

Estudio de la contaminación del aire en la Ciudad de Córdoba en el período Dic95 -Nov96. Parte II: Evolución diaria de distintos contaminantes atmosféricos, su relación con las fuentes de emisión y las variables meteorológicas.

O.B. NASELLO*, S. MASUELLI

GRUPO DE FÍSICA DE LA ATMÓSFERA -FA.M.A.F. -U.N.C
nasello@roble.fis.uncor.edu

M. CAPUTO, V. SBARATO, B. CAPOFERRI, D. SBARATO Y E. ALONSO

SISTEMA DE MONITOREO DEL AIRE - SUBSECRETARÍA DE AMBIENTE - MUNICIPALIDAD DE CÓRDOBA - ARGENTINA

Una de las principales fuentes de contaminación de la Ciudad de Córdoba es el tráfico vehicular. Esta contaminación se traduce en una variación diaria del polvo atmosférico (PM_{10}), CO , O_3 , y NO_2 . En el presente trabajo se analiza la evolución horaria de estos contaminantes registrada en un punto céntrico de la Ciudad de Córdoba durante el período Dic95 -Nov96. Los resultados obtenidos se analizan teniendo en cuenta el flujo vehicular medido en las inmediaciones de la estación de monitoreo y las condiciones meteorológicas.

1.- Introducción

El tráfico vehicular es una de las principales fuentes de contaminación urbana. Entre los contaminantes primarios emitidos por estas fuentes se encuentran el Monóxido de Carbono (CO), las Partículas de polvo, los Hidrocarburos, el Dióxido de Azufre, el Plomo y los Óxidos de Nitrógeno, y entre los secundarios se destaca el Ozono. La concentración de cada uno de ellos presente en un determinado sitio depende de las fuentes locales de emisión, el transporte por masas de aire, la dilución ocasionada por la mezcla con el entorno, la concentración de las distintas sustancias que intervienen en las reacciones químicas y la velocidad de las mismas. Todos estos factores conllevan a que la variación horaria de los distintos contaminantes no sea fácilmente predecible y por ende que sea necesario su estudio para determinar, para cada sitio, cuándo se producen los picos de concentración de cada contaminante. Estos estudios deben además complementarse con los estudios de las fuentes locales de emisión y las características meteorológicas del sitio monitoreado, especialmente la velocidad y dirección del viento y la estabilidad de la atmósfera para determinar la influencia de las mismas en los valores observados.

Como dijimos en la Parte I del presente trabajo, en la ciudad de Córdoba desde 1995 se están monitoreando algunos de los contaminantes primarios y secundarios producidos por el tráfico vehicular: PM_{10} , CO , NO , NO_2 , SO_2 , O_3 , los hidrocarburos metánicos y no metánicos (CH_4 y NMHC respectivamente). También se registran algunas variables meteorológicas tales como velocidad y dirección del viento y temperatura del aire. En el

presente trabajo se analiza la evolución horaria de algunas de estas variables registradas en la estación CORREO (ver Parte I) durante el período Dic95 -Nov96. Se estudia principalmente PM_{10} , CO , NO , NO_2 y O_3 , ya que de estas variables se tiene un registro con más del 75% de las horas del período, condición recomendada por la EPA (Environmental Protection Agency - USA) para validar los datos. Los resultados obtenidos se analizan teniendo en cuenta el flujo vehicular medido en las inmediaciones de la estación de monitoreo y las condiciones meteorológicas

2.- Método de Análisis

Los datos registrados por el SIMA correspondientes a las distintas variables fueron separados de acuerdo al día de la semana y a la hora del día. Por cada día y hora se obtuvieron los promedios mensuales, estacionales y anuales (se consideró verano los meses enteros de Diciembre, Enero y Febrero y así sucesivamente). En general, los resultados obtenidos para los días normales de la semana (lunes a viernes) no mostraron diferencias significativas por lo que posteriormente se calculó para cada mes, estación del año y el año completo el promedio por hora del día correspondiente a la semana normal.

Por otra parte, para cada variable y para cada mes del año se realizaron gráficos de cajas como el mostrado en la figura 1. En estos gráficos puede apreciarse fácilmente la forma de la distribución ya que en los mismos para cada hora se muestran los valores correspondientes a la media horaria, a la mediana, y los valores para los cuales el 25% y el 5% de los datos están por encima de esos valores y los valores para los cuales el 75% y el 95% de los datos están por debajo.

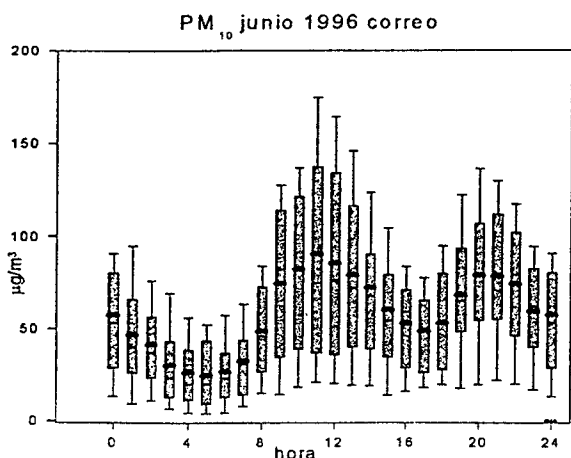


Figura 1: Distribución de valores de PM_{10} medidos en la estación CORREO en el mes de junio de 1996. Las cajas correspondientes a cada hora, indican los valores por debajo de los cuales se encuentran el 95%, 75%, 50%, 25% y 5% de los datos. Las líneas de mayor grosor indican el valor medio horario.

3.- Resultados Obtenidos

El análisis de los gráficos de caja como el de la figura 1, en general, mostró que los valores medios no son significativamente diferentes de la mediana, aunque la distribución puede diferir apreciablemente de una normal. Por otra parte, se pudo ver que la dispersión de los datos es muy grande, siendo para todos los contaminantes la tendencia similar a la mostrada en la figura 1 para el PM_{10} ; es decir, el valor correspondiente al 95% de los datos puede ser hasta un 100% superior al valor medio. Estos resultados nos indican que para los contaminantes analizados tanto el valor medio como la mediana pueden usarse como valores representativos, aunque se debe tener en cuenta que los valores observados pueden ser, en al menos el 5% de los casos, hasta un 100% superior.

El comportamiento general observado para los distintos contaminantes ha sido muy similar. Sin embargo presentaremos en primer lugar el PM_{10} y el CO y posteriormente el O_3 , NO y NO_2 dado que el análisis que debe hacerse a éstos es diferente. En efecto, en el primer grupo se encuentran sólo los contaminantes primarios y en segundo grupo el ozono, que es un contaminante secundario, y el NO y NO_2 que son emitidos por los vehículos pero que también están íntimamente relacionados a la química del Ozono (ver Seinfeld, 1986)

3.1.- Resultados obtenidos para el PM_{10} y el CO

En la figura 2 se muestran los promedios anuales obtenidos para el PM_{10} y el CO. En estas figuras se distinguen los días normales de trabajo (lunes a viernes) de los sábados y los domingos.

En ellas se puede observar que estos contaminantes presentan en los días normales de trabajo dos picos muy marcados, uno aproximadamente entre las 9 y 10hs y el otro entre las 20 o 21hs. Las concentraciones de PM_{10} y CO, en los días sábados, presentan también dos picos uno también entre las 9 y 10hs pero el otro entre las 21 y 23hs y, en los domingos, se observa por lo general un pico nocturno alrededor de las 24hs.

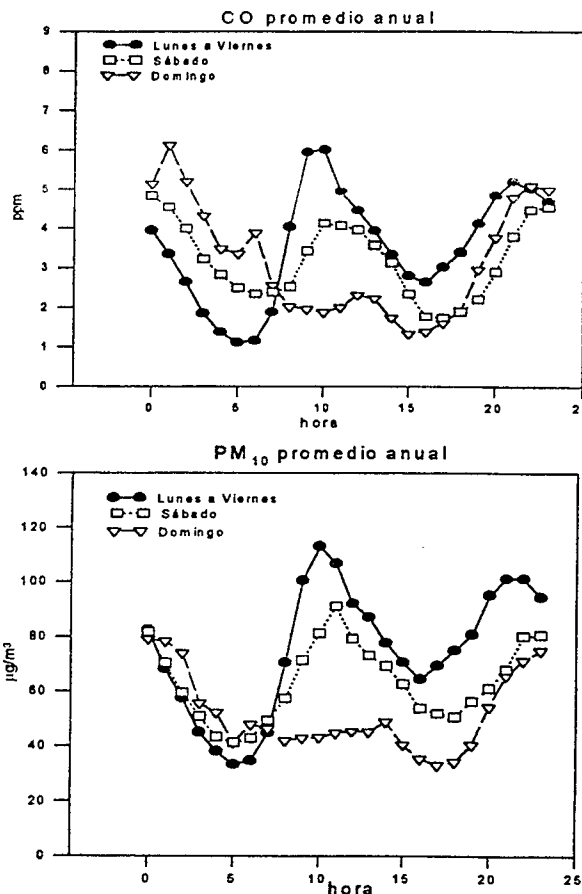


Figura 2: Promedios anuales obtenidos para el CO y PM_{10}

Los sábados y domingos durante el día se registran valores menores a los de los días normales de la semana pero a la noche este comportamiento se invierte. Estas características se han observado en general en todos los meses del año. Con respecto a la tendencia estacional (ver figura 3), en lo que se refiere a la ubicación de los picos, se ha observado que entre el verano y el invierno puede haber una hora de diferencia. Los picos de la mañana ocurren más temprano en verano que en invierno, mientras que en los de la noche se observa lo contrario. En cuanto a la intensidad de los picos, el monóxido de carbono presenta valores menores en los meses de diciembre a febrero que en los otros meses. En efecto, los valores máximos correspondientes a los días normales, en el verano, ocurren aproximadamente a las 9hs y son en promedio de 5ppm, mientras que, en las otras estaciones van entre 6 y 7.5ppm, correspondiendo el valor más alto a los meses de invierno.

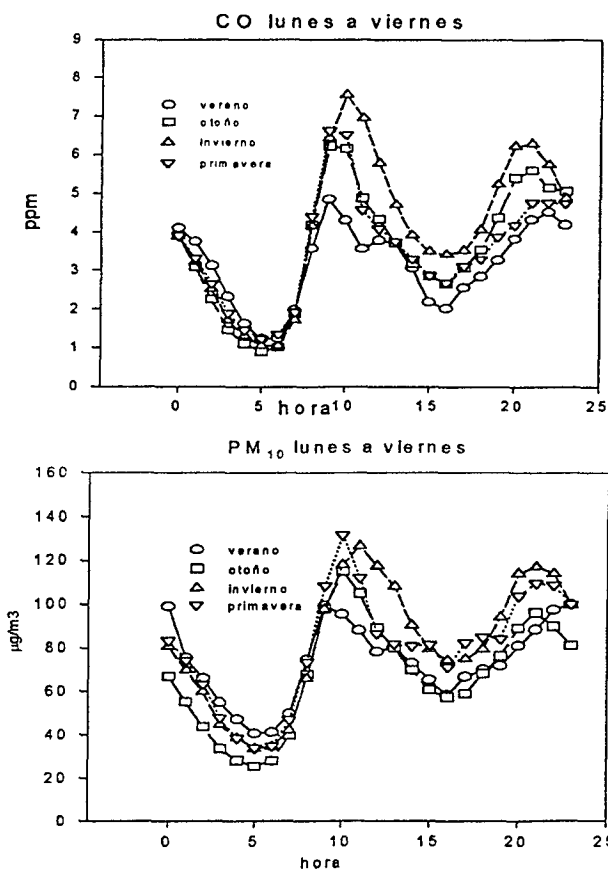


Figura 3: Tendencia estacional de los promedios de CO y PM₁₀ en los días normales de la semana (lunes a viernes).

El polvo en suspensión, por otra parte presenta una tendencia similar, aunque menos marcada (100 µg/m³ en verano y entre 115 y 135 µg/m³ en los otros meses). Debemos tener en cuenta que al estar Córdoba en una región semiárida, parte del PM₁₀ medido proviene del polvo atmosférico, lo cual puede explicar las diferencias observadas entre el CO y el PM₁₀.

3.2.- Resultados obtenidos para el O₃, NO y NO₂

En la figura 4 se muestran los promedios horarios obtenidos de O₃, NO y NO₂ en cada una de las estaciones del año correspondientes a los días normales de la semana (lunes a viernes). En estas figuras se puede observar que las concentraciones de NO y NO₂, al igual que las de CO y PM₁₀, presentan a lo largo de todo el año dos picos: uno aproximadamente a las 10hs y el otro a las 20hs. El Ozono presenta estos picos bien marcados en los meses de otoño e invierno pero en verano muestra un pico ancho alrededor de las 15hs, mientras que, en la primavera tiene valores aproximadamente constantes, durante las horas de la tarde, y muestra un leve máximo aproximadamente a las 10hs. El análisis de los valores correspondientes a estos contaminantes en los fines de semana ha mostrado que las concentraciones de NO y NO₂ en general son inferiores a las de los días de semana en hasta un 50%, mientras que los correspondientes al ozono son muy similares a los mostrados en la figura 4.

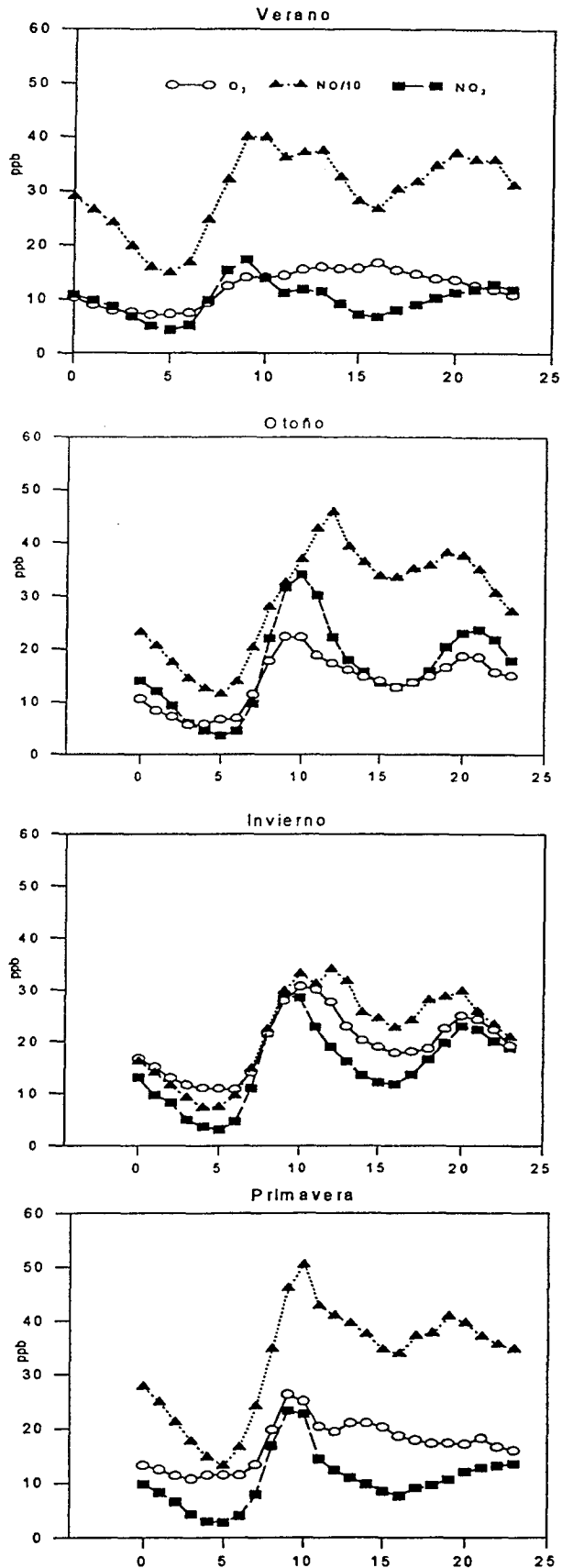


Figura 4: Promedios horarios obtenidos de O₃, NO y NO₂ en cada una de las estaciones del año correspondientes a los días normales de la semana (lunes a viernes).

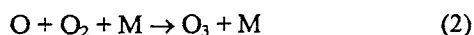
Finalmente, en la figura 4 se observa que en el invierno se registraron los valores más altos de las concentraciones de NO₂ y de O₃ mientras que en el verano se registraron las menores concentraciones. Las concentraciones de NO, sin embargo fueron más bajas en otoño y más altas es la primavera.

4.- Discusión y conclusiones

Como dijimos anteriormente, las concentraciones de los contaminantes primarios presentes en un determinado sitio dependen de las fuentes locales de emisión, el transporte por masas de aire y de la dilución ocasionada por la mezcla con el entorno. Por ello, para poder analizar los resultados presentados en la sección anterior, es necesario conocer el régimen de vientos y de tráfico en la zona de medición. En la figura 5 se presenta la velocidad promedio del viento medido por el móvil en cada una de las estaciones del año y, en la figura 6, una curva del número medio de vehículos que circularon por hora por la avenida ubicada en la posición del punto de medición (avenida Colón, ver fig. 1 parte I) en el mes de junio. Estos datos fueron provistos por la Dirección de Planificación y Coordinación del Tránsito de la Municipalidad de Córdoba.

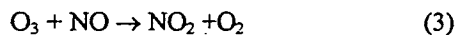
Por otra parte, como también dijimos anteriormente, la concentración de los contaminantes secundarios depende además de la concentración de las distintas sustancias que intervienen en las reacciones químicas y de la velocidad de las mismas.

El ozono ocurre como resultado de la fotólisis de NO₂, la cual se produce para todas las longitudes de onda en el rango de la luz visible.



De acuerdo con Seinfeld (1986) en la atmósfera no hay otra fuente de producción de ozono.

Una vez formado, el ozono reacciona rápidamente, en especial con el NO regenerándose así el NO₂



El NO y el NO₂ son producidos directamente por las emisiones vehiculares, aunque también se producen por una gran cantidad de reacciones químicas en las cuales intervienen los hidrocarburos.

En general se ha observado que cuando las reacciones químicas antes citadas predominan sobre los mecanismos de mezcla, las evoluciones horarias de O₃ presentan un comportamiento similar al mostrado en la figura 4a, correspondiente a los meses de verano (Boubel et al. 1991, Massambani, Andrade, 1994). Es decir, las curvas de O₃ presentan un máximo en las primeras horas de la tarde. Este máximo se relaciona directamente con el máximo de radiación solar responsable de la producción de ozono a través de la reacción (1). En estas condiciones

es común también observar que las concentraciones de ozono son más altas en los meses de verano, donde el flujo de radiación solar alcanza los máximos valores.

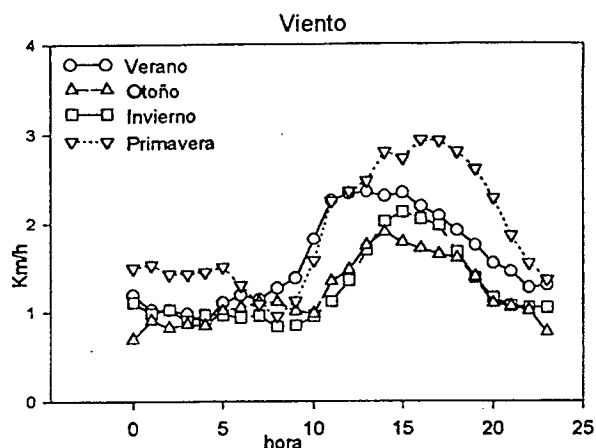


Figura 5: Velocidad promedio del viento medido por el móvil en cada una de las estaciones del año.

En la figura 5 se observa que en todas las estaciones del año el viento medio tiene un máximo aproximadamente a las 15hs, siendo en verano y en la primavera los vientos más intensos que en las otras estaciones. En la figura 6 se observa que en los días normales de trabajo, en junio un mes típico de invierno, el tráfico vehicular comienza a aumentar a aproximadamente las 6hs y que después se mantiene aproximadamente constante hasta cerca de medianoche. De la figura 6 se deduce que, en los meses de invierno, los contaminantes primarios se emiten en forma aproximadamente constante durante el día y se reducen durante la noche. De acuerdo a lo informado por la oficina de tránsito en los meses de verano, el tráfico vehicular por la avenida Colón tiene un comportamiento similar al mostrado en la figura 6, con la excepción de que, en las primeras horas de la tarde, presenta un mínimo relativo. Este último comportamiento se debe a que en la ciudad de Córdoba, el comercio en los meses de invierno trabaja en horario continuo mientras que en verano no trabaja en las primeras horas de la tarde.

Comparando la figura 6 con las figuras 2 a y b se deduce que la diferencias entre los días normales de la semana y los fines de semana se producen principalmente por diferencias en el tráfico vehicular. Por otra parte en los días normales de la semana se observa que los dos máximos presentes en las concentraciones de CO y PM10, en los meses de invierno, no son ocasionados por variaciones de tráfico. El mínimo puede deberse principalmente al aumento del viento en las horas de la tarde y al aumento de la convección producido por el calentamiento solar. En efecto, en la figura 5 vemos que la velocidad del viento, en las horas de la tarde, cuando hay mayor calentamiento, alcanza un máximo. Este máximo, se produce aproximadamente a la misma hora en que las concentraciones de los contaminantes tienen un mínimo. Vemos así que, al comenzar el viento, este trae aire de las inmediaciones que pueden tener menor

concentración de contaminantes y por lo tanto reduce los niveles locales de contaminación. Además el aumento de la convección provoca una mayor mezcla lo cual también reduce la concentración de contaminantes. En las últimas horas de la tarde, cuando cesa el viento, el tráfico sigue siendo alto por lo cual la contaminación sube hasta que ésta, finalmente, decrece cuando se produce la baja nocturna en la circulación de vehículos.

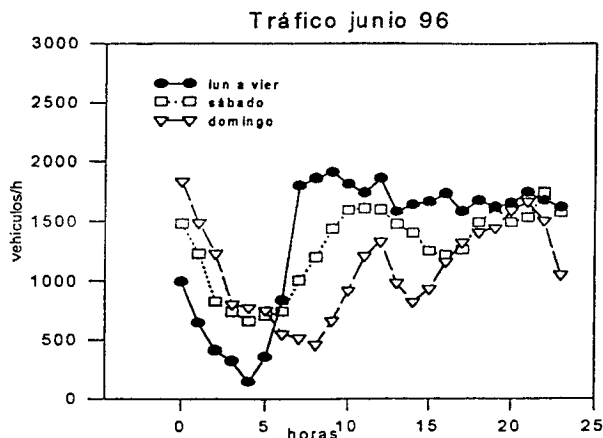


Figura 6: Número medio de vehículos que circularon por hora por la avenida Colón en el mes de junio.

En el verano se produce un comportamiento similar, pero al mismo habría que sumarle la disminución de tráfico que también ocurre a la misma hora. En cuanto a las variaciones estacionales observadas en las concentraciones de CO y PM10, se puede decir que la disminución observada en los meses de verano, respecto a los otros meses, puede ser una consecuencia de la disminución del régimen de precipitaciones y del aumento de la mezcla de aire. Este último aumento se produce tanto por el aumento de la velocidad del viento como de la altura de la capa de mezcla. Los valores más altos de CO encontrados en invierno podrían justificarse teniendo en cuenta que en estos meses en la ciudad de Córdoba la estabilidad de la atmósfera es muy superior a los otros meses.

Con respecto a los contaminantes relacionados con la química del ozono, los resultados presentados en la figura 4 muestran que el máximo típico en la concentración de ozono, correspondiente a las horas de máxima radiación, sólo fue observado en los meses de verano. En las otras estaciones del año, especialmente en el otoño y en el invierno, el ozono ha presentado dos máximos ubicados muy próximos al de los observados en los contaminantes primarios. Como vimos anteriormente, las variaciones en estos contaminantes no resultan únicamente de las variaciones de las fuentes locales de emisión (tráfico vehicular) sino que también surgen como consecuencia de la pérdida de contaminantes ocasionada por el aumento en la velocidad del viento. Vemos así que en los meses de otoño y primavera, los mínimos en la concentración de ozono que ocurren aproximadamente a las 15hs. pueden ser también una consecuencia directa

del aumento de la velocidad del viento y de la convección que ocurre exactamente a esa hora. En los meses de verano, cuando el viento es mayor se observa, no obstante, el máximo típico a las 15hs. Este comportamiento, sin embargo, podría también ser una consecuencia del transporte de masas de aire y no de las reacciones químicas que se producen localmente. En efecto, los valores de ozono medidos en verano en la estación CORREO son muy similares a los medidos en la estación de Pilar - Córdoba (latitud 31° 41' S y longitud 63° 53' O)¹, la cual está bastante alejada de centros de alta contaminación, y por lo cual es representativa del nivel de ozono troposférico de estas latitudes. En consecuencia, dado que en el verano la velocidad del viento es mayor y que el lugar de medición está muy próximo al lugar de mayor producción de NO₂, el ozono medido en la estación CORREO en el verano podría ser fundamentalmente el de la región y no el producido en el lugar.

Por lo tanto, se puede concluir que los niveles de concentración de O₃, al igual que los contaminantes primarios se ven en general afectados por los vientos locales, los cuales durante las horas de mayor contaminación local producen una reducción en los niveles de contaminación debido a que provienen de lugares donde los niveles de contaminación son menores. Este hecho produce que la mayoría de los contaminantes presente dos picos diurnos, uno a aproximadamente las 10 de la mañana y otro alrededor de las 20hs. Con respecto al comportamiento estacional de los distintos contaminantes, podemos concluir que no hay una tendencia general, ya que hemos visto que para cada uno de ellos las tendencias son diferentes. Finalmente, es importante destacar que el centro de la ciudad de Córdoba es el lugar de producción de contaminantes más importante de la región. En consecuencia, debido al importante transporte de aire es de esperar que en las afueras de la ciudad y en la dirección de los vientos predominantes, la concentración de alguno de esos contaminantes sea mayor que la observada en el centro de la ciudad.

5.- Referencias

1. Seinfeld J.H. (1986). "Atmospheric Chemistry and Physics of air pollution. John Wiley & Sons
2. Boubel, R.W, Fox, D.L., Turner, D.B. y Stern, A.C. (1994) "Fundamentals of Air Pollution" 3ª edición, Academic Press.
3. Massambani e F. Andrade, "Seasonal behavior of tropospheric ozone in the São Paulo (Brazil) Metropolitan Area". Atmospheric Environment Vol. 28, No. 19, 1994, pp. 3165-3169.

¹ Comunicación privada.