

UNIVERSIDAD DE MENDOZA (UM) INSTITUTO PARA EL ESTUDIO
DEL MEDIO AMBIENTE (IEMA)

CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN MENDOZA

*Prof. Dipl. Carlos Puliafito, Prof. Dr. Ing. S. Enrique Puliafito, Prof. Ing.
José Quero*

"III Simposio de Ecología y Medio Ambiente"
Mendoza, 13 y 14, 15 de Octubre de 1998

1. Introducción

La contaminación del aire en Mendoza, al igual que en otros conglomerados urbanos, se ha convertido en las últimas décadas en un problema preocupante para la salud y bienestar de la población. Si a esta situación le sumamos el crecimiento poblacional, vehicular e industrial que viene experimentando la ciudad en los últimos años, cabe concluir que existe un pronóstico nada optimista para las próximas generaciones, a menos, que se tomen medidas urgentes y profundas que tiendan a reducir y mantener el nivel de emisiones de gases contaminantes a niveles permisibles.

La ciudad de Mendoza y Gran Mendoza, se encuentra ubicada en la región del oasis norte de la Provincia, al pie de la cordillera de Los Andes y a una altura de aproximadamente 750 metros sobre el nivel del mar (32° 53' latitud sur, 68° 51' longitud oeste) y con una población de aproximadamente 900.000 habitantes. La ciudad de Mendoza en general, presenta un elevado porcentaje de calmas, interrumpido ocasionalmente por vientos Zondas o situaciones frontales meteorológicas, dando una media anual en sus vientos de 2 m/s, registrándose suaves brisas cíclicas diarias típicas de valle-montaña. Por otra parte, su clima es de tipo desértico (BWkw de acuerdo con la escala de Köppen) con precipitaciones anuales que no superan los 180 a 220 mm anuales. Por otra parte, en los meses de invierno aparecen episodios frecuentes de inversiones térmicas a una altura de 100 a 200 metros. Estas características sumadas a su topografía, hacen que la ciudad de Mendoza sea particularmente vulnerable a episodios de contaminación producto tanto de fuentes fijas como móviles.

2. Química troposférica.

La troposfera es el nivel más bajo de la atmósfera, en el cual ocurren los fenómenos meteorológicos. Su límite superior, la tropopausa, se encuentra a unos 18 km como promedio en la zona tropical, mientras que para latitudes medias, ésta se ubica entre los 10 y 15 km de altura y para la región polar a unos 8 km. La troposfera abarca un 80 a 90 % de la masa de aire terrestre. Los gases fuentes naturales, tales como el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4), el monóxido de carbono (CO), cloruro de metilo (CH_3Cl), hidrógeno (H_2), etc., son producidos en el suelo terrestre y en el océano por microorganismos, y son emitidos hacia la troposfera donde se entremezclan. Pero también, la troposfera recibe continuamente los gases de escape de nuestra civilización, ya sea de las fábricas, centrales eléctricas, equipos de calefacción o vehículos de transporte.

El fenómeno meteorológico en conexión con el ciclo del agua que se establece por la evaporación, formación de nubes y precipitaciones, constituye el mecanismo de purificación más importante de la atmósfera. Las partículas y los gases solubles en agua tienen participación directa en el proceso de formación de nubes. Estos son luego lavados por las precipitaciones y consecuentemente alejados de la atmósfera. Por ello, su tiempo de vida útil en la troposfera es corto; en promedio alcanza sólo a pocos días o semanas. Se entiende, entonces como tiempo de vida como el lapso durante el cual una determinada sustancia ha existido en la atmósfera antes de ser desintegrada por procesos químicos, o de algún modo eliminada de la misma.

En la troposfera, los procesos químicos y fotoquímicos están estrechamente vinculados a los dinámicos. Aquí los vientos son altamente variables y turbulentos, que sumado a la disminución de la temperatura con la altura, produce una mezcla efectiva tanto horizontal como vertical. El tiempo de mezcla es el tiempo que transcurre hasta que una sustancia, en una determinada región (hemisférico e interhemisférico) se distribuye regularmente en la atmósfera. Estos tiempos de mezcla varían conforme a la magnitud de la región considerada.

Mientras los vientos se ocupan de que los componentes atmosféricos sean distribuidos regularmente, los fenómenos que transforman sustancias y que las alejan de la atmósfera son a menudo sumamente variables con relación al tiempo y espacio. Esto hace que la distribución sea más o menos uniforme de

acuerdo al tipo de sustancia. Para poder determinar si para la distribución de una determinada sustancia son primordiales el mezclado, o por ejemplo, las reacciones fotoquímicas, se debe comparar el tiempo de vida atmosférico de dicha sustancia con el tiempo de mezcla. Para aquellos constituyentes, cuyo tiempo de vida atmosférico es de muchos años, permanecen el tiempo suficiente en la atmósfera como para ser distribuidos uniformemente por los vientos sobre todo el globo (como el caso del N_2O). Aquellas sustancias como el monóxido de carbono, cuyo tiempo de vida es de algunos meses, pueden mezclarse lo suficientemente bien dentro de un hemisferio. La concentración de constituyentes de corta vida como el OH y HO_2 , cuya existencia se limita a menos de una hora, está determinada por los mecanismos locales de producción y reducción, encontrándose en equilibrio fotoquímico, es decir, los índices de producción y reducción son iguales. La concentración de tales sustancias puede mostrar variaciones considerables en el tiempo y el espacio en la medida en que varíen los índices de producción o reducción.

Ciertos gases son expulsados a la atmósfera debido a una gran cantidad de efectos biológicos, geológicos y antrópicos. La superficie terrestre no puede considerarse en absoluto como homogénea, en lo que respecta tanto al tipo de gases emitidos como a los índices de emisión. Los gases emitidos antrópicamente poseen una distribución mucho más heterogénea que los de procedencia natural. El grado de influencia local, regional o mundial, de los gases emitidos, ya sea que se trate de sustancias naturales o antrópicas, depende exclusivamente del tiempo de vida troposférico. La mayoría de los gases residuales (de pequeña concentración) que son expelidos a la atmósfera se encuentran en un nivel de oxidación bajo (por ejemplo, CH_4 , N_2O , CO). En contraposición, existen sustancias completamente oxidadas (por ejemplo, HNO_3 , CO_2 , H_2O_2), que vuelven desde la troposfera a la superficie terrestre mediante precipitaciones. La oxidación en la atmósfera se efectúa de acuerdo a procesos fotoquímicos, es decir ciclos químicos, durante los cuales los gases reductores se emiten a la atmósfera, son allí oxidados químicamente y luego nuevamente alejados de la atmósfera.

3. Fuentes de contaminantes en el Gran Mendoza.

En general, para caracterizar la calidad del aire de un determinado lugar es necesario comparar los niveles de concentración de ciertos componentes gaseosos atmosféricos, material particulado, gotas, etc. de dicho ambiente

con uno considerado limpio o considerado como nivel de fondo o de referencia. Las concentraciones de dichas sustancias en el aire, en un ambiente contaminado, alcanzan niveles suficientemente altos como para que sus efectos sobre el hombre, animales, vegetación y materiales sean mensurables. En general el concepto de contaminación se limita sólo a aquellas sustancias que producen un efecto nocivo mensurable. Si bien la contaminación del aire es un fenómeno más bien global, dado que los contaminantes pueden dispersarse por toda la atmósfera, es en las regiones urbanas e industrializadas donde dichos contaminantes exhiben valores muy superiores a los niveles de fondo o aire limpio. Cabe destacar que se consideran niveles de fondo los ambientes marinos con vientos predominantes de zonas pocas habitadas.

El origen de los contaminantes está ligado a las fuentes de emisión. Entre las fuentes más importantes podemos citar:

- 1) los transportes, 2) la producción de energía eléctrica, 3) la incineración de residuos, 4) el consumo de combustibles industriales y hogareños y 5) los procesos industriales.

Los contaminantes aéreos más comunes en las ciudades son el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂, a ambos conjuntamente se los denomina NO_x), monóxido de carbono, ozono superficial, partículas en suspensión totales y plomo. El uso de combustibles de origen fósil da lugar a la producción de SO₂, NO_x y partículas (cenizas y hollín) y partículas secundarias. Por otra parte, los gases como sulfates y nitratos se consideran partículas. Los vehículos que usan naftas son las fuentes principales de NO_x, CO y Pb, mientras los que usan diesel, emiten cantidades importantes de SO₂, NO_x y material particulado. El ozono superficial es uno de los constituyentes más importantes del smog fotoquímico y no es emitido directamente por fuentes de combustión, sino que se forma principalmente en presencia de luz solar (radiación ultravioleta) a partir de los NO_x, CO y compuestos orgánicos volátiles (VOC). Los VOC provienen de numerosas fuentes antrópicas tales como el roce de cubiertas en las calles, la producción de solventes, gas natural, plantas de tratamientos de residuos, etc. La fuente principal de contaminación en Mendoza es sin lugar a dudas el transporte tanto público como privado. En los últimos años, el parque automotor de la Provincia se ha incrementado y renovado sustancialmente. Como consecuencia de la renovación del mismo (mejora en la tecnología) y del incremento en la calidad de los combustibles, ha permitido una disminución de la emisión promedio de contaminantes por vehículo (en particular con

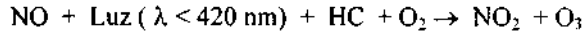
referencia al plomo, en los vehículos nafteros). Pero, por otra parte, esta mejora sensible se ve contrarrestada por el aumento de la cantidad de vehículos.

Otras fuentes de contaminantes en Mendoza son las producidas por fuentes fijas o industrias localizadas en su periferia, tales como producción de energía, refinerías de petróleo ubicadas al sur oeste de la ciudad. En la zona norte se encuentran dos cementeras, mientras que al este del área de Gran Mendoza se pueden localizar varias agroindustrias. Dependiendo de la dirección e intensidad del viento, éstas pueden tener un efecto mayor en sus alrededores. Cabe destacar que en los últimos años varias de estas industrias han mejorado sensiblemente su tecnología anticontaminante. Por otra parte, suelen aparecer episodios de fuertes heladas que afectan fundamentalmente las áreas agrícolas, durante los meses de invierno y primavera. Estas heladas pueden producirse por procesos de irradiación o convectivo y advectivo (masas de aire frío). Durante estos episodios, para prevenir las bajas temperaturas pueden ocurrir fenómenos de alta contaminación del aire debido al quemado de aceites residuales, entre otros. Para prevenir esta situación, las autoridades locales están promocionando el uso de gas como combustible alternativo.

4. Smog fotoquímico.

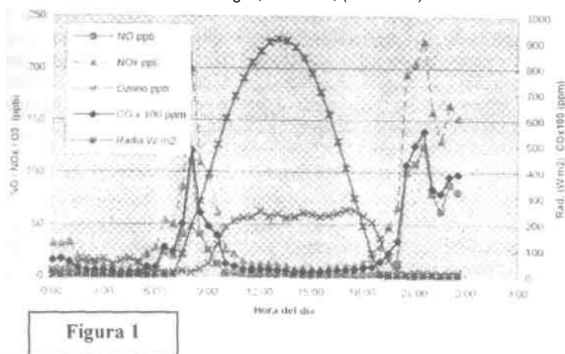
En conglomerados urbanos se pueden detectar altas concentraciones de óxido de nitrógeno, (que en algunos casos pueden llegar desde 1 ppb hasta los 500 ppb). Sumada a esta cantidad apreciable de NO_x , se le debe sumar una alta proporción de hidrocarburos, lo cual trae aparejado un aumento del ozono troposférico. Se denomina "smog" fotoquímico a la mezcla de reaccionantes y de productos de la reacción existente cuando hidrocarburos y óxidos de nitrógeno están presentes simultáneamente en una atmósfera urbana en presencia de luz solar. En una atmósfera urbana, los hidrocarburos aparecen generalmente al mismo tiempo que los óxidos del nitrógeno (ya que la mayor parte de ambos proviene del mismo tipo de fuente, es decir, de los automóviles). Todo ello hace que para entender el smog fotoquímico sea necesario considerar las reacciones que tienen lugar en presencia simultánea en el aire de óxidos de nitrógeno y de hidrocarburos. El smog fotoquímico se produce en un sistema extremadamente complicado, en el que tanto la meteorología como las emisiones continuas de contaminantes y las reacciones químicas desempeñan un papel importante. Tanto en el

laboratorio como en la atmósfera, la irradiación con luz ultravioleta de aire conteniendo hidrocarburos y óxidos de nitrógeno en concentraciones del orden de partes por millón produce en principio los siguientes efectos: 1) la oxidación de NO en NO₂, 2) la oxidación de los hidrocarburos y 3) la formación de ozono. Esto se puede resumir diciendo que:



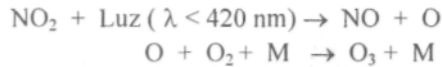
En esta ecuación HC representa hidrocarburos; éstos también se conocen como VOC (compuesto orgánicos volátiles), ROG (gas orgánico reactivo), NMHC (hidrocarburo que no es metano) y NMOG (gas orgánico que no es metano). Cabe aclarar que el metano es menos reactivo en la atmósfera de lo que son los hidrocarburos de mayor peso molecular, es por ello la identificación de estos dos últimos compuestos. En particular utilizaremos el término VOC. Poco después del comienzo de la irradiación se produce la oxidación de NO a NO₂ (recordemos que la mayor parte del NO_x es emitida inicialmente bajo la forma de NO). La concentración de NO alcanza un nivel mínimo que perdura hasta el final de la reacción. La concentración de NO₂ alcanza un máximo cuando se establece un equilibrio entre su velocidad de formación (a partir de NO) y su velocidad de eliminación debida a las reacciones de formación de ácido nítrico y nitratos orgánicos. Aproximadamente al mismo tiempo que la concentración de NO₂ alcanza ese máximo, comienza a formarse ozono en cantidades mensurables.

Fig. 1: Variación diaria típica de contaminantes en Benegas, Mendoza, (2/10/1998)



La figura 1 muestra la concentración de NO, NO_x, CO y ozono medidas en la estación automática de monitoreo del Campus Benegas (sede del IEMA) el 2 de octubre de 1998. Aunque el comportamiento ilustrado no es sólo debido a los procesos químicos, sino también a la meteorología y a las emisiones continuas de las fuentes, es bastante semejante a lo que ocurre en el laboratorio. Entre las siete y ocho de la mañana, la concentración de hidrocarburos y de NO empieza a subir como consecuencia de la circulación de automóviles en las proximidades de la estación. La concentración máxima de NO₂ se alcanza entre la ocho y ocho treinta de la mañana. En este caso, la concentración máxima de ozono se alcanza a las entre las diez treinta a once de la mañana, y es de aproximadamente de 60 ppb, la cual se mantiene constante durante gran parte del día con luz solar. Durante el mediodía, ocurren nuevamente episodios de picos de NO, NO₂, y CO, debido a la circulación de vehículos desde los lugares de trabajo a sus respectivos hogares, en personas con trabajo de horario partido y salida de escolares. Estos picos no se manifiestan en forma significativa, debido que a esa hora es precisamente el pico de irradiación solar provocando una mayor convección de tales gases a la troposfera superior. Similarmente, habría un pico entre las dieciseis y diecisiete horas. Alrededor de las diecinueve horas la irradiación solar llega casi a su mínimo y consecuentemente la formación de ozono disminuye

abruptamente. Entre las veinte treinta y veintidós horas se produce nuevamente un pico de alta concentración NO, NO₂, y CO, producto del retorno de la gente de sus lugares de trabajo. En este caso, no se forma ozono por la ausencia de radiación solar. Los gases NO, NO₂, y CO, serán luego dispersados por la circulación de vientos y/o por acción de reacciones químicas que reduzcan tales sustancias como se ha explicado anteriormente. El NO, NO₂ y O₃ interactúan en la atmósfera mediante las reacciones:



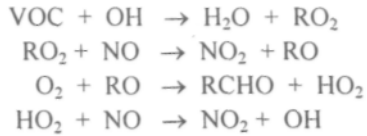
dando lugar a la formación de ozono. Por otra parte, dada la existencia de NO, éste puede reaccionar con el O₃, dando lugar a:



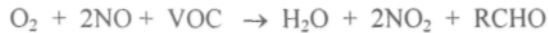
Nuevamente, el NO₂ es descompuesto por un fotón de luz para producir NO y el radical oxígeno O. Este radical reacciona con el O₂ para formar O₃. El O₃, entonces reacciona con el NO para formar NO₂ y libera una molécula de O₂. Si se suponen que estas tres reacciones tienen velocidades iguales, lo cual debe ser cierto en estado estacionario, entonces se puede despejar la concentración de ozono, es decir:

$$[\text{O}_3] = [h f] [\text{NO}_2] / k [\text{NO}]$$

en la cual $[h f]$ es la intensidad solar, en unidades adecuadas, y k es la constante de velocidad para la reacción del monóxido de nitrógeno con el ozono. Si no existiera VOC, esta ecuación conduce a un equilibrio entre el NO, NO₂ y O₃, que depende de la intensidad de la radiación solar, pero no depende con intensidad de la cantidad de NO_x, porque sólo aparece la relación de las dos clases de NO_x. Cada molécula de NO₂ que se divide produce un NO e indirectamente una molécula de ozono, que a su vez, puede reaccionar con el NO para invertir la reacción. Es entonces que el papel del VOC es convertir NO en NO₂ sin usar O₃, y este último se acumula. Mediante las reacciones siguientes se describe uno de los posibles mecanismos de los VOC como inhibidor de los NO:

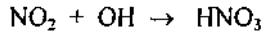


Si se suman estas cuatros reacciones, y se cancelan términos semejantes, la reacción global será:



En donde R representa cualquier hidrocarburo.

A su vez el NO₂ complica este proceso, porque puede reaccionar con un radical OH para producir ácido nítrico:



reduciendo la disponibilidad de OH. Esta ecuación nos sugiere, que en ciertas condiciones, si se añade más NO₂ a la atmósfera, se reducirá más la cantidad de OH y por ende el disparador de la cadena anterior, resultando en menor la cantidad de ozono formado.

Se ha utilizado tradicionalmente el ozono como medida de la gravedad de un episodio de "smog" fotoquímico. Una cuestión importante, desde el punto de vista de la estrategia de lucha contra la contaminación, es el efecto producido por las diversas concentraciones iniciales de hidrocarburos y de NO_x sobre la concentración máxima de ozono alcanzada durante un cierto período de irradiación. Probablemente, la mejor estrategia de lucha consiste en reducir las emisiones de hidrocarburos y de NO_x de tal forma que las condiciones atmosféricas iniciales (a primera hora de la mañana) favorezcan la mínima formación de ozono. En estudios realizados sobre el efecto de las concentraciones iniciales en la formación de ozono, y llevadas a cabo bajo condiciones experimentales controladas, se ha observado que la cantidad máxima de ozono producida durante un periodo de irradiación fijo aumenta rápidamente, alcanza un valor máximo y finalmente disminuye a medida que se eleva la concentración inicial de NO respecto a un valor fijo de la concentración inicial de hidrocarburo [Seinfeld, 1978]. Estos resultados sugieren que una reducción simultánea de NO y de VOC hace disminuir la cantidad de ozono, mientras que reducciones por separado de NO o de VOC, permaneciendo la otra fija, puede hacer que disminuya o aumente la

producción de ozono. Los resultados experimentales, sugieren un efecto inhibitorio del NO sobre la cantidad máxima de ozono producida a partir de un nivel de hidrocarburo determinado. Es decir, que un control de las emisiones de NO_x en zonas de smog fotoquímico puede conducir en realidad a un aumento de los niveles de ozono [De Nevers, 1997]. Aunque el ozono es el contribuyente principal (y sólo el componente regulado) del smog fotoquímico, también se forman los aldehídos (RCHO) y el peroxiacetilnitrato [RC(O)OONO₂] por reacciones semejantes a las que se muestran en las reacciones anteriores y contribuyen a la irritación de los ojos y nasal que se atribuyen a estos smogs.

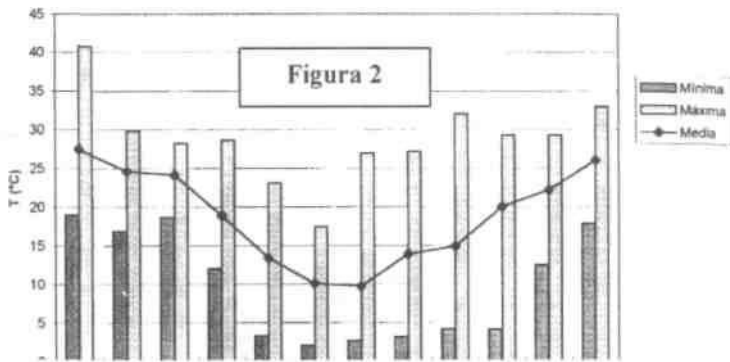
5. Monitoreo sistemático y valores de inmisiones y emisiones en el Gran Mendoza.

Desde 1970, se viene llevando a cabo el monitoreo continuo de ciertos contaminantes tales como partículas suspendidas totales (PST), mediante filtro de captura y reflectometría, óxidos de nitrógenos (NO y NO₂) (valores medios diarios) mediante el método colorimétrico de Griess-Saltzman, dióxido de azufre (SO₂) y plomo (Pb) (valores medios diarios una vez por semana) mediante el método colorimétrico de West y Gacke modificado por Pate. En la actualidad, la Dirección de Control Ambiental, dependiente del Ministerio de Ambiente y Obras Públicas de la Provincia de Mendoza, cuenta con 20 estaciones, de las cuales ocho se monitorean en forma regular, y las restantes en forma ocasionales. La Universidad de Mendoza, a través de su Instituto para el Estudio del Medio Ambiente (IEMA), en cooperación con el Umweltforschungszentrum de Leipzig, Alemania, posee su propia estación de monitoreo automática en Benegas, realizando mediciones de ozono superficial (Horiba ozone monitor), hollín (black carbon), y sustancias poliaromáticas (PAH) (Aethalómetro GIV reflectometry) desde 1994. Desde 1997-1998 se llevan a cabo mediciones continuas automáticas de NO, NO₂ y CO (Horiba monitoring instruments). También se han realizado campañas de medición de compuestos orgánicos volátiles (VOC) en distintos lugares del gran Mendoza y alrededores. Estas mediciones se complementan con otras de parámetros micrometeorológicos y radiación solar global. Como fue expresado anteriormente, la fuente de contaminación principal en Mendoza se debe a fuentes móviles producto del transporte público y privado. Gran parte del transporte público trabaja con motores diesel, mientras que una minoría, son a tracción eléctrica (trolebuses) y con gas

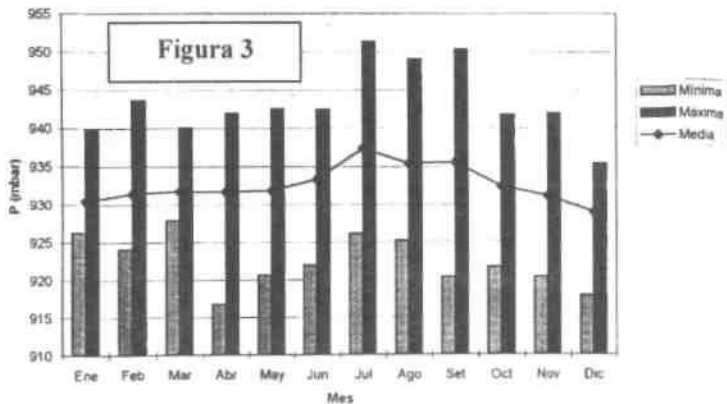
comprimido natural (GNC). Por otra parte, el transporte privado se caracteriza por una mayoría de vehículos con motores nafteros, y el resto por motores diesel y a GNC.

Antes de analizar algunos datos importantes de los valores de inmisión y emisión, es conveniente visualizar las variaciones anuales promedio de temperatura (fig. 2), presión atmosférica (fig. 3), y humedad relativa (fig. 4) que se registran en Mendoza (datos del Servicio Meteorológico Nacional, Estación El Plumerillo), como así también una rosa de viento típica (fig. 5). Estos datos, sumados a la información de la radiación solar global son importantes a tener en cuenta a la hora de analizar los episodios de smog sobre la ciudad.

Temperaturas medias anuales para Mendoza 1990-1994



Presión media anual en Mendoza 1990-1994



Humedad relativa media anual en Mendoza 1990-1994

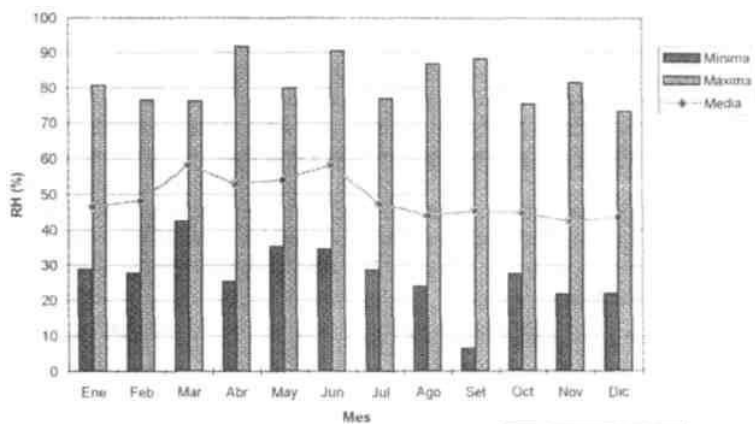


Figura 4

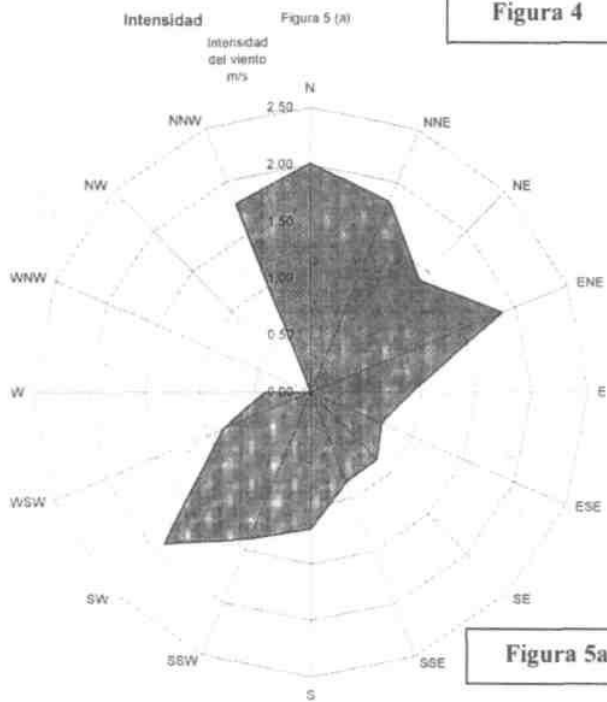
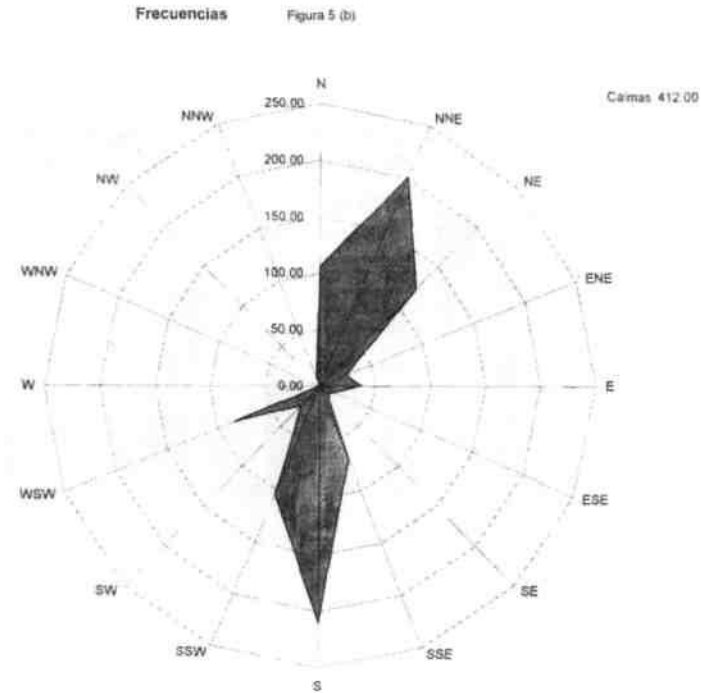


Figura 5a

A continuación se puede observar la variación de diversos contaminantes tales como material particulado, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y plomo en pleno centro de la ciudad de Mendoza (calles San Juan y Lavalle), estación de monitoreo de la Dirección de Control Ambiental de la Provincia (fig. 6 a fig. 9). Estos gráficos representan los valores medios anuales desde 1987 hasta 1995, y sus valores medios mensuales, durante el mismo período. De un análisis detallado de estas figuras, se puede concluir que la Ciudad de Mendoza presenta valores elevados de todos estos contaminantes, superando en muchas ocasiones los valores estipulados por la norma Provincial para marginar correctamente cada contaminante.

Figura 5b



Se puede asimismo observar, que estos valores excesivos se producen especialmente en determinadas épocas del año, es decir, en meses de invierno-primavera donde se registran episodios frecuentes de inversión térmica. También, es posible observar que para esta estación en particular, dichos valores se reducen drásticamente a partir de 1991, por razones que se explicarán más adelante. Si bien es cierto que la ubicación geográfica de la estación de monitoreo, altura de edificios aledaños, circulación de vientos locales, arboleda, amplitud de las veredas y calles, etc., influyen indudablemente en los valores de inmisión medidos, sin embargo, de las mediciones comparativas con otras estaciones del área central de Mendoza, se observan valores similares. Esto se puede visualizar en figuras 10 y 11 referido a niveles de partículas y óxido de nitrógenos. Las Estaciones 9 y 11 corresponden al área central de la ciudad, mientras que las Estaciones 16 y 17 en Godoy Cruz, área sur del Gran Mendoza. Estas Estaciones de monitoreo también corresponden a la Dirección de Control Ambiental de la Provincia.

Partículas suspendidas totales: valores medios anuales.
Calles San Juan y Lavalle, Mendoza

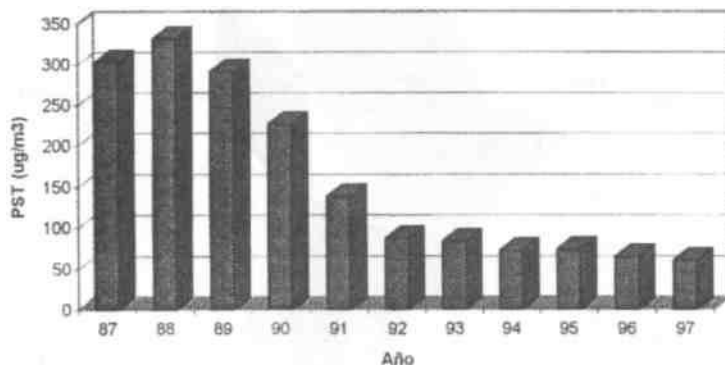


Figura 6a

Partículas suspendidas totales: valores medios mensuales 87/97 Calles San Juan y Lavalle, Mendoza

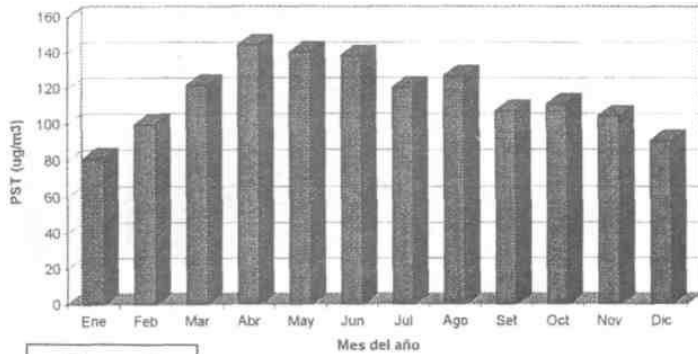


Figura 6b

Nitrógenos totales: valores medios anuales. Calles San Juan y Lavalle, Mendoza

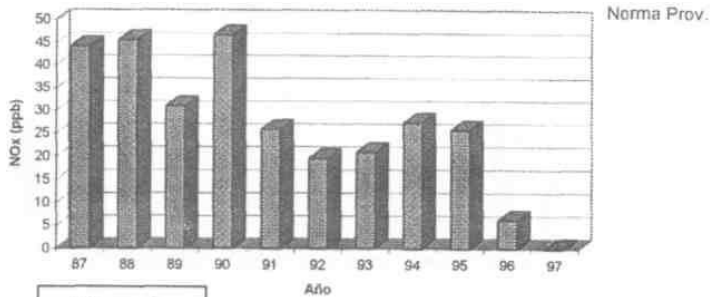


Figura 7a

**Nitrógenos totales: valores medios mensuales 87/97.
Calles San Juan y Lavalle, Mendoza**

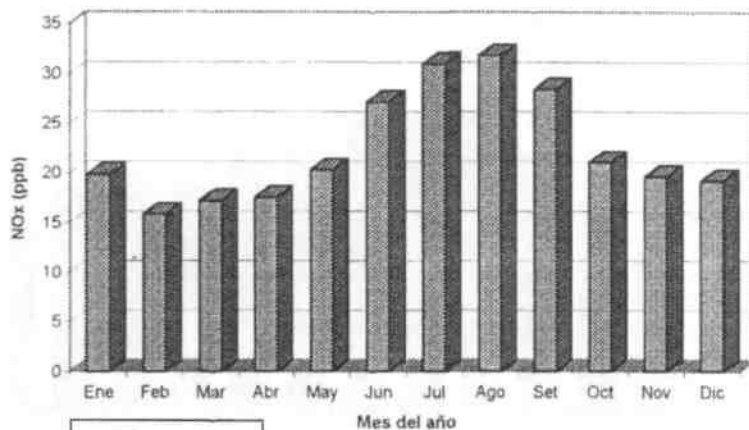


Figura 7b

**Valores medios mensuales de azufre. Calle San Juan y
Lavalle**

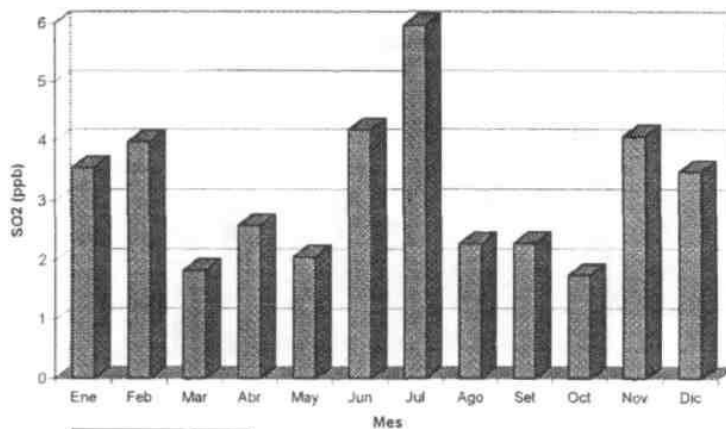


Figura 8a

Valores medios anuales de azufre. Calles San Juan y Lavalle.

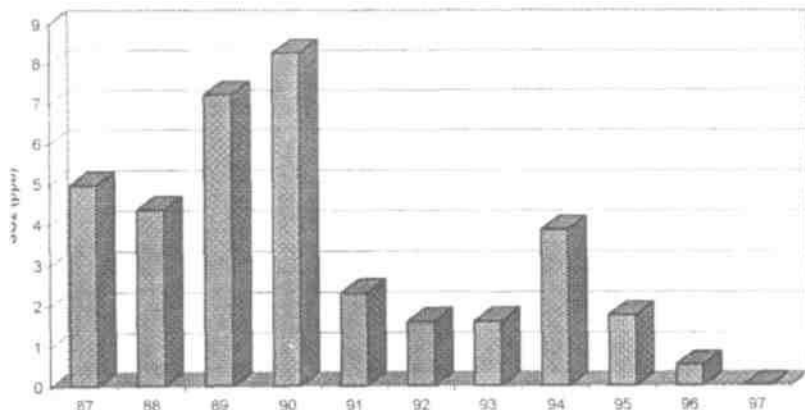


Figura 8b

Niveles anuales de plomo. Calles San Juan y Lavalle.

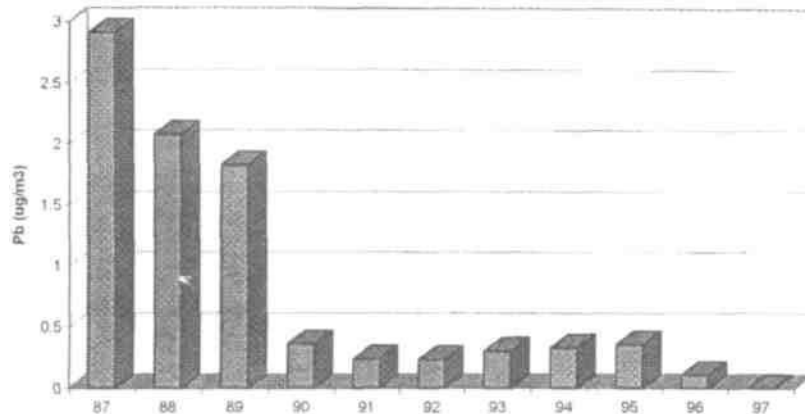
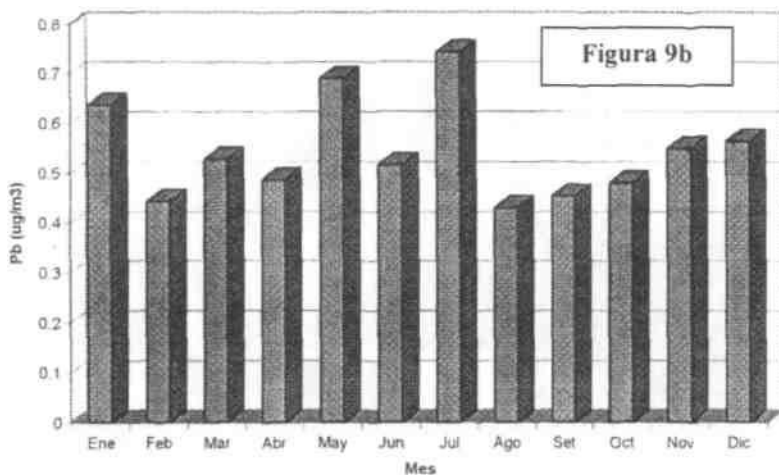
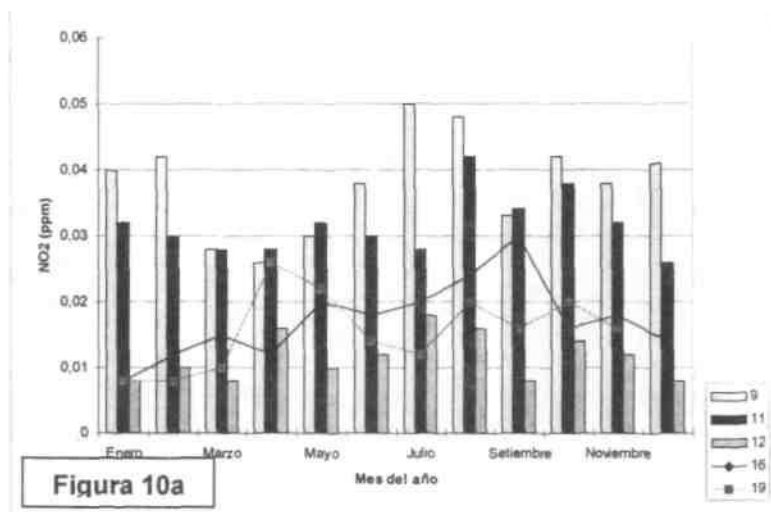


Figura 9a

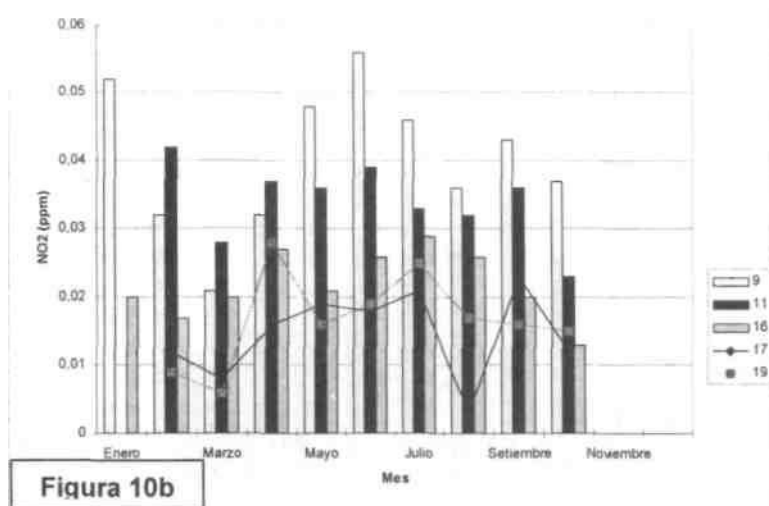
Niveles mensuales de plomo. Calles San Juan y Lavalle



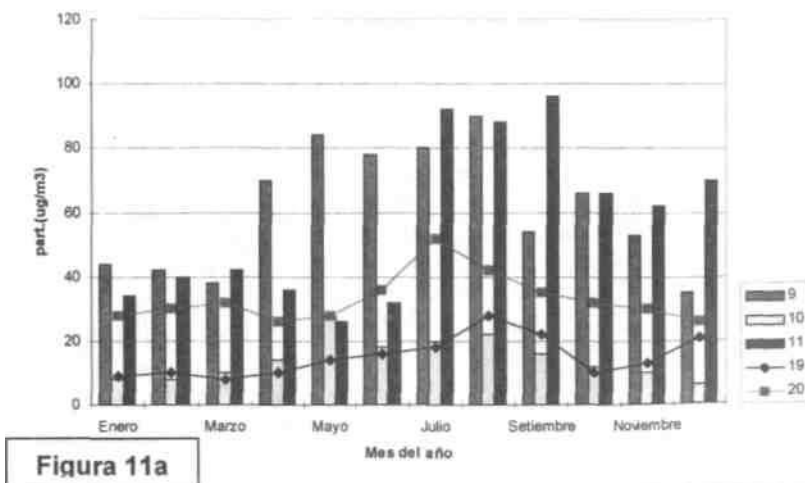
NO2 1996



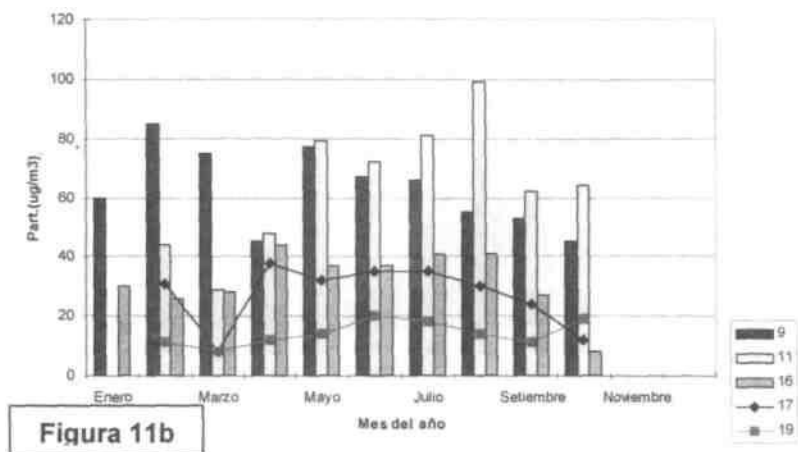
N02 1997



Partículas 1996



Partículas 1997



La tabla 1 muestra comparativamente los valores medios anuales de inmisiones para tres diferentes localidades del Gran Mendoza, a saber: a) calles San Juan y Lavalle, representando una condición típica del centro mendocino, b) Plaza Godoy Cruz, al sur de la ciudad de Mendoza, área de tipo residencial, c) El parque Gral. San Martín, ubicado al oeste de la ciudad, área recreacional de la ciudad. De la lectura de esta tabla, como de las figuras anteriores, surge a simple vista que el área central de la ciudad de Mendoza es la más afectada, en particular, debido a fuentes móviles. Sin embargo, también es posible observar que ha habido un significativo mejoramiento en los niveles de contaminación desde 1991. Es en ese año precisamente que el recorrido del transporte público fue modificado. Anterior a esta fecha alrededor del 80% de transporte público recorría dichas calles, mientras que en la actualidad la mayoría del tránsito vehicular se debe al transporte privado. Sin embargo, puede observarse un incremento en los últimos años debido a un importante crecimiento del parque automotor como se ha explicado anteriormente.

La tabla 2 expresa la cantidad de emisiones de contaminantes típicos, en gramos por kilómetro recorrido, provenientes de distintos tipos de vehículos, de acuerdo con WHO 1992, Weitzenfeld 1991, Katz et al. 1991. En esta tabla se puede observar que el responsable mayor por el material particulado en el aire se debe a los motores diesel, como así también de SO₂. Mientras que de la combustión de gasolinas y GNC son responsables principales de las emisiones de CO, HC y NO_x.

Las emisiones totales debido a las fuentes móviles son proporcionales a la cantidad de vehículos circulando por unidad de tiempo, la longitud recorrida media por vehículo, y los índices de emisión. Estos índices, a su vez, son proporcionales al tipo de vehículo, régimen de marcha y tipo de combustible utilizado. De acuerdo a esta estimación.

El parque automotor para el Gran Mendoza se estima actualmente en 300.000 vehículos, de los cuales 1000 vehículos componen el transporte público. Estos últimos circulan alrededor de 75 millones de kilómetros por año, transportando aproximadamente 150 millones de personas transportadas en un año, con una tasa de 1,9 pasajeros por kilómetro recorrido. Por otro lado, el área metropolitana es recorrida diariamente por una cantidad aproximada de 100.000 vehículos particulares, con un coeficiente de utilización de 1,3 a 1,5 personas por vehículos.

Según una estimación del Instituto para el Estudio del Medio Ambiente de la Universidad de Mendoza [Puliafito, S.E. et al, 1996] las emisiones totales anuales en toneladas para Mendoza alcanzan los siguientes valores: 13.000 CO, 2.000 HC, 2.000 NO_x, 500 SPM, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Et \text{ (g/h)} = N \text{ (veh/h)} \cdot e \text{ (g/km)} \cdot l \text{ (km)}$$

donde Et es la emisión total para el período de tiempo considerado, N es la cantidad de vehículos circulantes para ese tiempo, e es la emisión específica por contaminante (ver tabla 2) y l es la longitud media del recorrido. Por otra parte, y de acuerdo con la cantidad de pasajeros transportados por vehículo y por kilómetro recorrido, se puede estimar la cantidad de emisiones anuales por pasajero, según se observa en la tabla 3. Es evidente que dada la mayor cantidad de vehículos particulares en comparación con los vehículos de transporte público, y a su vez, la menor eficiencia de transporte de personas por unidad circulante, los vehículos particulares son los responsables mayores de la emisión de contaminantes. Como se dijo antes, si bien ha habido una renovación muy importante del parque automotor, y por ende con tecnologías menos contaminantes, todavía circulan por la ciudad una

cantidad importante de vehículos de más de 20 años de antigüedad. A esto deberá sumársele el aumento sensible del parque automotor que ha experimentado en los últimos años.

A modo de resumen, se puede concluir que del total de material particulado emitido aproximadamente el 60 % proviene de la combustión del gasoil, de los cuales el 40 % es responsable el transporte público. Mientras que la combustión de naftas es la responsable de aproximadamente 70 % de las emisiones totales de CO, NO_x, e hidrocarburos.

6. Tablas

Tabla 1: Valores medios anuales de ciertas localidades del Gran Mendoza

Localidad	<i>a) Centro Mendoza (San Juan y Lavalle).</i>									
Contaminante	87	88	89	90	91	92	93	94	95	
PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	302	331	290	225	138	86	83	71	80	
NO _x (ppb)	92	45	50	47	26	20	21	28	30	
Plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.5	0.5	0.7	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	
SO ₂ (ppb)	32	4.3	9.5	8.3	2.3	1.6	1.6	4.4	1.7	
Localidad	<i>b) Godoy Cruz</i>				<i>c) Parque Gral San Martín.</i>					
Contaminante	92	93	94	95	91	92	93	94	95	
PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	64	65	55	45	15	13	11	12	13	
NO _x (ppb)	11	16	18	18	8	8	11	12	13	
Plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	
SO ₂ (ppb)	1.6	1.1	1.5	1.6	2.0	3.4	1.6	1.9	1.9	

Tabla 2: Emisiones en g/km				
Vehículo	CO	HC	NO _x	PST
Diesel	9	2	5	3.8
GNC	28	2.4	7.9	0.1
Gasolina	18	2.5	2.4	0.2

Tabla 3: a) Emisiones Anuales en tn/a					b) Emisiones Anuales(g/passenger)			
Vehículo	CO	HC	Nox	TSP	CO	HC	NOx	PST
Diesel	693	154	385	293	4,75	1,05	2,64	2,01
GNC	70	6	20	0,25	10,25	0,88	2,94	0,03
Gasolina	12600	1750	1680	140	225	31,25	30	2,5

7. Conclusiones

Indudablemente, la tarea de reducir el nivel de emisiones de las fuentes fijas y móviles y su posterior mantenimiento a niveles aceptables no es una tarea sencilla. Este trabajo requiere no sólo de la acción coordinada y eficiente de las autoridades provinciales y municipales sino del esfuerzo de la sociedad toda en su conjunto. Con respecto al nivel de emisiones por fuentes fijas es, en principio, el más fácil de controlar. Con la adquisición de tecnología anticontaminante, las industrias estarían en condiciones de reducir sensiblemente el valor de sus emisiones, como actualmente la vienen realizando algunas de ellas. Sin embargo, esto trae aparejado la obligación de una fuerte inversión del sector industrial en tales tecnologías, lo que implica a su vez la necesidad de una oferta de créditos accesibles para tales fines. Respecto de la disminución de las emisiones por fuentes móviles, la problemática es un poco más compleja. Esto es así, porque no sólo están involucrados aspectos socioeconómicos diversos sino también comportamientos culturales de la sociedad, que a la postre pueden ser tanto o más importantes que los anteriores. De acuerdo con lo expresado en la sección anterior, tres son los factores que influyen principalmente en la emisión por fuentes móviles, a saber: la cantidad de vehículos circulantes o cantidad de viajes por día, longitud de recorrido e índices de emisión. Por lo tanto, si éstos se reducen aislada o simultáneamente, será posible provocar una disminución sensible de los niveles de emisión. A continuación se proponen algunas medidas para la reducción de dichos factores: a) Cantidad de vehículos: Reducción de vehículos particulares circulando. Esto se puede lograr de diversas formas: 1) Mejora de la oferta cuantitativa y cualitativa del transporte público. 2) Reducción de cantidad de viajes por día, ya sea coordinando los horarios o por medio transportes corporativos.

- b) Longitud de recorrido: 1) Descentralizando la administración pública, comercios, actividad bancaria, educación. 2) Planificación y ordenamiento urbano, Ley de usos de suelos.
- c) Índice de emisión: 1) Agilización de las vías de transporte, con la consecuente estabilización del régimen de marcha (red semafórica inteligente), diseños de vías rápidas. 2) Mejoras tecnológicas tanto en el transporte público como privado. 3) Inspección técnica de vehículos obligatoria. 4) Desplazar el inicio y finalización de actividades laborales durante las horas de luz. 5) Educación vial.

8. Bibliografía

1. Fabián, P.: "Atmósfera y Medio Ambiente". Editorial Idearium. Universidad de Mendoza. 1990.
2. Seinfeld, J.H.: "Contaminación Atmosférica. Fundamentos físicos y químicos". Institutos de Estudios de Administración Local. Madrid. 1978.
3. De Nevers, N.: "Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire". McGrawHill. 1997.
4. Roedel, W.: "Physik unserer Umwelt. Die Atmosphäre". Springer Verlag. 1994.
5. Baumbach, G.: "Luftreinhaltung". Springer Verlag. 1993.
6. Puliafito, S.E; Puliafito, J.L.; Behler, J. C; Alonso, P.: La calidad del aire en Mendoza: Contaminación y efectos sobre la salud. Martínez, E. et al. (eds.): Mendoza Ambiental, pp. 207-242. Mendoza, Argentina.
7. Puliafito, S.E.; Puliafito, C; Quero, J.L.; Guerreiro, P.: "Emissions and Imissions of Airborne Pollutants from Mobile Sources for the City of Mendoza, Argentina. Symposium on Urban Ecology. Leipzig. Alemania. 1996. En prensa.
8. Schlink, U.; Puliafito, J.L.; Herbarth, O.; Puliafito, E.; Richter, M.; Behler, J.C.; Rehwagen, M., Guerreiro, P.; Puliafito, C; Schilde, M.: "Estudio de la contaminación de ozono en Mendoza". UFZ Bericht. N° 3/1997. ISSN 0948-9452.
9. Herbarth, O.; Behler, J.C.; Fritz, G.; Puliafito, J.L.; Richter, M.; Rehwagen, M.; Puliafito, E.; Puliafito, C; Schlink, U.; Wildführ, W.: "Sobre la influencia de inmisiones típicas del tránsito sobre las

enfermedades de las vías respiratorias y alergias en niños". UFZ Bericht. N° 3/1997. ISSN 0948-9452.

10. Katz and Saenz: "Diesel vehicles emissions control in Santiago, Chile: Iterinary and Technical Developments, SAE International, Rep. 912423. 1991.
11. Weitzenfeld H.: "Contaminación atmosférica y salud en América Latina. Boletín Oficial de la Oficina Panamericana de Salud. 112 (2), pág. 97-109.1992.
12. WHO: World Health Organization: Urban Pollution in megacities of the world, UNO (UNEP), Blackwell Publishers. 1992.