



UNDÉCIMO INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE

Informe final

Estado de la calidad del aire en San José: año 2004

*Investigador:
Jorge Herrera Murillo y
Susana Rodríguez Román*



RESUMEN

Durante el año 2004, las concentraciones de contaminantes en el aire mostraron una ligera tendencia al alza, debido probablemente a la carencia de una política clara de gestión de la calidad del aire, ya que el gobierno del país sigue apostando a la Revisión Técnica Vehicular como único mecanismo de mitigación, abandonando casi por completo iniciativas en materia de mejoramiento de Transporte Público, regulaciones a la importación masiva de vehículos, etc.

El aire constituye uno de los elementos básicos para la sobrevivencia de todo ser vivo. Desde los tiempos más antiguos, el hombre ha sido consciente del peligro que representa un deterioro en la calidad de este componente. Sin embargo, a nivel mundial, la contaminación del aire es hoy, un problema de primer orden. Este fenómeno se produce principalmente como consecuencia de la emisión de sustancias tóxicas y nocivas para la salud humana y la naturaleza, resultantes de la acción del ser humano en su búsqueda por resolver sus crecientes necesidades de bienes y servicios impuestas por un patrón de crecimiento caracterizado por un uso intensivo de los recursos naturales.

En Costa Rica, durante la última década se ha experimentado un deterioro de la calidad del aire debido principalmente a las siguientes causas: incremento del tráfico vehicular de autos particulares, autobuses y camiones; sistemas de transporte público que no corresponden con las necesidades de los usuarios, mal estado de la flota vehicular nacional; mala calidad de los combustibles; falta de sensibilización de la población con respecto al problema y escasa coordinación institucional.

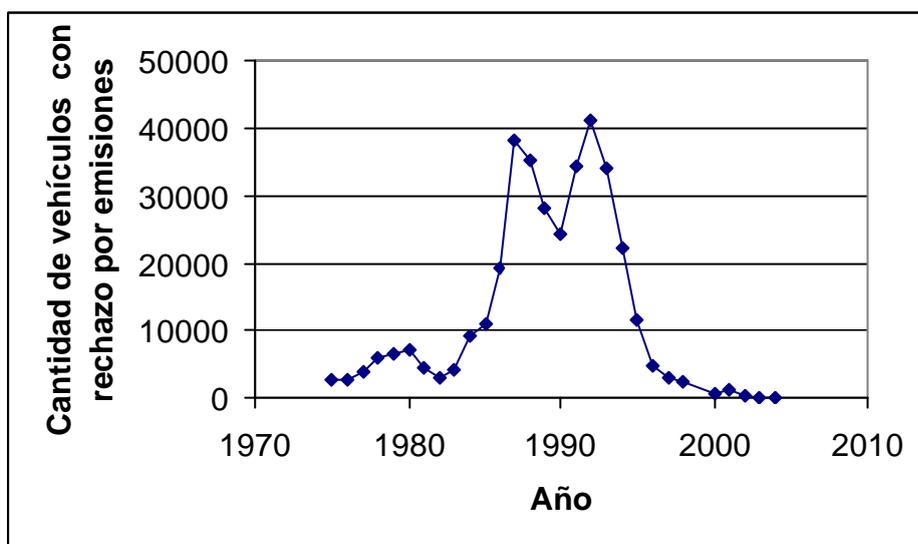
La Ciudad de San José recibe el impacto de un 70% del tráfico vehicular del país y sus emisiones aportan un 75% de la contaminación del aire. De acuerdo con estimaciones realizadas, se calcula que en el año 2003, el ritmo de crecimiento de la flota vehicular alcanzó un 11% anual, por lo que de continuar este patrón, se calcula que para el año 2007 la flotilla vehicular del país se duplicará, repercutiendo de forma proporcional en la demanda de combustibles del país. Por otra parte, mientras que en 1986 prácticamente la totalidad de los vehículos importados al país eran nuevos, a partir de los años 1987-1988 se inició un fenómeno en el cual la participación porcentual de vehículos usados con respecto al total de importados fue creciendo de 25 a 79%, en el año 2000 (2).

Desde el punto de vista ambiental, estos datos son preocupantes debido a que al ingresar mayormente autos de cinco o más años de antigüedad, la edad promedio del parque automotor, aumenta. Según la Agencia Ambiental Europea “la edad promedio de la flota vehicular es por lo tanto una indicación indirecta del rendimiento ambiental del transporte en carreteras. Hay que hacer notar que la edad promedio de la flota va estar determinada por dos aspectos: la tasa de retiro, que se refiere al número de vehículos que salen de circulación y la edad de los mismos, y la edad promedio de los vehículos que se incorporan al parque automotor. Es posible afectar la segunda variable por medio de una política que promueva el ingreso de vehículos nuevos y reduzca la cantidad de viejos.

A pesar de esto, la situación actual de la flota nacional, ha sido causada por las políticas existentes que han favorecido y promovido la importación de vehículos usados al país. Tanto los impuestos de importación como los costos de operar un vehículo en el país desincentivan la importación de vehículos nuevos.

De acuerdo con los datos suministrados por la empresa RITEVE SyC (4), encargada de la revisión técnica vehicular en el país, se puede observar que la incidencia de rechazos en las pruebas de emisiones de gases de combustión, aumenta en forma directamente proporcional con la edad promedio del vehículo, tal como se observa en la figura 1.

Figura N°1. Incidencia de rechazos en la prueba de emisiones de gases para el año 2004 por año del modelo. Fuente: Riteve SyC, 2005.



Un aspecto que no puede dejarse de lado, es la fuerte tendencia al alza en los precios del combustible en el mercado internacional, situación que ha motivado a los ciudadanos costarricenses a preferir vehículos que consumen diesel sobre los que poseen motores que operan con gasolina. Las emisiones al aire producidas por los vehículos con motores diesel son en principio las mismas producidas por los motores a gasolina, sin embargo se sabe que los niveles de emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono son más bajas por que se produce una mayor eficiencia de combustión, pero las emisiones de material particulado y los óxidos de azufre son mayores. Esto se debe a que el combustible diesel tiene un alto contenido de azufre, que en la caso del país supera los estándares internacionales.

Tendencias en las concentraciones de contaminantes durante el año 2004

Como es de conocimiento general la contaminación del aire, se define como la presencia en la atmósfera de gases, partículas y vapores que han sido incorporadas directa o indirectamente al aire por el hombre o por fuentes naturales en cantidades suficientes que pueden afectar adversamente animales, vegetación, materiales y al hombre mismo. Dentro de esta amplia gama de compuestos, se han seleccionado

algunos que, por su importancia debido a la gran cantidad de fuentes que lo generan y a lo adverso de sus efectos, se consideran contaminantes criterio.

El Programa de Estudios de Calidad del Aire de la Universidad Nacional en conjunto con la Municipalidad de San José realizan el monitoreo permanente de algunos de estos contaminantes y a continuación se presentan los resultados más importantes obtenidos para el año 2004:

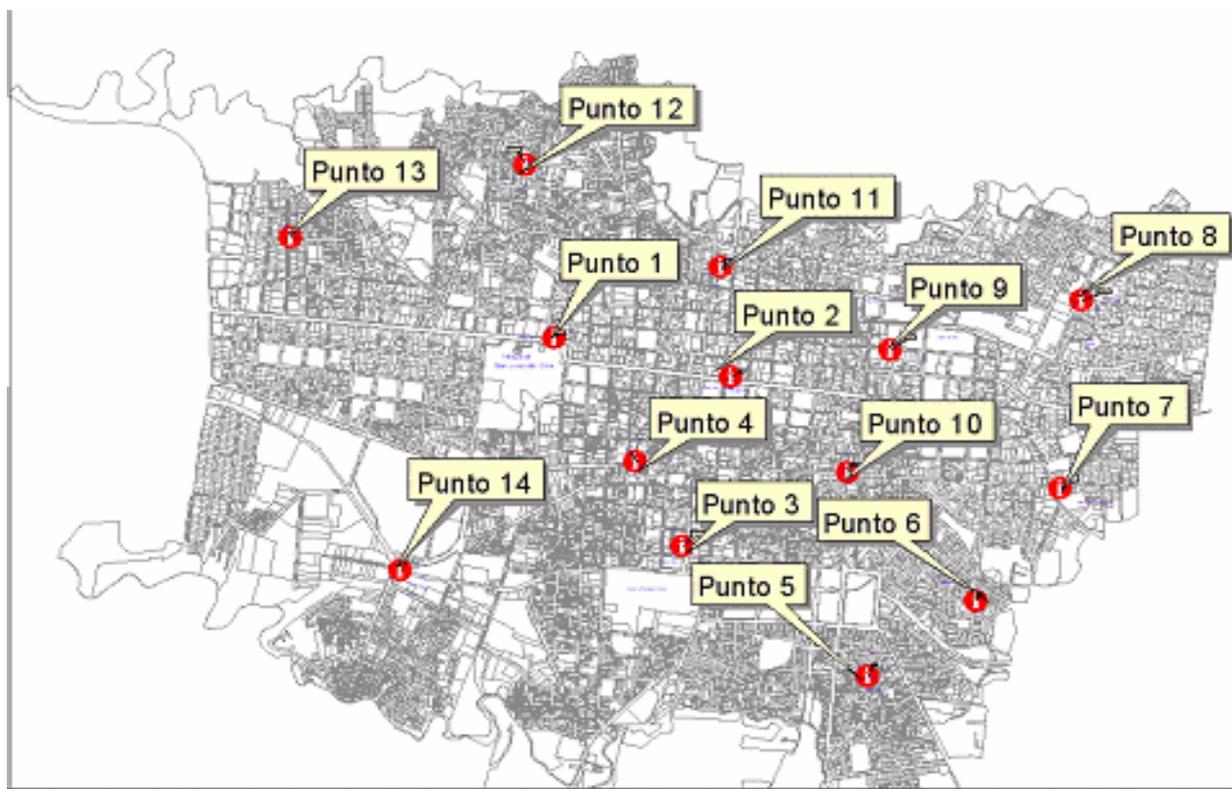
1. Dióxido de Nitrógeno:

Los óxidos de nitrógeno son una mezcla de gases compuestos de nitrógeno y oxígeno. El monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno constituyen dos de los óxidos de nitrógeno más importantes toxicológicamente; ninguno de los dos son inflamables y son incoloros a pardo en apariencia a temperatura ambiente. El monóxido de nitrógeno es un gas de olor dulce penetrante a temperatura ambiente, mientras que el dióxido de nitrógeno tiene un fuerte olor desagradable. El dióxido de nitrógeno es un líquido a temperatura ambiente, pero se transforma en un gas pardo-rojizo a temperaturas sobre 70 F. Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados, de la combustión del carbón, petróleo, o gas natural, y durante procesos tales como la soldadura al arco, galvanoplastia, grabado de metales y detonación de dinamita. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa. Los óxidos de nitrógeno son usados en la producción de ácido nítrico, lacas, tinturas y otros productos químicos (3).

Los niveles bajos de óxidos de nitrógeno en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones, y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. La exposición a bajos niveles también puede producir acumulación de líquido en los pulmones 1 ó 2 días luego de la exposición. Respirar altos niveles de óxidos de nitrógeno puede rápidamente producir quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos en la garganta y las vías respiratorias superiores, reduciendo la oxigenación de los tejidos del cuerpo, produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte (3).

En la figura 2 se muestra la ubicación de los sitios de muestreo permanente de este contaminante en la Ciudad de San José. El monitoreo se realiza con dispositivos de muestreo pasivo. Los equipos de muestreo pasivo se basan en la difusión de contaminantes del aire hacia un medio de absorción. La fuerza principal es el gradiente de concentración entre el aire que rodea y la superficie de absorción, donde la concentración del contaminante es cero.

Figura N° 2. Distribución de los sitios de muestreo seleccionados para el monitoreo de Dióxido de Nitrógeno en la Ciudad de San José, PECAire-UNA.



- Punto 1: Hospital San Juan de Dios
- Punto 2: Costado norte de la Catedral Metropolitana
- Punto 3: Antigua estación de trenes al Pacífico
- Punto 4: Bomba La Castella, Avenida 10.
- Punto 5: Parque de Béisbol Antonio Escarre
- Punto 6: Barrio Luján, Antigua Dos Pinos
- Punto 7: Barrio Francisco Peralta, Edificio del MINAE
- Punto 8: Detrás de la Iglesia de Santa Teresita
- Punto 9: Edificio Tribunal Supremo de Elecciones
- Punto 10: Edificio del AyA, Paseo de los Estudiantes
- Punto 11: Edificio de JAPDEVA
- Punto 12: Costado Sur del Parque de Barrio México
- Punto 13: Parque El Salvador, Barrio Pithaya
- Punto 14: Industria Numar, Barrio Cuba

Al analizar los datos obtenidos se puede observar la presencia de sitios de monitoreo cuyos valores sobrepasan el límite recomendado por la OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio mensual), resaltando puntos como la Catedral Metropolitana y el Hospital San Juan de Dios, en donde independientemente del mes del año de muestreo y debido al alta flujo vehicular en la zona, se sobrepasa constantemente la norma.

Tabla I. Promedios Mensuales de la Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ug/m³) en los puntos de monitoreo de Octubre 2003 a Octubre 2004.

Sitio de muestreo	Oct 03	Nov 03	Dic 03	Ene 04	Feb 04	Mar 04	Abr 04	May 04	Jun 04	Jul 04	Ag 04	Set 04	Oct 04
1	51	55	57	48	48	46	48	46	36	50	41	53	40
2	54	55	60	45	41	43	47	41	42	36	41	47	41
3	45	34	38	45	26	32	28	30	29	25	30	29	27
4	51	48	53	41	50	37	46	45	41	42	38	39	32
5	34	26	34	29	22	23	27	23	25	27	23	32	28
6	27	31	31	24	23	22	24	20	20	24	29	42	33
7	34	34	33	15	22	23	21	25	23	21	26	37	45
8	21	32	33	24	19	22	23	20	20	27	22	25	38
9	22	29	29	21	17	17	19	14	21	19	18	31	30
10	32	45	54	16	38	45	39	20	33	23	28	43	41
11	37	40	40	30	31	36	34	32	32				
12	44	34	39	23	24	18	20	23	34	21	25	36	48
13	32	34	37	19	22	17	23	17	27	25	25	21	31
14	38	39	43	37	34	34	39	32	37	26	27	21	40

Nota: Los números en color rojo representan datos registrados superiores a la norma establecida por la OMS de 40 ug/m³

Fuente: PECAire, UNA.

Si se comparan los promedios mensuales de concentración de dióxido de nitrógeno con respecto a los niveles de precipitación registrados para los mismos meses, según datos aportados por el Instituto Meteorológico Nacional, se puede observar como los máximos de precipitación coinciden con la presencia de valores altos de concentración de dióxido de nitrógeno, siendo los meses de setiembre y octubre aquellos en donde se presentan las concentraciones más altas. Este hecho se puede explicar a partir del hecho de que el Dióxido de Nitrógeno no es soluble en agua, por lo que la creencia popular de que las precipitaciones minimizan los problemas de contaminación es cierto solamente para algunos contaminantes y no específicamente en el caso del dióxido de nitrógeno.

2. Material Particulado PM-10:

Uno de los principales indicadores de contaminación, es el material particulado suspendido en el aire. Las partículas son materiales sólidos o líquidos que viajan en el aire con dimensiones mayores a las moleculares, originadas desde una gran variedad de fuentes y que poseen un rango de propiedades morfológicas, químicas, físicas y termodinámicas muy variadas. La mayoría de las partículas se encuentran en estado sólido pero también existen partículas en estado líquido. Otras pueden estar formadas por porciones sólidas rodeadas de coberturas líquidas (3).

El material particulado puede ser primario o secundario. Las partículas primarias están compuestas por material emitido directamente a la atmósfera. Dentro de esta categoría se incluyen aquellas partículas generadas por procesos mecánicos y de combustión, así como las formadas por la condensación de vapores de alta temperatura. La concentración de partículas primarias depende de su velocidad de emisión, transporte, dispersión y remoción desde la atmósfera.

Las partículas secundarias son aquellas que se forman a partir de vapores condensables formados por reacciones químicas en donde están involucrados precursores en fase gaseosa. Los procesos de formación de partículas secundarias pueden dar origen a partículas nuevas o a la adición de material particulado a partículas preexistentes (2).

El diámetro de una partícula se puede determinar geoméricamente, a partir de microscopia óptica o electrónica, por su movilidad eléctrica o por su comportamiento aerodinámico. El diámetro es una propiedad obvia de una partícula esférica, sin embargo muchas veces las partículas atmosféricas pueden ser cúbicas, cilíndricas o amorfas, debido a esto sus diámetros son a menudo descritos como diámetros equivalentes. Dos parámetros que son usados comúnmente como diámetros equivalentes son el diámetro de Stokes y el aerodinámico. El diámetro de Stokes D_p , describe el tamaño de la partícula basado en la fuerza de arrastre aerodinámica impartida sobre una partícula cuando su velocidad difiere de la del fluido en donde se encuentra contenida. Para una partícula esférica D_p es igual al diámetro físico de la partícula mientras que para partículas de forma irregular, D_p es el diámetro de una esfera equivalente que tendría la misma resistencia aerodinámica que la partícula en cuestión.

El diámetro aerodinámico D_a , depende de la densidad de la partícula y se define como el diámetro de una partícula esférica que posee una velocidad de sedimentación similar a la partícula en cuestión, pero con una densidad igual a 1 g/cm^3 . Partículas con el mismo tamaño físico y forma pero con diferentes densidades pueden tener el mismo diámetro de Stokes pero diferente diámetro aerodinámico (3).

Existen tres criterios principales que se utilizan para clasificar las partículas de acuerdo con su tamaño: modal, basado en la observación de las distribuciones por tamaño en el ambiente y sus mecanismos de formación; dosimétrica, fundamentada en la capacidad de las partículas de penetrar en distintos compartimentos del sistema respiratorio y muestreo selectivo de tamaño. El muestreo selectivo de tamaño implica la recolección de partículas por debajo de un tamaño aerodinámico especificado, usualmente definido por el diámetro al cual un equipo muestreador tiene un 50% de eficiencia de recolección.

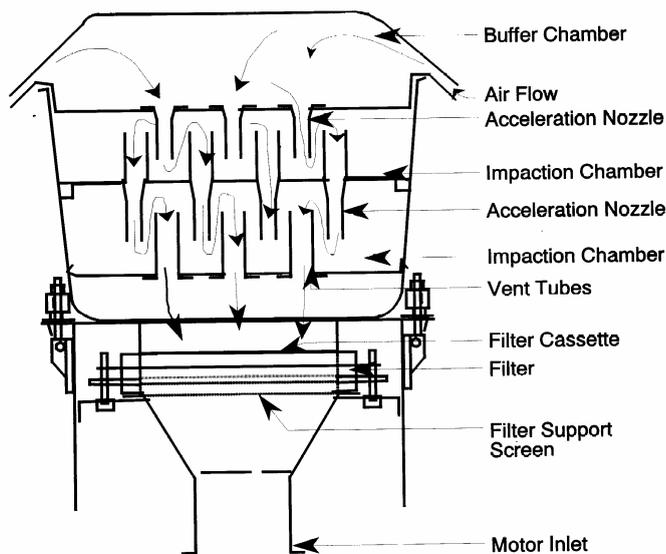
Las partículas PM-10 son todas aquellas que son recolectadas con un 50% de eficiencia con un muestreador de alto volumen cuyo diámetro o punto de corte es de $10 \text{ }\mu\text{m}$. La concentración de PM-10 en el aire es un indicador de los niveles de partículas presentes en el medio, que tienen la capacidad de ingresar a la zona torácica del sistema respiratorio.

El Programa de Estudios de Calidad del Aire de la Universidad Nacional mantiene dos sitios monitoreo para este contaminante, uno ubicado en la Catedral Metropolitana y el otro en la Junta de Educación de la Ciudad de San José, en donde se monitorea tres veces por semana los días lunes, miércoles y viernes (2).

Para la toma de las muestras se utilizaron dos muestreadores de aire de alto volumen marca Thermo Andersen modelo MFC en donde el aire ambiente es aspirado en forma simétrica (independientemente de la dirección del viento), durante 24 horas, a través de la abertura circunferencial ubicada en la parte superior del cabezal (Figura 3). Una vez dentro del cabezal de muestreo, el flujo de aire se acelera a través de nueve boquillas impactadoras a una velocidad de $1.13 \text{ m}^3/\text{min}$ para después ser dirigido hacia la superficie de impactación. Debido a su momento, aquellas partículas que poseen diámetros aerodinámicos mayores a $10 \text{ }\mu\text{m}$ quedan retenidas en la superficie de la cámara mientras que las restantes poseen la suficiente inercia como para continuar a través de un sistema de 16 boquillas de diámetro especificado hacia un filtro de fibra de vidrio.

El equipo cuenta con una bomba de vacío, la cual se encuentra conectada a un sensor de masa que permite no solo seleccionar el flujo de aire, al cual se realiza el muestreo, sino que también regula la potencia de la bomba para mantenerlo constante a través de todo el período de muestreo. Además, el muestreador tiene incorporado un cronómetro con el fin de contabilizar el tiempo total de muestreo.

Figura No. 3. Esquema de un muestreador de aire de alto volumen empleado en la recolección de material particulado PM-10.



La campaña de muestreo se realizó durante la época lluviosa, sin embargo es importante aclarar que durante ese período, los meses en donde se presentó una mayor frecuencia de ocurrencia de lluvias se caracterizaron por presencia de una menor concentración de contaminantes. El efecto de este hecho se puede observar directamente en las figuras 5 y 6, donde se puede concluir que la cantidad de material sólido particulado del aire es menor cuando aumentan la frecuencia de lluvias, situación esperable, por cuanto la precipitación de partículas de lluvia colecta partículas secas por inercia o por difusión, mecanismo que ha sido señalado como una de las principales formas en que el aerosol es removido de la atmósfera (4). El punto de monitoreo ubicado en la Catedral Metropolitana presenta concentraciones

mensuales de material particulado que superan el valor promedio anual establecido en el decreto 30221-S del Ministerio de Salud de Costa Rica ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sin embargo ninguna de las mediciones diarias, supera la norma para 24 horas que es de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Como es de esperar, durante el día en la Ciudad de San José se da el predominio del viento en tres direcciones: Noroeste, Oeste y Noreste. Estudios realizados previamente, han demostrado que la magnitud de la contaminación es semejante independientemente de la dirección del viento, esto hace pensar que San José, más que estar perjudicado por la contaminación de otros sectores, es generador de agentes contaminantes (5).

Figura Nº 4. Variación de la Concentración de Material Particulado PM-10 en la Catedral Metropolitana, Marzo – Octubre 2004, PECAire UNA

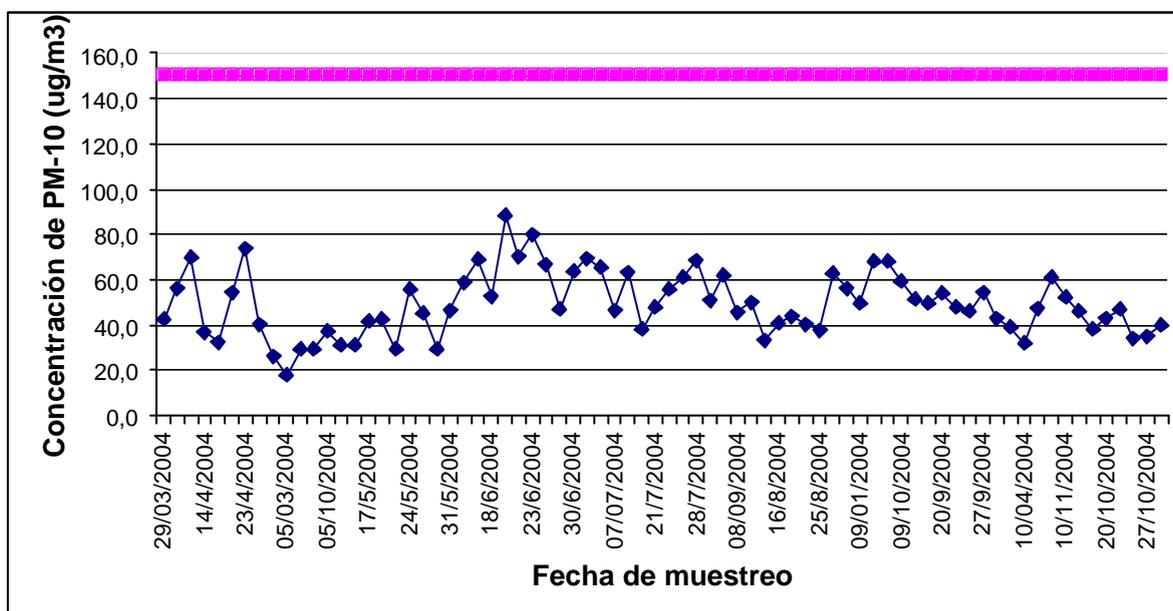
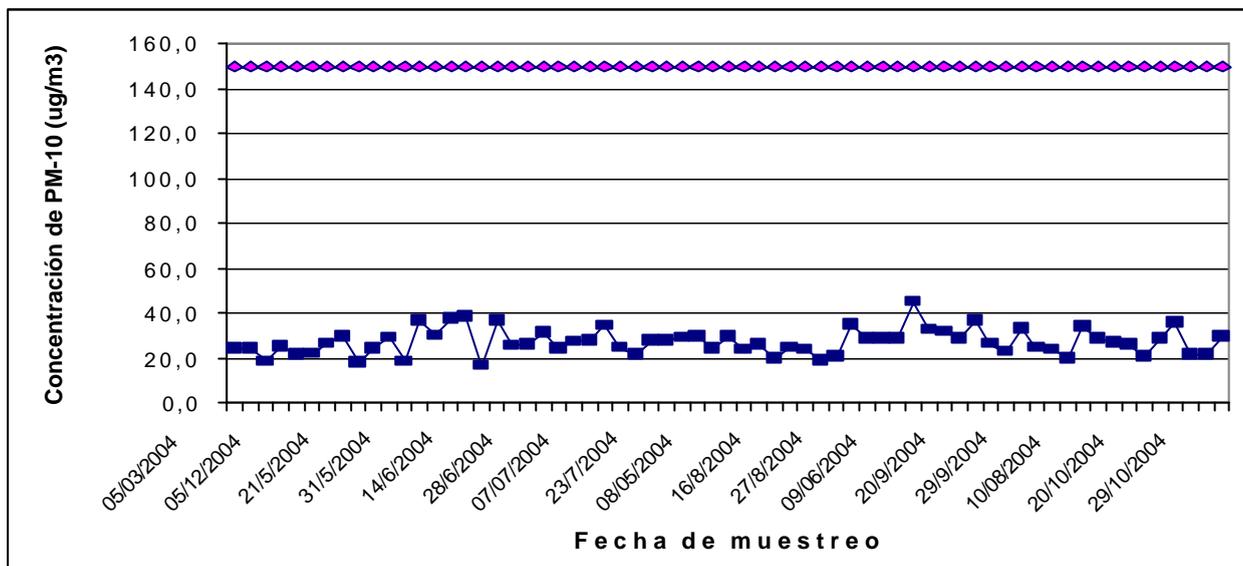


Figura Nº 5. Variación de la Concentración de Material Particulado PM-10 en la Junta de Educación de San José, Marzo – Octubre 2004, PECAire UNA



Además de realizar mediciones de la concentración de material particulado PM-10, el PECAire de la Universidad Nacional, realiza el monitoreo de la caracterización del material particulado recolectado, especialmente de la concentración de aniones sulfato, nitrato y cloruro. La selección de estos agentes químicos radica en el hecho de que la presencia de estos en el material particulado, proviene de reacciones secundarias de gases de combustión en la atmósfera constituyéndose en un indicativo de efectos secundarios de las emisiones primarias de contaminantes.

Al analizar los resultados presentados en las figuras 4,5, 6 y 7 llama la atención el hecho de que a pesar de que las concentraciones de material particulado en ambos puntos son muy diferentes, la composición química, en cuanto a aniones es muy uniforme.

A pesar de que en el país no existe un valor de referencia dentro del Decreto de Inmisiones de Contaminantes del Aire, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos establece como valor típico de concentración de sulfato en material particulado $3,7 \mu\text{g m}^{-3}$ y $0,9 \mu\text{g m}^{-3}$ para el caso de nitrato. Si se comparan los datos obtenidos con respecto a esta referencia se puede observar que algunos promedios mensuales superan estos valores. La ocurrencia de estos valores se puede deber al alto flujo vehicular en los dos puntos de monitoreo y a las características del combustible que se expende en el país, ya que este posee un contenido de azufre mayor al valor recomendado internacionalmente (2).

Figura N° 6. Variación mensual de la concentración de sulfato en el material particulado, en los sitios de muestreo, mayo - octubre 2004

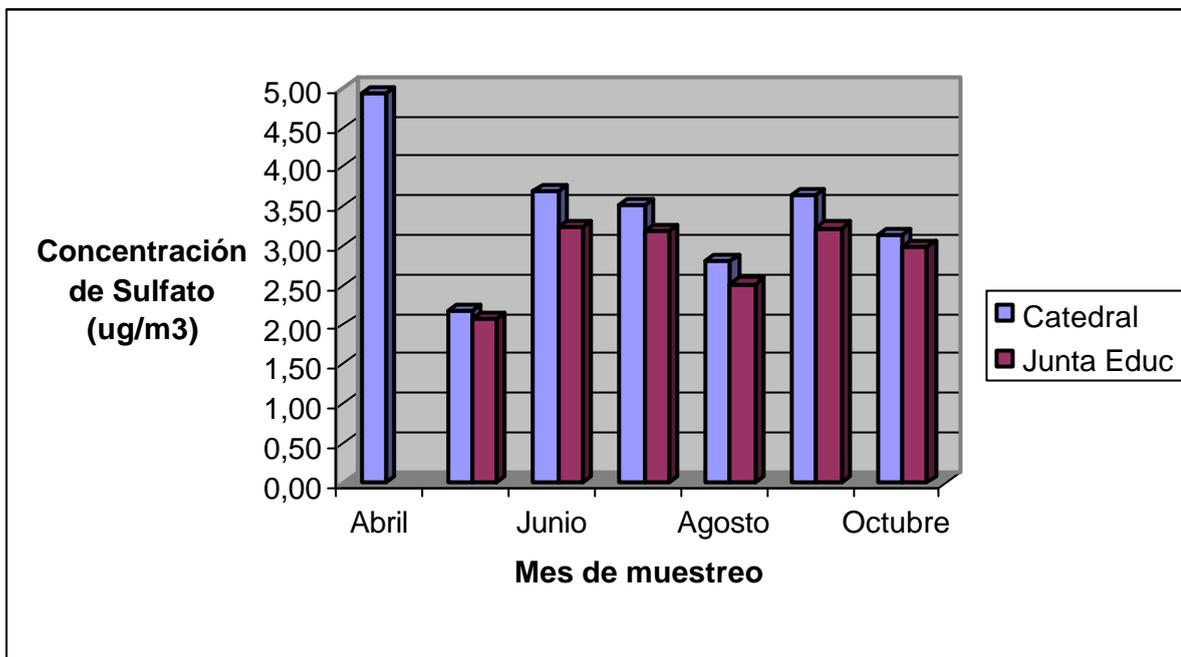


Figura N°7. Variación mensual de la concentración de nitrato en el material Particulado, en los sitios de muestreo, mayo - octubre 2004

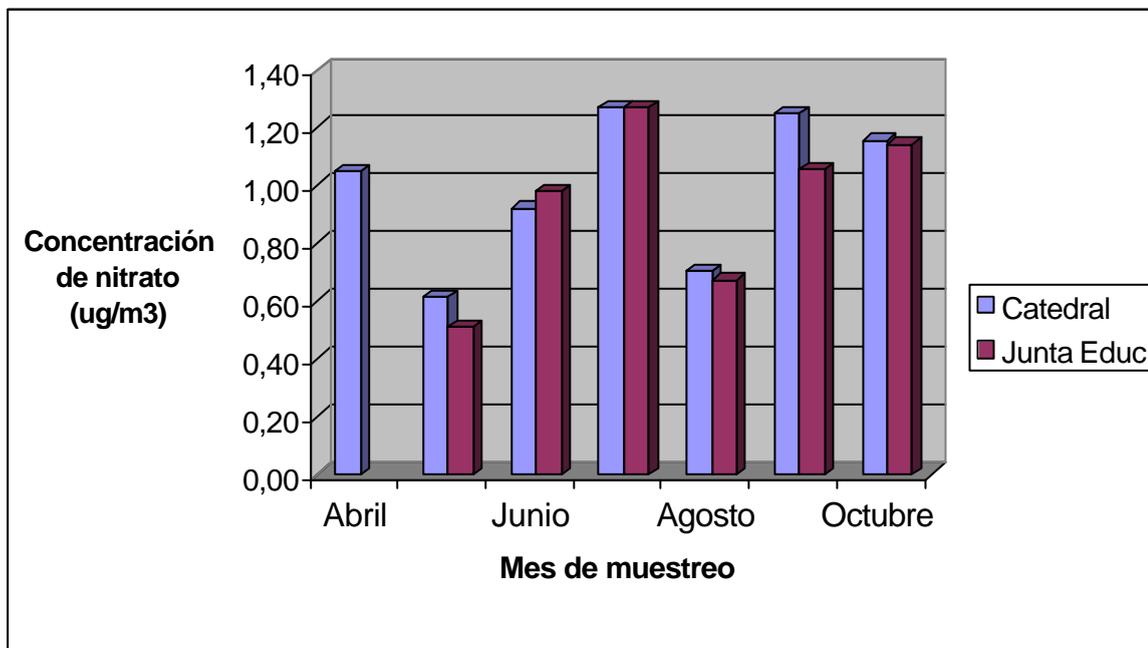
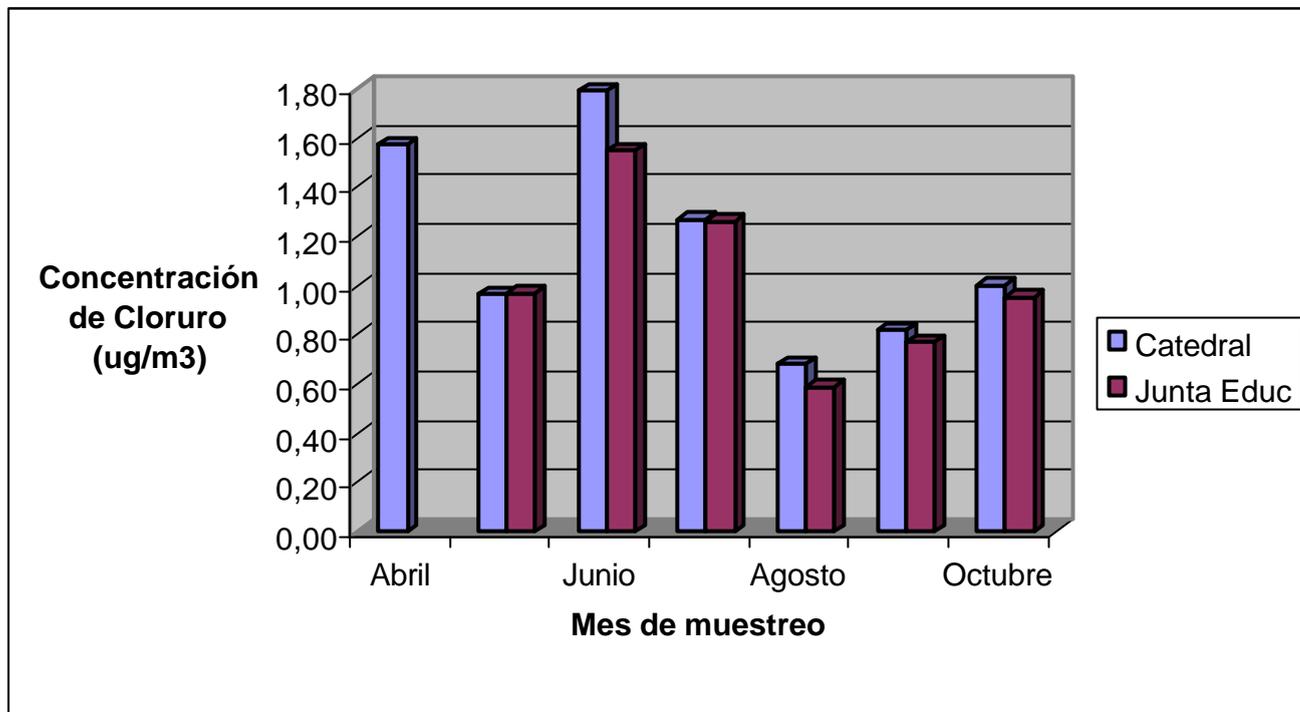
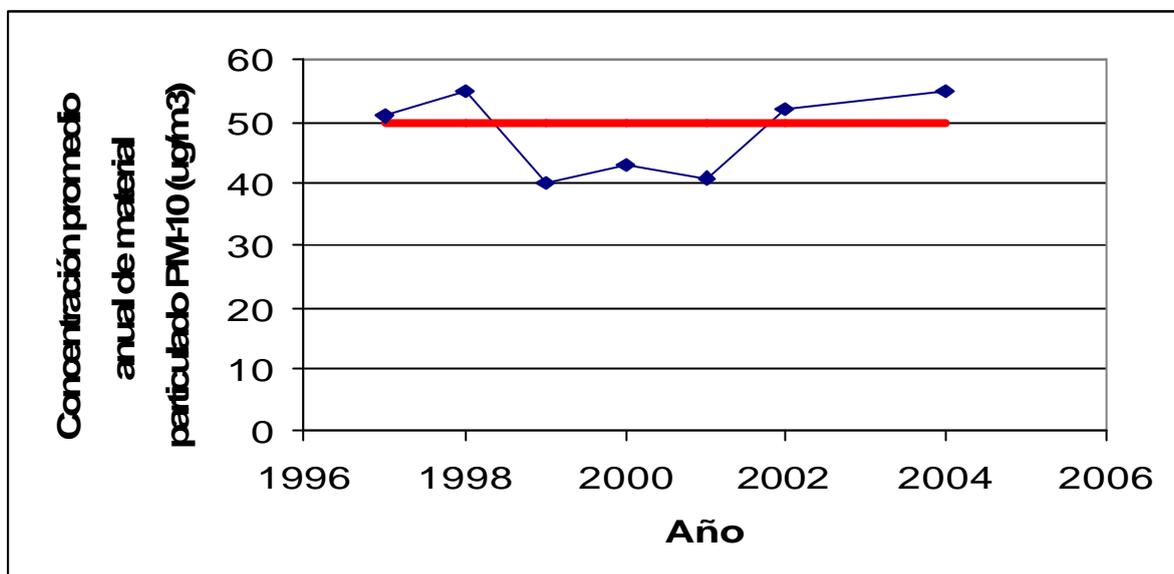


Figura N°8. Variación mensual de la concentración de cloruro en el material Particulado, en los sitios de muestreo, mayo - octubre 2004



Si se analiza el comportamiento de los promedios anuales de un contaminante criterio como el material particulado PM-10, se puede observar que durante el año 2004 persiste una ligera tendencia al alza, poco significativa si se toman en cuenta la incertidumbre de las mediciones, pero que ha sido característica de los últimos tres años. Al observar los resultados (figura 9) se podría hablar del establecimiento de un equilibrio entre factores que controlan la contaminación por emisiones vehiculares tales como la revisión técnica y factores que la acentúan como el incremento en la flota vehicular, mal estado de las carreteras, importación masiva de vehículos usados, etc.

Figura N°9. Variación de la concentración de material particulado PM-10 en la Ciudad de San José en los últimos ocho años.



La línea en rojo representa el valor promedio anual para partículas PM-10 establecido en el Decreto de Inmisiones de Costa Rica: 50 ug/m³.

Fuente: Alfaro, 1999 y Herrera, 2004

Control de emisiones en fuentes fijas:

A pesar de que en el año 2002 se emitió el decreto 30222-S-MINAE “Reglamento sobre emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de calderas”, que establece la obligatoriedad de realizar análisis anuales de las emisiones a todas las calderas existentes en el país, a la fecha no se ha realizado un control exhaustivo que garantice que todas las empresas que poseen calderas estén presentando reportes operacionales y la ejecución de los mismos presenta un carácter voluntario. Un estudio realizado por el PECAire de la UNA en los archivos del Área Rectora del Ministerio de Salud en Belén muestra como de las 74 empresas existentes en la zona, 21 poseen calderas, sin embargo solamente el 70% está presentando reportes operacionales de emisiones. Esta situación es preocupante cuando se conoce que el 95% de las mismas funciona con bunker, un tipo de combustible que se caracteriza por importantes emisiones de contaminantes al aire, especialmente de dióxido de azufre.

Al consultar al Consejo de Salud Ocupacional, dependencia del Ministerio de Trabajo, sobre la lista de empresas que poseen calderas, se informó que la misma está desactualizada hace más de siete años, razón que imposibilita hacer un control cruzado entre ambas dependencias, con el fin de garantizar una mayor efectividad del cumplimiento de estas disposiciones (2).

Además durante el año 2004, el Ministerio de Salud se encuentra elaborando la segunda parte del reglamento de emisiones donde se contempla la evaluación de contaminantes en los tubos de escape de hornos, extractores, cámaras de secado, etc. Sin embargo el país aún no cuenta con un inventario de emisiones con lo que se pone en riesgo la efectividad de la aplicación de estos reglamentos.

Es importante mencionar que el Ministerio de Salud en colaboración con la Fundación Swisscontact, se encuentra realizando un estudio para georefenciar las industrias del Gran Área Metropolitana que poseen emisiones de gases de combustión.

Bibliografía:

1. Alfaro, María del Rosario. 1999. *Informe Técnico sobre Calidad del Aire en Costa Rica. Convenio UNA-SwissContact*. Costa Rica.
2. Herrera, J. y Rodríguez, S. *Informe Monitoreo de la Calidad del Aire Año 2004*. PECAIRE-UNA
3. US. Environmental Protection Agency. *Air Quality Criteria for Particulate Matter Vol I*. April, 1996. EPA 600/P-95/001aF
4. RITEVE SyC. Anuario 2004