

Contaminación atmosférica en Buenos Aires originada por quema de biomasa

>> Laura E. Venegas y Nicolás A. Mazzeo

RESUMEN

Entre el 17 y el 19 de abril de 2008, la atmósfera de Buenos Aires fue impactada por contaminantes procedentes de la quema de pastizales en una extensa zona ubicada aproximadamente a 200 km al nor-noroeste de la ciudad. Se analizan los datos de calidad de aire (monóxido de carbono (CO) y material particulado total (MPT)) y las condiciones meteorológicas del período de ese evento. El viento del sector NW-N determinó un aumento de las concentraciones de CO y MPT en la ciudad. El mayor valor horario de CO fue 16,8 ppm. La concentración media de CO (tiempo de promedio: 8 h) alcanzó 11,6 ppm, superando el estándar de calidad del aire (9 ppm) durante el 29,2 % del tiempo entre el 17/04/08-19/04/08. El mayor valor horario registrado de la concentración de MPT fue 2,3 mg/m³. Se verificó una relación directa entre la concentración de MPT y la reducción de la visibilidad en la zona. La condición meteorológica predominante se caracterizó por la presencia de un sistema de alta presión en el área. La altura de la capa de mezcla inferior a 1.500 m y el viento débil (generalmente inferior a 4 m/s) dieron origen a índices de ventilación horarios que no superaron los 5.740 m²/s durante el evento.

INTRODUCCIÓN

La quema de biomasa es una práctica común en diferentes regiones del mundo. Constituye un fenómeno estacional que fue estudiado por diferentes autores (Crutzen y Andreae, 1990; Kirchhoff y Rasmussen, 1990; Lacaux y otros, 1995; Andreae y otros, 1996; Lindesay y otros, 1996; Blake y otros, 1996; Boian y Kirchhoff, 2004; Ward y otros, 2006; Chung y Kim, 2008; Langmann y otros, 2009).

La quema de biomasa genera contaminación atmosférica que impacta sobre los ecosistemas y la salud y seguridad de la población. Los contaminantes emitidos por esas quemas suelen ser dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nítrico (NO), monóxido de carbono (CO) óxidos de nitró-

geno (NO_x) diferentes tipos de hidrocarburos y material particulado (que puede estar compuesto por metales producidos por el calentamiento de la vegetación y el suelo) (Blake y otros, 1996, Andreae y otros, 1996). Estos contaminantes pueden afectar áreas cercanas y distantes de los focos de emisión. Sus efectos sobre las personas varían desde irritación de ojos, fosas nasales y piel y dificultades respiratorias ocasionadas por los gases y el material particulado emitidos durante los incendios, hasta daños en plantas, animales y propiedades (Galanter y otros, 2000).

La quema de biomasa comprende el incendio de vegetación viva o muerta, incluyendo pastizales, bosques y residuos agrícolas. Generalmente, se lleva a cabo con el objeto de despejar tierras y convertirlas en aptas para usos agrícola-ganaderos. El proceso de la quema de biomasa mediante incendios no se encuentra restringido a un área geográfica, sino que se produce en diferentes partes del planeta. Algunos de estos incendios son naturales. Sin embargo, la mayoría es el resultado de acciones humanas deliberadas.

En el centro-sur de Sudamérica, los incendios están marcadamente vinculados con la conversión de bosques en pastizales. Estos últimos años, se incrementaron debido a la mayor demanda mundial de la soja y al aumento de su precio en el mercado internacional. La conversión de las tierras a la producción se realiza utilizando escasos conocimientos sobre el funcionamiento de los ecosistemas naturales.

La quema de biomasa se relaciona con la época seca de cada región. En el norte de Argentina, Bolivia, Paraguay y la Región Amazónica (Brasil) las quemas se producen, generalmente, entre julio y noviembre. Aunque algunas de estas quemas pueden ser de pastizales, matorrales o residuos agrícolas, una gran parte se efectúa para desmonte o deforestación.

En el nordeste argentino, sobre una superficie de bosques nativos calculada en más de 22 millones de hectáreas, 7 millones se encuentran en estado avanzado de agriculturización.

El pastizal natural está sujeto a múltiples influencias externas que determinan su composición actual y futura. El valor forrajero de un pastizal se relaciona directamente con las especies componentes y su abundancia. El fuego intencional es la práctica más antigua utilizada por el hombre en sus intentos de eliminar el material remanente de baja calidad de la vegetación, antes de pastorear el ganado o de estimular el rebrote tierno. Entre las razones para quemar

> Palabras clave

Calidad del aire, episodio de contaminación atmosférica, material particulado, monóxido de carbono, quema de biomasa

la vegetación se pueden citar: a) controlar y suprimir arbus-tos no deseables, b) impedir la invasión de plantas de poca utilidad, c) incrementar la producción de pasto, d) mejorar la palatabilidad del forraje al eliminar el material viejo, e) mejorar la distribución de los animales, quemando pastizales de zonas poco accesibles, f) mejorar el acceso de los animales a zonas con matorrales cerrados, g) adelantar el rebrote de las plantas forrajeras, h) rejuvenecer las especies forrajeras leñosas, i) reducir el peligro de un fuego mucho más intenso al eliminar el mantillo y el material seco inútil y j) preparar el suelo para una siembra.

En la zona de incendios del Delta del Paraná, ocurridos en los meses de abril de 2008, existen ríos importantes y cursos de agua que, en cierta época del año, se secan mejorando el acceso a las islas. En la región crecen pastos nativos de valor forrajero que se destinan a la cría de ganado de muy buena calidad. Entre el 17 y el 19 de abril de 2008, la atmósfera de la ciudad de Buenos Aires fue alterada (**Figura 1**) por contaminantes procedentes de la quema de pastizales que se efectuó en una zona del Delta del Paraná ubicada, aproximadamente, entre 60 y 200 km de distancia al nor-noroeste (NNW) de la ciudad de Buenos Aires (**Figura 2**).



Figura 1. Vista de un sector de la ciudad el 18 de abril de 2008

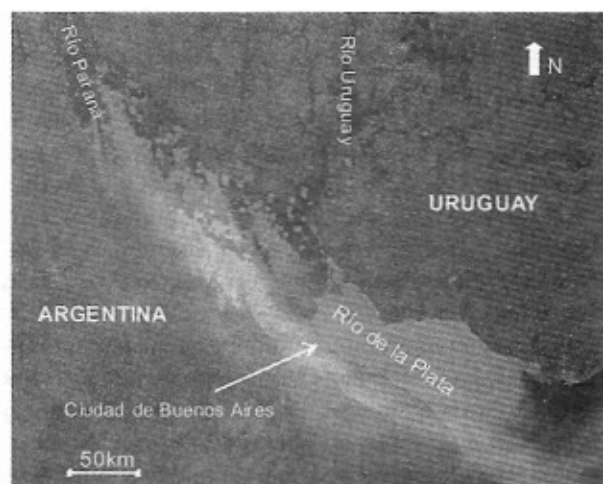


Figura 2. Imagen satelital del 18 de abril de 2008. Los círculos indican la ubicación de los focos de incendio. Fuente: MODIS/NASA.

El resultado de este episodio fue la contaminación atmosférica más importante que impactó en la ciudad de Buenos Aires y sus alrededores. En este trabajo se analizan los datos de concentraciones en aire de monóxido de carbono y material particulado total, medidos a nivel del suelo en el área urbana y de factores meteorológicos correspondientes al período de ese episodio.

EL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de quema de pastizales

Durante la semana comprendida entre el 15 y el 22 de abril de 2008, se desarrollaron numerosos focos de incendio que abarcaron un área de aproximadamente 70.000 ha localizada en el amplio Delta que forma el Río Paraná en su desembocadura en el Río de la Plata (**Figura 2**). El Río Paraná es el segundo curso de agua superficial, luego del Amazonas, con mayor longitud en Sudamérica. Nace en el sur del Brasil por la confluencia de los Ríos Grande y Paranaíba. Fluye hacia el sur muy encajonado y caracterizado por cataratas y rápidos como Iguazú, Guairá y Apipé. En el tramo argentino bordea la Mesopotamia, su cauce se ensancha, muchas veces se divide en brazos y presenta una disminución de su velocidad. Su caudal medio es 17.000 m³/s y se divide en numerosos brazos antes de desembocar en el Río de la Plata, formando el Delta del Paraná.

El Delta es el principal humedal de la Argentina y el segundo más importante de Sudamérica, luego del Amazonas. Está ubicado al sudoeste de la Provincia de Entre Ríos y al noreste de la Provincia de Buenos Aires. Tiene una superficie de 14.000 km², 320 km de longitud y un ancho comprendido entre 18 km y más de 60 km. Esta región está formada por un mosaico de montes, selvas ribereñas, pajonales y lagunas ubicadas entre ríos, riachos y arroyos. Debido a las características del clima local, en este humedal existen especies y formaciones subtropicales de vegetación y de animales que son transportados por las aguas de los ríos Paraná y Uruguay. Los sedimentos que trasladan estos ríos originan un continuo incremento del área del Delta. La región está conformada por ecosistemas acuáticos, bosques y pastizales. En el Delta se consignan 643 tipos de flora. De ellos, 77 son especies exclusivas de la zona. También se verifican 430 registros faunísticos, de los cuales 36 son exclusivos de la región.

La zona en la que ocurrió la mayoría de los incendios se encuentra ubicada en las islas Lechiguanas (situadas en el sur de la Provincia de Entre Ríos) Talavera, del Ibicuy y en el Delta del Paraná (al norte de la Provincia de Buenos Aires). Las islas del Delta se originan a partir de la acumulación de sedimentos provenientes de la Cuenca del Plata. Estos sedimentos posibilitan el estancamiento de troncos de árboles y de camalotes sobre los que se multiplican plantas elevando la altura del terreno sobre el nivel de la superficie del agua. La flora está compuesta por especies de origen subtropical, chaqueño, uruguayense y pampeano, que se desarrollan en las orillas y en el inte-

rior de las islas. En las orillas predominan colonias de juncos, espadañas y pajas bravas. Entre los árboles de la zona se destacan el sauce criollo, el laurel y el ceibo. Entre las plantas acuáticas, abundan las especies flotantes, como el camalote y la salvinia que cubren grandes espacios. La riqueza de la fauna está relacionada con la ubicación geográfica del humedal, que permite asimilar ejemplares diversos, especialmente procedentes del norte subtropical de los ríos Paraná y Uruguay.

Esta región tiene clima subtropical. El verano dura desde noviembre a marzo, con una temperatura media mensual de 20° C. El invierno, con temperatura media entre 10° C y 13° C, se puede prolongar por un máximo de cuatro meses, desde mayo a agosto. La precipitación media anual es aproximadamente 1.070 mm. La precipitación tiene una distribución bimodal con valores máximos en febrero-marzo y en octubre-noviembre y el mínimo en agosto. La humedad es alta durante todo el año, siendo algo mayor en invierno. La humedad relativa media anual es del 76 %. Los vientos más frecuentes son de sector NE-E. En diferentes épocas llega a la región el Pampero (viento fuerte del SW) y las sudestadas. En invierno se incrementa la ocurrencia de vientos del sudoeste.

La ciudad de Buenos Aires

La ciudad de Buenos Aires (34°35'S - 58°26'W) tiene una extensión de 203 km² y 3.058.309 habitantes. Está situada en la margen oeste del Río de la Plata. La ciudad está rodeada por el Gran Buenos Aires (24 distritos) que tiene una extensión de 3.627 km² y una población de 9.575.955 habitantes. El Área Metropolitana de Buenos Aires, constituida por la ciudad de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires, es considerada la tercera megaciudad de Latinoamérica, ubicándose luego de la ciudad de México y Sao Paulo. El terreno de la ciudad es llano con diferencias de altura inferiores a 30 m. El Río de la Plata es un estuario poco profundo, que abarca aproximadamente 35.000 km² de extensión. La longitud del estuario es de 320 m y su ancho varía entre 38 km y 230 km en las regiones superior e inferior, respectivamente. Frente a la ciudad, el ancho del río es cercano a los 42 km. El agua del Río de la Plata tiene una temperatura media que varía entre 12° C en invierno y 24° C en verano.

El clima de la planicie del Río de la Plata es templado. La ciudad es calurosa y húmeda desde diciembre a febrero, con una temperatura máxima media de 27° C. Las condiciones atmosféricas del otoño y de la primavera son variables, con temperaturas fluctuantes. Los meses de invierno son templados y húmedos, con una temperatura mínima media de 6° C. La temperatura media de la ciudad es 18° C y varía entre 15° C y 16° C en las áreas rurales circundantes. En la ciudad se presentan condiciones de niebla en invierno y las nevadas suelen ocurrir muy raramente. La precipitación anual varía entre 900 mm y 1.600 mm, influida por los vientos que transportan humedad desde el Océano Atlántico. Los vientos, generalmente son débiles a moderados y la frecuencia anual de calmas es del 4 %.

LOS CONTAMINANTES

Monóxido de carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas no irritante, incoloro, insípido y casi inodoro, que se produce durante la combustión incompleta de materia orgánica. Comparativamente, es causante del mayor número de envenenamientos químicos, ocasionando daños debido a que priva al cuerpo humano del oxígeno. Al inhalarlo, se une con facilidad a la hemoglobina de la sangre y desplaza al oxígeno del sitio de enlace. También, entorpece la liberación del oxígeno en los tejidos. El complejo formado por el monóxido de carbono y la sangre se denomina carboxihemoglobina (COHb). El porcentaje de COHb en la sangre es el índice más adecuado para determinar el grado de exposición de las personas al CO. El contenido medio de COHb en una persona no fumadora es del 0,5%, mientras que en un fumador es diez veces mayor. Los síntomas de envenenamiento ocasionado por el monóxido de carbono, incluyen dolor de cabeza, mareo, somnolencia y náusea. Una exposición grave puede ocasionar vómito, colapso, coma e incluso muerte, dependiendo del grado de carencia de oxígeno. Los órganos humanos más afectados son los que dependen del suministro constante de oxígeno: cerebro, corazón y durante la gestación, el feto. Las personas más susceptibles al envenenamiento por monóxido de carbono son las que padecen alteraciones cardiopulmonares, como los ancianos, quienes casi siempre tienen un mayor grado de estrechamiento de las arterias. Otros grupos sensibles son los fetos y los niños muy pequeños (quienes se encuentran en fases críticas del desarrollo cerebral y del sistema nervioso) individuos con bronquitis crónica o enfisema (quienes compensan la reducción del oxígeno en sangre mediante una respiración más rápida y profunda) y personas que sufren diversas alteraciones sanguíneas, como anemia. Investigaciones biomédicas recientes han determinado que una exposición a bajos niveles de monóxido de carbono, como suele ocurrir en aire urbano de mala calidad, provoca ataques de angina de pecho más frecuentes y prolongados en individuos que tienen afecciones cardíacas. Asimismo, ocasiona una disminución en el rendimiento laboral y deportivo y puede provocar infartos cuando se genera una reducción importante del aporte de oxígeno al corazón.

Los efectos sobre el sistema nervioso central originados por exposiciones moderadas al monóxido de carbono, incluyen reducciones en el estado de alerta, la percepción visual, la destreza manual, la capacidad de aprendizaje y la realización de actividades que requieren atención y concentración, como por ejemplo, conducir un automóvil.

Material particulado

Durante varios siglos, el material particulado en forma de humo emitido a causa de la quema de carbón, ha sido un problema de contaminación del aire, particularmente en Gran Bretaña. Es difícil generalizar acerca de las propiedades del material particulado porque comprende una gran variedad de sustancias emitidas por diferentes actividades.

Generalmente, se hace referencia a una clasificación de dos tamaños de partículas: finas y gruesas.

Las partículas finas tienden a ser emitidas desde fuentes de combustión y a generarse durante el transporte atmosférico de sustancias gaseosas. Por ejemplo, el dióxido de azufre, luego de emitirse, se puede transformar en partículas azufradas. Las partículas finas son, generalmente, más peligrosas que las grandes porque pueden entrar más profundamente en los pulmones, dañando los delicados tejidos involucrados en el intercambio de gases. El material particulado fino, también proporciona una mayor área relativa a su peso para que se puedan desarrollar reacciones químicas y adherir sustancias tóxicas (como los oligometales). Las partículas finas pueden permanecer en el aire durante semanas y meses, siendo transportadas a grandes distancias. Las partículas gruesas tienden a ser originadas en minas, construcciones, incendios naturales y polvo del suelo suspendido por el viento. Tienden a depositarse en la superficie del suelo no muy lejos de las fuentes de emisión.

Los niños son el grupo de la población más expuesto al material particulado debido a que desarrollan una gran parte de sus actividades físicas en la atmósfera exterior e inhalan partículas que pueden penetrar más profundamente en sus pulmones. Las exposiciones al material particulado son más altas en áreas urbanas y en las cercanías de las fuentes de emisión. Los niños que viven en zonas con altos niveles de contaminación por partículas padecen resfriados, tos y otros síntomas, más frecuentemente que los niños que habitan en zonas menos contaminadas. Los síntomas de enfermedades crónicas de obstrucción pulmonar están correlacionados con altos niveles de material particulado y los índices de muertes, fueron relacionados con la contaminación por partículas y sulfatos. Los efectos sobre la salud humana del material particulado incluyen la agudización de bronquitis en personas con afecciones respiratorias preexistentes. También se pueden producir cambios menores, pero significativos, en el funcionamiento pulmonar de los niños. Si los niveles de contaminación por material particulado son muy altos, pueden ocurrir muertes entre los ancianos y las personas que sufren males cardíacos y pulmonares preexistentes. Los asmáticos y las personas alérgicas reaccionan especialmente a las partículas compuestas por sulfatos. A los niveles actuales de contaminación del aire por material particulado existente en las áreas urbanas, se pueden incrementar la gravedad y la frecuencia de los síntomas en los seres humanos a medida que aumenta la concentración de las mismas. La exposición a largo plazo al material particulado, puede producir daños en los tejidos pulmonares, que contribuyan a enfermedades respiratorias crónicas, cáncer y a enfermedades y muertes prematuras.

Otro efecto de las partículas atmosféricas es la disminución y distorsión de la visibilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos observacionales

Los datos de calidad de aire utilizados en este trabajo fueron

determinados en la ciudad de Buenos Aires, por la Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la ciudad. Durante el episodio se midieron concentraciones horarias de monóxido de carbono y de material particulado total en suspensión en aire, a nivel del suelo. También se utilizaron datos meteorológicos observados en las estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional, Aeroparque Aero, localizada en el Aeroparque de la ciudad de Buenos Aires y Ezeiza Aero, ubicada en el Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini, situado en el partido de Ezeiza (Provincia de Buenos Aires) a 30 km de la ciudad.

Análisis y discusión

En la **Figura 3** se presenta la variación de los valores de la concentración horaria media de CO en aire a nivel del suelo, determinada en la ciudad de Buenos Aires durante los meses de setiembre, octubre y noviembre de 2007 y marzo de 2008 (promedio sin humo). Los valores observados durante los meses de diciembre de 2007, enero y febrero de 2008, no se incluyeron en el análisis, debido a que estos meses corresponden al período de vacaciones durante el cual se produce una disminución del número residentes y del transporte automotor que circula por la ciudad y por consiguiente, suele registrarse un menor deterioro de la calidad del aire urbano. En la **Figura 3** también se incluyen los valores de la concentración horaria media de CO en aire a nivel del suelo del mes de abril de 2008. Se observa que los valores horarios medios correspondientes al mes de abril de 2008, son mayores que los promedios correspondientes a los otros meses (setiembre, octubre y noviembre de 2007 y marzo de 2008). Esto indica que la atmósfera urbana tuvo, en abril del 2008, una mayor carga de CO que en los otros meses. El mayor valor horario medio de la concentración de CO en aire en el mes de abril (2,4 ppm) se presenta a las 09:00 h y a las 21:00 h (coincidente con los flujos vehiculares más altos en la ciudad) y el menor (1,0 ppm) a las 16:00 y 17:00 h. Los valores horarios medios la concentración en los cuatro meses restantes tienen un máximo (0,95 ppm) a las 22:00 h.

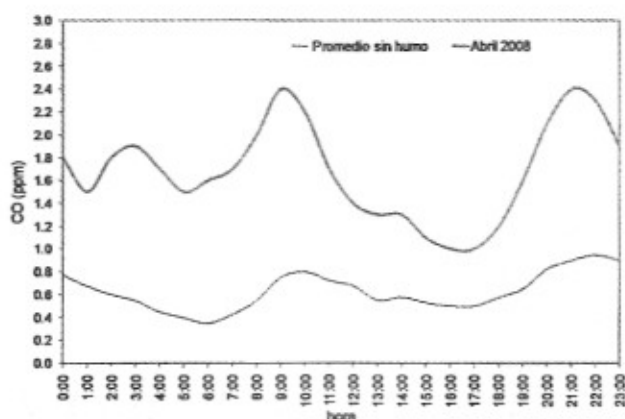


Figura 3. Variación de la concentración horaria media de CO en aire. Promedio sin humo: setiembre, octubre y noviembre 2007 y marzo 2008.

En la **Figura 4** se presenta la variación de la concentración media diaria de CO en aire a nivel del suelo, correspondiente a los meses de octubre y noviembre de 2007 y marzo, abril y mayo de 2008. Se destaca el valor relativamente alto (7,8 ppm) que se presenta el día 18 de abril.

En las **Figuras 5 y 6** se presentan los valores de las concentraciones medias (tiempo de promedio 1 hora y de promedio móvil 8 horas) de CO en aire a nivel del suelo, correspondientes al

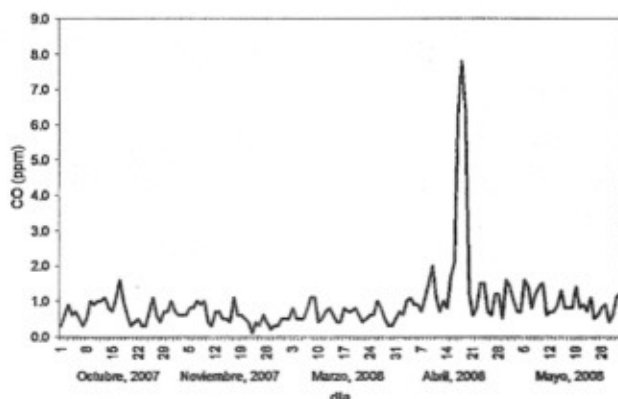


Figura 4. Variación de la concentración media diaria de CO en aire

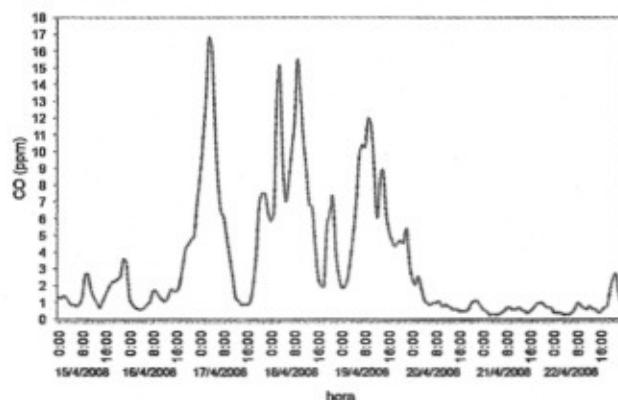


Figura 5. Variación de la concentración horaria de CO en aire. Período: 15/04/08 - 22/04/08

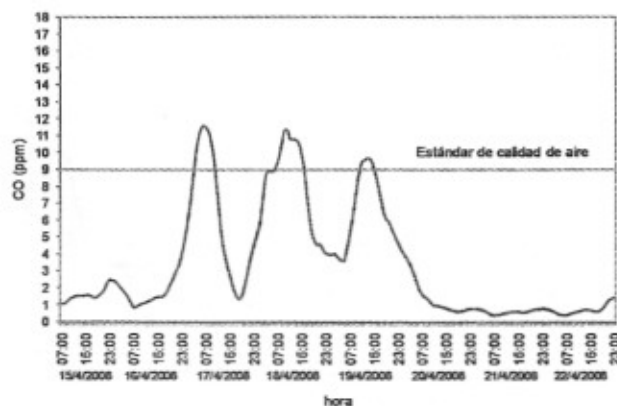


Figura 6. Variación de la concentración media (tiempo de promedio móvil: 8 horas). Período: 15/04/08-22/04/08. La hora indica el final del período de 8 horas

Tabla 1. Valores de la concentración media (tiempo de promedio móvil: 8 horas) de CO en aire

Fecha	Hora final del período de 8 h	Concentración media (ppm)
16-17 de abril	06:00 h	11,6
18 de abril	09:00 h	11,3
18 de abril	10:00 h	11,3
19 de abril	13:00 h	9,7

período del 15-22 de abril. A partir del 15 de abril, la concentración horaria de CO asciende, se mantiene en valores relativamente altos con algunas fluctuaciones hasta el 20 de abril, para luego descender. El mayor valor horario registrado el día 17/04/08 (03:00 h) fue 16,8 ppm, el del día 18/04/08 (09:00 h) fue 15,5 ppm y del 19/04/08 (09:00 h) fue 12,0 ppm (**Figura 5**). Los valores se mantuvieron por debajo del correspondiente estándar (35 ppm) de calidad de aire establecido para el CO por el Decreto 198/06 (Reglamentario de la Ley 1.365 de la ciudad de Buenos Aires). Los mayores valores de la concentración media (tiempo de promedio móvil: 8 horas) de CO en aire (**Figura 6**) obtenidos durante el período 15-22 de abril, se presentan en la **Tabla 1**.

Las excedencias del estándar de calidad de aire (9 ppm) para el CO, se verificaron el 29,2% (21 períodos de 8 horas) del período comprendido por los días 17, 18 y 19 de abril.

Las variaciones de las concentraciones medias de CO en aire para los diferentes tiempos de promedio considerados, reflejan el aumento de los valores que podría deberse a las emisiones originadas durante la quema de pastizales en la zona del Delta del Paraná. Las concentraciones medidas de CO en aire durante el período 15-22 de abril están constituidas, principalmente, por los aportes de las emisiones de los vehículos que circulan por las calles de la ciudad y por la contribución de las emisiones debidas a la quema. Para estimar los valores de la concentración de CO originada sólo por los aportes de la quema de pastizales, se procedió a restar de las concentraciones medidas el "aporte urbano" (CO_m) obtenido promediando las concentraciones medidas y registradas durante los meses "sin episodios" (setiembre, octubre y noviembre de 2007 y marzo de 2008). En la **Figura 7** se representa el valor del aporte relativo porcentual horario a las concentraciones horarias (CO) en aire medidas en la ciudad, durante el período 15-22 de abril de 2008, considerado procedente de los incendios de pastizales. Los aportes más altos respecto del total fueron: a) 97,8 % (17 de abril a las 04:00 h) b) 96,2 % (19 de abril a las 06:00 h) y c) 95,5 % (18 de abril a las 07:00 h).

Entre los días 17 y 19 de abril de 2008, el flujo del aire transportó los contaminantes emitidos desde los focos de incendios hacia el Área Metropolitana de Buenos Aires, con el impacto sobre los habitantes y la circulación del transporte automotor por las rutas. La condición meteorológica estuvo dominada por un centro de alta presión persistente ubicado sobre la Provincia de Buenos Aires (**Figura 8**).

En la **Figura 9** se presenta la variación horaria de la concen-

tración de $(CO-CO_m)$ en aire en el período comprendido entre el 15 y el 22 de abril de 2008, correspondiente al aporte generado por la quema de pastizales. En la parte superior de esta Figura se incluyen los vectores representativos de los valores horarios del viento y en la parte inferior de la misma, se presenta la variación horaria de la clase de estabilidad atmosférica (Turner, 1964) para el período comprendido entre el 15 y el 22 de abril. En el período 17-19 de abril, prevalece la clase de estabilidad 4 (neutra) con una frecuencia del 94,5 % del tiempo. El resto del tiempo (5,5 %) corresponde a la suma de la clase 3 (levemente inestable) las clases 5 (levemente estable) y 6 (moderadamente estable). En las horas que se encuentran fuera de este período, se presenta la ocurrencia de una cantidad mayor de horas con clases estable e inestable. Por otra parte, el viento transportó los contaminantes emitidos en la quema de biomasa hacia el área de la Ciudad de Buenos Aires, cuando su dirección era del sector NW-N. Entre las 00:00 h del 16 de abril y las 16:00 h del 19 de abril, el viento procedió de ese sector. Debe hacerse notar que entre las 09:00 h del 17 de abril y las 00:00 h del 18 de abril, se presentó un período con direcciones de viento variables y calma. Las concentraciones de CO en aire a nivel del suelo originadas por las emisiones de la quema de pastizales

comenzaron a aumentar a partir de las 23:00 h del 16/04/08. Teniendo en cuenta la localización de los focos de incendio respecto de la ciudad de Buenos Aires, el humo llegó al área urbana aproximadamente 24 horas después del cambio de la dirección del viento de 50° a 360° , ocurrido entre las 23:00 h del día 15 y las 00:00 h del 16 de abril. La persistencia del viento proveniente del sector NW-N determinó el importante incremento de la concentración horaria de CO, que llegó a 16,8 ppm a las 03:00 del día 17 de abril. Posteriormente, entre la 09:00 h de ese día y las 00:00 h del 18 de abril, la velocidad del viento fue baja y la dirección variable o calma y se observó una disminución del aporte de la quema.

En el período comprendido entre el 17/04/08 y el 19/04/08, la dirección del viento fue del sector NW-N durante el 84,4 % del tiempo con un 11 % de calma (Figura 10). En este período, la dirección del viento fue del sector NW-N durante lapsos individuales de 37 y 9 horas (51,4 % y 12,5 % del período, respectivamente) continuas. El intervalo más largo de persistencia (51,4 %) se extendió entre la 01:00 h del 18 de abril y las 16:00 h del 19 de abril.

En la Figura 11 se presenta la rosa de velocidades medias del viento para el período 17/04/08-19/04/08. Se observa que los vientos del sector NW-N tienen una velocidad media comprendida entre 1,3 y 3,5 m/s. Teniendo en cuenta esos valores y considerando que los contaminantes generados por los incendios recorrieron distancias comprendidas entre 60 y 200 km, requirieron entre 5 y 42 horas para su arribo a la ciudad.

En la Figura 12 se encuentra graficada la rosa de contaminación media para el monóxido de carbono generado en la quema de los pastizales (valores medios de $[CO-CO_m]$ por dirección). Se observa que los mayores aportes a las concentraciones medias se producen cuando el viento procede de las direcciones NW y NNW y los valores medios para estas direcciones son superiores a 8 ppm.

Otro factor que también pudo haber influido en la disminución de la concentración de CO observada durante la semana del 15/04/08 al 22/04/08, fue el aumento del valor del

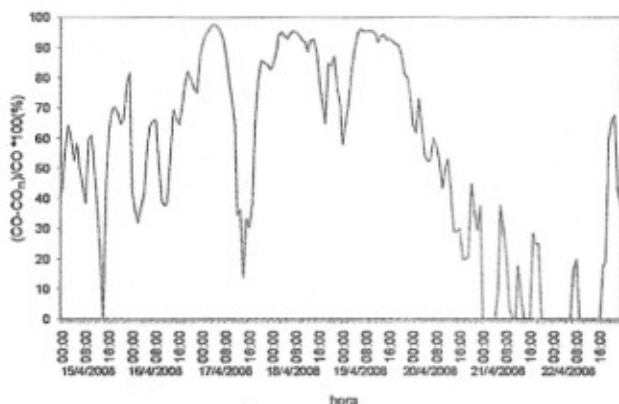


Figura 7. Aporte relativo porcentual de la quema de pastizales a la concentración horaria de CO en aire. Período: 15/04/08 - 22/04/08

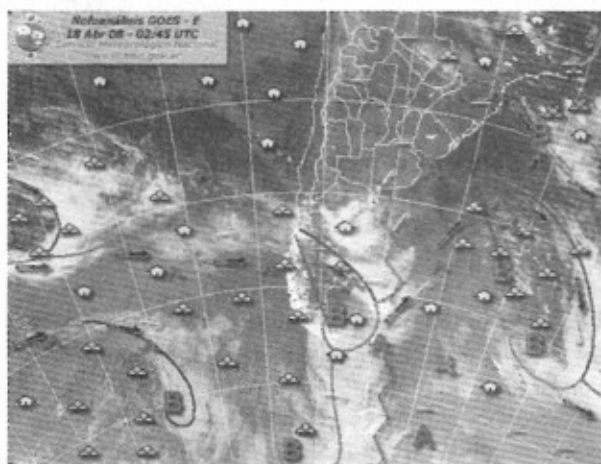


Figura 8. Nefoanálisis. 18 de abril de 2008, 02:45 UTC. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

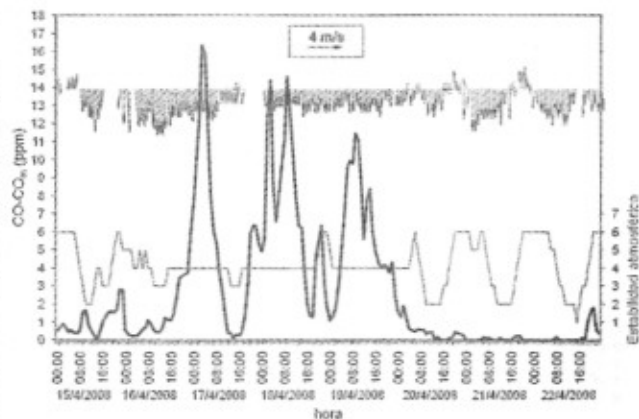


Figura 9. Variación horaria de la concentración $(CO-CO_m)$ en aire correspondiente al aporte generado por la quema de pastizales (—) del vector viento y de la clase de estabilidad atmosférica (—) Período: 15/04/08 - 22/04/08

índice horario de ventilación. El índice de ventilación se estimó como el producto entre la altura de la capa de mezcla atmosférica y la velocidad del viento observada a 10 m de altura. En la **Figura 13** se representan los valores horarios de la concentración de CO en aire afectada por la quema de pastizales y del índice de ventilación. Se puede observar una relación inversa entre estos dos parámetros.

En la **Figura 14** se presenta el diagrama de dispersión entre los valores horarios de la concentración de CO en aire a nivel del suelo y del índice de ventilación atmosférica. Se observa que, en general, la concentración disminuye con el aumento del índice de ventilación.

En la **Figura 15** se presentan las frecuencias relativas porcentuales acumuladas de ocurrencia de superación de las concentraciones horarias de fondo urbano de CO en aire du-

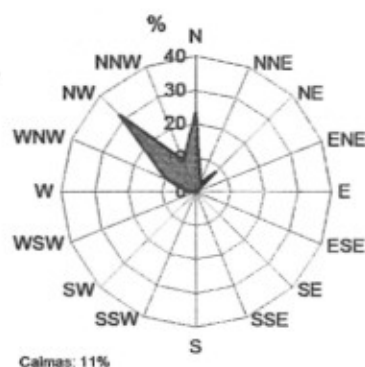


Figura 10. Rosa de viento en la ciudad de Buenos Aires. Período: 17/04/08-19/04/08

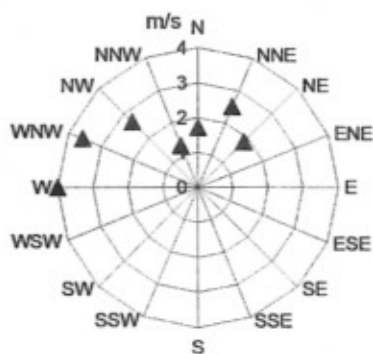


Figura 11. Rosa de las velocidades medias del viento en la ciudad de Buenos Aires. Período: 17/04/08-19/04/08

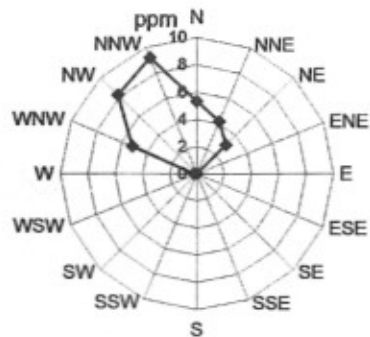


Figura 12. Rosa de contaminación media de $(CO-CO_m)$ en la ciudad de Buenos Aires. Período: 17/04/08-19/04/08

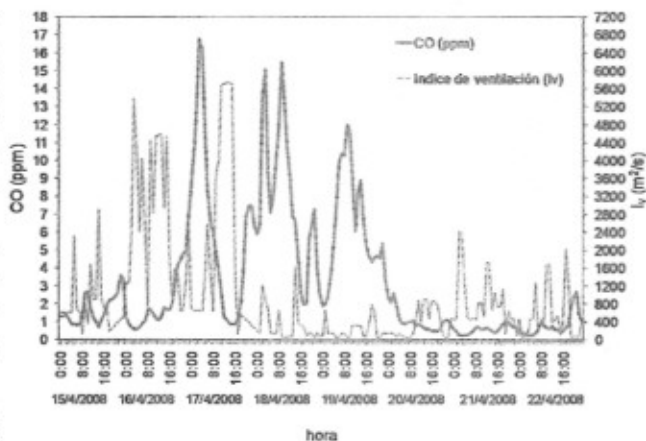


Figura 13. Variación horaria de la concentración de CO en aire (—) y del índice de ventilación atmosférica (I_v) (---). Período: 15/04/08-22/04/08

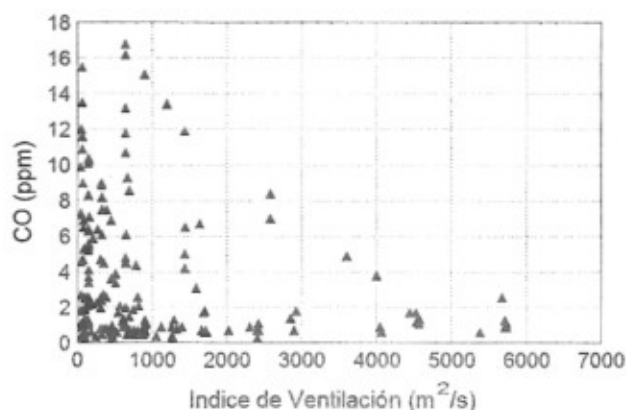


Figura 14. Diagrama de dispersión entre los valores horarios de la concentración de CO en aire y del índice de ventilación atmosférica. Período: 15/04/08-22/04/08

rante la semana comprendida entre el 15/04/08 y el 22/04/08. Se observa que el 40 % del tiempo, el incremento de la concentración fue inferior o igual a la concentración media de fondo $[(CO-CO_m)/CO_m=1]$ correspondiente a esa hora. La mayor excedencia fue de 45 veces la concentración de fondo, que ocurrió una vez durante el período: a las 04:00 h del día 17 de abril. Por otra parte, durante el 39 % de las horas del período, la concentración de CO en aire generado por la quema de pastizales $(CO-CO_m)$ fue igual o mayor que el doble de la concentración urbana de fondo $[(CO-CO_m)/CO_m > 2]$.

Durante el episodio de contaminación atmosférica que se está analizando, se efectuaron mediciones discontinuas de las concentraciones horarias de material particulado total (MPT) en suspensión en aire en la ciudad de Buenos Aires. Para estimar valores medios horarios de la concentración de fondo urbano del material particulado en suspensión (MPT_m) se aplicó el modelo de dispersión atmosférica urbana DAUMOD (Mazzeo y Venegas, 1991, Venegas y Mazzeo, 2006). La diferencia $(MPT-MPT_m)$ entre los valores horarios medidos y estimados mediante la aplicación del modelo de dispersión atmosférica, permitió obtener una evalua-

ción de las concentraciones de material particulado total en suspensión en aire aportado por la quema de pastizales. Debido a que durante el episodio, el monóxido de carbono y el material particulado que afectaban la calidad del aire de la ciudad, principalmente, provenían de la misma fuente de emisión ubicada fuera del área urbana: la quema de pastizales, se procedió a realizar una correlación entre los valores horarios de las concentraciones de $(CO-CO_m)$ y $(MPT-MPT_m)$. En la **Figura 16** se presenta el gráfico de dispersión de los pares de valores de $(C_{co}=CO-CO_m)$ y $(C_{pm}=MPT-MPT_m)$ correspondientes a los aportes de los incendios de pastizales. Se obtuvo la siguiente ecuación de ajuste $C_{pm}(\text{mg}/\text{m}^3)=0,1309564 C_{co}(\text{ppm})$ (con $R=0,9594$).

Mediante esta relación, se estimaron los valores horarios del incremento de la concentración de material particulado total en suspensión en aire (C_{pm}) debido al aporte proveniente de los incendios, que se presentan en la **Figura 17**. En la **Figura 18** se incluyen los valores estimados y observados de la concentración horaria de MPT en la ciudad.

En la **Figura 19** se encuentran los valores medios diarios de

la concentración de material particulado total en aire obtenidos. El mayor valor diario de la concentración de material particulado total en aire fue $1,05 \text{ mg}/\text{m}^3$. Se observa que durante el 75 % de los días comprendidos entre el 15 y el 22 de abril, las concentraciones medias diarias de MPT en aire superaron el estándar (tiempo de promedio: 24 horas) de calidad de aire establecido para el PM-10 ($0,15 \text{ mg}/\text{m}^3$) por el Decreto 198/06 de la ciudad de Buenos Aires. Para realizar esta comparación, se consideró que en el Área Metropolitana de Buenos Aires, el MPT que provenía principalmente de los focos de incendios localizados en el Delta del Paraná, está compuesto en su gran parte por partículas finas. Esta suposición se basa en los resultados del espesor óptico de aerosoles (AOT) en 500 nm medidos en el Área Metropolitana de Buenos Aires por el Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP-BA) durante el mes de abril de 2008. En la **Figura 20** se presentan las variaciones del AOT (500 nm) correspondientes a las partículas finas (fine) gruesas (coarse) y totales. Estos resultados confirman la suposición realizada respecto del tamaño de las partículas determinadas.

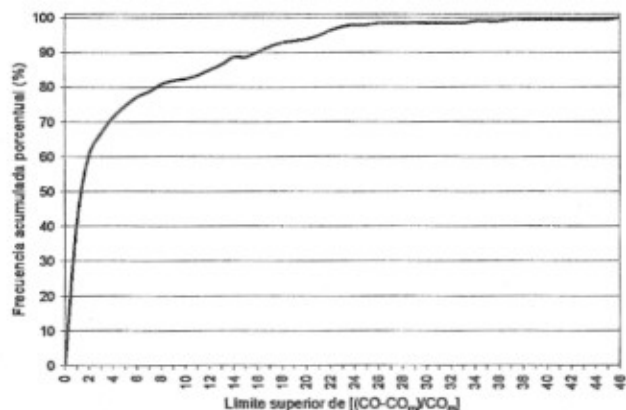


Figura 15. Frecuencias relativas porcentuales acumuladas de ocurrencia de superación de las concentraciones medias de fondo urbano del CO. Período 15/04/08 al 22/04/08

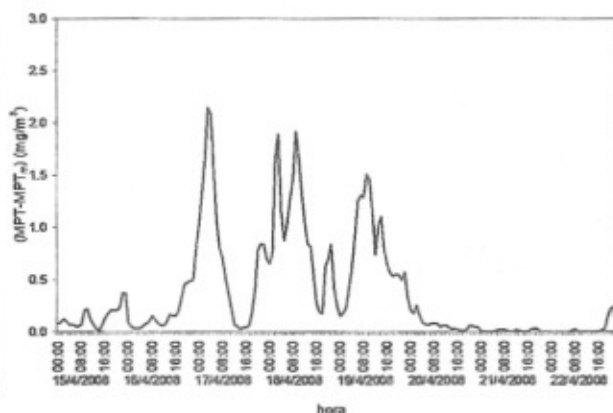


Figura 17. Variación de la concentración de material particulado total $(MPT-MPT_m)$ en aire debido a la quema de los pastizales, obtenida mediante la relación presentada en la **Figura 16**

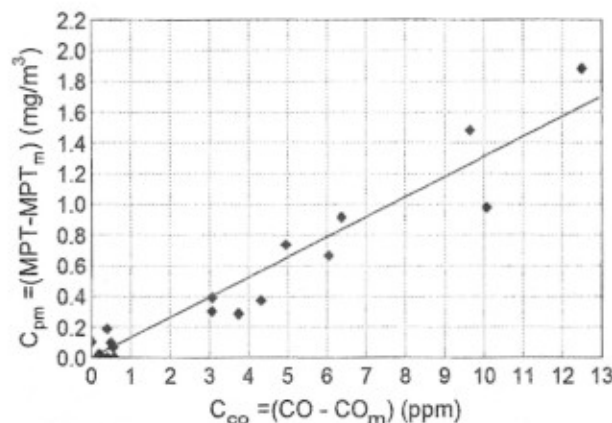


Figura 16. Relación entre $C_{pm}(\text{mg}/\text{m}^3)=(MPT-MPT_m)$ y $C_{co}(\text{ppm})=(CO-CO_m)$ debidas al aporte de la quema de pastizales. (—) $C_{pm}(\text{mg}/\text{m}^3)=0,1309564 C_{co}(\text{ppm})$ (coeficiente de correlación=0,9594)

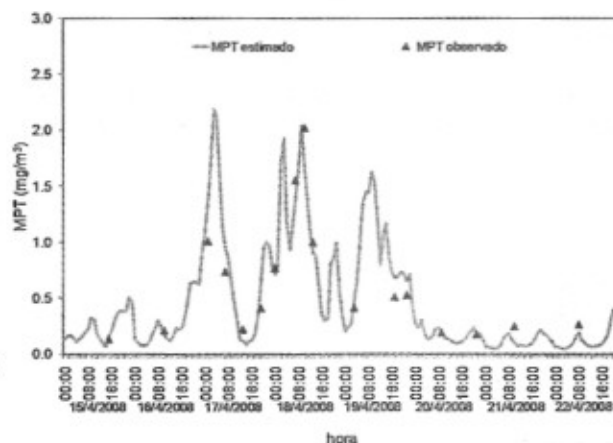


Figura 18. Variación de la concentración horaria de material particulado total (MPT) en aire en la ciudad estimada y observada. Período: 15/04/08 - 22/04/08

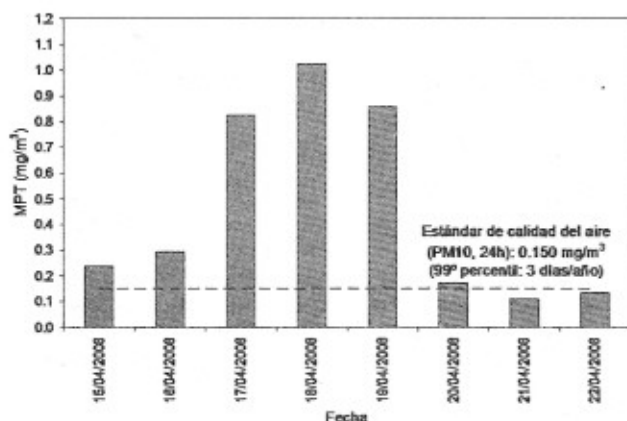


Figura 19. Variación de la concentración diaria de material particulado total (MPT) en aire en la ciudad. Período: 15/04/08-22/04/08.

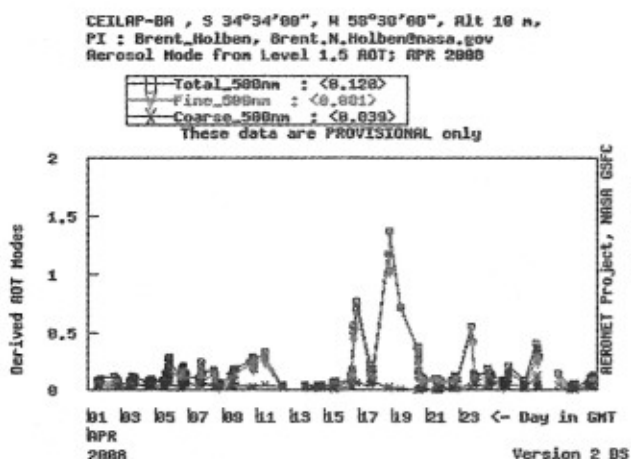


Figura 20. Variación del espesor óptico de aerosoles [AOT (500 nm)] correspondiente a las partículas finas (fine) gruesas (coarse) y total. Fuente: AERONET/NASA, CEILAP-BA

Efectos y consecuencias

El humo en el aire puede producir, entre otros efectos, irritación en los ojos, fosas nasales y aparato respiratorio superior de las personas expuestas. Como medida preventiva, el Gobierno de la ciudad de Buenos Aires determinó, durante vidades físicas en las escuelas. El 17 de abril se dispuso el alerta amarilla en algunos hospitales urbanos: oftalmológicos, pediátricos y de rehabilitación física. El número de personas atendidas en los centros de atención aumentó considerablemente en relación con la cantidad atendida en condiciones "sin episodio". Las personas asistidas, en su mayoría, presentaron dificultades respiratorias, mareos, cefaleas e irritaciones oculares. Entre otras molestias que padeció la población de la ciudad, es posible mencionar el olor persistente y penetrante a pasto quemado.

Por otra parte, el humo redujo notablemente la visibilidad. La visibilidad puede ser definida para su observación a) diurna: como la máxima distancia horizontal a la que los objetos salientes pueden ser distinguidos o reconocidos y b) nocturna:

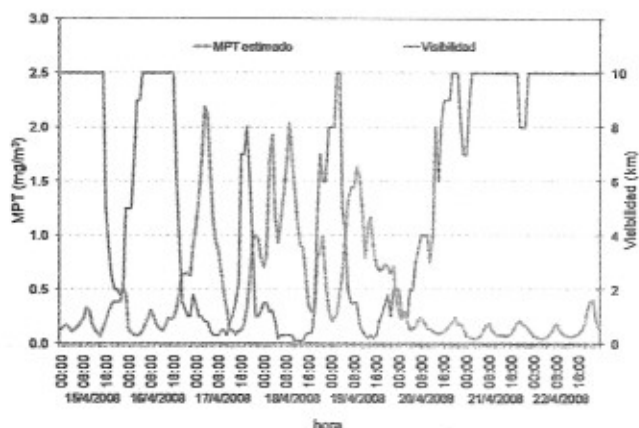


Figura 21. Variación horaria de la concentración de material particulado total en aire estimada (—) y de la visibilidad (—) en la ciudad de Buenos Aires. Período: 15/04/08-22/04/08

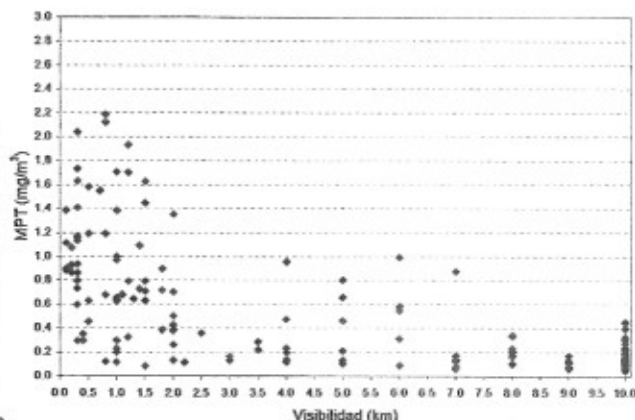


Figura 22. Diagrama de dispersión entre los valores horarios de la concentración de MPT en aire y la visibilidad en la ciudad de Buenos Aires. Período: 15/04/08-22/04/08

como la mayor distancia a la que puede ser visualizada una fuente de luz conocida y moderadamente intensa (preferiblemente desenfocada). Durante este "episodio" de contaminación atmosférica, debido a la disminución de la visibilidad, se produjeron diferentes accidentes automovilísticos en algunas rutas cercanas a la zona de la quema de pastizales. Como consecuencia de estos choques, hubo ocho muertos y media centena de heridos. Las autoridades nacionales declararon la emergencia vial en las zonas afectadas por el humo. En las rutas más afectadas se suspendió el tránsito automotor. En la Terminal de Ómnibus de Retiro, se interrumpió la partida de los vehículos de larga distancia que circulan por las rutas afectadas. También, se cancelaron las operaciones de despegue y aterrizaje de aviones en el Aeroparque Jorge Newbery. En la **Figura 21** se presenta la marcha de la visibilidad horaria (visibilidad máxima: 10 km) conjuntamente con los valores de concentración de MPT en aire estimados. En general, existe una relación inversa entre la concentración de material particulado total en aire y la visibilidad (**Figura 22**).

CONCLUSIONES

- A partir del análisis de la información disponible en relación con el episodio (ocurrido entre el 17 y el 19 de abril de 2008) de mayor impacto de contaminación atmosférica que se ha presentado hasta el momento en la ciudad de Buenos Aires, se pueden establecer las siguientes conclusiones:
- Las principales emisiones de monóxido de carbono y de material particulado total, provinieron de la quema de pastizales que tuvo lugar en una zona ubicada en el Delta del Paraná, a una distancia entre 60 y 200km al N-NW de la ciudad.
- La mayor concentración horaria de CO en aire determinada en el área urbana, fue de 16,8 ppm.
- Se encontró una relación inversa entre los valores horarios de concentración de CO en aire y del índice de ventilación atmosférico.
- La mayor concentración media (tiempo de promedio móvil: 8 h) de CO en aire en este período fue 11,6 ppm.
- El estándar de calidad del aire para el CO (tiempo de promedio móvil: 8 h) se superó durante el 29,2 % del período comprendido entre el 17 y el 19 de abril de 2008.
- Durante el episodio, la dirección del viento fue predominante del sector NW-N.
- Entre el 15/04/08 y el 22/04/08, la mayor contribución de las emisiones procedentes de la quema de pastizales sobre la concentración de CO en la ciudad, alcanzó un máximo de 45 veces el valor de la concentración de fondo urbano del CO.
- Entre el 15/04/08 y el 22/04/08, la concentración horaria de CO en la ciudad, al menos, triplicó la concentración de fondo urbano durante el 39 % del tiempo.
- Durante el 75 % de los días del período 15-22 de abril, las concentraciones medias diarias estimadas de material particulado total en aire en la ciudad, superaron el estándar de calidad de aire establecido para el PM-10 (se consideró que dada su procedencia, el material particulado estaba compuesto, principalmente, por partículas con diámetro igual o menor que 10µm).
- Durante el episodio se incrementaron las consultas en los centros de atención médica de la ciudad por mareo, cefalea e irritación ocular.
- El humo redujo notablemente la visibilidad y como consecuencia, se produjo un mayor número de accidentes automovilísticos en diferentes rutas de acceso a la ciudad.
- Los habitantes de la ciudad fueron impactados por un penetrante y molesto olor a pasto quemado.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue parcialmente financiado por el subsidio CONICET-PIP. Los autores agradecen a la Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires y al Servicio Meteorológico Nacional, por los da-

tos facilitados para este estudio. También desean agradecer a la AERONET, a Brent Holben (investigador principal) y al grupo CEILAP (CITEFFA-CONICET) por el establecimiento y mantenimiento de CEILAP-BA.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Andreae M. O., Atlas E., Harris G. W., Helas G., de Kock A., Koppmann R., Maenhaut W., Mano, S., Pollock W. H., Rudolph J., Scharffe D., Schebeske G. and Welling M. (1996). Methyl halide emissions from savanna fires in southern Africa. *Journal of Geophysical Research* 101 (D19) 23603-23613.
- [2] Blake N. J., Collins J. B. and Sachse G. W. (1996). Biomass emissions and vertical distribution of atmospheric methyl halides and other reduced carbon gases in the South Atlantic region. *Journal of Geophysical Research* 101 (D19) 24151-24162.
- [3] Boian C. and Kirchoff V. W. J. H. (2004). Measurements of CO in an aircraft experiment and their correlation with biomass burning and air mass origin in South America. *Atmospheric Environment* 38, 6337-6347.
- [4] Chung Y. S. and Kim H. S. (2008). Satellite monitoring of forest fires and associated smoke plumes occurring in Korea. *Air Qual. Atmos. Health*, 1, 111-118.
- [5] Crutzen P. J. and Andreae M. O. (1990). Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biochemical cycles. *Science* 250, 1669-1678.
- [6] Galanter M., Levy II H., and Carmichael G. R. (2000). Impacts of biomass burning on tropospheric CO, NOx and O3. *Journal of Geophysical Research* 105 (D19) 6633-6653.
- [7] Kirchoff V. W. J. H. and Rasmussen R. A. (1990). Time variations of CO and O3 concentrations in a region subject to biomass burning. *Journal of Geophysical Research* 95 (D6) 7521-7532.
- [8] Lacaux J. P., Brustet J. M., Delmas R., Menaud J. C., Abbadie L., Bonsang B., Cachier H., Baudet J., Andreae M. O. and Helas G. (1995). Biomass burning in the tropical savannas of Ivory Coast: an overview of the field experiment fire of savannas (FOS/DECAFE 91). *Journal of Atmospheric Chemistry* 22, 195-216.
- [9] Langmann B., Duncan B., Textor C., Trentmann J. and van der Werf G. (2009). Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate. *Atmospheric Environment* 43, 107-116.
- [10] Lindesay J. A., Andreae M. O., Goldammer J. G., Harris G., Annegarn H. J., Garstang M., Scholes R. J., and van Wilgen B. W. (1996). International geosphere-biosphere programme/international global atmospheric chemistry SAFARI-92 field experiment background and overview. *Journal of Geophysical Research* 101 (D19) 23521-23530.
- [11] Mazzeo N. A. and Venegas, L. E. (1991). Air pollution model for an urban area. *Atmospheric Research*, 26, 165-179.
- [12] Turner D. B. (1964). A diffusion model for an urban area. *J. Appl. Meteorol.* 3, 83-91.
- [13] Venegas L. E. and Mazzeo N.A. (2006). Modelling of urban background pollution in Buenos Aires city (Argentina). *Environmental Modelling & Software*, 21, 577-586.
- [14] Ward T. J., Hamilton R. F., Dixon R. W., Paulsen M. and Simpson C. D. (2006). Characterization and evaluation of smoke tracers in PM: Results from the 2003 Montana wildfire season. *Atmospheric Environment* 40, 7005-7017.

Sobre los autores:

Nicolás A. Mazzeo y Laura E. Venegas son investigadores del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y se desempeñan en el Departamento de Ingeniería Química, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

Pueden ser contactados en las direcciones electrónicas: <nmazzeo@fra.utn.edu.ar> y <lvenegas@fra.utn.edu.ar>, respectivamente.