

Smog Estival

En el marco del proyecto ENV 14 Smog Estival se plantearon los problemas sobre la exposición a las contaminaciones del aire relevantes al smog estival, sobre la modelación de la variación temporal de estos componentes aéreos y sobre los efectos que estos contaminantes tienen en los organismos de los niños. Es así que este Proyecto se divide en dos subproyectos

- Investigación de la exposición durante el Smog Estival
- Efectos sobre la salud causados por estos componentes.

A continuación se describirá, en una primera parte, los resultados obtenidos en las investigaciones de exposición y modelación, con especial atención a dos componentes, el ozono y el óxido de nitrógeno. En una segunda parte aspectos relacionados al estudio epidemiológico ambiental y médico ambiental.

1. Estudio de la contaminación de ozono en Mendoza

SCHLINK, U., PULIAFITO, J. L., HERBARTH, O., PULIAFITO, E., RICHTER, M.,
BEHLER, J. C., REHWAGEN, M., GUERREIRO, P. E., PULIAFITO, C., SCHILDE, M.

1. Introducción

Las mediciones realizadas en Leipzig muestran que entre 1992 y 1994 se registraron 40 episodios de concentración de ozono superiores a los fijados como valor límite por la Comunidad Europea (CU) de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En general, durante los meses de verano en el hemisferio norte se registra un aumento en los episodios de smog de verano y que ha sido estudiado minuciosamente (SEINFELD 1975, RAO et al., GRAEDEL; CRUTZEN). En Argentina, en contrapartida, existe hasta la fecha relativamente pocas mediciones de calidad de aire (por ejemplo, en Tucumán, ENDLICHER; SCHULZ). Con el objetivo de estudiar la contaminación del aire en la región de Mendoza, al oeste de Argentina, y de compararla con datos europeos, se han inspeccionado algunos casos de interés. Para comenzar con este estudio, se plantea en primer plano el problema de la contaminación de ozono.

Es de esperar que la producción fotoquímica de ozono en Mendoza, como consecuencia de las emanaciones de gases del parque automotor bajo la influencia de radiación ultravioleta (UV) del sol, sea visiblemente mayor que en Leipzig.

Por tal motivo se han marcado en la figura 1 puntos de medición de la variación diaria de la concentración de ozono en forma de valores medios, cada 30 minutos, registrados continuamente y comparados con los de Leipzig.

Se discutirán los resultados de las mediciones, y intentará dar una explicación con ayuda de un modelo sencillo.

2. Metodología

Como método de medición se utilizó un instrumento monitor de ozono que trabaja bajo el principio de absorción ultravioleta. Este instrumento fue ubicado en diversos puntos de medición que se pueden observar en la figura 1. Sin embargo, para la obtención de la distribución espacial de ozono y el análisis de su evolución en un período mayor de tiempo, son necesarios mediciones adicionales.

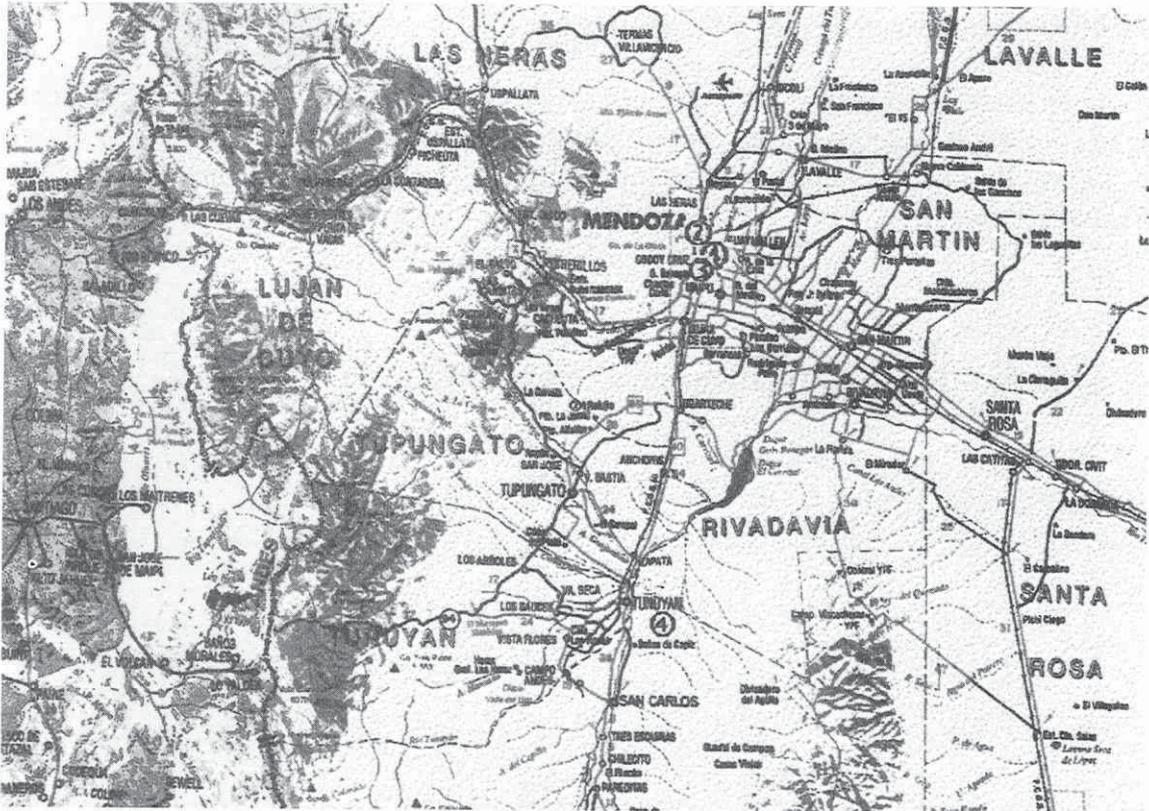


Fig. 1: Mapa de la región de Mendoza. Los puntos de medición se han marcado con círculos. (Ubicación: IEMA (1), Escuela Corazón de María (2), Escuela Reyes Católicos (3) y Escuela de Tunuyán (4)).

3. Situación y particularidades

La Provincia de Mendoza se sitúa al oeste de la República Argentina. Gran parte de su territorio (alrededor de 250.000 km²) es árido o semiárido. Las precipitaciones anuales rondan los 220 mm.

Casi todos sus habitantes viven en oasis artificiales ubicados en el norte, centro y sur de la Provincia. La cantidad total de superficie bajo riego es de alrededor del 3 % del territorio. Alrededor del 70 % de la población vive en el oasis norte. En este oasis se encuentra la Ciudad de Mendoza y Gran Mendoza con un total de 815.000 habitantes. Su ubicación geográfica corresponde a 32° 50' Latitud Sur y 68° 50' Longitud Oeste. Está localizada a una altura de 750 m sobre el nivel del mar.

La proximidad con Los Andes (altura promedio de 5000 m sobre el nivel del mar) resulta en una fuerte influencia en las corrientes de aire. En los meses de invierno aparecen con frecuencia

episodios de inversiones térmicas en una altura de 100 a 200 metros. La radiación solar en verano alcanza valores de 700 cal/m^2 y en junio alrededor de 250 cal/m^2 . Durante las noches se registran enfriamientos muy marcados condicionados por el albedo.

Entre mayo y agosto se registran predominantemente situaciones de calma, por ende, la única circulación de aire, que ventila débilmente a la ciudad, se produce entre las montañas y la superficie.

Una excepción a esta situación, (entre los meses de agosto y setiembre) es el fuerte viento Zonda con velocidades hasta de 60 km/h . Este viento, que proviene del noroeste, provoca una drástica disminución de la humedad y un aumento en la temperatura ambiente.

Mendoza casi no posee industria pesada productora de NO_x en el interior de la región metropolitana. En el sur de la ciudad capital se encuentra un complejo industrial petroquímico. Por lo tanto, el parque automotor actúa como fuente dominante de la contaminación del aire. No se registran, como en Europa, sustancias contaminantes invernales, causantes del smog de invierno. Algunas características adicionales de interés sobre meteorología y climatología de Argentina pueden obtenerse de von WÖLCKEN y ENDLICHER.

4. Distribución espacial del ozono

La figura 2 muestra los valores medidos de ozono con fines comparativos, correspondientes a las distintas estaciones de Mendoza.

De estas curvas se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Durante las mañanas, paralelamente con la salida del sol, se produce un crecimiento en la concentración de ozono. Este fenómeno coincide con la producción de ozono por efecto

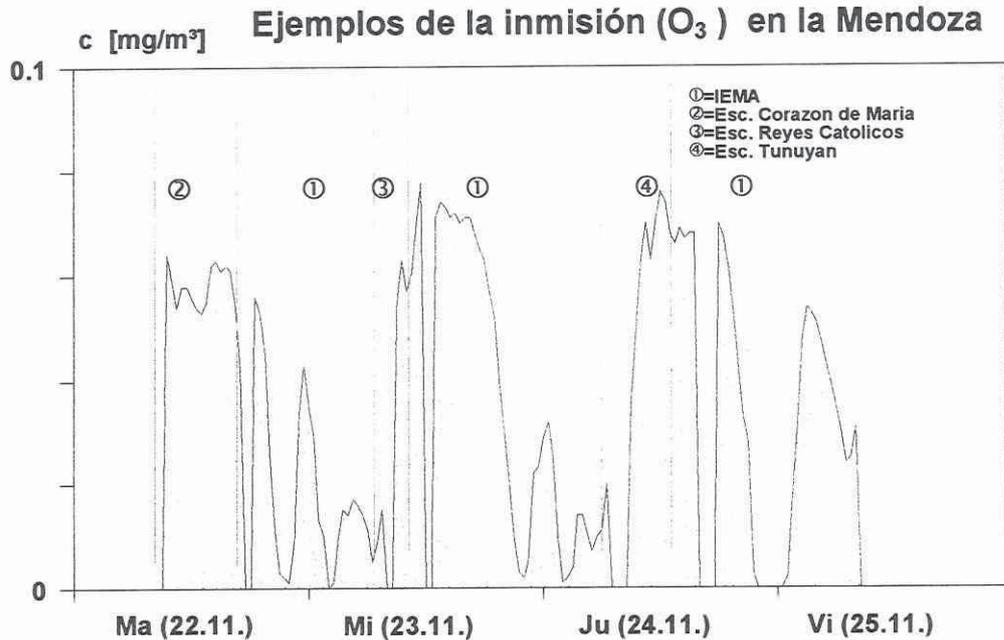


Fig. 2: Ejemplos de inmisiones de ozono en la región de Mendoza

Variación de la concentración de ozono en diversos lugares de medición en la región de Mendoza durante una campaña de medición. Di (Martes 22/11) Mi (Miércoles 23/11) Do (Jueves 24/11) Fr (Viernes 25/11)

fotoquímico que será modelado en el próximo capítulo. Los niveles de concentración de ozono aparecen limitados en alrededor de $0,10 \text{ mg/m}^3$, es decir, se puede admitir que la contaminación de ozono es homogénea en el interior de la ciudad y fuera de ella. Este resultado es muy relevante, dado que se contrapone con lo esperado, como fue expresado anteriormente, y merece, por ello, una explicación.

Luego de la puesta del sol suelen aparecer en algunas noches, próximo a la medianoche, un nuevo pico en la concentración de ozono.

5. Modelación

El proceso fotoquímico de la producción de ozono es muy complejo. Fue estudiado intensivamente por primera vez por CHAPMANN (1930 und 1943). Desde entonces, han aparecido muchos trabajos explicando la importancia del óxido de azufre, monóxido de carbono y los hidrocarburos. Se puede consultar en (SONNEMANN) que la formación de ozono ocurre en un tiempo característico de algunos segundos. Por ello, tomando valores promedios de 30 minutos de la concentración $c(t)$ observada, es posible despreciar los efectos dinámicos de la reacción fotoquímica de formación de ozono. De manera tal, que es factible determinar, en esta escala de tiempo, la intensidad de la radiación solar I que provoca la formación de ozono. Se puede suponer, entonces, que existe una relación directa entre la radiación I y la concentración de ozono:

$$c(t) \propto I(t) \quad (1)$$

Los procesos de dispersión y absorción atenúan la radiación de acuerdo con la Ley de extinción de Lambert:

$$I = I_0 e^{-\alpha m} \quad (2)$$

donde I_0 es la constante solar, α es el coeficiente de extinción y m la masa de aire óptica. La radiación solar incide oblicuamente en la atmósfera de espesor h . Con ello, la masa de aire óptica m depende del ángulo del zenit del sol, y por ende, del tiempo de duración de la claridad del día T :

$$m = \frac{h}{\sin(t/T)} \quad (3)$$

Para un tiempo t , la concentración esperada de ozono es:

$$c^{[E]}(t) = c_0 e^{-\frac{a}{\sin(t/T)}} \quad (4)$$

donde c_0 y a son parámetros desconocidos.

La concentración de ozono esperada $c^E(t)$ se puede observar en los flancos de subida y bajada de la variación diaria medida. Estimándose los parámetros la ecuación (4), podrá, entonces, representarse mediante una curva. Si se substrahe $c^E(t)$ de la variación diaria promedio de la

concentración $c^M(t)$, entonces se obtiene una diferencia $\Delta c(t)$. Esta aparece como consecuencia de las reacciones del ozono con CO o con hidrocarburos (HC). Ambos compuestos se encuentran en los gases de combustión y se designan con la letra X en la ecuación (5).



Por ende, de la variación diaria de $\Delta c(t)$ se puede reproducir el andar de la contaminación vehicular.

6. Determinación de los parámetros

Para evaluar los parámetros en (4), se calculó el valor medio de la concentración de ozono $C^{[M]}(t)$ de todos los días de verano con condiciones meteorológicas iguales (sin nubes). La figura 3 muestra esta variación media típica con su variación correspondiente a una desviación estándar. También se muestran los valores esperados de la concentración de ozono $C^{[E]}(t)$, a partir del modelo calculado en (4). Como comparación se usó el mismo procedimiento para Leipzig (ver figura 4). La Tabla 1 muestra los parámetros estimados. El valor superior del parámetro para Mendoza se corresponde con los niveles inferiores de esta ciudad.

Tab. 1: Parámetros para el modelo utilizado

Parámetros	Mendoza	Leipzig
c_o	0,26 mg/m ³	0,24 mg/m ³
a	0,52	0,23

Emisiones dependientes del tránsito

Para investigar las causas de los bajos niveles de ozono en Mendoza, respecto de Leipzig, se estudió los escapes de los automotores. Puede considerarse para Leipzig que las emisiones de los automóviles está caracterizadas por el catalizador, mientras que para Mendoza ese no es el caso. El parque automotor (alrededor de 300.000 vehículos) tiene una edad promedio de 10 años y no está provista con catalizadores. Soló en los últimos tiempos, a partir de 1992, algunos vehículos están provistos del catalizador.

Tab. 2: Concentración de gases emitidos por motores en mg/m³ con y sin catalizador.

Componente	con catalizador	sin catalizador
Butanal	3,0	1,5
Benzol	1,8	1,9
Methylcyclohexan	0,5	0,2
Toluol	5,5	5,0
m+p-Xylol	1,7	1,3
0-Xylol	1,3	1,0
124Trimethylbenzol	1,5	1,3

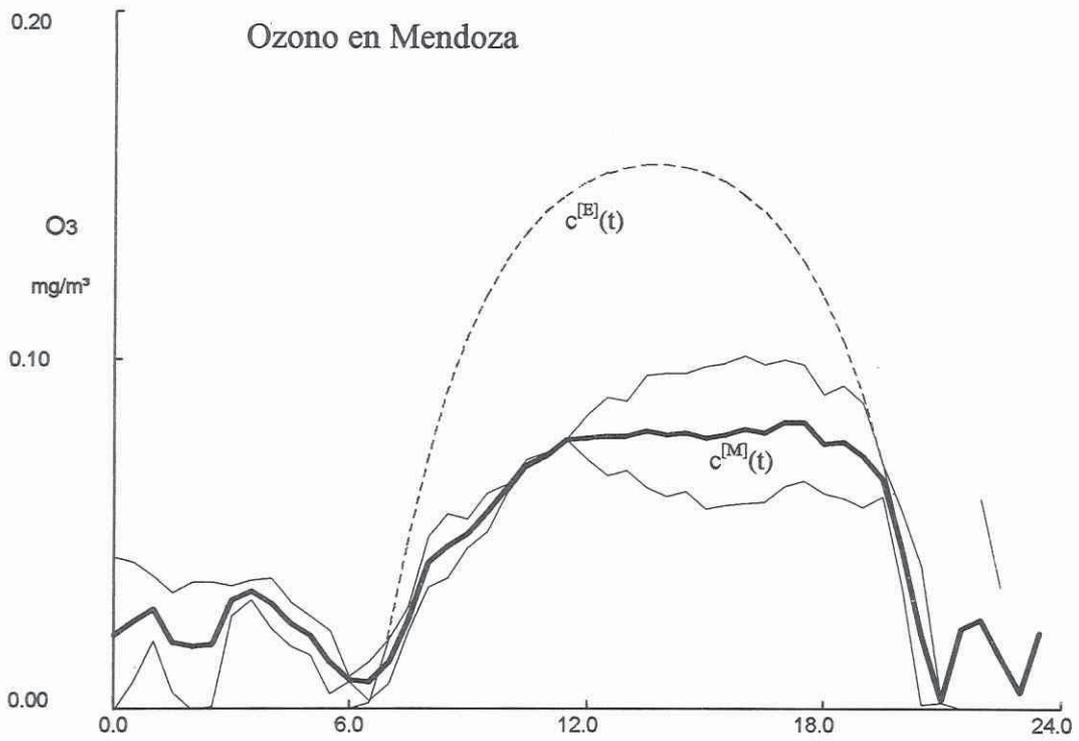


Fig. 3: Variación media de la concentración de ozono (línea gruesa) y modelo calculado (línea punteada), para la estación IEMA-Mendoza.

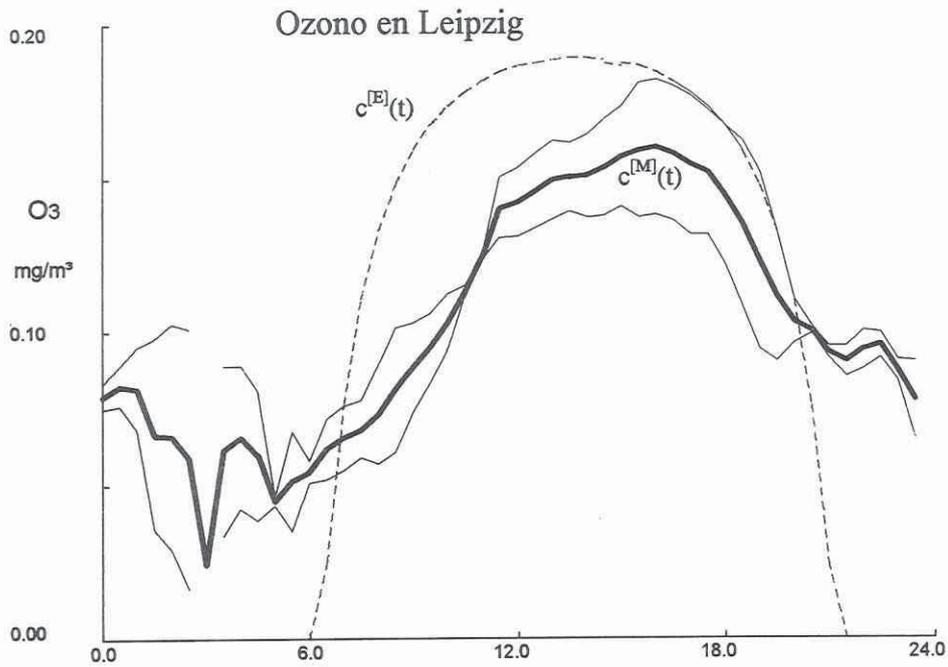


Fig. 4: Variación media de la concentración de ozono (línea gruesa) y modelo calculado (línea punteada), para la estación UFZ-Leipzig.

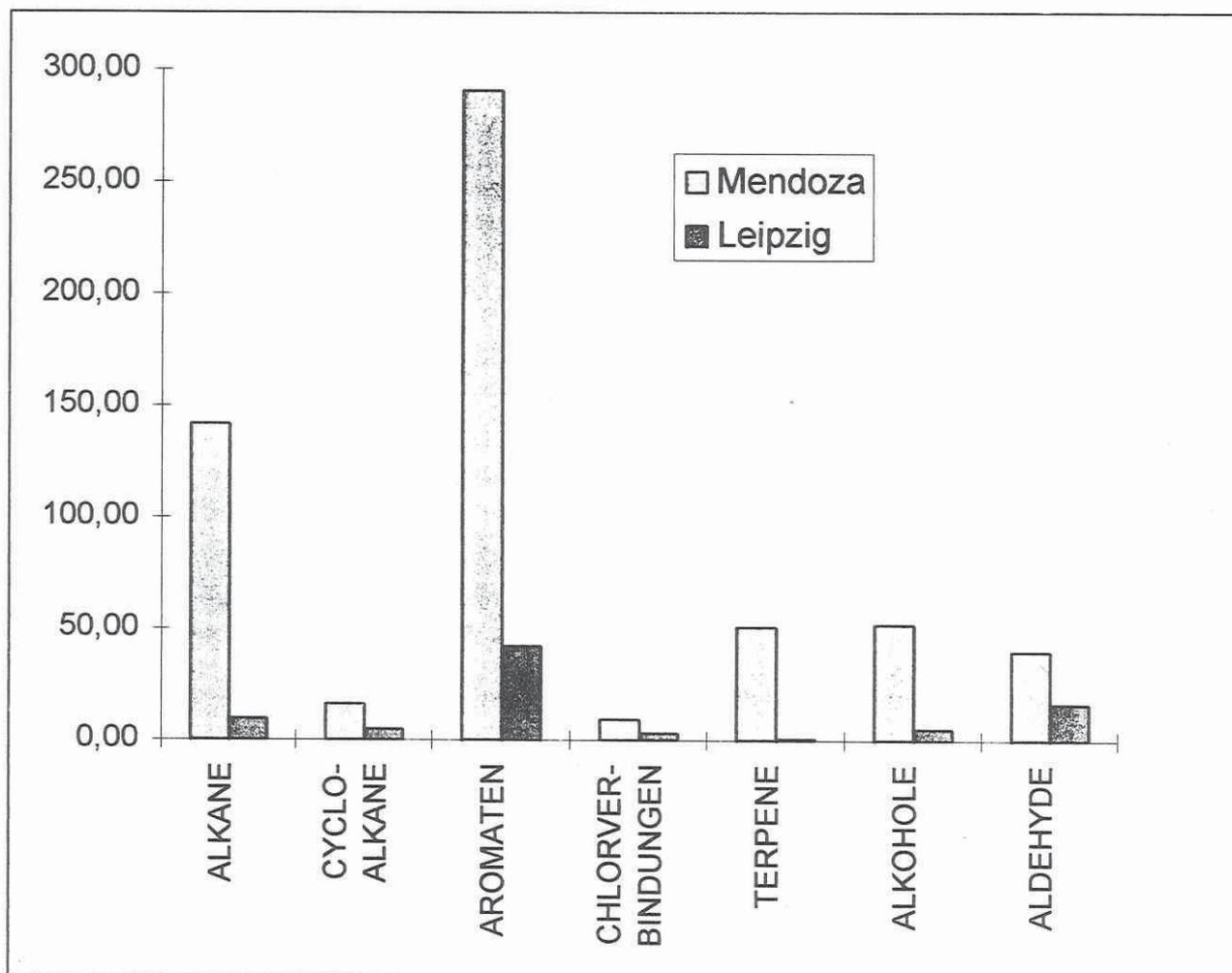


Fig. 5: Concentración de VOC dependiente del tráfico en Mendoza y Leipzig.

Las relaciones medias de los escapes de la Tabla 2 dan un valor de 1,45, esto es, los motores sin catalizador emiten el 45 % más de hidrocarburos como tales que los que tienen un procesamiento. Esta observación parece confirmarse con mediciones de contaminantes en ambas ciudades. La figura 5 compara los valores medios de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) en lugares influenciados por el tráfico.

7. Discusión

Las investigaciones demuestran que para la ciudad de Mendoza se emiten mayor cantidad de hidrocarburos (HC) como consecuencia del tránsito, que en la ciudad de Leipzig. Así en los lugares más afectados de la ciudad se midió $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de HC y en Leipzig se registró $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de HC como media del año 1994. Por otra parte para el mismo año los valores medios de dióxido de nitrógeno NO_2 resultaron ser de $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Mendoza y $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Leipzig. Por lo tanto la relación HC/NO_2 para Mendoza es 7,6 y es superior a la ciudad de Leipzig con 2,2. La razón está en el parque automotor, que es antiguo y no está equipado con catalizador. Debido a que en los vehículos más antiguos es necesario compensar la pérdida de potencia a través de

una mezcla más rica de nafta-aire. Esta es una de las razones para de una mayor relación HC/NO_x. Según SEINFELD (1975), esta relación produce un aumento en las emisiones de CO y paralelamente una emisión de hidrocarburos.

La diferencia en las emisiones de los escapes explican los niveles de ozono medidos en Mendoza, mucho menores de los que debería haber por su fuerte radiación solar.

La radiación solar es el parámetro de entrada para la modelación cuantitativa de la variación diurna de la concentración de ozono.

En el modelo usado en (4), se adaptó al flanco de subida de la mañana y la flanco de bajada de la tarde a la concentración de ozono. De allí se puede calcular el valor de $C^{[E]}(t)$. Se supone para ello que la formación fotoquímica del ozono se mantiene en equilibrio, cuyo valor queda definido por la intensidad de la radiación. El modelo no contempla reacciones del ozono con otras sustancias que no se encuentran en equilibrio fotoquímico. Por lo tanto la diferencia $\Delta c(t)$ entre el ozono medido y el ozono calculado representa la carga en el aire de sustancias oxidantes, en especial las emisiones del tránsito como NO_x, CO, HC entre otras.

Otras sustancias oxidantes, que se mantienen constantes en el aire, no aparecen en $\Delta c(t)$, ya que aparecen como sustancias de fondo „background“ y quedan incluidas en los parámetros del modelo (4). La variación temporal de $\Delta c(t)$ se muestra en las figuras 6 y 7. Esta representa la variación diaria típica de los contaminantes provenientes del tráfico, y con ello la diferente movilidad de los habitantes de cada ciudad.

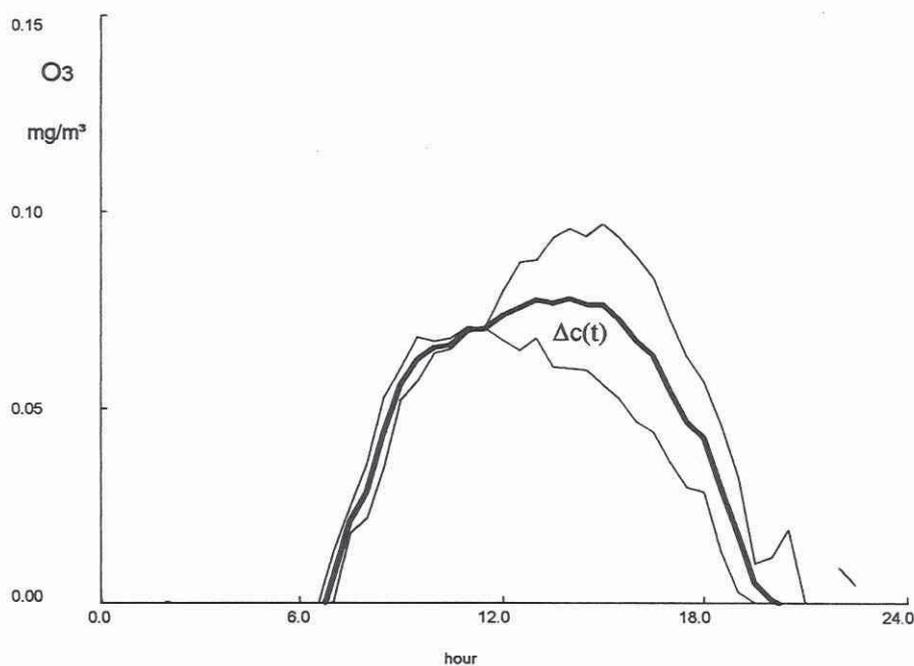


Fig. 6: Variación media (línea gruesa) y $\Delta c(t)$ para Mendoza

Otro resultado del presente estudio de caso muestra las distintas varianzas del ozono medio para Mendoza y Leipzig. Este patrón de variación de la contaminación está fuertemente influenciada por las condiciones meteorológicas.

Las condiciones meteorológicas de alta presión en Europa provocan mayores perturbaciones y nubes que en la zona de Mendoza. Esto se muestra a través de la fuerte variación de las curvas de ozono de Leipzig.

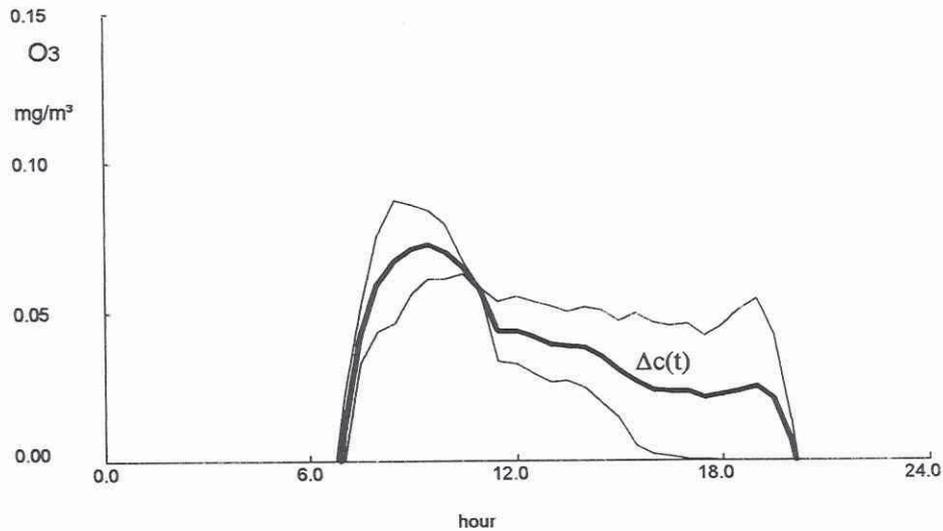


Fig. 7: Variación media (línea gruesa) y $\Delta c(t)$ para Leipzig.

Finalmente cabe decir algo respecto de la aparición de un pico de ozono cerca de medianoche. Esto puede explicarse por la entrada de aire rico en ozono a la ciudad proveniente de las afueras. Sería muy interesante, sin embargo, poder encontrar estos lugares ricos en ozono.

En conclusión, se pretende con este estudio determinar el smog fotoquímico de Mendoza. La fuerte radiación solar hacían suponer valores altos de concentración de ozono, sin embargo las mediciones indicaron valores menores que Leipzig.

Con la ayuda de modelos y comparando las emisiones de los vehículos en ambas ciudades, se puede ver que la causa de la contaminación de fondo del aire es la provocada por el tránsito. Es decir, la causa está en NO_x , CO y HC. Estos son, por una parte, destructores y, por otra parte, catalizadores respecto de la formación de ozono.

Los delimitantes de los valores altos de ozono aparecen también como smog secundario, pero a menudo, para concentraciones altas de tales sustancias, es común referirlas como smog fotoquímico primario. Debe suponerse que este smog primario también produce efectos sobre la salud en los habitantes de los conglomerados urbanos.

Autores

Uwe SCHLINK, Olf HERBARTH, Matthias RICHTER, Maik SCHILDE, Martina REHWAGEN

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sekt. Expositionsforschung und Epidemiologie
PF 2, 04301 Leipzig, Germany

José Luis PULIAFITO, Enrique PULIAFITO, Pablo E. BEHLER, Juan Carlos GUERREIRO, Carlos PULIAFITO

Universidad de Mendoza

IEMA - Instituto para el Estudio del Medio Ambiente

Av. Boulonge Sur Mer 665

5500 Mendoza

Nr. 3/1997

Regionalökologie

Tagungsbericht und wissenschaftliche
Beiträge des Deutsch-Argentinischen
Workshops
Mendoza - Argentinien

Brigitte Großer (Hrsg.)