

CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR FUENTES ESTACIONARIAS EN MENDOZA

Ing. E. Puliafito, Lie. M. Guevara, Ing. C. Puliafito, Ing. R. Inzirillo y Ing. M. Gantuz

Resumen

Se ha desarrollado un modelo para el control de la calidad del aire usando un sistema de información geográfico. Este sistema permite la integración, el manejo y el análisis de información especialmente distribuida, tal como inventarios de emisión, datos meteorológicos, y mediciones de inmisión. Para simular las fuentes industriales se aplicó un modelo de dispersión gaussiano sugerido por la Agencia Ambiental EPA de Estados Unidos. Los resultados se contrastaron por medio de mediciones en tres sitios en el Parque Industrial Provincial de Lujan con un conjunto de equipos de monitoreo de contaminantes y de parámetros micro meteorológicos, como así también muestras de material particulado en aire usando papel de filtro y tomas de suelo. Finalmente se realizaron estudios estadísticos y de modelación para toda el Área Metropolitana del Gran Mendoza. El modelo también incluye el cálculo de las emisiones de los vehículos y su influencia en la contaminación urbana que ya ha sido tratado en otro artículo propuesto a esta misma Revista.

Introducción

La limitación en las emisiones gaseosas y de material particulado tanto de las industrias como de los escapes de vehículos representa una permanente preocupación de los ciudadanos, organizaciones no gubernamentales, y oficiales públicos en los grandes centros urbanos. Estas emisiones son responsables de las crecientes molestias, aumento de las enfermedades respiratorias, reducción de la productividad, como así también del deterioro del patrimonio cultural y artístico en las ciudades.

Los problemas ambientales derivados del empeoramiento de la calidad del aire pueden analizarse desde varios aspectos (ver también figura 1):

1. Científico y/o Técnico
2. De la Planificación
3. De la Gestión, Control o Decisión.

Científico técnico: Desde el punto de vista científico-técnico se busca evaluar la calidad de aire en el área metropolitana, para la cual se deben estudiar distintos parámetros ambientales disponibles, los que conducirán a elaborar un diagnóstico de la situación actual. Los indicadores más importantes de calidad del aire son los niveles de concentración ambiental de contaminantes al que está expuesta la población (inmisión), por ejemplo, partículas, nitrógenos, azufres, hidrocarburos, monóxido de carbono, entre otros. Para determinar las causas, y fundamentalmente las proporciones de los orígenes de la presencia de estos contaminantes, se deben realizar estudios de simulación usando modelos de transporte y volcar los resultados sobre un sistema de información geográfico, lo que permitirá formular mapas temáticos. De este modo, se pueden distinguir en cada área de la ciudad, los niveles de cada contaminante, analizando o no el cumplimiento de los estándares de calidad de aire.

Al estudiar las fuentes de la contaminación a la atmósfera, reconocemos dos tipos principales, una correspondiente a las fuentes móviles (vehículos particulares, transporte público, etc.) y otra a las fuentes fijas (emanaciones de material particulado o gaseosas provenientes de la actividad industrial). Como se sintetiza en la figura 1, el análisis técnico depende de varias variables, como por ejemplo, la metodología y equipamiento para determinar las inmisiones y

emisiones, la tecnología disponible en las industrias y vehículos, los sistemas de control, anticontaminación y monitoreo, las condiciones meteorológicas, etc. Sin embargo, el aspecto técnico no agota esta temática, pues, al ser un problema que afecta toda la sociedad, independiente de las fronteras municipales, deberá analizarse también de los aspectos de la planificación y de la gestión.

Planificación: Muchos de los problemas ambientales, podrían minimizarse con una adecuada planificación de las actividades urbanas. Esta nos debería decir, cuál es la mejor localización ambiental para un complejo industrial o el desarrollo de un nuevo barrio, o un sistema de transporte adecuado para la ciudad. Pero, para ello, se requiere de nuevas herramientas, que permitan evaluar en tiempo casi real, la situación ambiental de las áreas bajo estudio.

Gestión: La fig. 1, presenta el escalón de gestión y control, es decir el ámbito de las decisiones y la acción. Aquí se pueden distinguir 4 subniveles, el de los instrumentos, el de las políticas, el de la implementación de las políticas y finalmente el de disponibilidad de recursos económicos y financieros. En el subnivel de los instrumentos distinguimos las leyes, decretos, ordenanzas, reglamentaciones, etc., según sea la jurisdicción, nacional, provincial o municipal.

A pesar de existir abundante legislación ambiental, aún persisten serios inconvenientes para la implementación de los criterios de protección del medio ambiente. Por ejemplo, mientras las municipalidades poseen el poder de policía sobre muchos temas ambientales, éstos carecen de la capacitación técnica necesaria, la cual sólo existe en número escaso en las universidades y en los organismos provinciales. Para superar este inconveniente será necesario implementar un programa de asistencia técnica por parte de las universidades y organismos provinciales a los municipales.

Generalmente se propone una política de gestión ambiental a partir de los siguientes principios:

Principio de la prevención: La política ambiental no sólo debe limitarse a prevenir daños inmediatos, o perjuicios que han ocurrido, sino que se requiere un esfuerzo adicional para prevenir la ocurrencia de nuevos daños en el futuro.

Principio "el que contamina paga": Los costos incurridos en prevenir o remover la contaminación deberá correr por cuenta del contaminador.

Principio de la cooperación y participación ciudadana: La política ambiental debe elaborarse en cooperación con todos los actores de la sociedad, es decir, previo al dictado de una nueva reglamentación debe realizarse las consultas a todos los involucrados administradores, científico, industriales, organizaciones ciudadanas, etc.

Para la interpretación de estos principios se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- Criterio de gestión de la calidad del aire o la capacidad de la cuenca aérea.
- Criterio de la mejor tecnología disponible económicamente viable.

Considerándose el segundo criterio subordinado al primero. Por ejemplo, puede suceder que la mejor tecnología disponible no sea suficiente por no tener el área bajo estudio una capacidad suficiente para albergar una nueva instalación industrial. Estos principios y criterios son especialmente aplicables en los estudios de impacto ambiental. El éxito en el cumplimiento de la preservación del recurso aire, no será posible sin la participación ciudadana y un programa adecuado de control ambiental. Los objetivos de vigilancia de la calidad del aire deben estar acompañados de proyectos de investigación, ya sea cortos para episodios severos, otros de mediciones continuas o de más largo plazo para interpretar adecuadamente los valores medidos, como así determinar las tendencias de los contaminantes

La política ambiental se complementa con metas destinadas al mejoramiento de la calidad del aire. Estas metas particulares se acotan a tiempos determinados, con el objeto de dar cumplimiento a las normas o valores guías establecidos. Para cada contaminante, de acuerdo a la situación actual se fijan las metas de reducción a cinco o diez años. Las metas de corto y mediano plazo, normalmente persiguen disminuir el riesgo para la salud de la población, sobre

todo para aquellos contaminantes más agresivos. Por ejemplo, una meta deseable para Mendoza sería la reducción de las emisiones de partículas, hidrocarburos y nitrógenos. Las metas de largo plazo buscan mejorar la calidad de vida para todos los seres vivos. Las normas primarias tienden a cuantificar las metas de corto plazo, las secundarias las de largo plazo.

Las metas parciales se focalizan en la eliminación de eventos severos y revertir las tendencias de los contaminantes más agresivos para la salud. Los objetivos de las metas de largo plazo apuntan a lograr que todos los contaminantes de una región estén por debajo de los niveles fijados en las normas. Actualmente en el Gran Mendoza existen datos insuficientes para establecer la calidad de aire, se conocen los problemas más graves, pero se carece de un inventario completo de emisiones, tanto para fuentes fijas como móviles, lo que dificulta la aplicación de modelos adecuados de emisión-inmisión. A pesar de carecer de datos más completos, deberemos estimar el crecimiento de las emisiones, y a partir de allí, dada las inmisiónes actuales elaborar las metas para las normas de calidad de aire.

Las mediciones de emisión de contaminantes aéreos y las de calidad de aire ambiental (inmisión) son instrumentos básicos en el control de la calidad del aire. Por las primeras, se mide en el origen, la contaminación emitida por la fuente, en las segundas, se mide allí donde puede afectar a la salud de las personas. Ambos tipos de medición son complementarios y muy útiles en la implementación y control de las normas de calidad de aire. Es importante, entonces, no sólo determinar los niveles máximos admisibles, sino que la reglamentación de leyes y normas debe incluir un "Manual o Instructivo para el Control del Aire", que indique los métodos e instrumentos de medición, sus procedimientos, calibración y análisis de datos. Para verificar el cumplimiento de la norma, la autoridad de aplicación debe instrumentar un plan general de mediciones de calidad de aire ambiental que debería tener, por ejemplo, los siguientes objetivos:

- Monitoreo permanente de los principales contaminantes.
- Registrar los episodios de contaminación severa.
- Relevar las tendencias temporales de las concentraciones de contaminantes en el aire.
- Estudio del transporte de contaminantes aéreos.
- Estudio de los efectos de la contaminación sobre la salud humana, plantas, animales y bienes en general.
- Estudio de las reacciones químicas de los contaminantes aéreos en la atmósfera.
- Calibración y evaluación de los modelos de dispersión en la atmósfera.

Los objetivos de vigilancia de la calidad del aire deben estar acompañados de proyectos de investigación: de corta duración para episodios severos y otros de largo plazo que incluyan mediciones continuas para determinar las tendencias de los contaminantes. Un elemento esencial es lo que se ha llamado la gestión de la calidad del aire o del recurso aire, que debería incluir las siguientes etapas (OPS, 1980; Persson, 1971):

Control de las nuevas fuentes estacionarias mediante un sistema de permisos y/o registro, que establezca los límites de emisiones basadas en el enfoque de "los mejores medios practicables".

- Control de las fuentes estacionarias ya existentes a partir de fechas fijas, aplicando el mismo enfoque que a las nuevas fuentes.
- Lucha contra la contaminación del ambiente urbano, adoptando los criterios de gestión de calidad del aire.

Un listado o plan de acciones que se pueden tomar incluye medidas concernientes a las fuentes ya existentes, a las que se proyectan y que requiere decisiones inmediatas y a las que pueden llegar a existir cuando se cumplan los planes a largo plazo para una determinada zona. Las medidas que se han de tomar pueden concentrarse en fuentes individuales ubicadas en sitios específicos -como es el caso de algunas industrias o parques industriales en Mendoza-, o aplicarse de manera colectiva a toda una región para el caso de fuentes móviles, sistemas de calefacción o sistemas de combatir las heladas. Larsen (1967) y Heller (1966) ya

habían propuesto las siguientes etapas en los programas de gestión de la calidad del aire:

1. Medición y evaluación de las concentraciones de contaminantes atmosféricos.
2. Cálculo de la reducción global de las emisiones, necesaria para que se cumplan las normas de calidad del aire fijadas.
3. Medición o cálculo de las emisiones de cada tipo de fuente en una zona.
4. Decisión acerca de la cantidad de contaminación que se permite emitir a cada tipo de fuente sin que sobrepase lo establecido en las normas de calidad fijadas.
5. Selección o desarrollo de medios para lograr la reducción de las emisiones necesarias.
6. Decisión acerca de la fecha después de la cual se debe controlar a cada tipo de fuente.
7. Establecimiento de normas acerca de las emisiones.
8. Puesta en vigor de las normas sobre emisiones.
9. Vigilancia continuada de las fuentes y de la atmósfera ambiente para asegurar que se está alcanzando la calidad del aire adecuada.

Desarrollo del proyecto

En este marco conceptual se ha desarrollado un modelo para el control y gestión del recurso aire, utilizando un sistema de información geográfica. Desde el punto de vista de la influencia de las fuentes industriales en la calidad del aire, Mendoza tiene dos áreas bien definidas, el parque industrial provincial ubicado al SW en Lujan de Cuyo, y el Parque industrial de Las Heras. Las industrias agro alimenticias ubicadas al sur y sur este del gran Mendoza influyen en menor medida en la calidad del aire, con excepción de los meses de invierno y primavera, cuando protegen los cultivos de las heladas quemando distintos tipos de combustibles.

En el complejo de Lujan existen una refinería, una industria petroquímica, una central de energía eléctrica, una empresa de ferro aleaciones, y una planta de elaboración de carbón de coque, una planta de elaboración de planchas de yeso, entre otras. En el norte del Gran Mendoza podemos ubicar a las industrias de elaboración de cemento, placas de madera y cocción de ladrillos.

Al inicio del proyecto, existía poca información organizada disponible acerca de la emisión de fuentes fijas, por lo tanto fue necesario realizar un inventario de emisión de las fuentes principales. Para ello, se distribuyeron dos formularios entre las industrias pequeñas fábricas, estaciones gasolineras, etc., preguntando por información relevante sobre el tipo de combustible, consumo anual, datos físicos de las calderas, y de existir mediciones de emisiones y chimeneas. Para el estudio de simulación usamos no sólo la información asentada por las empresas, sino de mediciones de emisiones realizadas por consultores independientes. Estas mediciones fueron hechas usando un muestreo isocinético, siguiendo los métodos estándares de la EPA (Agencia de protección ambiental norteamericana).

Se utilizó un programa de dispersión multifuente ISCT3 de la EPA para simular la calidad de aire debido a la presencia de fuentes industriales. Para estos cálculos utilizamos varios años de datos meteorológicos medidos en nuestro instituto, y en el aeropuerto, por el Servicio Meteorológico Nacional. Es importante destacar que los modelos de dispersión y los datos de vientos disponibles posean ciertas limitaciones, las cuales pueden resumirse como:

- Los modelos de dispersión suponen linealidad entre los valores de emisión y los valores de concentración ambiente (inmisión) calculados en el receptor siempre que existan suficiente cantidad de datos; el mínimo corresponde a valores medios horarios. Estos modelos no consideran combinación química y el rango viento abajo no debe superar los 25 km.
- La mayoría de los anemómetros miden la dirección del viento en 16 sectores de 22,5°; los valores horarios corresponden a la dirección más frecuente (moda); los efectos de micro dinámica por la presencia de árboles, edificios, en el receptor no se

consideran.

A pesar de estas limitaciones, los cálculos realizados representan adecuadamente los valores medios diarios, mensuales y anuales; y son aptos para determinar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire. Por lo tanto, el objetivo de estos modelos no es determinar con precisión los valores de concentración ambiental en un punto sino, determinar zonas con peligro potencial de superarse las normas. Sin embargo, para calibrar el modelo se usaron los datos registrados en estaciones de monitoreo para los contaminantes principales.

Se ubicó la posición geográfica de las fuentes industriales usando un receptor GPS. La ciudad de Mendoza se dividió en una grilla de receptores de 350 x 350 m, y para áreas específicas el modelo incluye grillas menores de 100 x 100 m.

Se incluyeron en el modelo fuentes vehiculares que se caracterizan a través de un factor de emisión que dependerá del tipo de combustible, tipo de vehículo. Otros datos importantes son la distancia media recorrida, conteo de vehículos en calles principales de la ciudad, estructura del parque automotor y encuestas públicas de movilidad.

Los datos meteorológicos junto a todos los valores calculados, es decir, valores de concentración ambiental, emisiones por vehículos y datos del monitoreo se representan en la grilla de receptores usando un sistema de información geográfica (GIS).

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una herramienta de planificación que ayude a las autoridades locales tanto para evaluar la calidad del aire presente como el impacto ambiental para diversos escenarios, localización de nuevas industrias o analizar el efecto de condiciones urbanas cambiantes.

Geografía y meteorología de Mendoza

La ciudad de Mendoza (33°S, 68°W, 750 m. s. n. m) se sitúa en la parte occidental de la Argentina al este de la Cordillera de Los Andes cuya altura promedio es de 5000 m con picos cercanos a los 7000 m. Esta barrera natural tiene una fuerte influencia en las condiciones meteorológica determinando una fuerte dependencia en los niveles de contaminación área. La ciudad está ubicada en una zona árida a semiárida con poca precipitación pluvial de 120 a 400 mm/a, con una media de 230 mm/a, lo que ocurre especialmente en los meses de verano (noviembre a marzo). El promedio anual de la intensidad de vientos es de 2.6 m/s, con 19 % de días con calma; la dirección de vientos predominantes son

S-SW: 30%, E-SE: 24%, N-NE: 14%, W-NW: 8%. Debido a la proximidad con la cadena montañosa existe durante la mayor parte del año el viento Zonda en altura que es similar al Fohn o Chinook. Este viento puede alcanzar velocidades de 5 á 6 m/s y ráfagas de hasta 12 m/s. Durante los meses de invierno (mayo a octubre) prevalece una situación anticiclónica con probabilidades altas de heladas, lo cual junto con la situación de Zonda contribuye a la presencia de fuertes inversiones térmicas. Esta situación invernal favorece el aumento en la contaminación del aire en Mendoza. La tabla 1 resume valores mensuales promedios de los datos meteorológicos.

Otro elemento importante es la variación noche-día caracterizada por la circulación valle-montaña. En las primeras horas después del atardecer hasta las primeras horas después del amanecer prevalece una circulación suave del WSW, mientras que durante las horas de luz la circulación es del ENE. La fuerte radiación solar en el valle produce un viento ascendente (del valle a la montaña), y durante la noche, debido a un enfriamiento rápido en la ladera, provoca un cambio de sentido en el viento, generando una circulación de la montaña al valle desde el WSW. Esta variación en la radiación diurna y nocturna provoca variaciones en la altura de las capas de inversión térmica, pasando de unos 200 m en la noche a más de 2000 m en el día. Otras descripciones meteorológicas de la zona pueden encontrarse en Schlink (1999), Endlicher (1995) y Norte (1995).

Monitoreo de la calidad del aire en Mendoza

En la zona urbana de Mendoza, el Ministerio de Ambiente y Obras Públicas del Gobierno Provincial, a través de su Dirección de Saneamiento y Control Ambiental mide desde 1970 (para algunas estaciones) y desde 1990 para unas 15 estaciones valores medios diarios de material particulado total (MPT) por el método de captura por filtro y reflectometría; óxidos de nitrógenos NOx usando el método de la colorimetría de Griess y Saltzman; una vez por semana valores de 24 horas de plomo por el método de colorimetría por dizona; y dióxido de azufre SO₂ por el método de colorimetría de West y Gacke modificado por Pate. Por otra parte nuestro Instituto para el Estudio del Medio Ambiente (IEMA) mide desde 1995, en cooperación con el Centro Ambiental de Leipzig (UFZ), Alemania, negro de humo y PAH poliaromático, con Aethalómetro GIV mediante reflectometría; ozono superficial (O₃), óxido de nitrógenos (NOx), monóxido de carbono (CO), usando instrumentos de Horiba (serie AP0350E para O₃ y APN360 para NOx y CO) además de parámetros meteorológicos y radiación solar global. Un objetivo importante de esta cooperación ha sido realizar estudios epidemiológicos para analizar los efectos de la contaminación área en Mendoza. Estos resultados pueden leerse en Herbarth (1996, 1999). Se realizaron otras mediciones complementarias, para analizar la deposición de contaminantes en las hojas de pino en distintas ubicaciones de la Provincia (Weibflog 1994, Wenzel 1997). Más detalles sobre el monitoreo arriba mencionados han sido descrito ampliamente en varios artículos de la Revista N° 16 de la Universidad de Mendoza (1999) en Schlink (1998, 1999) y Puliafito (1995, 1998).

Para este estudio en particular, también se realizaron muestras de material particulado con captura por filtro usando una bomba de gran caudal que fueron analizados posteriormente en el Laboratorio DETI de la Universidad Nacional de Cuyo.

Los principales estándares de calidad del aire para la Provincia de Mendoza son (Ley 5100): material particulado total: 200 µg/m³ (24 h), 100 µg/m³ (30 días); NOx: 200 µg/m³ (24 h), 100 µg/m³ (1 año); SO₂: 260 µg/m³ (1 h), 80 µg/m³ (8 horas); Ozono 125 µg/m³ (1 h); CO 40 µg/m³ (1h), 10 µg/m³ (8 h); Hidrocarburos 160 µg/m³ (3 h).

Calibración del modelo

Para calibrar el modelo desarrollado se han usado los datos de las estaciones de monitoreo arriba mencionados y de campañas realizadas en la zona industrial del Parque Provincial (Lujan de Cuyo al SW de la ciudad). En particular nos referiremos a la campaña llevada a cabo entre setiembre y diciembre del 2000. En este complejo industrial se pueden identificar 5 grupos principales: una refinería de combustible y una planta petroquímica como principales emisores de SO₂, una central de energía eléctrica, que opera principalmente con gas natural, que emite principalmente NOx, y dos empresas medianas con emisiones importantes de material particulado, una con producción de aleaciones de acero y otra productora de briquettes de carbón de coque usadas para calefacción y en la lucha contra las heladas. Ambas empresas poseen además un almacenamiento de material (pilas) a cielo abierto. La figura 2 muestra una foto satelital de la zona bajo estudio. Estas pilas se incorporaron como fuentes de área en el modelo. La figura 3 muestra una serie temporal de mediciones de negro de humo realizadas entre el 25 de setiembre y el 30 de octubre en las cercanías de la central térmica. Se incluye en esta figura la distribución de ocurrencia y un espectro de frecuencia FFT de los datos. Los datos muestran una distribución del tipo Poisson con valores medios de 68 µg/m³, una mediana de 37 µg/m³, cuyo percentil 98 es 330 µg/m³. Más del 20% de los valores medios horarios superaron los 70 µg/m³. Según la posición relativa de las fuentes y la dirección del viento respecto del punto de medición, se observa un predominio de la dirección SW-NE que coincide con la circulación valle montaña descrita. Durante las horas de la mañana, el viento sopla desde el ENE, con lo cual envía la contaminación de las fuentes en dirección a la montaña, y por la noche, la circulación del SW dirige las emisiones hacia la ciudad, produciendo los máximos medidos. La figura 3 (c) muestra el cálculo FFT para datos de 30 mm, donde se pueden apreciar dos ciclos principales, uno de 8 horas asociadas con las horas de luz (de 10 a 18 hs aprox.) y los valores máximos nocturnos (entre las 20 hs y las 3 hs aprox.). El segundo ciclo, simplemente describe

la variación diaria. Durante los días de medición, existieron 3 períodos de 24 horas donde se superaron los valores de NO_x (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). De 950 horas de medición, el 90% del tiempo el ozono estuvo por encima de las normas (125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) con valores similares a todas las direcciones. En cambio, los valores de CO estuvieron siempre debajo de la norma.

Con los valores meteorológicos medidos se simularon los valores de concentraciones ambientales y se compararon con los datos medidos. La figura 4 muestra esta comparación en función de la dirección del viento y la hora del día (se obtuvo un coeficiente de correlación de $R=0.94$ (R^2 0.89) para los valores medios horarios de 25 días. Esta figura caracteriza el grado de concordancia entre el modelo y la realidad.

Algunas diferencias aún persisten al no incluir la totalidad de las fuentes en el área industrial, y las desviaciones propias del campo cercano.

Resultados calculados para las fuentes estacionarias

Una vez ajustado el modelo para los diferentes sitios de monitoreo, se puede pasar a simular la situación de la calidad del aire en el gran Mendoza. Para ello, se usaron dos años de datos meteorológicos que abarcan 1320 horas, de las cuales 400 horas de calma.

Los cálculos incluyen determinaciones de los máximos horarios, de 24 horas, de 30 días y valores medios anuales. A continuación se describen los principales resultados obtenidos.

Material particulado: Existen varios emisores importantes de material particulado, tanto en el norte de la ciudad como en el sur. Al norte se destacan claramente dos industrias cementeras que usan hornos de tipo rotativo con dispositivos de control de partículas (filtro de bolsas y precipitadores electrostáticos). La emisión máxima diaria puede superar los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cerca de las fuentes, en especial cuando los filtros no operan correctamente. En el área sur las empresas de aleaciones y de quemado de carbón son los principales emisores ya que no posee ningún dispositivo de reducción de sus emisiones. Se estima que los niveles máximos horarios pueden alcanzar los 1500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y más de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para valores medios diarios cerca de las fuentes. En la zona residencial de Godoy Cruz, a diez kilómetros del parque industrial de Lujan, los valores medios anuales de partículas pueden llegar a 30 a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en especial durante los meses de invierno. En general, para la zona central del Gran Mendoza, la influencia de las fuentes estacionarias no superan los estándares de calidad del aire. La figura 5 y 6 muestra los valores medios anuales y máximos mensuales respectivamente en la zona del parque industrial de Lujan.

Dióxido de azufre: la fuente principal de SO₂ es la refinería, la que puede alcanzar valores máximos horarios de concentración ambiental de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona urbana de Mendoza, y más de 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona de Lujan. La mayor parte de estas emisiones son emitidas a través de la antorcha. Actualmente la refinería ha incorporado una planta de desulfuración Claus que permite la reducción de estas emisiones. En la zona urbana pueden alcanzarse valores máximos de 8 horas de aproximadamente 100 a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y valores medios anuales entre 20 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dependiendo de su ubicación relativa. De acuerdo a los niveles de calidad de aire de Mendoza, sólo algunos sectores cercanos a la fuente pueden superar la norma (ver figura 7).

Óxidos de nitrógenos: la central de energía eléctrica ubicada en Lujan es el principal emisor de nitrógenos de las fuentes estacionarias, sin embargo éstas no exceden los estándares de calidad de aire. La norma diaria de nitrógenos de 0.1 ppm se superó tres veces durante las mediciones realizadas en la cercanía de la central eléctrica. Los valores medios diarios pueden alcanzar los 20 a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En las zonas urbanas los niveles de nitrógenos son producidos por las emisiones vehiculares.

Ozono y monóxido de carbono: De acuerdo a los valores medidos en los tres sitios, se superaron las normas de máximos horarios de 0.06 ppm de ozono. En el entorno de la

central eléctrica éste alcanzó a casi el 90% de las horas medidas, en la zona de OSM (Vistalba) fue del 40% y en la Zona Franca, sólo unas horas. La formación de ozono se produce a partir de hidrocarburos y nitrógenos presentes durante las horas de luz. La mayor fuente de producción son las fuentes móviles en la ciudad. El ozono allí producido se desplaza hacia el sur durante las horas de luz, y luego de noche vuelve a retornar hacia el norte. En presencia de cierto nivel de nitrógenos (NO) éste destruye el ozono. El balance medido es típico para distancias entre 10 a 20 km de las ciudades.

Otra fuente de formación de ozono lo son sin dudas las numerosas fuentes de hidrocarburos y nitrógenos del Parque Industrial de Lujan, como se midió en Zona Franca y OSM. Los valores de monóxido de carbono no superaron las normas horarias y en general estuvo por debajo de 1 ppm, alcanzando una vez el valor de 1.3 ppm.

Conclusiones

Dada la situación ambientalmente compleja del Parque Industrial de Lujan de Cuyo, tanto por los niveles elevados de partículas, ozono, nitrógenos y también de azufres, se recomienda adoptar un criterio ambiental conjunto de autorregulación de las emisiones, a fin de no sólo cumplir con las normas de inmisión (calidad del aire), sino imponerse un estricto control y monitoreo de las emisiones. Esto contribuirá a reducir los niveles de partículas, nitrógenos y SO₂. Además se debería incluir el monitoreo de concentraciones ambientales permanente de los principales contaminantes. Asimismo sería muy interesante establecer en forma conjunta para el Parque Industrial un sistema de gestión ambiental. Por otra parte, es necesario mantener y mejorar las tecnologías de control y reducción de las emisiones, especialmente para las empresas que trabajan con ausencia de criterios ambientales para su entorno y sus propios trabajadores, como por ejemplo, bajo un ambiente cerrado controlado y con dispositivos de reducción de emisiones. Además, debería iniciarse en forma conjunta una tarea de remediación y limpieza del Parque Industrial, ya que abundan los suelos cubiertos de material particulado de carbón y hierro-silicio. Asimismo, muchas empresas han usado este Parque para la acumulación de chatarra, e inclusive existen basurales, probablemente de naturaleza clandestina. Todo esto debería complementarse con tareas de forestación a fin de disminuir la erosión y la desertificación progresiva.

Finalmente, respecto al modelo desarrollado, éste permite manejar datos relevantes para establecer un inventario de emisiones que incluyen tanto a las fuentes fijas como a las móviles. Este sistema de información integra de una forma simple la información sobre las fuentes de emisión, los datos meteorológicos, el monitoreo de mediciones y permite calcular los niveles de concentración ambiental para diversos contaminantes tal como material particulado, NO_x, CO y HC.

En general, en cuanto a los resultados de los modelos y monitoreo, los niveles de calidad del aire en el Gran Mendoza no se superan, salvo durante algunos días de inversión térmica severa. En estos días invernales, en las calles del micro centro que presentan mucha congestión de tránsito, se miden valores de concentración ambiental elevada de partículas y nitrógenos, y en las zonas aledañas a las fuentes industriales se detectan niveles altos de ozono y dióxido de azufre.

Este proyecto demuestra que este modelo puede ser usado como herramienta de evaluación y alerta temprana, el cual una vez optimizado servirá como una ayuda para la toma de decisiones, tal como la ubicación de nuevas industrias o una modificación del sistema de transporte, para diversos escenarios futuros.

Reconocimientos

Los autores agradecen a las autoridades de la Universidad de Mendoza por el apoyo a las actividades de investigación. También se **desea** reconocer a los colegas del Centro Ambiental de Leipzig, Alemania, por su colaboración. Este proyecto ha sido parcialmente financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCyT) bajo

subsidio N° PICT97 N° 13-00000-01579.

Referencias

ENDLICHER, W; 1995: Zur Witterungsklimatologie von Nordwest-argentinien, in *Marburger Geographischen Schhften* Heft 128; Mar-burg/Lahn; p.17.

HELLER, A.; 1966: The air resource management concept. *JAir Pollution Control Assoc*6: 307-309.

HERBARTH, O., FRITZ, G., WILDFÜHR, W., BEHLER, J. C; 1996: An epidemiológica! study to the effects of traffic and domestic heating attributed emissions on respiratory illness and allergies among children, *Epidemiology*, 7(4),86.

HERBARTH O., FRITZ. G, BEHLER, J. C,, REHWAGEN, M., PULIAFITO, J. L, RICHTER, M., SCHLINK, U., SERNAGLIA, J., PULIAFITO, E., PULIAFITO, C, SCHILDE M., WILDFÜHR, W.; 1999: Epidemiologic Risk analysis of environmentally attributed exposure on airway diseases and allergies in children, *Centr. Eur. J Publ. Health* 7, N02, p 72-76.

LARSEN, R.; 1967: Determining reduced emission goals needed to achieve air quality goals-a hypothetical case. *J. Air Pollution Control Assoc.* 17:823-829.

NORTE, R; 1995: Condiciones meteorológicas favorables a la contaminación atmosférica en Mendoza, en *Mendoza Ambiental*, E. Martínez Carretero, A. Dalmaso (Eds). Mendoza, Argentina, pp 197-206.

Organización Panamericana de la Salud (OPS), 1980: Manual de calidad del aire en el medio urbano, *Publicación científica* N° 401; J. Suess y 5. Craxford (Editores).

PERSSON, G., 1971: Massnahmen zar Reinhaltung der Luft. *Staub Reinhalt* Luft 31:283-284.

PULIAFITO, E., PULIAFITO, J. L, BEHLER, J. C, ALONSO, R; 1995: La calidad del aire en Mendoza: Contaminación y efectos sobre la salud, en *Mendoza Ambiental*, E. Martínez. Carretero, A. Dalmaso (Eds)., Mendoza, Argentina, pp 207-242.

PULIAFITO, E., PULIAFITO, C, QUERO, J., GUERREIRO, R; 1998: Airborne Pollutants from mobile sources for the City of Mendoza, Argentina, en *Urban Ecology*, ed. J. Breuste, H. Feldmann, O. Uhlmann, Springer Verlag: Berlin-Heidelberg, pp. 99-103.

PULIAFITO, E., PULIAFITO, C, HERBARTH, O., RICHTER, M., QUERO, J.; 2000: Change from car to tram. A prognosis to expected effects on intracity air pollution, en *AirPollution VIII*, Series Advances in Air Pollution, J. Longhurst, C. Brebbia, H. Power (eds.), Witt Press, pp 201-210.

PULIAFITO, C, E. PULIAFITO, J. QUERO, 1999. Contaminación del Aire en Mendoza. *Revista N° 16*, pp 223-247, Universidad de Mendoza.

SCHLINK, U., PULIALITO, E., HERBARTH, O., PULIAFITO, J. L, RICHTER, M., PULIAFITO, C, QUERO, J., ENDLICHER, W., ZAHNEN, B.; 1998: Ozone air Pollution in Mendoza, en *Air Pollution VI*, Series Advances in Air Pollution, Brebbia C, Ratto C, Power H. (eds.), Witt Press, pp 435-444.

SCHLINK, U., HERBARTH, O., RICHTER, M., RHEWAGEN, M., PULIAFITO, J.L, PULIAFITO, E., PULIAFITO, C, GUERREIRO, R, QUERO, J.L, BEHLER, J.C.; 1999: Ozone-Monitoring in Mendoza, Argentina: Initial results. *J. Air and Waste Management Assoc.* 49, 82-87.

WEIBFLOG, L, PALADINI, E., GANTUZ, M., PULIAFITO, J., PULIAFITO, S., WENZEL, K-D, SCHÜÜRMAN, G., 1994: Immission patterns of airborne pollutants in Argentina and Germany. I. First results of a heavy metal biomonitoring. *Fresenius Environm. Bullet.* 3:728-7233.

WEILBFLOG, L, GANTUZ, M., 1999. Patrones de emisión de contaminantes aéreos en Argentina y Alemania, *Revista N°16*, pp 248-256, Universidad de Mendoza.

WEITZENFELD, H.; 1992: Contaminación atmosférica y salud en América Latina, *Boletín*

de la Oficina Panamericana de Salud 112 (2), pp. 97-109.

WENZEL K-D; WEILBFLOG L; PALADINI E.; GANTUZ M.; GUERREIRO R; PULIAFITO C; SCHÜÜRMAN G.; 1997: Immission patterns of airborne pollutants in Argentina and Germany. II. Biomonitoring of organochlorine compounds and polycyclic aromatics. *Chemosphere* 34, pp 2505-2518.

World Health Organization; 1992: Urban pollution in megacities of the world, *UNO (UNEP)*, Blackwell Publishers.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de 10 años de valores medios mensuales meteorológicos tomados por el Servicio Meteorológico Nacional.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Presión HPa	930	931	932	934	935	936	933	931	930	933			
Temperatura °C	25.2	24	20.8	16.5	11.7	8	7.8	10.7	13.3	18.7	22.2	25	17
Humedad rel. %	51	54	62	65	65	68	66	54	53	45	44	46	56
Vel. viento km/h	10.8	9.9	8.8	7.4	7.7	7.2	7.6	9	10	11.4	12.9	12.2	9.6
Precipitación mm	48.2	38	34.7	13.4	7.9	3.6	12.2	5.3	13.2	9.2	15.2	23.3	233
Heliofonía horas	10.1	9.2	7.4	7.3	6.4	5.6	5.7	7.1	7.3	9.1	10.1	9.5	7.9

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Análisis de problemas ambientales

Figura 2: Imagen satelital del área industrial sur.

Figura 3: Mediciones de negro de humo: (a) serie temporal, (b) distribución de frecuencia, y (c) espectro de frecuencia FFT.

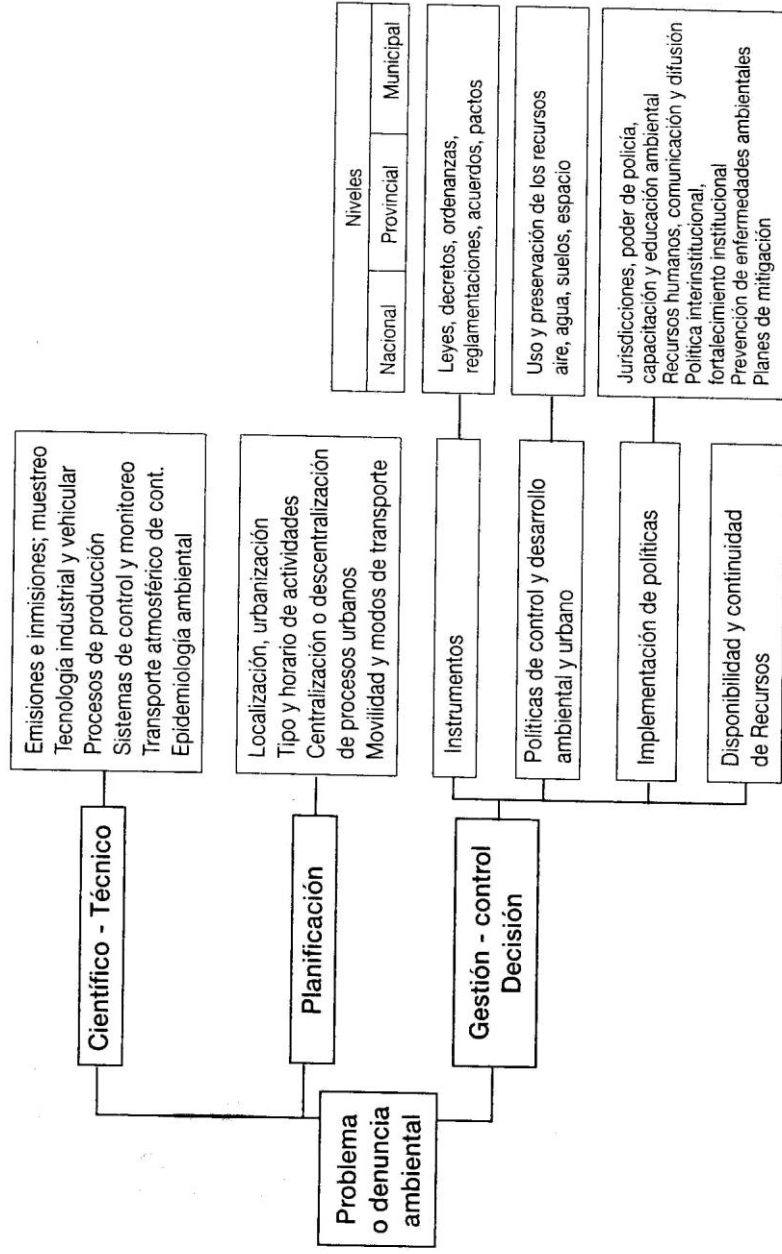
Figura 4: Comparación entre mediciones y simulación de mediciones de Negro de humo: (a) con respecto a dirección del viento y (b) respecto de la hora del día.

Figura 5: Cálculo de los niveles medios anuales ambientales de material particulado para el parque industrial del área sur.

Figura 6: Cálculo de los niveles máximos mensuales ambientales de material particulado para el parque industrial del área sur.

Figura 7: Simulación de los valores máximos de 8 horas de dióxido de azufre.

FIGURA 1: METODOLOGIA PROPUESTA PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS AMBIENTALES





Universidad de Mendoza
Instituto para el Estudio del Medio Ambiente
Imagen Landsat TM5
Fecha de Adquisición 22/09/99

IEMA

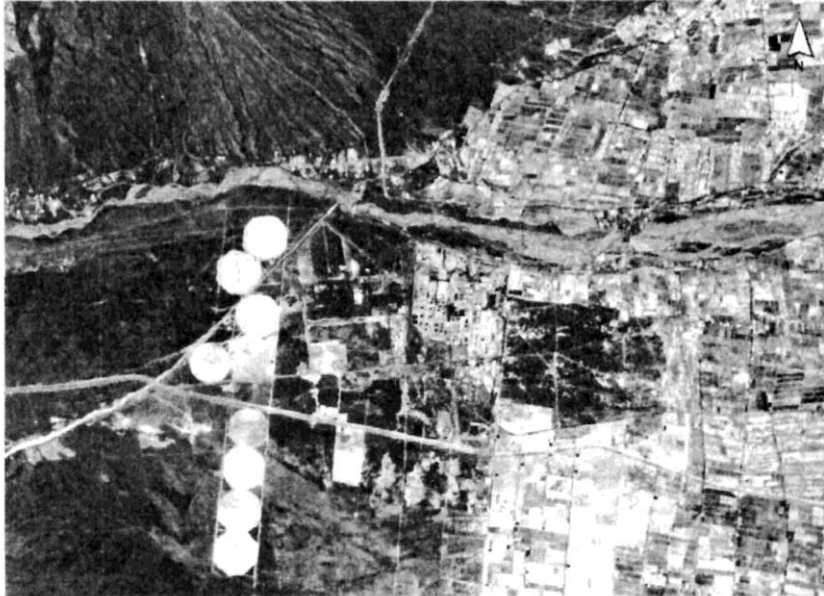
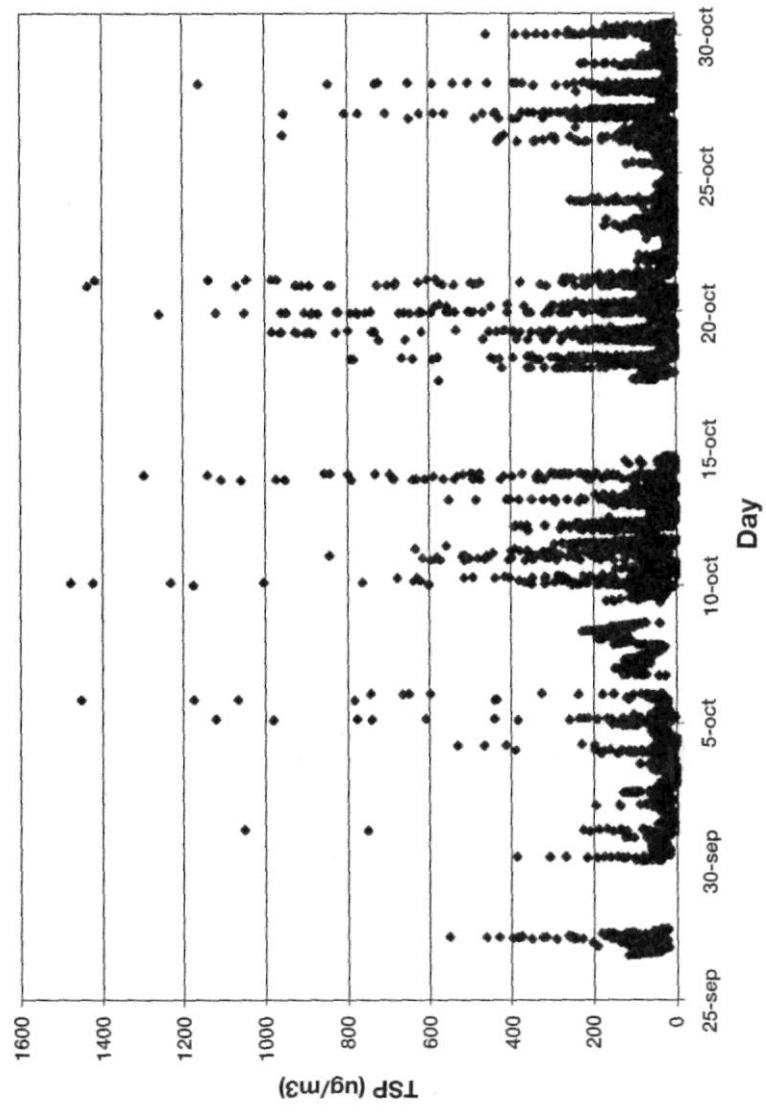


Figura 3 (a) Mediciones de negro de humo, Oct. 2000



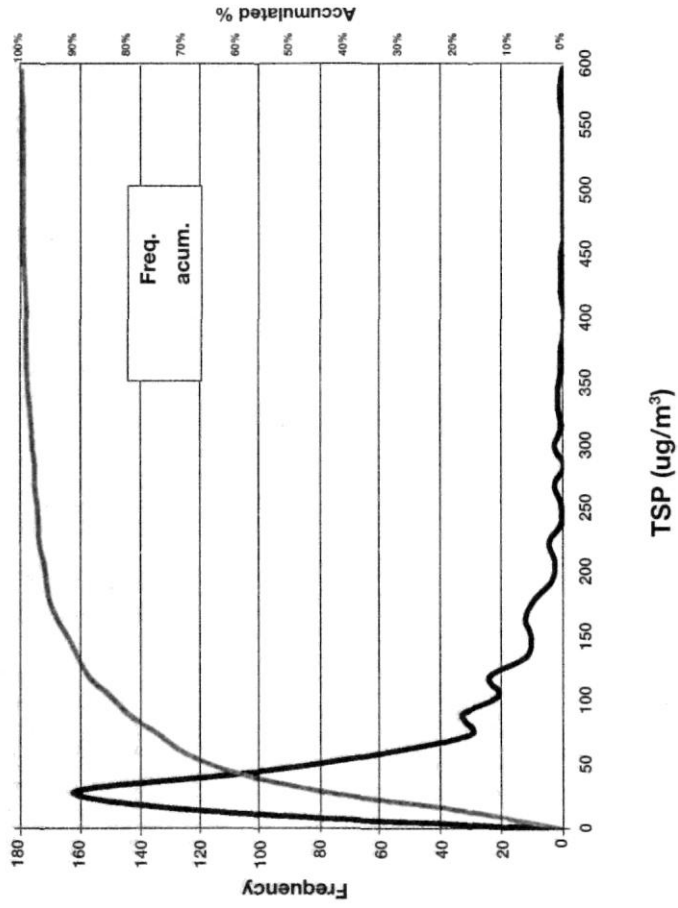


Figura 3 (b) Distribución de frecuencia de valores medio horarios
Oct. 2000 (645 hours)

Figura 3 (c) FFT sobre datos 30 minutos PST en CTM 17-30 Oct.

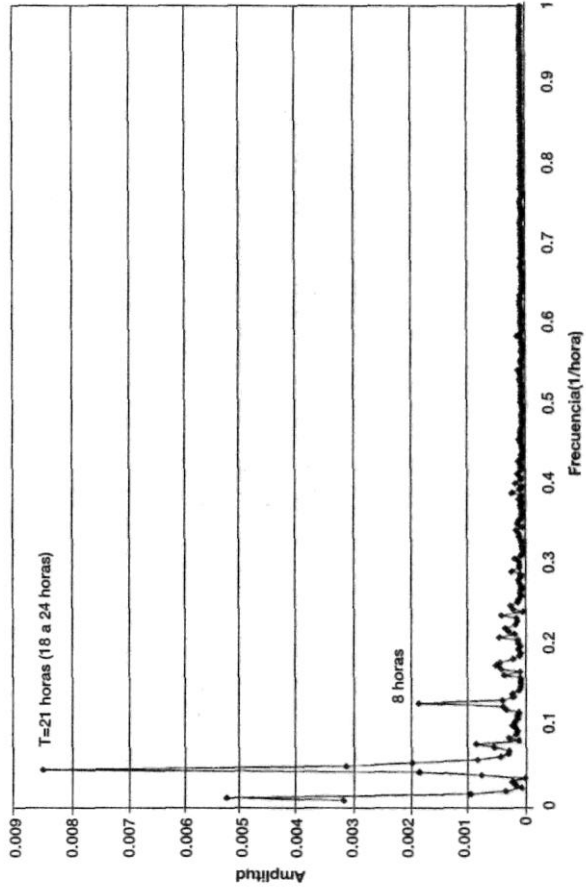


Figura 4 (a) Valores calculados y medidos de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en función de la dirección del viento, Oct. 2000

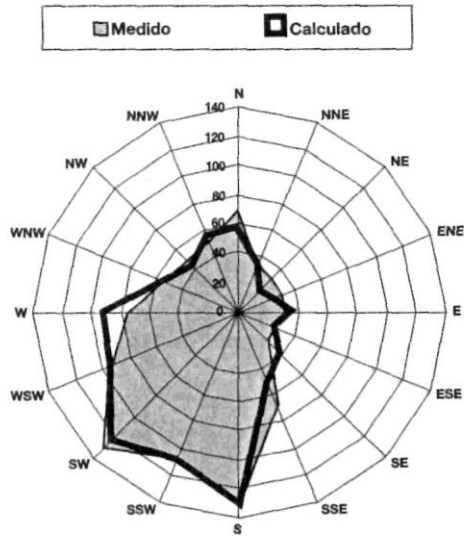
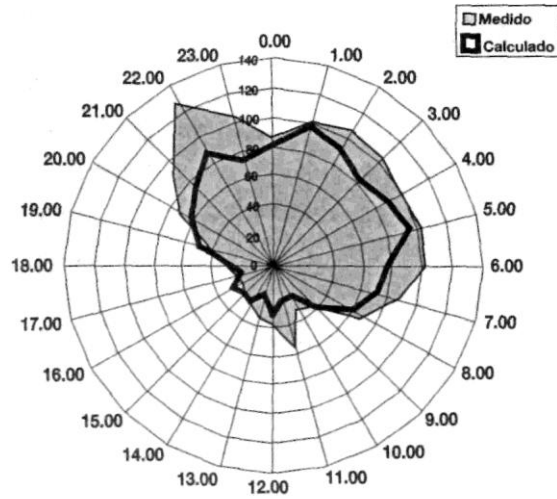
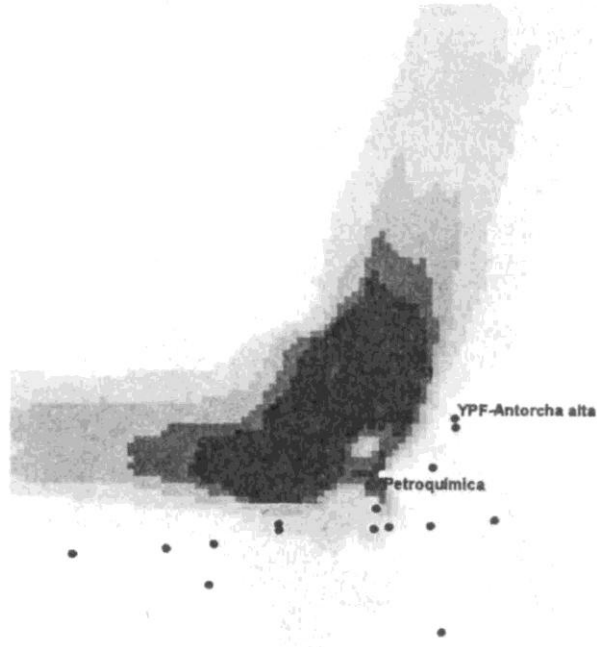


Figura 4 (b) Valores calculados y medidos de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en función de la hora del día, Oct. 2000





Universidad de Mendoza
Modelo para material particulado
Valores máximos mensuales. CTM
Meteorología Años 1997-1998



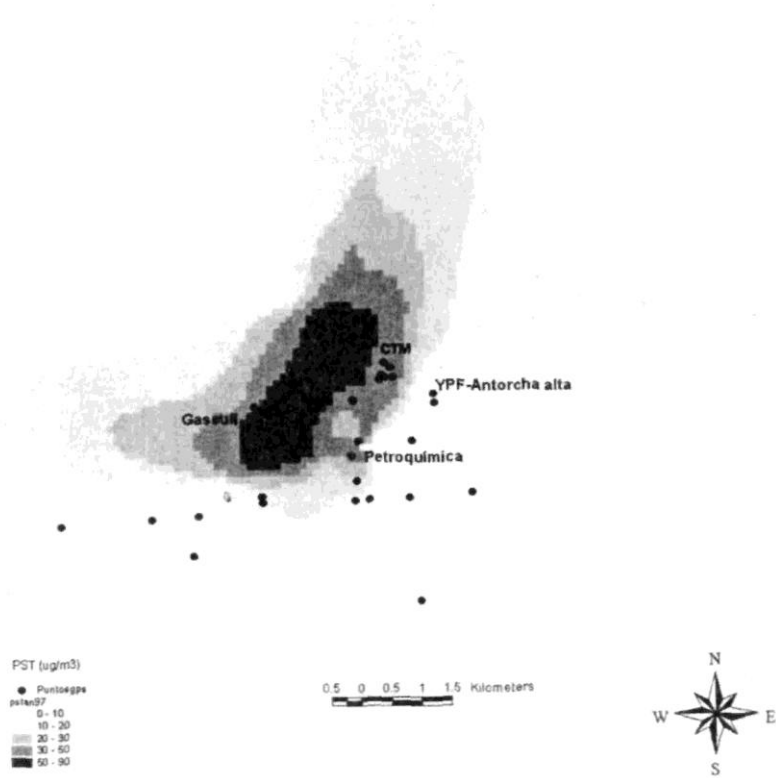
PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
● Puntos
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
40 - 50
50 - 60
60 - 110

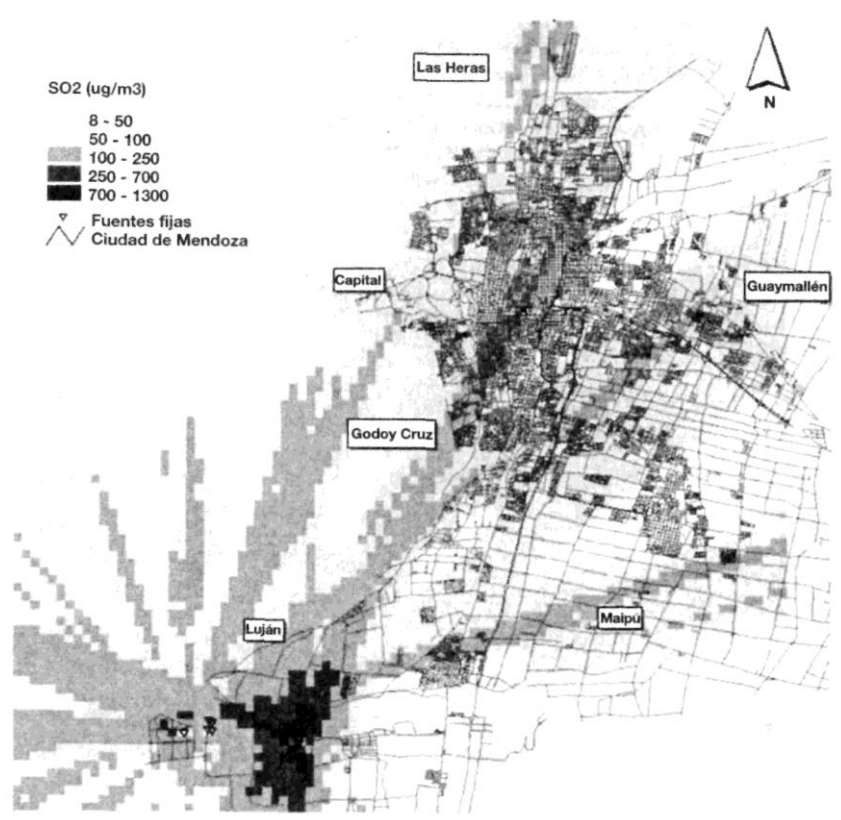
0.5 0 0.5 1 1.5 Kilómetros





Universidad de Mendoza
Modelo para material particulado
Valores medios anuales. CTM
Meteorología Años 1997-1998





SO2 (ug/m3)
8 - 50
50 - 100
100 - 250
250 - 700
700 - 1300
▽ Fuentes fijas
∧ Ciudad de Mendoza

4 0 4 kilometer

