

Calidad del aire en la ciudad de Pinar del Río

Valores experimentales

Air quality of Pinar del Río city. Experimental values

Dr. Osvaldo Cuesta Santos | ... | Instituto de Meteorología

MSc. Arnaldo Collazo Aranda | arnaldo.collazo@insmet.cu | Instituto de Meteorología

Pedro Sánchez Navarro | pedro.sanchez@insmet.cu | Instituto de Meteorología

Raydel Manrique Suárez | raydel.manrique@insmet.cu | Instituto de Meteorología

Mariam Fonseca Hernández | mariam.fonseca@insmet.cu | Instituto de Meteorología

Dagoberto Rodríguez Valdés | dagoberto@vrect.upr.edu.cu | Universidad de Pinar del Río

Almara Sánchez Díaz | almara@pri.insmet.cu | Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río

María Victoria Miló López | maria@desarrollopr.co.cu | Dirección Provincial de Planificación Física de Pinar del Río

Juan M. Díaz Díaz | jmdiaz@pri.insmet.cu | Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río

Alfredo Victorero Hernández | alfredo@pri.insmet.cu | Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río

Yosdany González Jaime | yosadany.gonzalez@insmet.cu | Instituto de Meteorología

Carlos Sosa Pérez | carlos.sosa@insmet.cu | Instituto de Meteorología

Recibido: diciembre 9, 2014; aceptado: junio 20, 2014.

Resumen

Este trabajo se propone como objetivo, utilizando el índice de calidad del aire (ICA), abordar la problemática de la población expuesta a diversos niveles de calidad del aire a nivel local; para ello, se presenta una evaluación cualitativa de la calidad del aire en las principales zonas de la ciudad de Pinar del Río y se exponen los datos de su monitoreo mediante los diversos contaminantes estudiados. En la obtención de las muestras se utilizó una estación móvil automática para el monitoreo de la calidad del aire; en este sentido, se desarrollan dos campañas de muestreo: la primera, asociada al período poco lluvioso del año y la segunda, al período lluvioso, y se efectúan las mediciones en tres zonas de interés. Los resultados evidencian zonas con calidad del aire deficiente. Se proponen las medidas de mitigación de la contaminación atmosférica.

PALABRAS CLAVE: Monitoreo, calidad del aire, contaminación atmosférica.

Abstract

It addresses the problem of population exposed to different levels of air quality locally using the Air Quality Index (AQI). Presented a qualitative assessment of air quality of the main areas of Pinar del Río City. Also shown data from monitoring air quality across various pollutants examined. For samples are used an automatic mobile station for monitoring the air quality. The automatic station originally from China was manufactured by the company Hebei Sailhero High-tech Co., Ltd of recognized quality measurement instruments. Develop two sampling campaigns, one associated to the not very rainy period of the year and over the rainy season and are measured in three areas of interest. The results show areas with air quality classified as poor. Proposed mitigation measures of air pollution.

KEYWORDS: Monitoring, Air Quality, Air Pollution.

Introducción

El término *contaminación atmosférica* se aplica, por lo general, a las alteraciones que tienen efectos perniciosos en los seres vivos y elementos materiales, y no a otras alteraciones inocuas. Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que implican combustión, tanto en las industrias, como en los automóviles y calefacciones residenciales, que generan, entre otros, dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre. De igual modo, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, tales como el cloro o los hidrocarburos que no han realizado la combustión completa.

Incluso cuando todavía hoy no se conoce completamente el papel que desempeñan las actividades humanas en la disminución de la calidad de la atmósfera, puede asegurarse que los contaminantes están modificando las composiciones química y física de nuestra atmósfera, con la introducción de ciertas transformaciones que pueden variar el clima actual no solo en el ámbito local, sino también a escala global. Estas modificaciones se reflejan, además, en el deterioro rápido de los materiales y en las afectaciones de diverso grado a los ecosistemas y la salud humana, con el consiguiente impacto en la calidad de vida de los seres vivos.

A pesar de todo este panorama, en el presente, el hombre se encuentra en mejores condiciones que nunca para conocer en qué medida su actividad productiva impacta el medio ambiente atmosférico, así como para vigilar su calidad y su evolución, y llegar, si es posible, hasta el pronóstico de su estado futuro, según el modo y la intensidad en que se desarrollen los procesos productivos. Para ello, es imprescindible el estudio exhaustivo de las características químicas y físicas de la atmósfera, a fin de detectar los cambios una vez que estos hayan comenzado a aparecer; aunque no puede esperarse a que se produzcan para enfrentarlos. De esta manera, conociendo de antemano

la influencia de estos factores sobre el estado de salud de la población, bajo las nuevas condiciones puede simularse cuales serán las respuestas de la sociedad a estas variaciones.

Al respecto, no debe olvidarse que dentro de la temática de las aplicaciones del medio ambiente atmosférico a la salud humana, son aspectos de primordial interés la determinación del grado de asociación existente entre diversas patologías y el comportamiento del tiempo, el clima y la calidad del aire mediante el uso de diferentes técnicas estadísticas, así como la búsqueda de posibles funciones pronósticas capaces de predecir la ocurrencia de las enfermedades, dadas ciertas condiciones meteorológicas y de la calidad del aire.

Gran parte de la población mundial vive en áreas donde los niveles de contaminación atmosférica exceden los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (siglas en inglés, WHO). Mas de 1 200 millones de personas pueden estar expuestas a niveles excesivos de dióxido de azufre y mas de 1 400 millones de personas pueden estar expuestas a niveles excesivos de material particulado en suspensión, y a pesar de que los datos de los países en desarrollo son aún incompletos, se conoce que entre 15 % y 20 % de la población de Europa y Norteamérica podría estar expuesta a niveles que exceden los límites permisibles para el dióxido de nitrógeno (UNEP, 1991).

En Cuba, los estudios sobre la población expuesta (Cuesta y Wallo, 2010) muestran que 16 % de la población urbana en las ciudades del resto del país presentan una calidad del aire *deficiente y mala*, mientras que la capital (La Habana) tiene una población expuesta de 29 % con esta categoría. Asimismo, en las categorías *pésima* y *crítica*, La Habana posee una afectación de 22 %, mientras que el resto de las ciudades presentan 8 %. Por ello, resultan imprescindibles los estudios urbanos de la calidad del aire y las medidas de descontaminación para estas localidades.

El presente trabajo pretende mostrar los resultados de algunas mediciones experimentales de material particulado menor de 10 micrones (PM_{10}), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el amoniaco (NH_3) en la ciudad de Pinar del Río, el análisis correspondiente a la calidad del aire mediante sus concentraciones máximas admisibles y la aplicación del *Índice de Calidad de Aire*, así como las medidas que han de tomarse en la ciudad con vistas a minimizar las emisiones de estos contaminantes a la atmósfera.

Materiales y métodos

El área de estudio que corresponde al municipio de Pinar del Río se encuentra ubicada, aproximadamente, en la porción centro-sur de la provincia; ocupa una superficie de 726,69 km² que limita al norte (N) con los municipios de Viñales y Minas de Matahambre, al sur

(S) con el Golfo de Batabanó, al este (E) con el municipio de Consolación del Sur, y al oeste (W) con los de San Luís y San Juan y Martínez (DGP, 2010). La ciudad de Pinar del Río, capital de la provincia homónima y cabecera municipal, está situada en su centro, a 146 km al oeste de la ciudad de La Habana, en los 22° 25' 00" N y los 83° 41' 43" O, en la llanura del sur de Pinar del Río, a 35,0 m de altitud, con una superficie de 31,68 km² y posee 154 063 habitantes en 42 762 viviendas (ONE, 2009). El tejido urbano se caracteriza por tres grandes zonas claramente diferenciadas y divididas por el río Guamá: el nuevo desarrollo, después del triunfo de la Revolución, resalta los bloques de edificios aislados y articulados por grandes espacios públicos; la ciudad tradicional y los repartos que la circundan, con un trazado irregular y una morfología compacta en sus edificaciones, frutos de un proceso de evolución cuyos inicios datan el siglo XVII; y, al suroeste de la ciudad, la zona industrial, concebida en grandes pra-

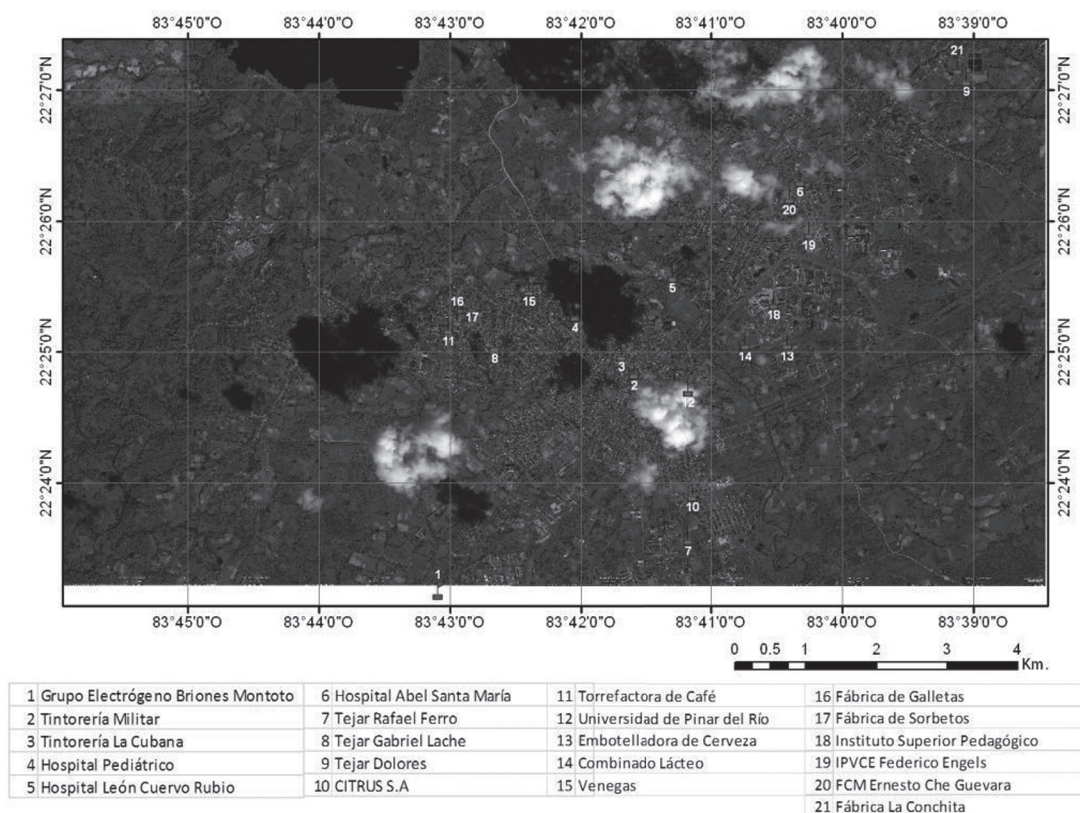


Fig. 1 Ciudad de Pinar del Río y las principales fuentes de contaminantes atmosféricos.

deras y edificaciones aisladas donde predominan los almacenes y la industria de la construcción. Posee un población ligada a los servicios, las industrias sidero-mecánica, electrónica, alimentaria y de materiales de la construcción. La ciudad de Pinar del Río se vincula con la capital del país por la carretera Central, la autopista Nacional y el ferrocarril occidental. La clasificación del nombre, según su motivación, proviene de un fitotopónimo (DGP, 2010).

Para obtener las muestras se utilizó una estación móvil automática de monitoreo de la calidad del aire. La estación automática de procedencia China fue fabricada por la compañía Hebei Sailhero High-tech Co., Ltd de reconocida calidad en sus instrumentos de medición.

Se utilizaron gasoanalizadores automáticos para medir las concentraciones de los gases CO, NO_x, NH₃, SO₂ y un equipo de atenuación Beta para la medición de material particulado menor de 10 micras (PM₁₀). En las mediciones se recurrió a diversas técnicas: para el SO₂, la técnica de fluorescencia ultravioleta; para los óxidos de nitrógeno, la quimiluminiscencia y para el monóxido de carbono, el infrarrojo no dispersivo. Las mediciones tienen una sensibilidad de 0,1 µg/m³ en cada contaminante estudiado.

Todos los equipos fueron correctamente calibrados mediante los gases de calibración estándares, según el tipo de gas, y se utilizaron el generador de aire cero y el calibrador para las calibraciones del cero interno, el span interno y la del cero y span externos (*Manuales del usuario*, Hebei Sailhero High-tech Co., Ltd, 2009).

Para el funcionamiento correcto de estos equipos y la confiabilidad de los datos es necesario realizar su calibración, la cual puede hacerse de las maneras siguientes: utilizando el aire cero y el gas span. El *aire cero* es producido por un instrumento (generador de aire cero) capaz de eliminar del aire el vapor de agua, el dióxido de azufre (SO₂), el ozono (O₃), el monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO₂). En

la calibración con el *gas span* se cuenta con tres botellas o cilindros de gases de calibraciones con bajas concentraciones de SO₂, NO₂ y CO. Ambas opciones pueden ejecutarse, tanto manual, como automáticamente; estas, a su vez, pueden realizarse interna o externamente. Las calibraciones deben efectuarse cada semana o según los requerimientos del equipo. Por lo general, estos equipos se calibran manual y externamente, y se utiliza el generador de aire cero.

La concentración máxima admisible *Cma* en muestras instantáneas (20 min) para el SO₂ es de 500 µg/m³, mientras que en muestras diarias es de 50 µg/m³ (NC 39: 1999). Las *Cma* para el NO y NH₃ son de 600 µg/m³ y 200 µg/m³, respectivamente, mientras que para el NO₂ es de 85 µg/m³ en muestras instantáneas de 20 min. La *Cma* diaria del NO₂ es de 40 µg/m³; la *Cma* diaria del NO y el NH₃ estuvo entre 60 µg/m³ y 200 µg/m³, respectivamente.

La Norma Cubana 39: 1999 establece la cifra de 5,0 mg/m³ como valor instantáneo para la *Cma* del monóxido de carbono, mientras que para promedios de 24 h, la *Cma* es de 3,0 mg/m³. En la actualidad, como norma cubana para el PM₁₀ se utiliza el valor de *Cma* horario de 200 µg/m³; entretanto, para las muestras diarias, la *Cma* es de 60 µg/m³ según la propuesta elaborada por un colectivo de investigadores liderados por el MINSAP (Molina *et al.*, 2009). No obstante, la NC 111: 2005 propone una *Cma* de 50 µg/m³ para las muestras diarias de PM₁₀.

Evaluación de la alteración de la calidad del aire en los asentamientos humanos

Las condiciones higiénicas del aire se definen por las concentraciones máximas admisibles *Cma* de las sustancias contaminantes para 24 h y 20 min definidas en la NC 39: 1999. *Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios*, teniendo en cuenta como aspectos principales los relacionados con el peligro y la evaluación de los riesgos asociados: el tipo y la magnitud de los

incrementos de la frecuencia en los posibles efectos sobre la salud, de acuerdo con la concentración y el tiempo de exposición a cada contaminante. Otros aspectos que también han de tenerse en cuenta son el marco jurídico, la viabilidad técnica (la mejor tecnología de prevención y control, existente y disponible), así como las consecuencias económico-sociales de la implementación de las medidas encaminadas a lograr los objetivos trazados respecto al mejoramiento del ambiente y la salud.

En la determinación del *ICA* para los asentamientos humanos, la situación de la calidad o grado de contaminación del aire en los asentamientos humanos se evalúa mediante el *ICA*, el cual incluye una escala de cinco categorías: *buena*, *aceptable*, *deficiente*, *mala*, *pésima* y *crítica*.

El *ICA* se determina utilizando como criterio el valor resultante del cociente de las concentraciones reales para cada contaminante principal, tomando como denominador las *Cma* correspondientes al período evaluado según la NC 39: 1999.

De acuerdo con el tipo de toxicidad de cada contaminante principal, las posibilidades de monitoreo, los dispositivos y métodos analíticos normalizados, se establece la evaluación del *ICA* para cada contaminante durante los períodos diario u horario, o ambos (NC 111:2005).

Diseño de los experimentos

El primer experimento se desarrolló del 22 al 28 de febrero de 2011, en el período poco lluvioso, en dos estaciones de monitoreo situadas en el área de estudio. La primera estación se ubica en el Centro de Operaciones de la Empresa Eléctrica de Pinar del Río, localizada en la carretera de La Coloma, en el Reparto Capó. En sus inmediaciones están ubicadas las tres baterías Hyundai del Grupo Electrónico Briones Montoto, de trabajo continuo (*gas oil*), y las 30 unidades diesel (*quascord*) para trabajos de emergencia. Se encuentra ubicado en

el centro-sur de la ciudad, en el reparto 5 de Septiembre, del Consejo Popular Ceferino Fernández Viña. En su entorno predomina una zona densamente poblada, con viviendas individuales de una y dos plantas; por consiguiente, la fuente no cumple con el radio de protección sanitaria. El tramo de la carretera de La Coloma presenta un tránsito intenso, sobre todo en horas tempranas de la mañana y por la tarde. El segundo punto (estación) de radica en la Empresa Torrefactora de Café, ubicada al oeste de la ciudad, en el reparto Rafael Ferro, en del Consejo Popular Cuba. En su entorno predomina una zona moderadamente poblada, con viviendas no medianeras individuales o pareadas de una y dos plantas, las cuales no cumplen con el radio de protección sanitaria; en su cercanía está la Fábrica de Galletas y de Sorbetos.

El segundo experimento se desarrolló del 11 al 19 de octubre de 2011, durante el período lluvioso del año. No pudo medirse en el Centro de Operaciones de la Empresa Eléctrica de Pinar del Río, localizada en la carretera a La Coloma, en el Reparto Capó, por problemas técnicos. El muestreo se comenzó por la Torrefactora de Café y, además, se ubicó un tercer punto de monitoreo en el Hospital Nuevo Abel Santamaría, en la ciudad de Pinar del Río.

Discusión de los resultados

Comportamiento de las concentraciones correspondientes al primer experimento

El primer experimento se desarrolla desde el 22 al 24 de febrero de 2011, en el Centro de Operaciones de la Empresa Eléctrica de Pinar del Río, localizada en la carretera de La Coloma; en sus inmediaciones funcionan de forma continua las tres baterías Hyundai del Grupo Electrónico Briones Montoto (*gas oil*). Este primer punto de muestreo se encuentra ubicado en el centro-sur de la ciudad, en el reparto 5 de Septiembre, del Consejo Popular Ceferino Fernández Viña; en su entorno

predomina una zona densamente poblada, con viviendas individuales de una y dos plantas, por lo cual esta fuente no cumple con el radio de protección sanitaria. El tramo de la carretera de La Coloma en la ciudad de Pinar del Río presenta un intenso tránsito, sobre todo en horas tempranas de la mañana y por la tarde.

La figura 2 presenta las concentraciones horarias medidas en el punto de muestreo asociado al Grupo Electrónico Briones Montoto, en la ciudad de Pinar del Río. Se aprecia el material particulado menor de 10 micrones (PM_{10}), el dióxido de azufre (SO_2), el monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el amoníaco (NH_3). El SO_2 resultó contaminante que presentó mayores concentraciones con valores entre $16 \mu g/m^3$ y $166,3 \mu g/m^3$, aportadas principalmente por las emisiones del grupo electrógeno cercano al punto de muestreo. En las marchas diarias deben resaltarse los máximos de concentraciones relacionados con la madrugada del día 24 cuando, durante una situación de vientos débiles y calma (5 a.m.), provocaron valores del NO_2 por encima de Cma instantánea. Asimismo, en ese intervalo ocurre la mayor concentración de SO_2 ($166,3 \mu g/m^3$), lo cual verifica que ambos contaminantes provienen de las

emisiones del grupo electrógeno ubicado en las cercanías del punto de monitoreo.

Con respecto a los valores medios diarios (Tabla 1) puede apreciarse que el contaminante SO_2 sobrepasa el valor de Cma para 24 h ($50 \mu g/m^3$), según la Norma Cubana 39:1999, durante los días 22 y 24, y, en sentido general, en todo el período de medición teniendo en cuenta la concentración media diaria; de igual manera, para el caso del NO_2 también se sobrepasa la Cma diaria durante el 24 de febrero. Estos altos valores de concentración están asociados a calmas y vientos débiles del ENE en horas de la madrugada y la mañana en el punto de muestreo.

Tabla 1. Concentraciones medias diarias (en $\mu g/m^3$) de los contaminantes estudiados. Punto Grupo Electrónico

Horas	Descripción	Fecha	PM_{10}	SO_2	NO	NO_2	NH_3	CO
15	Tarde/noche	22/02/2011	48,9	56,0	3,4	5,3	15,3	1766,1
24	Día completo	23/02/2011	29,2	38,6	3,3	11,0	19,3	1868,1
8	Madrugada	24/02/2011	37,3	89,2	17,2	56,2	22,2	1937,5
47	Promedio		35,0	56,4	5,6	17,4	18,5	1936,6

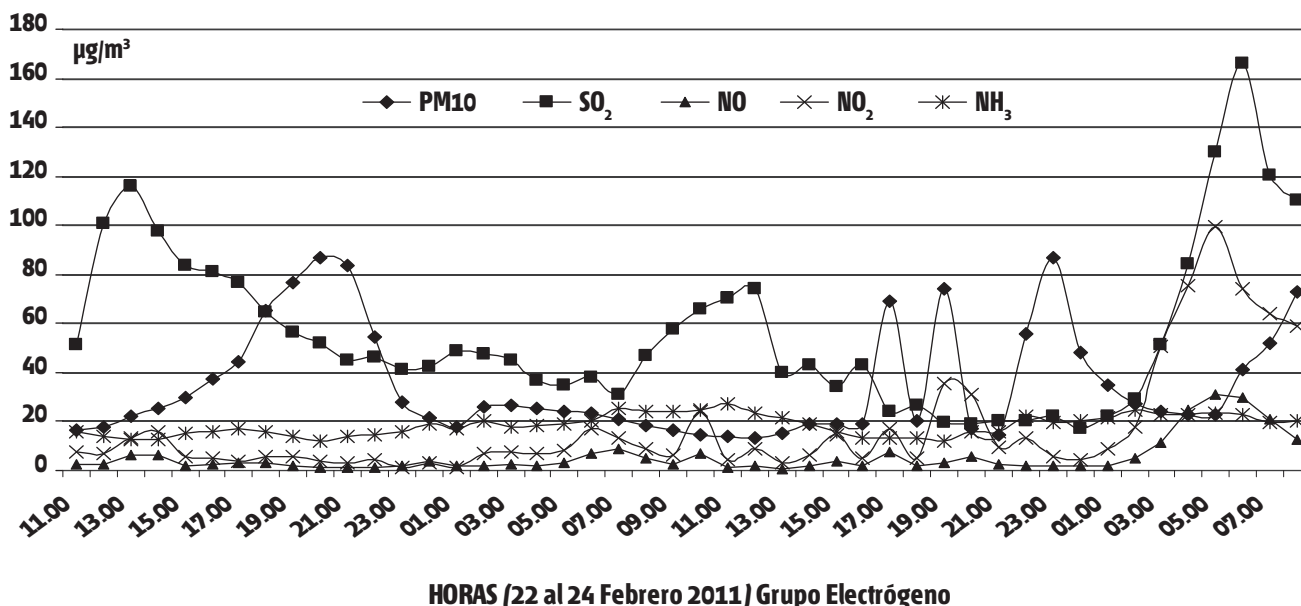


Fig. 2 Marcha de las concentraciones de los principales contaminantes estudiados.

Las marchas asociadas al SO_2 y NO_2 presentan un comportamiento similar (Fig. 3), lo cual demuestra que provienen de la misma fuente (Cuesta y Wallo, 2010), aunque para el caso del compuesto del nitrógeno debe tenerse en cuenta el transporte automotor como una fuente adicional.

Otro de los contaminantes estudiados es el CO , cuyo comportamiento se muestra en la figura 4. Sus valores oscilan entre $125,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $3\ 291,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y sus fuentes principales, además del grupo electró-

geno, son el transporte automotor y las fuentes domésticas de las viviendas circundantes.

El segundo punto de medición se realiza en la Empresa Torrefactora de Café, ubicada al oeste de la ciudad, en el reparto Rafael Ferro, dentro del Consejo Popular Cuba Libre y el barrio del mismo nombre; en su entorno predomina una zona moderadamente poblada, con viviendas no medianeras individuales o pareadas de una y dos plantas, razón por la cual no se cumple con el radio de protección sanitaria. En

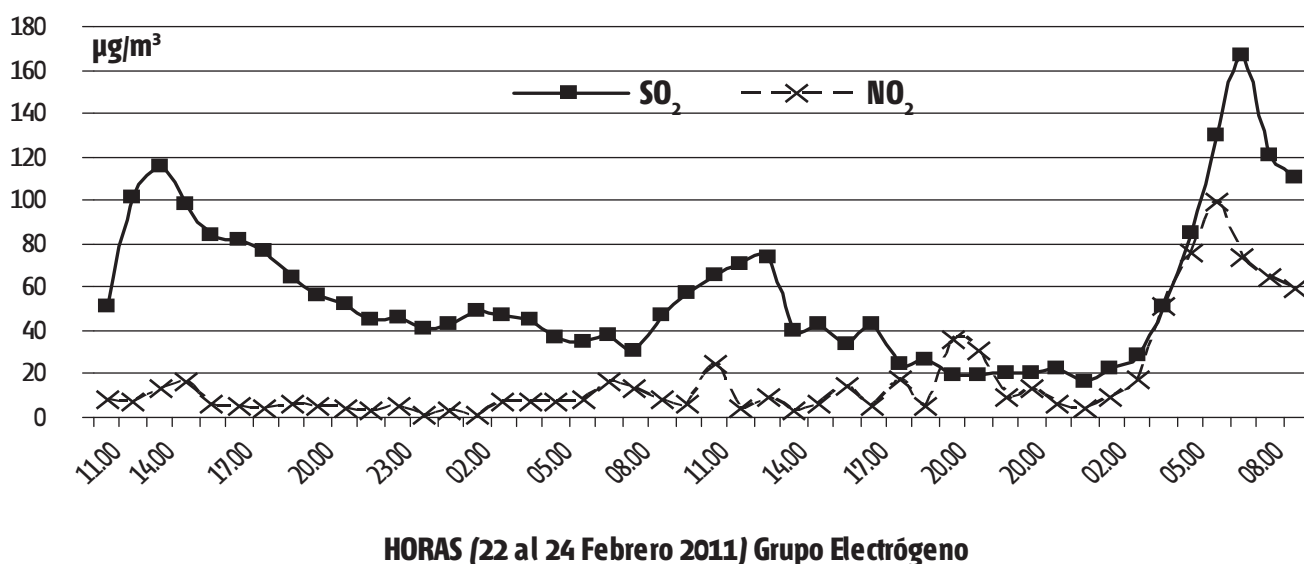


Fig. 3 Marcha de las concentraciones de SO_2 y NO_2 .

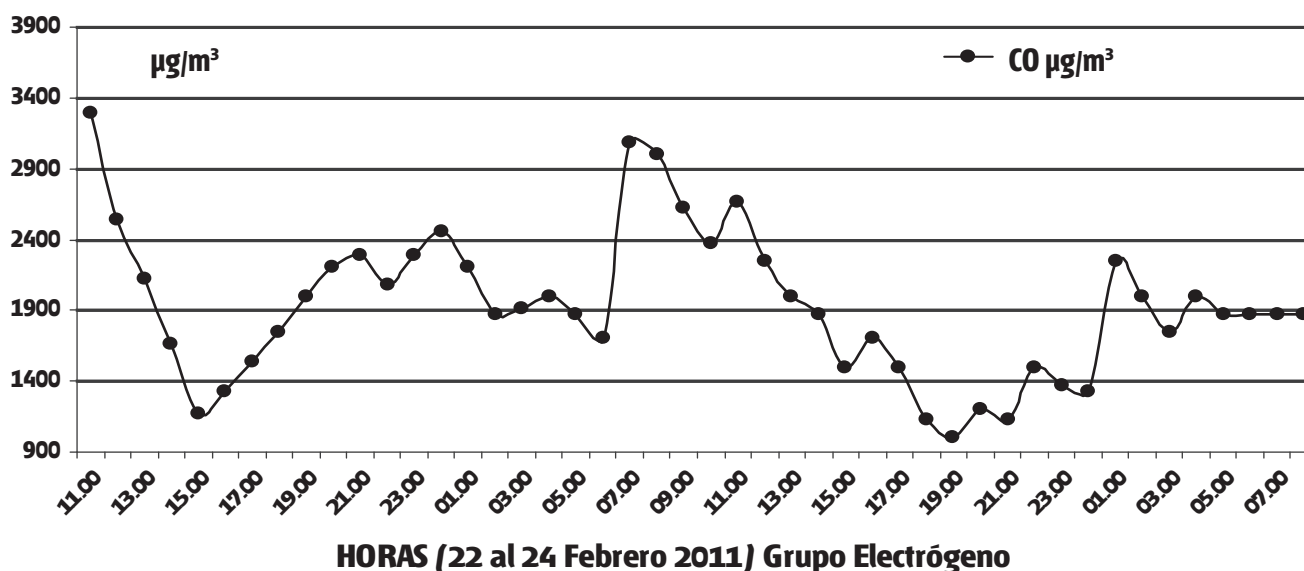


Fig. 4 Marcha de las concentraciones de monóxido de carbono (CO).

su cercanía, asimismo, se encuentra la Fábrica de Galletas y Sorbetos. La figura 5 muestra el comportamiento de los principales contaminantes estudiados en el entorno de la Torrefactora de Café. Para el SO_2 se constató que un viento del este (entre 100° y 110°) con fuerza de 20 km/h provocó picos de concentraciones el día 24 y durante la madrugada del 25, también con un viento del este (80°) con fuerza de 12 km/h, lo cual denota un arrastre desde la zona central de la ciudad.

La tabla 2 muestra los valores medios diarios de los diversos contaminantes estudiados en el punto de medición de la Torrefactora de Café; el valor medio diario que más se aproxima a la *Cma* es el del SO_2 , cuya *Cma* para 24 h es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según la Norma

Cubana 39:1999, y ocurrió durante el día 25, cuando alcanzó un valor de $46,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, en el caso del CO , el día 24 de febrero se presentaron valores muy cercanos a la *Cma* en muestras diarias, que es de $3\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$; para el punto de muestreo de la Torrefactora de Café se registraron valores medios de $2\,946,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy próximos a la *Cma*.

Otro de los contaminantes estudiados es el monóxido de carbono, cuyo comportamiento se muestra en la figura 6. Sus valores oscilan entre $375,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $4\,125,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y sus fuentes principales son las calderas de la torrefactora y de otras industrias cercanas, aunque el transporte automotor y las fuentes domésticas de las viviendas circundantes influyeron en las concentraciones del CO .

Los valores medios diarios de los diversos contaminantes estudiados en los dos puntos de muestreo reflejan que el SO_2 , en el punto de muestreo del Grupo Electrónico Briones Montoto, sobrepasa el valor de *Cma* para 24 h ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), según la Norma Cubana 39:1999, durante los días del 22 al 24. Estos valores de concentración altos están relacionados con la potencia de la fuente emisora cercana.

Tabla 2. Concentraciones medias diarias (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de los contaminantes estudiados. Punto Torrefactora de Café

Horas	Descripción	Fecha	PM10	SO_2	NO	NO_2	NH_3	CO
14	Tarde y noche	24/02/2011	27,6	33,0	3,2	12,4	22,0	2946,4
15	Madrugada y mañana	25/02/2011	29,1	46,8	2,6	18,4	15,5	1772,2
29		Promedio	28,4	40,1	2,9	15,5	18,6	2339,1

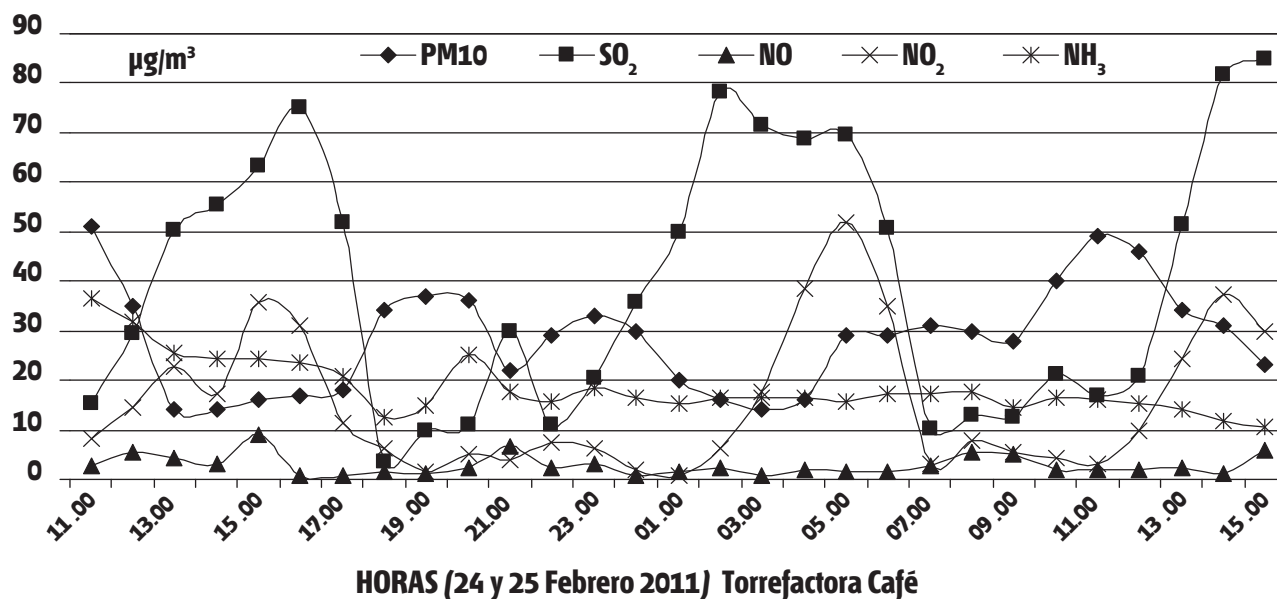


Fig. 5 Marcha de las concentraciones de los principales contaminantes estudiados.

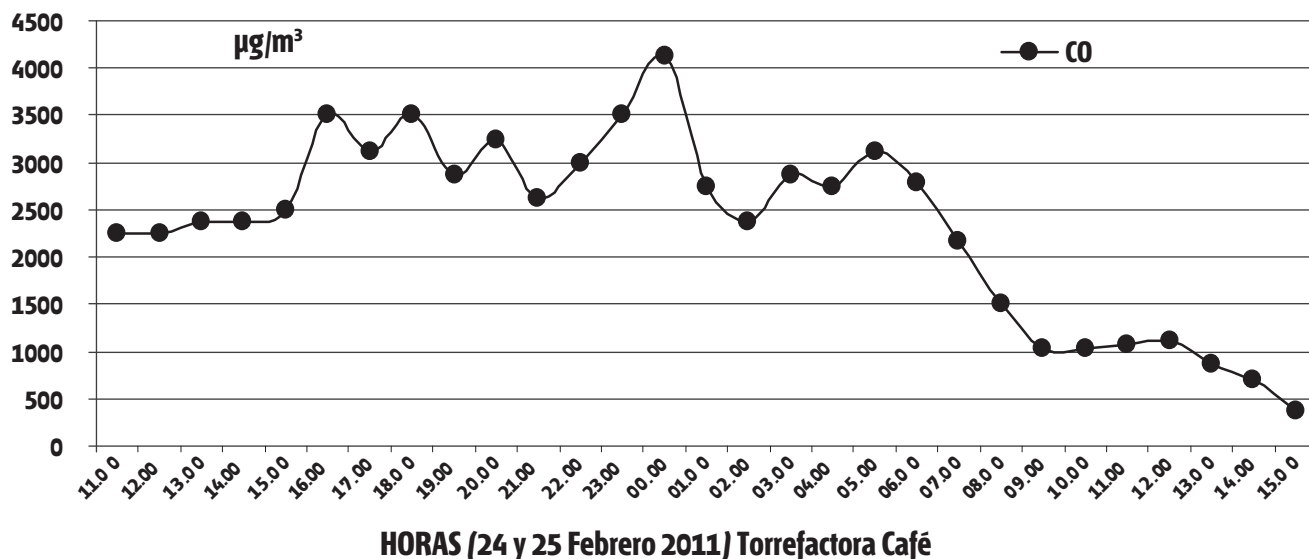


Fig. 6 Marcha de las concentraciones de monóxido de carbono (CO).

Análisis del índice de calidad del aire del primer experimento

El ICA resultante del día viene determinado por el contaminante que aporta la concentración con más incidencia negativa sobre la salud de las personas. Es importante entender que el ICA no es el resultado de hacer una media de una serie de valores, sino que es una cifra que pondera la aportación de la concentración medida de cada contaminante a la calidad del aire (Cuesta *et al.*, 2000 y Cuesta *et al.*, 2002).

Se analiza el comportamiento de la calidad del aire mediante las diversas categorías del ICA en los dos puntos de monitoreo para cada contaminante y, finalmente, se realiza el estudio del índice, en general, puesto que la norma establece que el índice de un día corresponde al valor mayor de los índices de cada contaminante muestreado en cierto lugar.

Si se analiza la marcha horaria de los diversos contaminantes estudiados los días del experimento durante el período poco lluvioso, puede inferirse que del 22 al 24 de febrero, según el ICA correspondiente al punto de monitoreo del grupo electrógeno, solamente se sobrepasó la *Cma* instantánea para el NO₂,

con un valor de 99,2 µg/m³, el cual se corresponde con la categoría *deficiente* para el ICA. Este valor ocurrió en la madrugada del día 24 de febrero, con una situación de calma.

En cuanto al ICA para muestras diarias, durante los días del 22 al 24 de febrero, en el punto de monitoreo del Grupo Electrógeno Briones Montoto (Tabla 3), el SO₂ presentó un ICA *deficiente* los días 22 y 24, mientras que el NO₂ también alcanzó la categoría *deficiente* el día 24 de febrero. Por tanto, de este análisis se concluye que en las cercanías de este punto de monitoreo se producen las afectaciones mayores a la calidad del aire y pueden aparecer efectos nocivos a la salud humana, sobre todo en las poblaciones

Tabla 3. Aplicación del ICA para el muestreo diario de los contaminantes estudiados en el grupo electrógeno

Índice	Categoría	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	CO
0-79	Buena	23 y 24	23	22 y 23	22, 23 y 24
80-99	Aceptable	22			
100-199	Deficiente		22 y 24	24	
200-299	Mala				
300-499	Pésima				
>500	Crítica				

Nota: Se presenta el día asociado a la categoría del índice.

mas sensibles, como son niños y las personas de la tercera edad. Debe destacarse que la fuente principal más cercana es el grupo electrógeno, en cuya cercanía (20 m a 30 m) existen numerosas viviendas expuestas a las altas concentraciones de SO_2 y NO_2 que emiten las chimeneas del grupo electrógeno. Deberán tomarse medidas tecnológicas y de ordenamiento territorial con vistas a disminuir el riesgo por la contaminación atmosférica de esta población expuesta.

Para las muestras diarias en el punto de monitoreo en la Torrefactora de Café (Tabla 4), durante los días 24 y 25 de febrero de 2011, se evidencia que el CO fue el contaminante que presentó un *ICA aceptable*, sobre todo el día 24, cuando, con vientos débiles de rumbo ESE y calmas, las concentraciones se elevaron considerablemente acercándose a la categoría *deficiente*. Por su parte, el SO_2 también se manifestó con categoría *aceptable*, pero solo durante el día 25, y se produjo con vientos del SW.

Tabla 4. Aplicación del ICA para el muestreo diario de los contaminantes estudiados en la Torrefactora de Café

Índice	Categoría	PM_{10}	SO_2	NO_2	CO
0-79	Buena	24 y 25	24	24 y 25	25
80-99	Aceptable		25		24
100-199	Deficiente				
200-299	Mala				
300-499	Pésima				
>500	Crítica				

NOTA: Se presenta el día asociado a la categoría del índice.

Los contaminantes que presentan *ICA deficiente* son el SO_2 y el NO_2 en la zona del Grupo Electrónico Briones Montoto, en la ciudad de Pinar del Río. Por tanto, de este análisis se concluye que se producen afectaciones en la calidad del aire y pueden aparecer efectos nocivos a la salud humana, sobre todo en las poblaciones más sensibles, como son los niños y las personas de la tercera edad. Se pro-

pone la utilización de este *ICA* con miras a la evaluación de la contaminación del aire en los asentamientos humanos, como una buena herramienta para la información y la gestión ambiental (Cuesta *et al.*, 2010).

Se recomienda que esta fuente, que provoca concentraciones altas, mejore sus condiciones tecnológicas y operacionales para, de este modo, incidir en la disminución de sus emisiones a la atmósfera. Asimismo, el uso de combustibles con un contenido de azufre menor sería una alternativa en aras de disminuir las concentraciones del SO_2 .

Comportamiento de las concentraciones correspondientes al segundo experimento

El segundo experimento se desarrolló en el período lluvioso del año, del 11 al 19 de octubre de 2011. Debe aclararse que no pudo medirse en el Centro de Operaciones de la Empresa Eléctrica de Pinar del Río, localizada en la carretera de La Coloma, en el Reparto Capó, por problemas técnicos. El muestreo se comenzó por la Torrefactora de Café, con lo cual se dio continuación al que se había iniciado en el período poco lluvioso, y se tomó un segundo punto de monitoreo en el hospital nuevo, de la ciudad de Pinar del Río, ubicado en una zona de interés por la confluencia de calles de alto movimiento y fuentes fijas en sus alrededores.

La figura 7 presenta las concentraciones horarias medidas en el punto de muestreo de la Torrefactora de Café. El monitoreo se realizó del 11 al 13 de octubre y se observa que el comportamiento de los contaminantes principales es similar; en el horario diurno, cuando las industrias locales están laborando y el tráfico automotor es más intenso, se reportan los valores máximos. En la figura aparecen el material particulado menor de 10 micrones (PM_{10}), el dióxido de azufre (SO_2), el monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el amoníaco (NH_3). El SO_2 fue el contaminante que presentó concentraciones

mayores, con valores entre $21,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $145,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a causa, principalmente, de las emisiones de las fuentes cercanas al punto de muestreo.

En las marchas horarias deben resaltarse los máximos de concentraciones asociados a la madrugada del día 13, cuando los vientos débiles provenientes del este y la calma provocaron valores del NO_2 muy cercanos a la *Cma* instantánea. Asimismo, en ese intervalo se manifestó la concentración mayor de SO_2 ($145,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo cual verifica que ambos contaminantes provienen de las emisiones de fuentes ubicadas al este de la torrefactora.

Con respecto a los valores medios diarios (Tabla 5) puede apreciarse que los contaminantes SO_2 , NO_2 , PM_{10} y CO sobrepasan los valores de *Cma* para 24 h, que son $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $3\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, según la Norma Cubana 111:2005, durante los días 12 y 13, y, en sentido general, en todo el período de medición teniendo en cuenta la concentración media diaria. Por tanto, esos valores encontrados para estos contaminantes criterio pueden provocar efectos nocivos sobre la salud humana de los habitantes en las cercanías de este punto de estudio.

Estos altos valores de concentración se asociaron a las calmas y los vientos débiles con dirección E-ENE, que predominaron durante las mediciones en este lugar. Además, debe destacarse que los vientos débiles desde las direcciones indicadas en el horario diurno provocaron valores altos al estar activas las fuentes locales pequeñas presentes en la ciudad.

Al comparar los valores del primer y el segundo experimento se tiene que este último presentó valores medios más altos en todos los contaminantes, lo cual se debe a una mayor presencia de calmas y vientos débiles, y a la no ocurrencia de precipitaciones esos días.

Tabla 5. Concentraciones medias diarias (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de los contaminantes estudiados. Punto Torrefactora de Café. Segundo experimento

Horas	Descripción	Fecha	PM10	SO ₂	NO	NO ₂	NH ₃	CO
8	Tarde y noche	11/10/2011	32,5	45,5	10,9	34,3	30,4	2944,5
24	Día completo	12/10/2011	52,0	63,8	15,7	52,6	30,0	3168,4
10	Madrugada y mañana	13/10/2011	68,9	106,2	20,8	72,7	30,8	3407,5
42		Promedio	52,3	70,4	16,0	53,9	30,3	3182,7

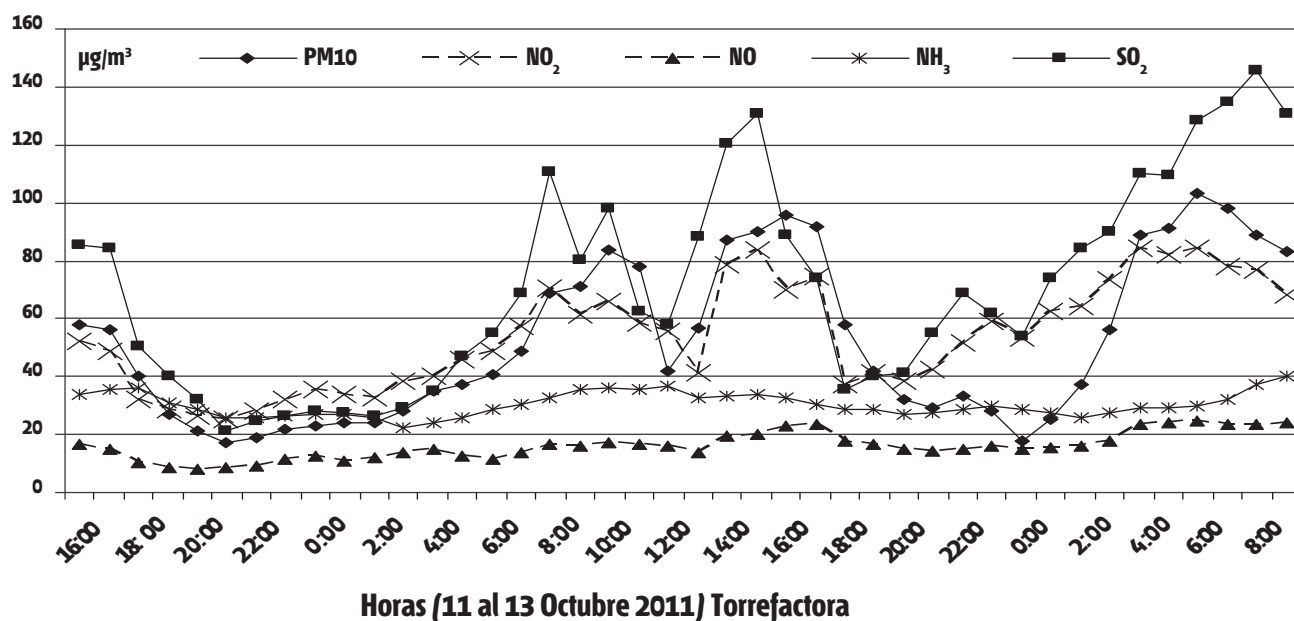


Fig. 7 Marcha de las concentraciones horarias de los principales contaminantes estudiados.

Otro de los contaminantes estudiados es el monóxido de carbono, cuyo comportamiento se muestra en la figura 8. Sus valores oscilan entre 2 225,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 4 240,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y sus fuentes principales son las calderas de la torrefactora y de otras industrias cercanas. Asimismo, el transporte automotor y las fuentes domésticas de las viviendas circundantes contribuyen a las concentraciones del CO.

Las marchas asociadas al SO_2 , el PM_{10} y el NO_2 presentan un comportamiento similar en el punto de monitoreo de la Torrefactora de Café durante este segundo experimento (Fig. 9), lo cual indica que las fuentes de origen son las mismas.

Durante el segundo experimento correspondiente al período lluvioso del año, desde finales de la noche del día 13 al 15 de octubre, se ubicó otro punto de monitoreo en el Hospital Nuevo (Hospital Abel Santamaría Cuadrado), en la ciudad de Pinar del Río. El día 13, en horas tempranas de la tarde, comenzó a llover de forma intermitente en la ciudad, lo que provocó la limpieza de la atmósfera y, por tanto, los valores medidos para las concentraciones de los contaminantes en este punto (Fig. 10) resultaron bajos, en contraste con los valores de días anteriores en la zona de monitoreo de la Torrefactora de Café. Los valores

instantáneos (horarios) monitoreados no sobrepasaron las cifras de *Cma* establecidas en la NC 39:1999, dado que la lluvia reinante en esos momentos limpió la atmósfera.

Al analizar los valores medios diarios (Tabla 6), asimismo, se observa un calidad del aire *buena* durante el monitoreo en la zona del Hospital Nuevo, a pesar de la cercanía del incinerador y la chimenea de la caldera del hospital mencionado.

Tabla 6. Concentraciones medias diarias (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de los contaminantes estudiados. Punto Hospital Nuevo. Segundo experimento

Horas	Descripción	Fecha	PM10	SO ₂	NO	NO ₂	NH ₃	CO
24	Día completo	14/10/2011	12,5	22,9	12,9	23,1	28,5	2382,6
19	Madrugada, mañana y tarde	15/10/2011	14,4	39,7	16,7	26,8	29,4	2854,5
43		Promedio	13,3	29,6	14,5	24,6	28,9	2569,2

A pesar de las condiciones de lluvia imperante en el período de las mediciones, en la figura 11 pueden apreciarse valores de monóxido de carbono (CO) elevados, aunque están por debajo de la *Cma* para las muestras instantáneas.

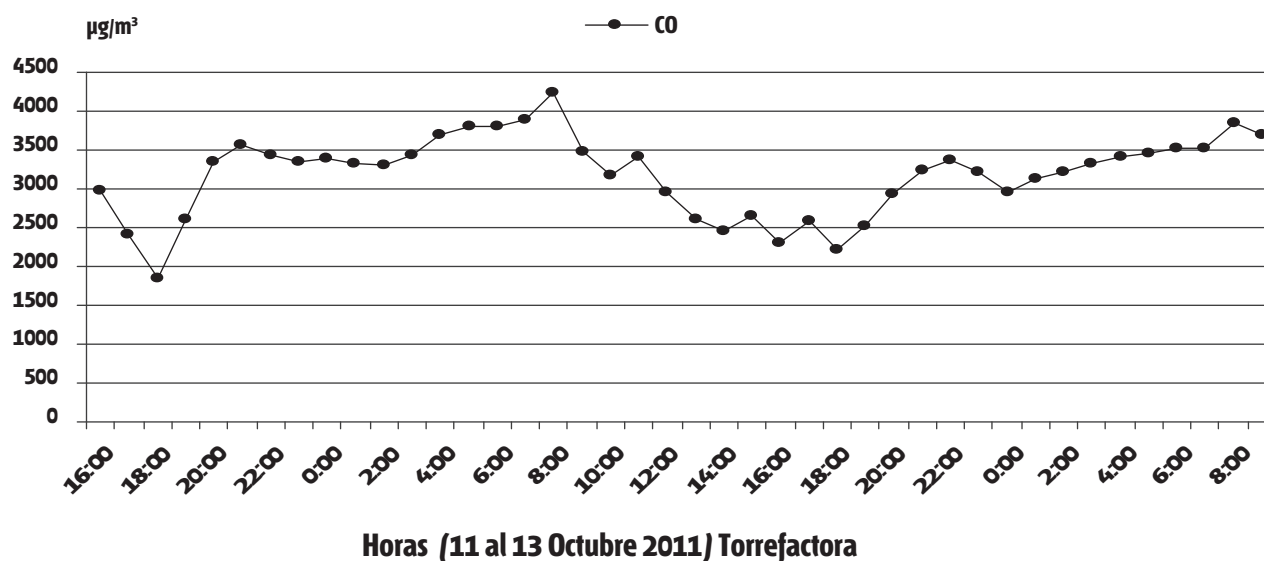


Fig. 8 Marcha de las concentraciones de monóxido de carbono (CO).

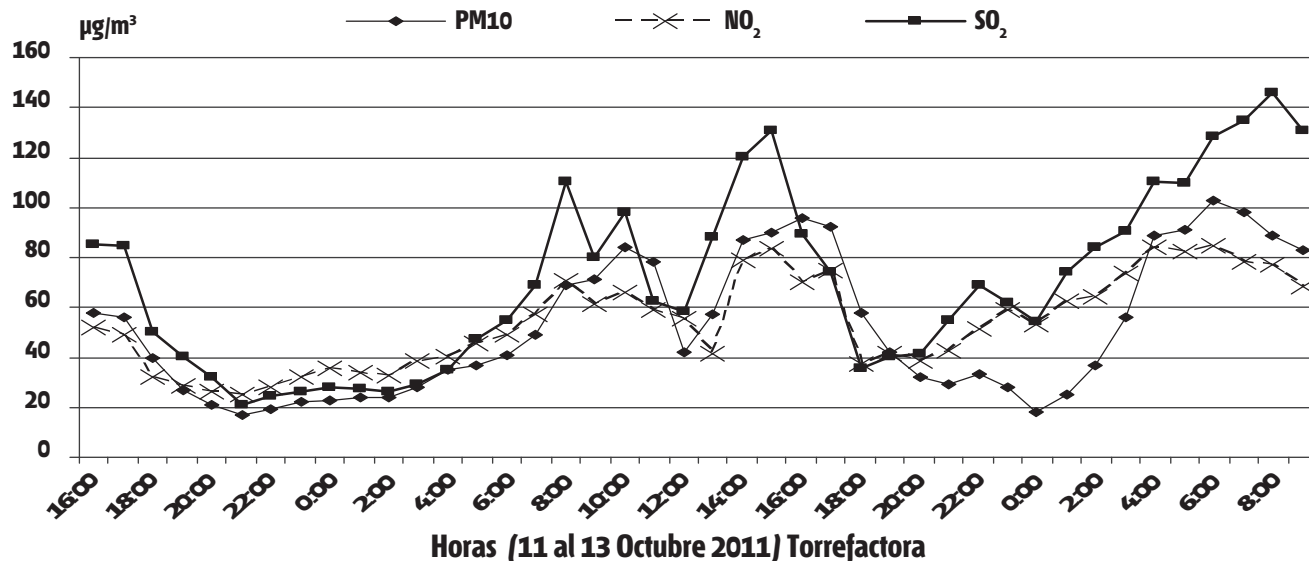


Fig. 9 Marcha de las concentraciones de SO₂, PM₁₀ y NO₂.

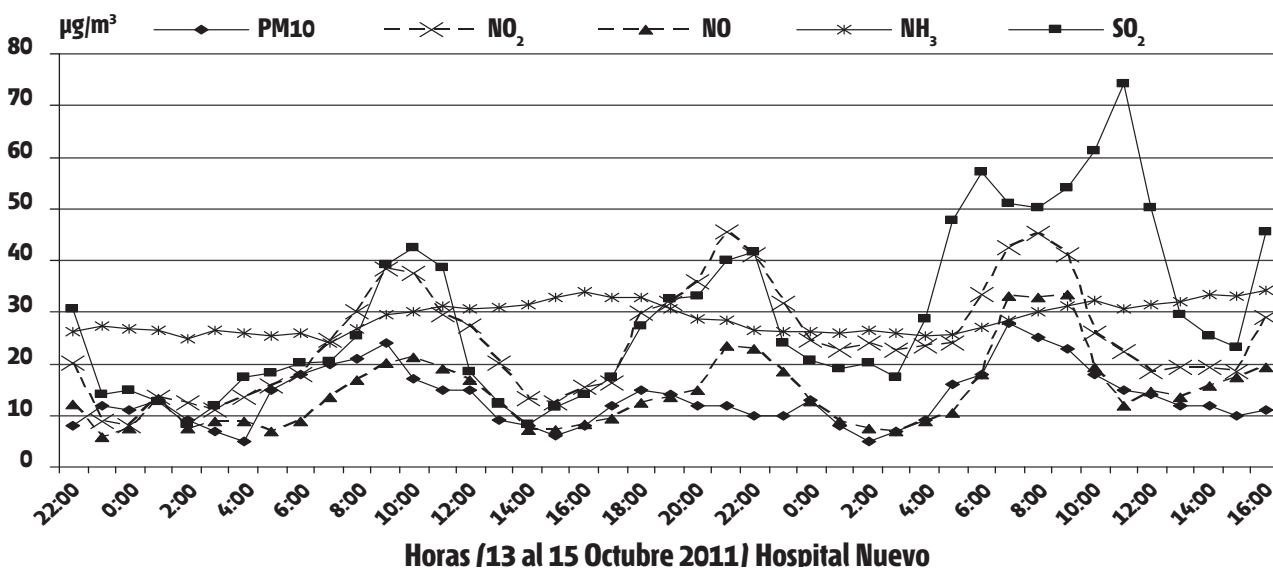


Fig. 10 Marcha de las concentraciones horarias de los principales contaminantes estudiados. Punto de muestreo Hospital Nuevo.

Al analizar los valores de las concentraciones medidas para este contaminante en otras ciudades, se tiene que el comportamiento diario del CO durante diez años (2001 a 2010) en varios lugares del área metropolitana de Guadalajara, México, mostró que las concentraciones oscilan entre 0,8 ppm (1 000 µg/m³) y 3,7 ppm (4 625 µg/m³) alrededor de las 8 a.m. (Ramírez H., 2009). Como puede apreciarse, estos valores máximos son mucho más

altos que los encontrados en la zona del Hospital Nuevo.

El comportamiento diario para la ciudad de Guadalajara presenta dos picos: uno de 7 a 11 hora local y otro entre las 20 h y 24 h (García M., 2011). Este comportamiento no pudo apreciarse en nuestro monitoreo dado que las concentraciones, al parecer, se relacionan con las fuentes fijas y no las móviles, como es el caso de la ciudad de Guadalajara.

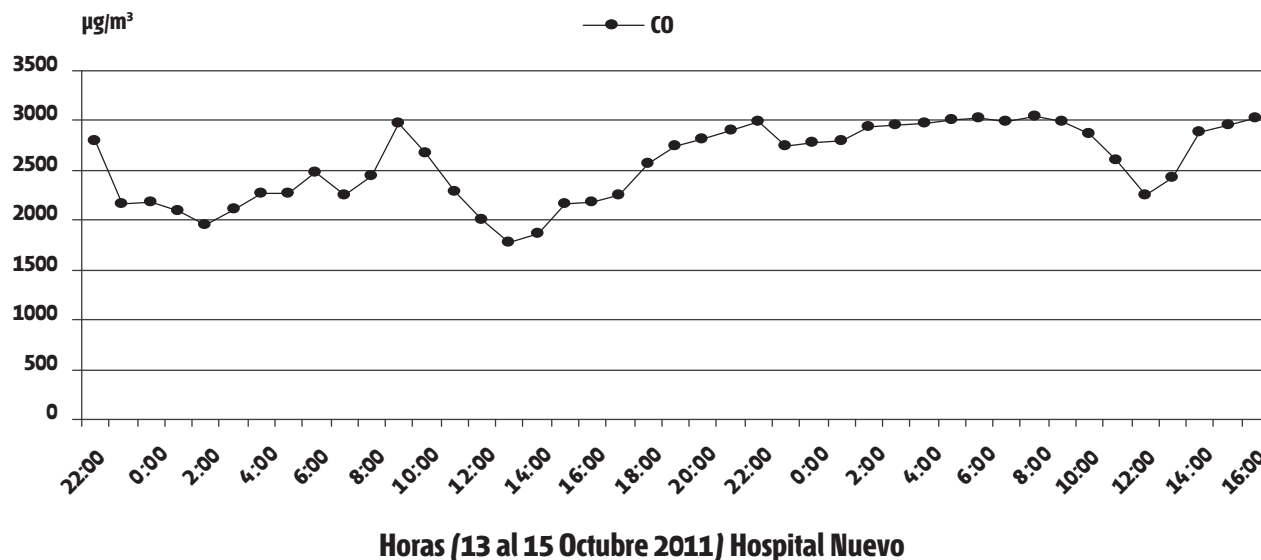


Fig. 11 Marcha de las concentraciones de monóxido de carbono (CO). Punto de muestreo Hospital Nuevo.

Análisis del índice de calidad del aire del segundo experimento

Para cada contaminante se analiza el comportamiento de la calidad del aire mediante las diversas categorías del ICA en los dos puntos de monitoreo durante el segundo experimento y, en general, se realiza el estudio del índice, puesto que la norma establece que el índice de un día corresponde al valor mayor de los índices correspondientes a cada contaminante muestreado en un lugar específico.

De la marcha horaria de los diversos contaminantes estudiados durante el experimento del 11 al 13 de octubre (período lluvioso), al analizar el ICA correspondiente al punto de monitoreo de la torrefactora, se constata que solo el NO₂ se acercó al valor de la Cma instantánea (85,0 µg/m³), con 84,5 µg/m³, lo cual se corresponde con la categoría *aceptable* para el ICA. Este valor ocurrió en la madrugada del día 13 de octubre y existieron también otros valores por encima de 80,0 µg/m³; en esos momentos, los vientos eran débiles y existieron calmas precedentes.

En el caso del ICA para muestras diarias, en los días del 11 al 13 de octubre, en el punto de monitoreo de la Torrefactora (Tabla 7), el SO₂ fue el contaminante que

presentó un ICA catalogado de *malo* el día 13. Además, el NO₂, el PM₁₀ y el CO durante los días 12 y 13 presentaron valores del ICA *deficientes*.

De este análisis puede concluirse que en las cercanías de este punto de monitoreo se producen concentraciones de contaminantes capaces de afectar la calidad del aire y podrían aparecer efectos nocivos a la salud humana, sobre todo en las poblaciones más sensibles, como son los niños y las personas de la tercera edad. Deberán tomarse las medidas tecnológicas y de ordenamiento territorial con vistas a disminuir el riesgo por la contaminación atmosférica de esta población expuesta.

Tabla 7. Aplicación del ICA para el muestreo diario de los contaminantes estudiados en la Torrefactora de Café (11 al 13 octubre de 2011)

Índice	Categoría	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	CO
0-79	Buena	11		11	
80-99	Aceptable		11		11
100-199	Deficiente	12 y 13	12	12 y 13	12 y 13
200-299	Mala		13		
300-499	Pésima				
>500	Crítica				

Nota: Se presenta el día asociado a la categoría del índice.

Al analizar el comportamiento del ICA en la zona de muestreo correspondiente al Hospital Abel Santa-

Tabla 8. Aplicación del ICA para el muestreo diario de los contaminantes estudiados en el Hospital Abel Santamaría (14 y 15 octubre de 2011)

Índice	Categoría	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	CO
0-79	Buena	14 y 15	14 y 15	14 y 15	14 y 15
80-99	Aceptable				
100-199	Deficiente				
200-299	Mala				
300-499	Pésima				

Nota: Se presenta el día asociado a la categoría del índice.

maría, de los valores horarios para los contaminantes estudiados se constata que ninguno sobrepasó su *Cma* instantánea, según la NC 39:1999. Un comportamiento similar mostraron los valores medios diarios (Tabla 8), con un *ICA buena*.

El SO₂ fue el contaminante que presentó un *ICA malo* durante el día 13 de octubre de 2011 en la zona de la Torrefactora de Café. Los días 11 y 12 exhibieron valores del *ICA aceptable* y *deficiente*, respectivamente; el día 12, los cuatro contaminantes criterio estudiados presentaron niveles del *ICA deficientes*, mientras que en los demás puntos de muestreo, a causa de las precipitaciones ocurridas esos días, las condiciones meteorológicas fueron favorables para las concentraciones bajas medidas.

De este análisis puede concluirse que en la zona donde está enclavada la Torrefactora de Café se producen afectaciones en la calidad del aire y podrían aparecer efectos nocivos a la salud humana, sobre todo en las poblaciones más sensibles como son los niños y las personas de la tercera edad.

Conclusiones y recomendaciones

En las campañas de monitoreo experimental desarrolladas en la ciudad de Pinar del Río para medir la calidad del aire durante los períodos lluviosos y poco

lluviosos de 2011 pudo verificarse lo siguiente:

Los valores medios diarios de los diversos contaminantes estudiados en los tres puntos de muestreo reflejan que el SO₂, en el punto de muestreo del Grupo Electrónico Briones Montoto, sobrepasa el valor de *Cma* para 24 h (50 µg/m³), según la Norma Cubana 39:1999, durante los días del 22 al 24. Estos valores de concentración altos están relacionados con la potencia de la fuente emisora cercana.

En el monitoreo asociado al período lluvioso (octubre), a partir de los valores medios diarios observados, se verificó que el punto de muestreo correspondiente a la Torrefactora de Café fue el único en el cual las concentraciones del PM₁₀, SO₂, NO₂ y CO sobrepasaron los valores de *Cma* para 24 h. Estos valores de concentración altos se vinculan con la poca dispersión de contaminantes a causa de los vientos débiles y las calmas.

En el Hospital Abel Santamaría, durante el muestreo asociado al período lluvioso no se incumple con el valor medio diario de *Cma* para los contaminantes estudiados, según la Norma Cubana 111:2005. Debe tenerse en consideración que la lluvia reinante en esos momentos provocó la limpieza de la atmósfera.

En la zona del Grupo Electrónico Briones Montoto, el SO₂ y el NO₂ son los contaminantes que presentaron un *ICA deficiente* durante el período poco lluvioso son.

En la zona de la Torrefactora de Café, el SO₂ fue el contaminante que presentó un *ICA malo*. Asimismo, se presentaron cifras del *ICA aceptable* y *deficiente* los días 11 y 12 de octubre, respectivamente, y se corresponden con el período lluvioso del año.

De este análisis puede confirmarse que en estas localidades se producen afectaciones en la calidad del aire y podrían aparecer efectos nocivos a la salud humana, sobre todo en las poblaciones más sensibles, como son los niños y las personas de la tercera edad.

Se recomienda realizar mediciones sistemáticas

de los contaminantes criterio o principales en las zonas donde se ha verificado el deterioro de la calidad del aire. De igual modo, las industrias que provocan estas concentraciones altas deberán mejorar sus condiciones tecnológicas y operacionales con vistas a la disminución de sus emisiones a la atmósfera.

Además, se recomienda la utilización del monitoreo y la aplicación del ICA con miras a la evaluación de la contaminación del aire en los asentamientos humanos, como una buena herramienta para la información y la gestión ambientales.

Referencias bibliográficas

- CUESTA, O. 2000. Caracterización del medio ambiente atmosférico en la ribera este de la Bahía de La Habana. Instituto de Meteorología.
- CUESTA, O., COLLAZO, A., WALLO, A., SÁNCHEZ, P. & LABRADOR, R. 2002. Utilización de un índice de calidad del aire (ICA) en asentamientos humanos. Resultados preliminares. *Revista Cubana de Meteorología*, 9.
- CUESTA, O. & WALLO, A. 2010. Fuentes de contaminación atmosférica y su relación con la calidad del aire. *Memorias de la Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*. Ciudad de La Habana.
- CUESTA, O., WALLO, A., MONTES DE OCA, L., PIERRA, A. & TRICIO, V. Calidad del aire en zonas urbanas de Cuba. Conama 11. Congreso de Medio Ambiente, 2010. España. <http://www.conama10.es/web/index.php>
- DGP 2010. Diccionario geográfico provincial. . Provincia de Pinar del Río.
- GARCÍA, M., ULLOA, H., RAMÍREZ, H., FUENTES, M., ARIAS, S., GARCÍA, O., MEULENERT, A. & ALCALÁ, J. Análisis del comportamiento de los contaminantes atmosféricos e influencia de factores meteorológicos en el área urbana de Guadalajara, 2001-2010. Memorias del VI Congreso Cubano de Meteorología, 28 de noviembre al 2 de diciembre de 2011. La Habana.
- Manuales del Usuario*, Hebei Sailhero High-tech Co., Ltd, Republica Popular China, 2009.
- MOLINA, E., CUESTA, O., MENESES, E., TURTÓS, L., ROMERO, M., MARTÍNEZ, M., PRIETO, V., MARÍN, M., RABELO, V. & PADRÓN, M. 2009. Propuesta de concentraciones máximas admisibles de contaminantes del aire en asentamientos humanos en Cuba. La Habana.
- Normas de Gestión Ambiental NC. 1999. Requisitos higiénico-sanitarios CITMA-INN-MEP, La Habana, Cuba. (1999): *Norma Cubana 39-1999. Requisitos higiénico-sanitarios*, CITMA-INN-MEP, La Habana, Cuba.
- NC: 111 (2004). Calidad del aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos, Oficina Nacional de Normalización, La Habana.
- ONE 2009. Oficina Nacional de Estadística. Provincia de Pinar del Río
- RAMÍREZ, H., ANDRADE, M., BEJARAN, R., GARCÍA, M., WALLO, A., POMPA, A. & DE LA TORRE, O. 2009. The spatial temporal distribution of the atmospheric polluting agents during the period 2000-2005 in the Urban Area of Guadalajara, Jalisco, Mexico. *Journal of Hazardous Materials*, 165, 1128-1141.
- UNEP 1991. Urban Air Pollution. UNEP/GEMS Environment Programme, Nairobi, Kenya.