectos sobre la salud, el ozono troposférico (O₃) es también un Contaminante Climático de Vida Corta que participa en el efecto invernadero global y su ciclo vida oscila entre algunos días y varias semanas.

E. Material Particulado.

Material particulado es el término utilizado para referirse a cualquier mezcla de partículas sólidas y líquidas que se encuentran en suspensión en el aire. El material particulado se compone tanto de partículas gruesas como finas. Las partículas finas se pueden originar a partir diversas fuentes, como centrales termoeléctricas, procesos industriales o vehículos automotores, particularmente vehículos a diésel, y se forman en la atmósfera por la transformación de las emisiones gaseosas. Las partículas gruesas provienen principalmente de la suspensión en superficies por acción natural y antropogénica. Su composición química y física depende del lugar, de la época del año, y del clima.

Los principales componentes del material particulado son los sulfatos, los nitratos, el amonio, el cloruro de sodio, el carbono, el polvo, metales pesados, polen y esporas. Se trata de una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas que están suspendidas en el aire. Las partículas se clasifican de acuerdo a su diámetro aerodinámico, ya sea como MP₁₀ (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micras), MP_{2,5} (diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micras). Al ser inhaladas, alcanzan las regiones periféricas de los alveolos pulmonares e interfiere en el intercambio de gases en los pulmones.

Los efectos que el material particulado tiene sobre la salud ya se producen a los niveles actuales de exposición de la mayoría de las poblaciones urbanas y rurales tanto de los países desarrollados como los en desarrollo. Además de sus efectos por exposición a corto plazo, la exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer de pulmón.

Entre los impactos sobre el ambiente del Material particulado se mencionan los efectos climáticos derivados de su capacidad de absorber, dispersar y reflejar radiación solar. Genera efectos sobre ecosistemas (fertilización, acidificación, etc.) y degrada materiales de construcción.

En los países en desarrollo, la exposición en espacios cerrados a contaminantes derivados de la combustión de combustibles sólidos (leña, carbón, etc.) en fuegos abiertos y cocinas tradicionales incrementa la mortalidad infantil y el riesgo de padecer infecciones respiratorias agudas bajas, y es también un factor de riesgo importante para la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y el cáncer de pulmón entre los adultos.

1. Carbono Negro (BC).

El carbono negro es un contaminante climático de vida corta que forma parte del material particulado. Se trata del componente principal del hollín y se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles y residuos orgánicos. Se emite desde varias fuentes, como los vehículos automotores (particularmente los vehículos a diésel), las cocinas que usan biomasa como combustible, los incendios forestales, la quema abierta para fines agrícolas y ciertas instalaciones industriales.

Aunque los efectos concretos que el carbono negro tiene sobre la salud están siendo evaluados, es evidente que toda estrategia orientada a reducir el carbono negro contribuye a la reducción del material particulado puesto que ambos proceden de las mismas fuentes. La proporción de carbono negro varía según la fuente de emisión, el tipo y la calidad del combustible. En el caso del diésel, entre 50 y 75% de las emisiones de material particulado puede dar lugar a emisiones de carbono negro. Por su parte, la combustión de gasolina podría estar generando entre el 30% y el 40% de las emisiones de material particulado. Por lo anterior, existe una estrecha relación entre las emisiones de carbono negro y de material particulado. En los países en desarrollo, donde las emisiones de material particulado producen millones en pérdidas derivadas de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, además de miles de muertes por año, la reducción de emisiones de carbono negro pueden implicar beneficios para la salud, las intervenciones en este sentido pueden resultar extremadamente beneficiosas y rentables.

III. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS, INVESTIGACIONES Y/O MEDICIONES HECHOS EN PARAGUAY SOBRE CALIDAD DEL AIRE.

En el Paraguay aún no se han realizado muchos estudios e investigaciones de calidad del aire y en cuanto a monitoreo, la Ley 5211/14 asigna esta función a la Secretaría del Ambiente, la que para tal efecto promulgó en 2015 la Resolución 259/15 “Por la que se establecen los parámetros permisibles de calidad del aire”.

Entre los estudios realizados los más relevantes han sido:

- **Diagnóstico de Contaminación Atmosférica y Recomendaciones para la gestión de la calidad del aire**, realizado por el Centro Mario Molina de Chile en el año 2010 y que contó con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y PETROBRAS y fue acompañado por la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, la Comisión Nacional de Defensa de los Recursos Naturales (CONADERNA), la Secretaría del Ambiente (SEAM) y la Municipalidad de Asunción
- **Diagnóstico de la Contaminación del Aire por Óxidos de Nitrógeno en la Ciudad de Asunción**, llevado a cabo por el Departamento de Ingeniería Civil, Industrial y Ambiental de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.

- **Diagnóstico de Contaminación Atmosférica y Recomendaciones para la gestión de la calidad del aire** realizado por el Centro Mario Molina de Chile en el año 2014 y que contó con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), PETROBRAS, la Comisión Nacional de Defensa de los Recursos Naturales (CONADERNA), la Secretaría del Ambiente (SEAM) y la Municipalidad de Asunción y fue acompañado por la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.

Asimismo, es dable mencionar que la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA) realizó monitoreos sistemáticos regulares de Ozono troposférico en el Campus Universitario de San Lorenzo, a través de una estación fija, desde 1996 hasta 2013. Por su parte, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (FIUNA), se han realizado tesis relativas al monitoreo de calidad del aire con sensores que detectan concentración de gases contaminantes y Material Particulado; los mismos fueron instalados en ciertos puntos del Área Metropolitana de Asunción.

Actualmente, con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) la FIUNA empezará a desarrollar un monitoreo con sensores en varios de puntos de muestreo a ser ubicados en el Área Metropolitana de Asunción.

Seguidamente se detallan a continuación las informaciones relevantes obtenidas por los tres primeros estudios mencionados.

A. Diagnóstico de Contaminación Atmosférica y Recomendaciones para la gestión de la calidad del aire - 2010.

Los autores de este trabajo lo consideran como un primer estudio piloto exploratorio realizado en el país, el cual consistió en la implementación de una campaña de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Asunción durante el mes de junio del año 2010. Para esto se utilizó equipamiento de monitoreo de material particulado para especiación química y equipos de colección de material particulado para ensayos toxicológicos, ambos desarrollados por la Universidad de Harvard. Adicionalmente se incorporaron dentro de la campaña, periodos de medición continua de MP_{2,5} y carbono negro con un Microaetalómetro. La Universidad Católica se encargó de las mediciones meteorológicas.

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

- **Sitio Background de Transporte 1:** lugar impactado directamente por el transporte vehicular: los equipos estuvieron emplazados en la intersección de las

calles Cerro Corá y Brasil (en el techo de una estación de servicios). Estas calles se caracterizan por tener un flujo importante de transporte tanto público como privado. Este sitio se mantuvo durante toda la campaña de monitoreo (desde 2 al 29 de junio).

- **Sitio Background de Transporte 2:** lugar impactado directamente por el transporte vehicular: este sitio se ubicó a aproximadamente 50 metros del anterior, en la calle Cerro Corá. El monitoreo de este sitio solo contempló la medición de MP_{2,5} para especiación química, con una duración de solo 9 días (desde el 21 al 29 de junio)
- **Sitio Background Urbano:** ubicado en la zona de mayor densidad poblacional: Los equipos de monitores estuvieron emplazados en el techo del edificio de la Facultad de Ciencias Contables de la Universidad Católica. Este sitio evita el impacto directo de las emisiones de fuentes cercanas, por lo que representa las condiciones de fondo o línea de base de concentraciones de la ciudad. Se realizaron mediciones de MP_{2,5} para especiación química y para análisis toxicológicos (entre el 2 y el 20 de junio).

Las elecciones de los sitios se realizaron considerando recomendaciones internacionales especializadas en mediciones de calidad del aire.

Adicionalmente al muestreo directo, el estudio contó con una red de 20 monitores para muestreo de gases (SO₂ y NO_x). Estos monitores fueron ubicados en las principales vías de la ciudad y estuvieron expuestos durante 10 días, desde el 8 al 18 de junio de 2010.

Este estudio extrajo las siguientes conclusiones:

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

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

Adicionalmente,

- Los niveles de concentraciones de contaminantes observados están determinados principalmente por la actividad del transporte y por las precipitaciones.
- Las emisiones del diesel juegan un rol importante.
- En un día de semana sin lluvia es posible que se superen los límites establecidos por las Guías de la OMS.

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

Por último, el estudio recomendó las siguientes acciones:

- Promover el uso de combustibles más limpios.
- Requerir norma Euro 4 a todos los vehículos que ingresan, ya sean nuevos o usados, para su venta en el país.
- Promover el ingreso de automóviles, camionetas y todoterrenos nafteros, nuevos y de segunda mano, por sobre los diesel.
- Promoción y mejora del transporte público.
- Poner en marcha la inspección técnica vehicular.
- Dictar normas de calidad del aire.
- Implementar monitoreo de calidad del aire.
- Desarrollar acciones que permitan una mayor conciencia del riesgo para la salud que significa la contaminación atmosférica.
- Promover los medios de transporte no motorizados.
- Establecer una coordinación interinstitucional que facilite la ejecución de las acciones propuestas.

B. Diagnóstico de la Contaminación del Aire por Óxidos de Nitrógeno en la Ciudad de Asunción - 2012.

Esta investigación ha centrado su atención en los óxidos de nitrógeno, contaminantes atmosféricos asociados a los procesos de combustión.

En la misma, se midieron las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) y óxido nítrico (NO) en el aire ambiente de la Ciudad de Asunción en el periodo de enero a diciembre de 2012. El muestreo se realizó con captadores pasivos en 9 sitios representativos de las zonas de alto tráfico, residenciales e industriales de la ciudad. El monitoreo pasivo permitió evaluar la evolución espacial y temporal de los niveles de contaminación de forma sencilla y eficaz. En los sitios residenciales las concentraciones de NO_2 fueron de 1,4 a 6,3 ppb⁴, en el sitio industrial de 2,6 a 7,9 ppb, y en los sitios de tráfico de 7,2 a 17,3 ppb; mientras que las concentraciones de NO fueron de 1,0 a 7,7 ppb en los sitios residenciales, de 2,0 a 11,3 ppb en el sitio industrial, y de 4,4 a 62,8 ppb en los sitios de tráfico.

Se evidenciaron tres niveles de concentración según la categoría de los sitios de muestreo, siendo los sitios de tráfico 4 a 7 veces más contaminados que los residenciales, para el NO_2 y NO respectivamente, y el industrial 2 a 5 veces. Estos niveles se mantuvieron constantes a lo largo del año estudiado, registrando mínimos en verano y máximos en otoño-invierno. Mediante el monitoreo de las condiciones meteorológicas se verificó que las variables ambientales influyen en la acumulación de los óxidos de nitrógeno en el aire ambiente de la ciudad, siendo que las variables de mayor influencia son la temperatura y la radiación solar. En los sitios de tráfico los niveles de NO registraron valores significativamente superiores de los de NO_2 , lo que

⁴ Partes Por Billón

da cuenta de la proximidad de las fuentes emisoras. Asimismo, a través de un inventario de fuentes emisoras en el área de influencia de cada sitio de muestreo, fue verificada la existencia de una relación entre los niveles de contaminación encontrados y el número de fuentes móviles (intensidad de tráfico), pues se hallaron correlaciones directas estadísticamente significativas entre ambos factores. Tanto para el NO₂ como para el NO, la categoría con mayor influencia es la de los buses, seguida de los vehículos livianos. La influencia de los buses en los niveles de contaminación encontrados es muy significativa, pues los sitios que registran los más altos niveles de contaminación son aquellos que tienen una cantidad relativa de buses más elevada.

A la vez, se verificó que no existe correlación de los niveles de NO₂ y NO con el número de fuentes fijas. Los resultados obtenidos confirman la premisa de que la principal responsabilidad en el nivel de contaminación por óxidos de nitrógeno registrado en la ciudad de Asunción la tienen los vehículos, y que comparativamente la responsabilidad de las fuentes industriales es muy inferior.

En cuanto a las implicancias sanitarias de los niveles de contaminación registrados, los resultados obtenidos permiten concluir que la guía de la OMS para protección de la salud ante exposiciones crónicas al dióxido de nitrógeno, que es de 21 ppb, no fue superada en ninguno de los sitios monitoreados, por lo que no se registraron niveles críticos de contaminación por NO₂ en Asunción en el año 2.012. Los niveles de contaminación encontrados en los sitios residenciales y de fondo urbano, indican que la calidad del aire es buena en estos lugares. En el sitio industrial la calidad del aire, en cuanto al NO₂, también es buena, aunque el nivel de contaminación es más alto. En cuanto a los sitios de tráfico, los resultados obtenidos indican que la calidad del aire está más comprometida y es en general aceptable, aunque es deficiente en algunos de los sitios monitoreados.

En conclusión, la contaminación por NO₂ en la ciudad de Asunción se atribuye al tránsito vehicular y, considerando que niveles de contaminación muy próximos a la guía de la OMS se registraron en lugares donde existe aglomeración de personas, se concluye que la situación no es crítica, pero sí es preocupante y requiere medidas de prevención.

C. Diagnóstico de Contaminación Atmosférica y Recomendaciones para la gestión de la calidad del aire - 2014.

El Centro Mario Molina Chile, volvió a realizar durante 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

la Facultad de Ciencias Contables de 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 Pública 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 SO₂ 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 Asunción. 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).

Este diagnóstico registró en promedio, 15.7 µg/m³ de MP_{2.5}, un 30% menos que los niveles registrados 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.

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.

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.

El análisis temporal efectuado sobre las mediciones continuas, indican que las mayores concentraciones de MP_{2.5} se generaron a partir de las 17:00 horas, momento en que fue registrado el inicio del flujo vehicular intenso en la ciudad.

Con respecto a la composición del Material Particulado 2,5, De los 71 elementos que la técnica XRF es capaz de identificar, solamente 48 elementos fueron detectados en el MP_{2.5} proveniente de la ciudad de Asunción. Algunos de estos elementos, pero en cantidades muy pequeñas, corresponden a metales vigilados por la salud pública internacional (cromo, plomo, níquel, entre otros). 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 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.

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.

En relación al Carbono Negro (BC) en Asunción, éste 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. 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.

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 de monitoreo *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*.

El estudio también realizó el monitoreo de gases, en 20 puntos de Asunción. Éste entregó una distribución espacial de los contaminantes gaseosos SO₂ 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 SO₂, y una disminución de 57% respecto a los gases NO_x. La desulfuración del diésel y nafta, 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.

Como conclusión, el Centro Mario Molina Chile enfatizó que en el año 2011, 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 y que actualmente, 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 promulgación de la Ley de Calidad del 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, este diagnóstico planteó avanzar en los siguientes tres aspectos:

- Definición de las normas de calidad del aire (desarrollo durante el año 2015).
- Mejorar la caracterización de los problemas de calidad del aire en Asunción, mediante el diseño e implementación una red de monitoreo autónoma.

- Elaborar una estrategia integral para vehículos más limpios y eficientes.

IV. NORMATIVA LEGAL EN EL PARAGUAY SOBRE CALIDAD DEL AIRE

El marco legal actual relacionado a la calidad del aire se inicia con la promulgación de la Ley 836/80 “**Código Sanitario**” la que en sus artículos 66 y 67 establece preceptos relacionados a la calidad del aire.

Posteriormente el sistema de aplicación en la materia se fortalece con la Ley 1561/00 “**QUE CREA EL SISTEMA NACIONAL DEL AMBIENTE, EL CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE Y LA SECRETARIA DEL AMBIENTE**”

Por mandato de la misma, en 2005 se aprueba por Resolución SEAM 04/05, la Política Ambiental Nacional, la cual expresa en su introducción: “*La contaminación atmosférica producida por las fuentes fijas y móviles de partículas y gases tóxicos, así como los focos de incendios, a nivel regional y nacional, presionan fuertemente sobre la calidad del aire*”.

Siguiendo con la línea hacia la protección de la calidad del aire, en 2007 se Promulga la Resolución 001/07 “**DONDE SE ESTABLECEN PARÁMETROS Y MULTAS POR EMISIÓN DE POLUYENTES VEHÍCULARES**”, la que es derogada en 2008 por la Resolución 520B/2008 “**POR LA CUAL SE ESTABLECEN CONTROLES Y MULTAS POR LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS, A MEDIOS DE TRANSPORTES QUE UTILICEN TODO TIPO DE COMBUSTIBLES Y SE DEROGA LA RESOLUCIÓN 001/07 Y DEMÁS RELACIONADAS, “DONDE SE ESTABLECEN PARÁMETROS Y MULTAS POR EMISIÓN DE POLUYENTES VEHÍCULARES”**”.

Esta última normativa estableció parámetros de emisiones vehiculares y estableció multas para los que excedan los mismos y en su marco se verificaron emisiones del sector transporte en Asunción y su Área Metropolitana entre 2008 y 2009.

Asimismo, la preocupación de organizaciones de la sociedad civil hacia los problemas generados por la contaminación, lleva a que, en el año 2009, la Secretaría del Ambiente cree la Mesa del Aire y la Salud por medio de la **Resolución 262/09**. Este colegiado de carácter consultivo está integrado por instituciones públicas y privadas con el fin de trabajar en normativas, acciones técnicas dirigidas hacia el monitoreo y control y campañas de educación y comunicación relacionadas a la calidad de aire del país.

Con relación al nivel local, la Ley 3966 “**ORGÁNICA MUNICIPAL**” atribuye a los Municipios funciones en materia de regulación del transporte en donde les responsabiliza de “*la regulación y fiscalización del estado de los vehículos con atención preferencial de la seguridad pública, a la higiene y salubridad, y a la prevención de la contaminación*”.

Posteriormente la Municipalidad de Asunción aprueba sus propios parámetros de emisiones vehiculares, a través de la **Resolución 627/12**, siguiendo el mandato de la Ley Orgánica y el que fuera establecido por la **Ordenanza 19/97** que ordena a la Intendencia fijar mediante reglamentación los límites máximos de emisión de contaminantes sobre la base de las recomendaciones de normas internacionales.

El 3 de julio de 2014 se promulga la Ley 5211/14 “**DE CALIDAD DEL AIRE**”, fruto de un Proceso participativo iniciado en 2011 impulsado por la CONADERNA con la Mesa del Aire y la Salud y liderado por la SEAM.

La Ley tiene por objeto proteger la calidad de aire y de la atmósfera, mediante la prevención y control de contaminantes químicos y físicos del aire, para reducir el deterioro del ambiente y la salud de los seres vivos, a fin de mejorar su calidad de vida y garantizar la sustentabilidad del desarrollo.

Además, establece Principios rectores: de Prevención; de Precaución; de Corrección de la contaminación en la fuente misma; de Quien contamina corresponde compensando; y de No regresión.

Esta Ley designa a la SEAM como autoridad de aplicación y establece obligaciones y competencias al MSPyBS y a los Municipios y responsabiliza a la SEAM para la fijación de parámetros de emisiones. Encarga a los Municipios el control de las emisiones de fuentes móviles y a la SEAM las emisiones provenientes de fuentes fijas. Asimismo, en su artículo 8 crea la Dirección General del Aire, como una nueva dirección general de la SEAM que depende directamente del Ministro – Secretario Ejecutivo.

Con la vigencia de la Ley 5211/14, en 2015 la SEAM promulgó las Resoluciones 222/15 “**POR LA CUAL SE AMPLIA EL LISTADO DE SUSTANCIAS CONTAMINANTES CONTROLADAS, PROHIBIDAS Y SUS SUSTITUTOS, INCLUYENDO AL OZONO TROPOSFÉRICO**” y 259/15 “**POR LA CUAL SE ESTABLECE PARÁMETROS PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AIRE**”.

Así también, desde el 2014 en adelante se han promulgado otras normativas que coadyuvan para el mejoramiento de la calidad del aire. Estas son:

- Decreto 2999/15 “***POR EL CUAL SE FIJA EL PRECIO DE VENTA AL PÚBLICO DE LA NAFTA DE HASTA 85 OCTANOS Y DEL GASOIL/DIESEL TIPO III (TIPO C), ASÍ COMO SE ESTABLECEN RESTRICCIONES A LA IMPORTACIÓN DE LA NAFTA VIRGEN, LA NAFTA DE HASTA 85 OCTANOS Y DEL GASOIL/DIESEL DE MÁS DE 50 PPM DE AZUFRE***”.
- Decreto 3324/15 “***POR EL CUAL SE MODIFICA Y AMPLÍA EL DECRETO N° 2999 DEL 27 DE ENERO DE 2015, "POR EL CUAL SE FIJA EL PRECIO DE VENTA AL PÚBLICO DE LA NAFTA DE HASTA 85 OCTANOS Y DEL GASOIL/DIESEL TIPO III (TIPO C), ASÍ COMO SE ESTABLECEN RESTRICCIONES A LA IMPORTACIÓN DE LA NAFTA***

VIRGEN, LA NAFTA DE HASTA 85 OCTANOS Y DEL GASOIL/DIESEL DE MÁS DE 50 PPM DE AZUFRE".

Con estas normas se logró contar desde el segundo semestre de 2015 con un diésel de no más de 500 ppm de Azufre.

- Decreto 4562 ***“POR EL CUAL SE ESTABLECEN NUEVAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DEL PETRÓLEO PARA LA IMPORTACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN EN EL PAÍS Y SE DEROGA LA RESOLUCIÓN N° 1336, DEL 22 DE NOVIEMBRE DE 2013”.***

Con este Decreto se consiguió contar con un diésel de no más de 50 ppm de Azufre, con lo que el Paraguay se coloca en el segundo lugar en calidad de diésel en América Latina, por debajo de Chile y Panamá.

V. Referencias Bibliográficas.

1. Brook, R.D. Rajagopalan, S. Pope C.A. 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.
2. Cámara de Distribuidores de Automotor y Maquinarias (CADAM). Estadísticas de importación primer semestre 2014. *CADAM. Asunción, 2014.*
3. Centro Mario Molina. Estrategias regionales y sectoriales para lograr un desarrollo sustentable y de baja intensidad de carbón en México. 2010. *Resumen Ejecutivo. Centro Mario Molina. México, 2010.*
4. Centro Mario Molina Chile. Diagnóstico de la contaminación atmosférica y recomendaciones para la gestión de la calidad del aire en Asunción. 2010. *Centro Mario Molina Chile. Santiago, 2011.*
5. Centro Mario Molina. Diagnóstico de la contaminación atmosférica y recomendaciones para la gestión de la calidad del aire en Asunción. 2014. *Centro Mario Molina Chile. Santiago, 2015*
6. Cifuentes, L, et al. Urban Air Quality and Human Health in Latin America and the Caribbean. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington DC, 2005.
7. OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequence of Inaction. ISBN 978-92-64-122161. *OECD. Paris 2012.*
8. Rodríguez Portal, J.A. El aire es nuestro: la importancia de mantener su calidad. En www.archbronconeumol.org. 2011.
9. Silva Facetti, F. Calidad del Aire: Gestión ambiental y diagnóstico de la contaminación atmosférica en Asunción. *Servi Libro. Asunción, 2015.*
10. Swiss Contact. Energy Efficiency in Artisanal Brick Kilns in Latin America to Mitigate Climate Change (Presentation). *Swiss Contact. México 2011.*

11. *United Nation Environment Programme (UNEP)*. Plan de acción regional de cooperación intergubernamental en materia de contaminación atmosférica para América Latina y el Caribe. *UNEP. Los Cabos – México. 2014.*
12. *Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción*. Diagnóstico de la Contaminación del Aire por Óxidos de Nitrógeno en la Ciudad de Asunción. *Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Asunción, 2013.*
13. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Air Quality Planning and Standards. Revisions to the ambient monitoring regulations: relevance for the AIRNOW community. *EPA. Washington., 2007.*
14. WHO air quality guidelines, global update. Report on Working Group meeting, Bonn, Germany. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2005. <http://www.euro.who.int/document/e87950.pdf>