

Excedencia de ozono de superficie en dos lugares de Santiago de Chile

PILAR CERECEDA¹
ROBERT S. SCHEMENAUER²
KURT G. ANLAUF²
ERNESTO GONZALEZ¹

RESUMEN

Entre julio de 1992 y abril de 1993 se midió el nivel del ozono de superficie en el Campus San Joaquín de la Pontificia Universidad Católica y en el centro de Santiago. Los datos fueron obtenidos con dos analizadores de zona TECO y se registró la información en forma continua. Aquí se dan a conocer antecedentes sobre los días en que los niveles de ozono sobrepasaron el máximo horario permitido; las normas chilena y canadiense indican que no debe excederse más de 82 ppb en una hora. Se constata que los meses de diciembre y enero son los de mayor excedencia de la norma y que los niveles de ozono en el campus universitario son sustancialmente mayores que los de la zona céntrica.

SUMMARY

Between July 1992 and April 1993 surface ozone measurements were made in Santiago de Chile, in downtown and Campus San Joaquín. Data was obtained with two TECO analyzers and the information was registered continuously. The information given in this paper deals with the days that the ozone concentrations were higher than the levels permitted by Chilean and Canadian standards. December and January are the months that have the highest number of days that exceed the norm. The Campus have substantially more ozone concentration than the place measured in downtown.

1. INTRODUCCION

En esta oportunidad se entregan antecedentes generales y algunos resultados de un proyecto de medición de ozono de superficie en dos lugares del Gran Santiago. Este estudio, apoyado por la Embajada de Canadá, financiado por el Servicio Atmosférico Ambiental del Ministerio de Medioambiente de Canadá y llevado a cabo por el Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, comenzó en julio del año 1992 y aún está en ejecución. Se dan a conocer datos sobre los días en que los niveles de ozono sobrepasaron el máximo horario permitido; las normas chilena y canadiense indican que no debe excederse más de 82 ppb (partes por billón) en una hora. Estas normas establecen además que los niveles promedio aceptables para períodos de 24 horas y un año no pueden exceder de 25 y 15 ppb en promedio, respectivamente.

El ozono de superficie es producido durante el día por la interacción de la luz solar con varios contaminantes atmosféricos; a las interacciones se les denomina reacciones fotoquímicas. El ozono

es destruido a través de reacciones químicas y también cuando se deposita en la vegetación u otras superficies. Esto lleva a que en las noches las concentraciones de ozono sean mínimas debido a que la destrucción continúa en la ausencia de los procesos de producción.

En Chile los estudios cuantitativos sobre contaminación del aire se iniciaron a fines de los años 70 (Silo y Lissi, 1982; Trier y Silva, 1987; Rojas *et al.*, 1990); el ozono de superficie comenzó a registrarse en Santiago a fines de la década del 80 y los primeros estudios sistemáticos, que datan de 1989, fueron realizados por la Universidad de Chile a petición de la Intendencia Metropolitana. Desde esa fecha se considera que la contaminación por ozono es un problema que debe ser estudiado y enfrentado en forma urgente. No se ha cuantificado el daño que este contaminante está produciendo, pero se espera que sus efectos se estén sintiendo en la salud humana, en la vegetación natural y en la producción agrícola y forestal; se estima que los vegetales son más sensibles a los efectos del ozono que el ser humano (Ashmore *et al.*, 1985; Comtois y Schemenauer, 1991), Las características geográ-

¹ Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile. Casilla 306. Correo 22. Santiago, Chile.

² Atmospheric Environment Service. 4905 Dufferin Street. Downsview, Ontario, Canada, Canada M3H 5T4.

ficas del área de emplazamiento de la ciudad, y la dinámica atmosférica de invierno hacen que el *smog* sea muy grave en ese período; esto se debe al efecto de una inversión dinámica baja que restringe el área de dispersión de los contaminantes y a un alto número de días con calma o vientos de escasa velocidad (Errázuriz *et al.*, 1993). Aun cuando las condiciones mejoran en primavera y verano por la presencia de vientos térmicos que airean la ciudad, la calidad del aire no lo hace en forma generalizada, debido al aumento del ozono por efectos de la mayor radiación solar.

2. EL PROYECTO

Debido a que la presencia de *smog* está condicionada por factores geofísicos y geográficos, su distribución espacial y temporal es muy heterogénea. Por ejemplo, cuando la inversión está muy baja, a menos de 700 m de altitud, los barrios de la ciudad que están bajo ella pueden estar en emergencia; en cambio, los que están por encima de esa altitud disfrutan de buen aire; según la dinámica de viento predominante se puede esperar que en las mañanas el sector oriente tenga la atmósfera limpia y que al mediodía sus índices aumenten en forma considerable, a la vez que el sector poniente vaya mejorando sus niveles de contaminación atmosférica.

Para realizar una adecuada planificación urbana y poder enfrentar los problemas del *smog* en Santiago, es de vital importancia conocer esa distribución en el espacio y en el tiempo (Kamari J., *et al.*, 1992). Estos estudios requieren redes de monitoreo que representen la mayor superficie de la ciudad y de su entorno; a esta fecha sólo se mide la calidad del aire en cuatro lugares del centro de Santiago y en una sola zona periférica (Red MACAM). La principal limitante para realizar estos estudios espaciales radica en esta escasez de estaciones, las que tienen un alto costo de inversión y mantenimiento. Con este proyecto se busca aportar antecedentes que permitan ampliar y complementar los estudios de contaminación atmosférica y entregar un análisis geográfico a la problemática.

El objetivo principal de este proyecto es cuantificar la diferencia de ozono de superficie en dos lugares de Santiago, conocer su comportamiento temporal y buscar las causas que determinan la desigual distribución del elemento en dichos sectores. Las causas se buscan en la dinámica atmosférica, la insolación, los vientos, las emisiones nocivas, el entorno urbano y las actividades y comportamiento de la población; para comprender la incidencia de estos factores se re-

quieran investigaciones específicas de cada uno de ellos.

Se seleccionaron dos áreas con distintas vocaciones y características urbanas. Una, en pleno centro de la ciudad, en el Paseo Ahumada en la esquina con Alameda Bernardo O'Higgins, y la otra en el Campus San Joaquín de la Pontificia Universidad Católica de Chile, distante 5 kilómetros al SSE en línea recta. Los instrumentos de medición se instalaron en el noveno piso en el Edificio Ahumada (oficinas de la Embajada de Canadá), y en el primer piso del Instituto de Geografía en la sede universitaria. En este último sitio se registró la dirección y velocidad de viento con un sensor ubicado en el segundo piso del edificio.

El centro se caracteriza por presentar las condiciones típicas de una isla de calor urbano, con edificios en altura que sobrepasan los 10 pisos, con pavimentación continua, escasez de árboles y una excesiva concentración de movilización colectiva durante todo el día. El Campus se encuentra en una zona residencial próxima a sectores de pequeñas y medianas industrias, enfrentando una de las principales avenidas de Santiago, Vicuña Mackenna, con un intenso tráfico vehicular en las horas punta.

3. INSTRUMENTACION Y PROTOCOLO DE MEDICION

El instrumento utilizado para medir las concentraciones de ozono ambiente es un Analizador Fotométrico de Ozono TECO 49 u.v. (ultravioleta) con compensación automática de presión y temperatura.

El protocolo de medición consultó actividades de calibración, mantención y cambio de filtros. A comenzar las mediciones se realizaron calibraciones utilizando fuentes medibles según NBS (Oficina Nacional de Estándares, Estados Unidos). Durante el tiempo de registro los operadores llevaron en forma periódica diagnósticos de rutina y chequeos del "nivel cero". Los filtros fueron cambiados, por lo menos, una vez por semana, y en los períodos de mayor concentración de *smog*, dos y más veces.

Las mediciones continuadas de ozono fueron promediadas en períodos de 15 minutos y luego combinadas para formar promedios horarios. Toda la data ha sido corregida según el "nivel cero" del instrumento y los valores procesados debieran tener una seguridad de $\pm 0,5$ ppb. Los datos así adquiridos fueron debidamente procesados y "limpiados" de acuerdo al protocolo establecido en el proyecto de la Intendencia Metropolitana (Intendencia R.M., 1990) y trabajados en planillas con software Lotus.

4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se entregan los resultados obtenidos en relación a los días y episodios en que se sobrepasaron la norma horaria (nivel de 82 ppb). Se analizan 242 días, período comprendido entre el 1 de julio de 1992 y el 28 de febrero de 1993, es decir, en las estaciones de invierno, primavera y verano.

a) Número de días con más de una hora con 82 ppb de ozono:

En el período de análisis se puede ver (Figura N° 1) que la norma fue sobrepasada en el Campus San Joaquín en 96 días, lo que representa un 40% del período registrado. Se constata una evolución muy rápida a partir de septiembre, mes en que comienza la primavera y, por lo tanto, se inicia un período de mayor radiación. El mes que presenta la mayor contaminación por ozono es enero, en cual en 23 oportunidades, prácticamente el 80% de los días de ese período, no se cumple con la norma establecida. Le sigue muy de cerca diciembre que registra 17 días con exceso de ozono. Más del 50% de los días de octubre y noviembre se pueden considerar de riesgo. Es notoria la disminución que se constata en el mes de febrero; es posible que la menor actividad industrial y de tránsito vehicular que se registra en Santiago debido a las vacaciones de verano, el cese de las actividades en el campos de la Universidad, y la progresiva disminución de la insolación a medida que se avanza hacia el otoño sean las causas de este notorio descenso.

La situación es muy diferente en el centro de Santiago. En la Embajada de Canadá se sobrepasó

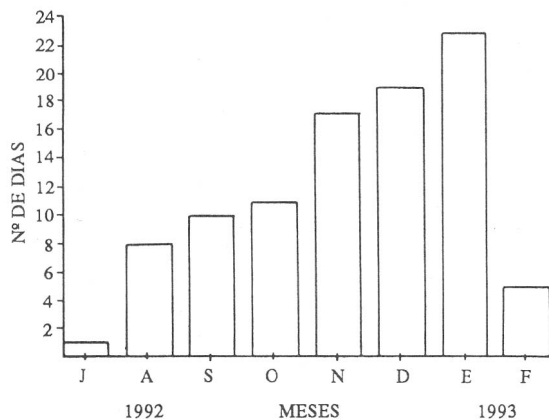


Figura 1: Número de días en que se sobrepasó la norma horaria de 82 ppb por mes en el Campus San Joaquín, entre julio de 1992 y febrero de 1993.

la norma horaria en 18 días, es decir un 7,5% del período observado. El mes que tuvo mayor número de días con exceso de ozono fue septiembre, con siete eventos, dos de los cuales ocurrieron el mismo día. Le sigue octubre con cuatro días, noviembre y enero con tres días sobre la norma, y sólo en una oportunidad hubo problemas en diciembre de 1992 y febrero de 1993.

La explicación de la gran diferencia de presencia de ozono entre los dos puntos puede buscarse en la dinámica de vientos y en los efectos que produce la contaminación derivada de la movilización particular y colectiva que se concentra en el área céntrica. La química de la contaminación del aire ha sido revisada por algunos autores, por ejemplo Butler (1979). Una manera de ejemplificar la complejidad de la situación es la siguiente: cerca de una fuente (gasolina o diesel) de óxido de nitrógeno (NO) el ozono puede ser destruido; pero, este NO también puede ser oxidado a dióxido de nitrógeno (NO₂), el cual toma parte en la producción fotoquímica del ozono.

b) Episodios continuados en que se sobrepasa el nivel 82 ppb:

Es interesante consignar que en el Campus San Joaquín, en enero de 1993, hubo un episodio de 10 días consecutivos con exceso de ozono; en efecto, del 13 al 23 de ese mes hubo varias horas cada día en que el nivel 82 ppb fue sobrepasado, llegando a más de 134 ppb en cuatro días seguidos. Noviembre y diciembre presentaron episodios graves de cuatro días consecutivos y de tres días en agosto, septiembre y octubre. Estos antecedentes son importantes porque significan períodos en que la población respira aire contaminado sin tener el tiempo necesario para recuperarse y la vegetación se enfrenta a una condición de estrés prolongado.

En el centro de Santiago, en cambio, sólo hubo tres períodos de dos días consecutivos con exceso de ozono; dos de ellos se presentaron en septiembre y uno en noviembre. En uno de los primeros se dieron los eventos con mayor concentración de ozono del período, con 135 y 126 ppb; en octubre hubo un día con 134 ppb, y las máximas concentraciones restantes se ubican en torno a las 100 ppb.

e) Duración de los episodios que sobrepasaron el nivel 82 ppb en una hora:

Al realizar una análisis de la duración de los períodos en que se sobrepasa la norma (Figura N° 2) se constata que en el campus universitario hay una secuencia ascendente que va desde las 3 horas 30 minutos en julio hasta llegar a 8 horas 30

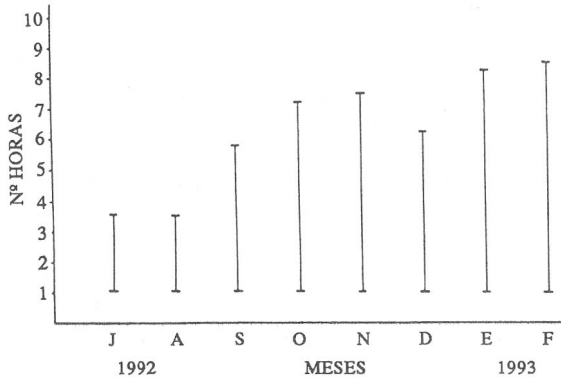


Fig 2: Duración en horas de los episodios en que se sobrepasó la nonna horaria de 82 ppb en el Campus San Joaquín, entre julio de 1992 y febrero de 1993.

minutos en febrero; se sobrepasan las 8 horas también en enero; y en octubre y noviembre hay dos episodios de 7 horas consecutivas. En la zona céntrica, en cambio, las mayores duraciones se encuentran en el mes de septiembre, las que se desarrollan sobre las dos horas, siendo la máxima de 3 horas y media.

d) Los valores máximos de presencia de ozono:

En el Campus, el día 15 de enero de 1993 se registró la mayor concentración de ozono; se tuvo un episodio que comenzó a las 10.15 con 81,8 ppb Y finalizó a las 13.30; hubo períodos de quince minutos en que las concentraciones llegaron en promedio a 161,4 ppb. En ese mismo mes, el día 30, entre las 11.00 y las 14.00 hubo un evento que comenzó con 83,5 ppb y durante esas tres horas los niveles se mantuvieron siempre sobre ese alto rango, llegando a 155,80 ppb de ozono. En el centro, los valores mayores son 135 en septiembre y 133 en octubre, dos eventos tienen máximos de 120 ppb, y el resto de los días en que se sobrepasa la norma se encuentran valores próximos a los 100 ppb.

Al analizar los valores de excedencia se constata una gran dispersión de las cifras mayores, de allí que no sea posible encontrar un patrón que permita caracterizar este aspecto o definir y jerarquizar las causas de este comportamiento sin un análisis estadístico más acabado, o con tan corta serie de datos. Cabe recordar que la insolación está influida fuertemente por la presencia de nubes y esto afecta las reacciones fotoquímicas. En todo caso, coincide con la gran variabilidad que presentan los niveles de *smog* tanto en las concentraciones de partículas como de gases nocivos durante el año, e incluso durante una misma estación, como por ejemplo el invierno.

e) Distribución horaria de los períodos en que se sobrepasa la norma de 82 ppb:

Debido al aumento de la radiación a medida que se aproxima el mediodía, los valores de concentración de ozono durante los períodos en que se sobrepasó la norma se encuentran a partir de las 10.00 y típicamente comienzan a disminuir a las 14.00. Sin embargo, hay algunos días excepcionales en que los eventos fueron muy largos, sobrepasándose las 16.00 horas, e incluso los dos días que presentaron los eventos más prolongados llegaron hasta las 18.30 horas y 19.30. El único día en que se sobrepasó la norma en el Campus en julio fue en un evento que culminó entre las 18.00 y las 21.30, fenómeno difícil de explicar. Sin embargo, cabe recordar que las altas concentraciones de ozono en una zona de la ciudad no necesariamente serán distribuidas en forma homogénea en ella, sino que, por ejemplo, pueden haber plumas de ozono que resultan de las plumas de las emisiones de una fuente particular. Estas plumas pueden ser muy angostas, localizadas, y pueden durar un corto tiempo.

Cabe hacer presente que al comparar la distribución horaria entre ambos lugares muestreados se constata que siempre el nivel de los 82 ppb fue registrado primero en el instrumento del Campus, existiendo una a dos horas de diferencia con el de la Embajada.

5. CONCLUSIONES

Se constata una alta diferencia de concentración de ozono de superficie entre el sector Centro Cívico de Santiago y el área del Campus San Joaquín de la Pontificia Universidad Católica de Chile. En el primero se sobrepasa la norma sólo un 7,5% del período observado, mientras en el segundo más de un 40% de los días mostró altos índices. Se debe tomar en cuenta que el tiempo registrado comprende las estaciones de primavera y verano que son las que más problemas de ozono de superficie presentan. En efecto, a partir de septiembre se observa un incremento de los niveles de concentración de ozono que corresponde a la tendencia normal que se rige por el incremento de radiación solar hacia el solsticio de verano (diciembre).

Se observa un comportamiento errático en cuanto a los máximos valores de concentración de ozono de superficie, los que se pueden observar en los distintos meses del año; en cambio, se visualiza un claro incremento del número de horas en que persisten los fenómenos que sobrepasan la norma de 82 ppb, comenzando en julio con duraciones máximas de tres horas y media, hasta llegar a

enero y febrero con más de ocho horas de altos valores en un día.

En el Campus el mes que presenta el mayor número de días consecutivos en que sobrepasa la norma es enero de 1993; en cambio, en el centro, es el mes de septiembre el que presenta el récord. S610 en dos oportunidades los días en que se sobrepasa la norma en la Embajada no sucede en el Campus San Joaquín, en el resto del período la coincidencia es perfecta obviamente haciendo la salvedad del menor número de días en que se presentan los altos niveles de ozono.

Las causas de la desigual distribución temporal de la concentración de ozono se encuentran principalmente en el comportamiento de la radiación solar, ya que los aumentos son sensibles hacia el solsticio de verano, y la disminución es notoria a partir del otoño. Sin embargo, es difícil aventurar explicaciones categóricas al momento de analizar las diferencias espaciales del fenómeno, las que se explican a la luz de una serie de factores geográficos de orden natural y también de comportamiento de la población y de sus actividades.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro particular agradecimiento al señor Embajador de Canadá en Chile, señor Michael Mace, quien, además de brindar todo su apoyo y entusiasmo, accedió a prestar un lugar en sus dependencias personales para la instalación del instrumento Analizador de Ozono TECa. Al señor Frank Arsenault, de la Embajada de Canadá, quien se preocupó personalmente de la mantención y operación de los instrumentos; junto a ellos, a todo el personal de la Embajada que colaboró con los memoristas del Instituto de Geografía y al éxito de la investigación. Asimismo, al equipo técnico del Servicio Atmosférico Ambiental que preparó y

calibró los instrumentos y analizó la data de control, le expresamos nuestro más sincero agradecimiento por esta colaboración; y a Gustavo Bahamondes, quien opera los instrumentos en la actualidad.

BIBLIOGRAFIA

- ASHMORE, M.; BELL, N. YRUITER, J. 1985: The role of ozone in forest damage in West Germany, *Ambio*, vol. 14, N° 2.
- BUTLER, J.D., 1979: *Air Pollution Chemistry*, Academic Press, London, pp. 408.
- COMTOIS, P. y SCHEMENAUER, P.: Tree pollen viability in areas subject to high pollutant deposition, *logia* 7, 144-151.
- ERRAZURIZ, A.M., CASTRO, C. y CERECEDA, P. 1993: *Medioambiente, una creación de nuestro tiempo*, Edil. Pontificia Universidad Católica de Chile, cap. IV, Teleduc - Santiago.
- KAMARI, J.; AMANN, M.; BRODIN, Y.; CHADWICK, J.; HENRIKSEN, A.; HETTELINGH, J.P.; KYULENSTIERNA, I.; POSCH, M. and SVERDRUP, H. 1992: The use of critical loads for the assessment of future alternatives to acidification, *Ambio*, vol. 21 N° 5.
- INTENDENCIA R.M. 1990: Desarrollo de un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos. Informe final. Santiago, Chile. Estudios específicos de descontaminación ambiental. Préstamo B.I.D. 469/0c-CH, Santiago, Chile.
- ROJAS, C.; ARTAXO, P. y VAN GRIEKEN, R. 1990: Aerosols in Santiago de Chile: A study using receptor modeling with x-ray fluorescence and single particle analysis. *Atmospheric Environment* vol. 24 B, N° 2, pp. 227-241.
- SILLO, C. y USSR, E. 1982: Suspended matter in urban air of Santiago *Proceedings Fifth International Clean Air Conference*, Buenos Aires, Argentina.
- SCHEMENAUER, R.S. y ANLAUF, K.G. 1987: Geographic variation of ozone concentrations at high and low elevation rural sites, Quebec, North American Oxidant Symposium, 25-27 February, Quebec City.
- TRIER, A. y SILVA, C. 1987: Inhalable urban atmospheric particulate matter in a semi-arid climate: the case of Santiago Chile. *Atmospheric Environment* 21, 977-983.