

Comportamiento del material particulado en La Habana. Valores experimentales

Behavior of particulate material in Havana. Experimental values



<https://eqrcode.co/a/HktBEP>

**Oswaldo Cuesta-Santos, Rosemary López-Lee, Yosdany González-Jaime, Carlos Sosa-Pérez,
Javier Bolufé-Torres, Evelio García-Valdés, Francisco Reyes-Hernández***

Instituto de Higiene, Epidemiología y Microbiología, MINSAP, Cuba.

RESUMEN: Existen sobradas evidencias que muestran la incidencia negativa de la presencia de material particulado (polvo) en la atmósfera en la salud de las personas, los ecosistemas y el patrimonio cultural. En el presente trabajo se muestran los resultados experimentales desarrollados en diversas localidades de La Habana donde se desarrollaron mediciones del Material Particulado menor de 10 y 2,5 micras (PM_{10} y $PM_{2,5}$) durante el periodo del 2015 al 2017. En todas las estaciones y puntos de monitoreo se sobrepasa la concentración máxima admisible diaria, según la NC 1020:2014. La relación que existe entre los valores de las concentraciones del material particulado con las variables meteorológicas y las diversas masas de aire asociadas a los diferentes tipos de situaciones sinópticas tienen gran importancia para conocer el comportamiento de este contaminante vinculado a muchos problemas actuales de la protección del medioambiente. En la estación de San Miguel del Padrón (SMP) las concentraciones horarias y diarias promedio más elevadas ocurrieron asociadas a las emisiones del flujo vehicular y algunas fuentes industriales ubicadas en la región inmediata circundante. Las concentraciones máximas admisibles (Cma) horarias y diarias en esta estación se superan, sobre todo en el segundo periodo de estudio desde noviembre de 2016 a octubre de 2017 con 54 y 13 horas y para 45 y 21 días para el PM_{10} y $PM_{2,5}$ respectivamente. Se recomienda continuar los estudios complejos sobre calidad del aire en la ciudad.

Palabras clave: material particulado, calidad del aire, mediciones.

ABSTRACT: They exist enough evidence that shows the negative impact of the presence of particulate matter (dust) in the atmosphere on the health of people, ecosystems and cultural patrimony. In the present work the developed experimental results in many locations of Havana where measurements of the Particulate Material smaller than 10 and 2.5 microns (PM_{10} and $PM_{2,5}$) were developed during the period from 2015 to 2017 are shown. In all the stations and monitoring points the maximum admissible daily concentration is exceeded, according to NC 1020: 2014. The relationship between the values of particulate matter concentrations with meteorological variables and the various air masses associated with different types of synoptic situations are of great importance in order to know the behavior of this pollutant, linked to many current problems of protection of the environment. At the San Miguel del Padron station (SMP) the highest average hourly and daily concentrations occurred associated with emissions from vehicular flow and some industrial sources located in the immediate surrounding region. The maximum hourly and daily maximum allowable concentrations (Mac) in this station are exceeded, especially in the second study period from November 2016 to October 2017 with 54 and 13 hours and for 45 and 21 days for PM_{10} and $PM_{2,5}$ respectively. It is recommended to continue complex studies on air quality in the city.

Key Words: particulate material, air quality, measurements.

*Autor para correspondencia: *Francisco Reyes-Hernández*. E-mail: francisco@inhem.sld.cu

Recibido: 10/06/2020

Aceptado: 20/09/2020

INTRODUCCIÓN

Existen sobradas evidencias que muestran la incidencia negativa de una deficiente calidad del aire en la salud de las personas, los ecosistemas y el patrimonio. La contaminación atmosférica incide y agrava procesos asociados a enfermedades respiratorias, vasculares y a diversos tipos de cáncer. En este sentido, el objetivo de mejora de la calidad del aire debería recibir mayor atención, dedicación y prioridad por parte de las administraciones competentes, por ser un problema generalizado que incide directamente en la salud de los ciudadanos (en especial niños y personas mayores de 65 años) y en su calidad de vida, intervenciones que además de eficaces responderían a una demanda creciente de los ciudadanos y a la necesidad de evitar los altos costes económicos y riesgos para la calidad de vida, todos ellos aspectos claves para la sostenibilidad urbana ([Cuesta et al., 2014](#)).

El material particulado es uno de los principales productos de los procesos de combustión en el motor de los vehículos. Este contaminante es uno de los que tiene mayores impactos en la salud humana; ha sido asociado con un aumento de síntomas de enfermedades respiratorias, reducción de la función pulmonar, agravamiento del asma, y muertes prematuras por afecciones respiratorias y cardiovasculares ([Cuesta, O; y Wallo, A; 2010](#) y [Cuesta, O., et al., 2012](#)).

El tamaño de las partículas se encuentra directamente vinculado con el potencial para provocar problemas de salud. Las partículas pequeñas de menos de 10 micrómetros de diámetro suponen los mayores problemas, debido a que pueden llegar a la profundidad de los pulmones, y algunas hasta pueden alcanzar el torrente sanguíneo. La exposición a estas partículas puede afectar tanto a los pulmones como al corazón. Múltiples estudios científicos vincularon la exposición a la contaminación por partículas a una variedad de problemas ([EPA, 2019](#)).

En el presente trabajo se muestran los resultados experimentales realizados en diversas localidades de La Habana donde se desarrollaron mediciones

del Material Particulado menor de 10 y 2,5 micras (PM_{10} y $PM_{2,5}$) durante el periodo del 2015 al 2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las mediciones experimentales se realizaron en diversos puntos de interés en la ciudad de La Habana. Para la selección se tuvieron en cuenta una serie de elementos, tales como: localización de las fuentes contaminantes, dirección del viento, altura de la chimenea, emisiones por fuentes móviles y fugitivas, entre otros.

Para el periodo de mediciones comprendido durante los años 2015 al 2017, para realizar la medición continua del Material Particulado (PM_{10}) se utilizó el equipo THERMO MIE ADR-1500, ([Figura 1](#)) reconocido por su buena característica tecnológica para las mediciones de este contaminante atmosférico. El mismo se ubica a 1,5 metros de altura con el fin de muestrear este contaminante a la altura promedio donde se expone la población. Las principales mediciones se realizaron en la localidad Casablanca, el grupo electrógeno de La Lisa, Vertedero de Calle 100 y en la Calle Reina.

También en este trabajo se utilizaron las Estaciones Automáticas de Monitoreo Atmosférico (EAMA). Ambas son de la marca Automated Air Quality Monitoring System (TH-2000), fabricadas por Yuhong Environmental Protection Industrial Development Co, de procedencia China. Las mismas están ubicadas en la sede del Consejo de la Administración Municipal de San Miguel del Padrón (SMP), y en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), de la Universidad de La Habana, en Plaza de la Revolución. La estación SMP con fuerte influencia del tráfico automotor y fuentes industriales cercanas y la estación del InSTEC se encuentra rodeada de gran vegetación por estar en áreas de la Quinta de los Molinos, una de las principales zonas verdes de la ciudad y alejada unos 100 metros de las avenidas principales.

Estas estaciones cuentan con muestreadores dicotómicos de partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2,5}$), en los cuales se aplica el principio de

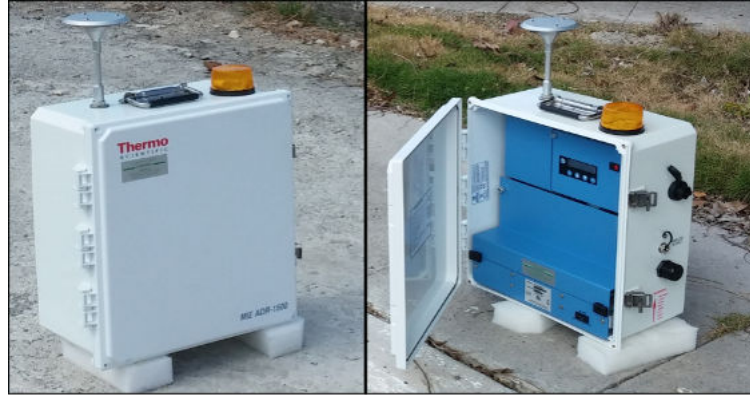


Figura 1. Equipo de medición portátil THERMO MIE ADR-1500 empleado durante el periodo de 2015 al 2017.

atenuación beta para determinar la concentración de partículas en el aire, y otros instrumentos adicionales para la medición de temperatura y presión barométrica en el exterior e interior de las estaciones, dirección y velocidad del viento.

Por último, se realizó un estudio constituido por las concentraciones diarias de PM_{10} obtenidas en la estación de monitoreo de Centro Habana, ubicada en el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (en la parte sur-oeste del municipio Centro Habana). El periodo de estudio fue desde enero del 2015 hasta diciembre del 2017. Se utilizó el método gravimétrico de bajo volumen,

con el empleo de un Impactador tipo Harvard (Reyes, F., 2020). Los puntos de mediciones experimentales y las principales fuentes fijas de muestran en la Figura 2.

Para conocer la influencia del material particulado en la calidad del aire se toma como referencia la Norma Cubana [NC 1020:2014](#) que establece las concentraciones máximas admisibles (Cma) de contaminantes en el aire en zonas habitables (Tabla 1).

Por otro lado, la [NC 111: 2004](#), establece el Índice de Calidad del Aire (ICA) en los asentamientos humanos, lo cual permite conocer el grado de

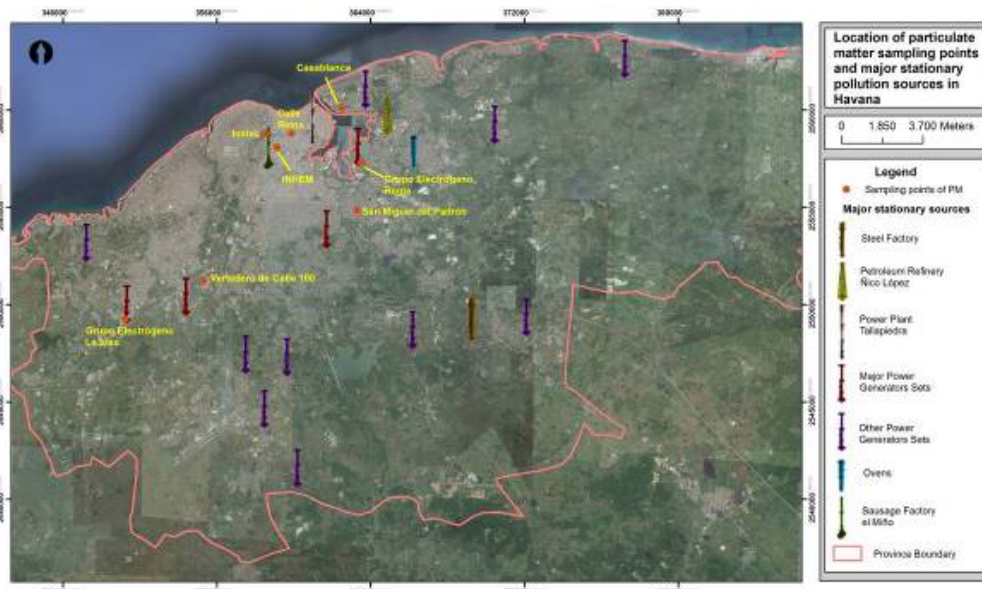


Figura 2. Ubicación general de los puntos de mediciones experimentales y las principales fuentes fijas en la ciudad de La Habana.

Tabla 1. Cma del Material Particulado en el aire para zonas habitables.

Contaminantes	Nomenclatura	Cma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
Partículas en suspensión $\leq 10 \mu\text{m}$ de diámetro	PM ₁₀	200	1 hora
		50	24 horas
		30	Media anual
Partículas en suspensión $\leq 2,5 \mu\text{m}$ de diámetro	PM _{2,5}	100	1 hora
		25	24 horas
		15	Media anual

deterioro que puede estar provocando el material particulado.

En el estudio de las situaciones sinópticas asociadas, se utilizaron los archivos del Centro Nacional de Pronósticos del Instituto de Meteorología. Para la clasificación de los patrones sinópticos se tuvo en cuenta la metodología desarrollada por [Lapinel \(1988\)](#). La misma permite identificar y clasificar el Tipo de Situación Sinóptica (TSS) representado en un mapa de superficie, considerando el patrón predominante de presión y viento, así como las variables meteorológicas asociadas. Comprende nueve tipos principales (I al IX) y 20 subtipos ([Cuesta, o., et al., 2000](#); [Vidal, I., et al., 2018](#)). Se han relacionado, además, los patrones sinópticos con la contaminación atmosférica a diferentes escalas, para conocer así su comportamiento ([Cuesta, 1995](#); [Fonseca, 2010](#)).

En la concepción del diseño experimental se tiene en cuenta mediciones aleatorias donde se contemplan espacialmente diversas localidades vinculadas a fuentes fijas potentes y temporalmente la realización de los mismos en el periodo poco lluvioso y en el lluvioso con el fin de verificar diferencias encontradas. Se analiza el comportamiento de la calidad del aire a través de las diversas categorías del índice (ICA) en los puntos de monitoreo ([Cuesta, O., et al., 2002](#); [Cuesta, O., et al., 2005](#)).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento en la Estación Casablanca

El comportamiento de las concentraciones horarias y diarias de PM₁₀ en Casablanca durante el

año 2015 durante el periodo de marzo a octubre se muestra en la [Tabla 2](#). El valor máximo horario fue de 128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor máximo diario es de 53,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y este valor está por encima de la Cma que es 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la NC 1020:2014.

Tabla 2. Mediciones de PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Casablanca durante el periodo de marzo a octubre de 2015.

Variables	Horarias	Diarias
Nº de muestra	277	20
Media	24,4	24,3
Desviación Estándar	33,2	22,8
Máximo	128,0	53,1
Mínimo	7,2	12,8
Cma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	50
Total de Casos >Cma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0	1

Otro interés en el estudio del material particulado es su comportamiento asociado a diversos tipos de situaciones sinópticas por eso en el punto de monitoreo de Casablanca se desarrollan varias mediciones en este sentido.

Bajo la influencia del Anticiclón Continental Migratorio (TSS VIII), subtipo 11, durante el día 30 de marzo de 2015 con viento predominante de región este, se realizaron mediciones de 8 am a 4 pm con concentraciones medias horarias de 13,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La situación meteorológica y la marcha de las concentraciones se muestran en la [Figura 3](#). La fuerza del viento aumenta, lo cual se refleja en la disminución de las concentraciones.

Con la influencia del anticiclón oceánico o del Atlántico (TSS I), con predominio de vientos del segundo cuadrante (subtipo 2), dirección del ESE girando al NE en la tarde, durante el día 15 de abril

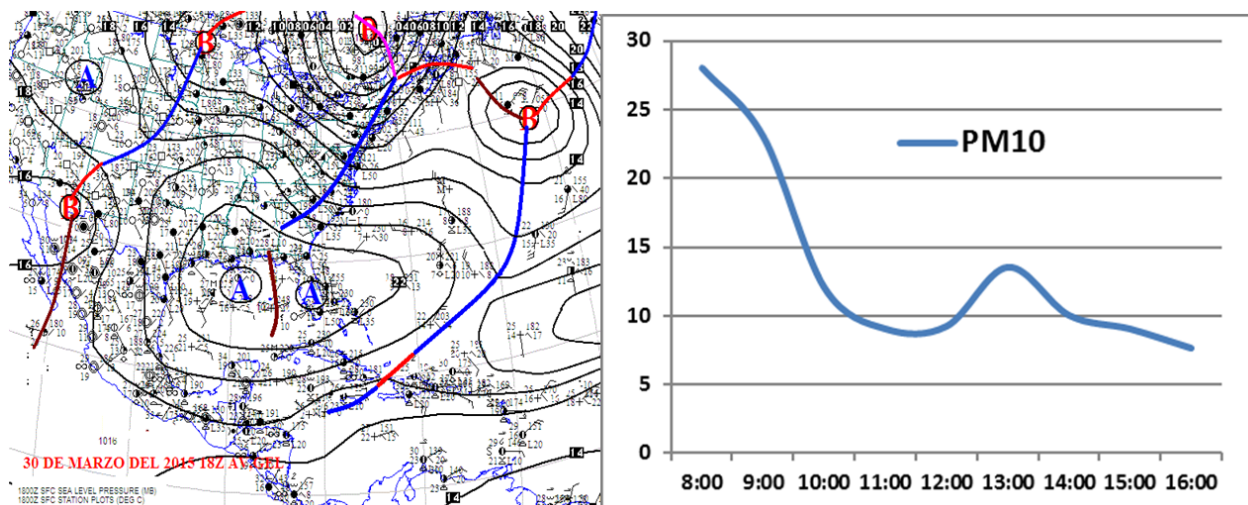


Figura 3. TSS VIII, subtipo 11 y marcha de concentraciones del PM₁₀ en µg/m³.

de 2015, se realizaron mediciones desde las 7 am hasta las 4 pm con concentraciones medias horarias de 25,5 µg/m³. La situación meteorológica y la marcha de las concentraciones se muestran en la Figura 4. La fuerza del viento aumenta, lo cual se refleja en la disminución de las concentraciones durante la tarde.

La influencia de débil gradiente barico (TSS III), asociado a ondas y hondonadas (Subtipo 18), durante el día 20 de abril de 2015 con viento predominante de región sur de 30 Km/h, se realizaron mediciones desde las 9 am hasta las 4 pm con concentraciones medias horarias de 11,3 µg/m³. La situación meteorológica y la marcha de

las concentraciones se muestran en la Figura 5. La fuerza del viento aumenta, lo cual se refleja en la disminución de las concentraciones durante la tarde.

El día 28 de abril de 2015 la estación de Casablanca se encuentra bajo la influencia del Tipo de Situación Sinóptica (TSS VI), subtipo 4, Baja Extratropical, muy cercana con presencia del sector frío con vientos de región sur. La concentración promedio en ese intervalo fue de 13,5 µg/m³, con el valor máximo a las 8 de la mañana de 28 µg/m³ y el mínimo a las 4 de la tarde con 7,6 µg/m³. La situación meteorológica y la marcha de las concentraciones se muestran en la Figura 6.

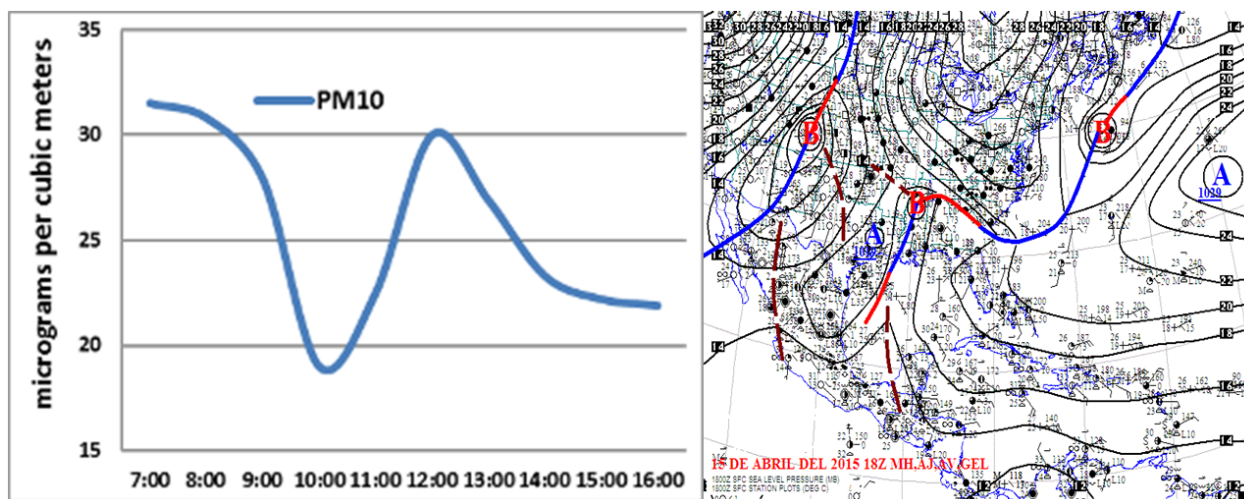


Figura 4. TSS I, subtipo 2. Anticiclón Oceánico y marcha de concentraciones del PM₁₀ en µg/m³.

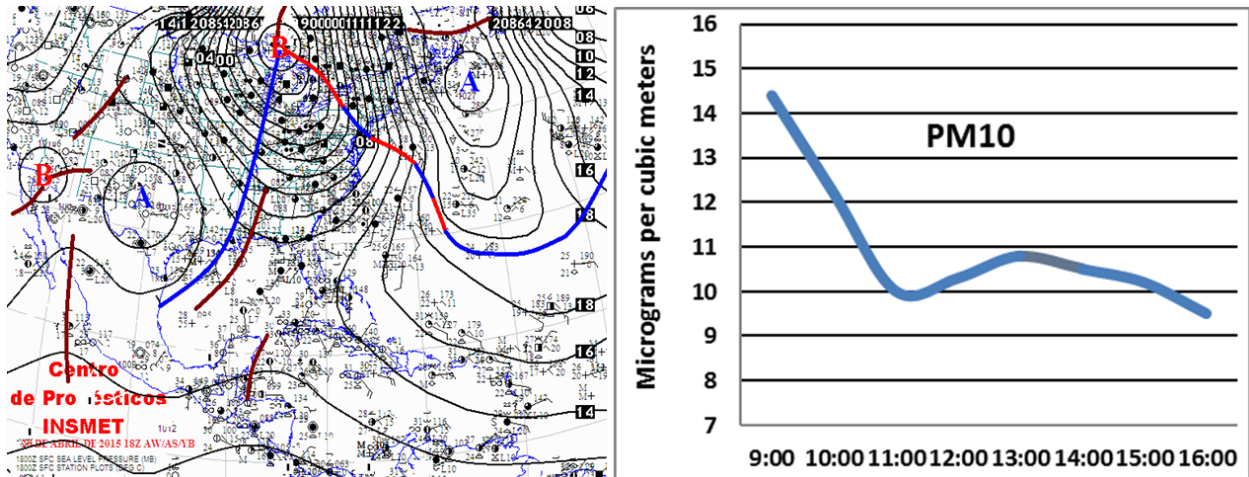


Figura 5. TSS III. Débil gradiente. Subtipo 18 y marcha de concentraciones del PM₁₀ en µg/m³.

De interés también observamos la influencia del anticiclón continental (TSS VIII1), con predominio de vientos del primer cuadrante, durante el día 25 de mayo de 2015, en la estación Casablanca. Aquí se realizaron mediciones desde las 9 am hasta las 2 pm con concentraciones medias horarias de 41,4 µg/m³. La situación meteorológica y la marcha de las concentraciones se muestran en la [Figura 7](#). En este caso se conoce la presencia de polvo del Sahara sobre esta localidad ([Mojena et al., 2015](#)), lo cual se refleja en los altos valores obtenidos en esta medición, siendo la más alta concentración promedio en estas horas para Casablanca, no asociada a condiciones de poca dispersión.

La TSS VIII, está vinculada con la influencia sobre nuestro territorio de las altas típicas polares continentales de Norteamérica, que tienden, por lo general, a desplazarse al sudeste y luego al este hacia el Atlántico. Desde el 23 hasta el 25 de mayo de 2015 se desplaza este anticiclón hacia el este, ya el día 24 se encuentra sobre el océano Atlántico fraccionándose en diversas celdas o centros de altas presiones cuyos centros se muestran entre los 35 - 45 grados norte.

Esta amplia cuna influye sobre el este de los EE.UU., el Atlántico adyacente, golfo de México, Las Bahamas, Cuba y el mar Caribe e impone sobre el archipiélago cubano un régimen de vientos

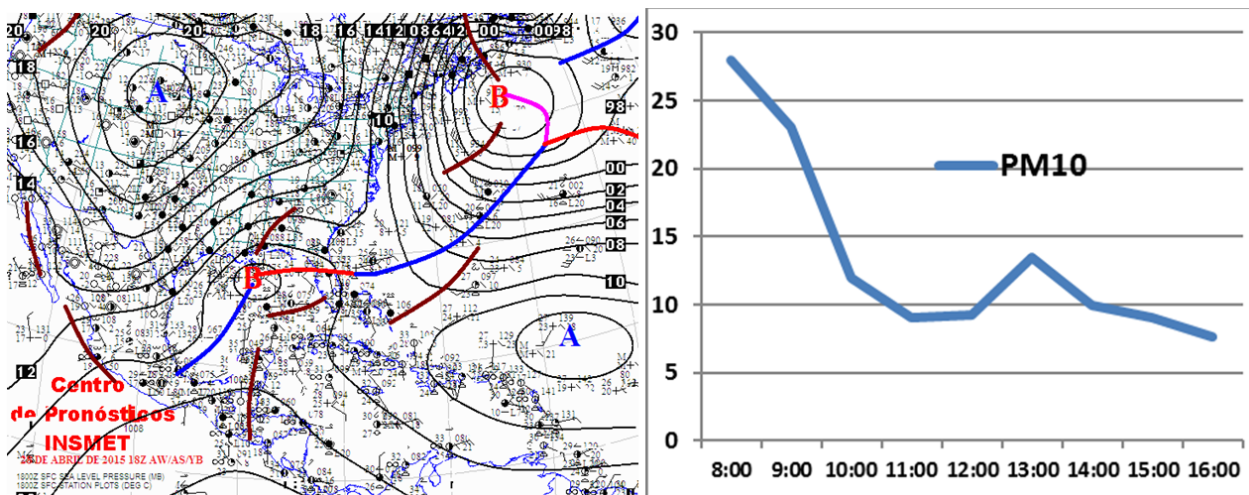


Figura 6. TSS VI, subtipo 4 y marcha de concentraciones del PM₁₀ en µg/m³.

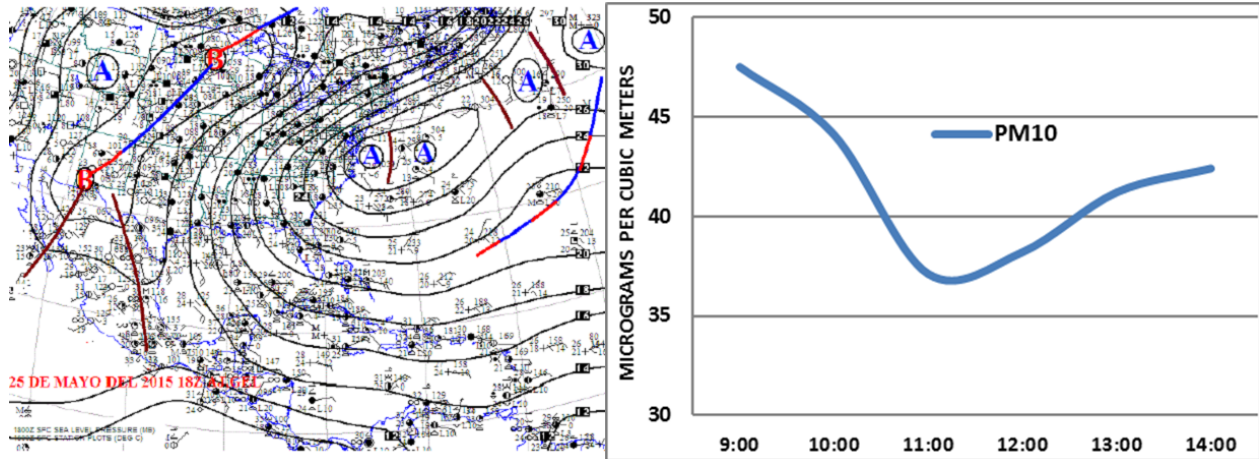


Figura 7. TSS VIII. Anticiclón Oceánico y marcha de concentraciones del PM_{10} en $\mu g/m^3$.

del nordeste al este, algo fuertes en rachas en zonas de la costa norte. La estación meteorológica de Casablanca, registró una racha máxima de 54 km/h. del NE a las 12. 30 pm. A pesar de estos vientos relativamente fuertes las concentraciones de partículas fueron elevadas lo cual confirma la influencia de la presencia de la nube de polvo procedente del Sahara.

Por otro lado, al analizar el comportamiento de la marcha horaria de las concentraciones de PM_{10} en Casablanca observamos entre los días 15 y 16 de junio este contaminante presenta bajos valores asociado el aumento de la dispersión en horas de la tarde y primeras de la noche y alcanza un máximo

en la madrugada y primeras horas de la mañana asociada a vientos débiles y la disminución de la capa de mezcla (Alonso, A., 2013). En este caso las concentraciones horarias (Figura 8) alcanzan un máximo alrededor de las 07:00 horas de 128,0 $\mu g/m^3$.

En la figura 9 se muestran los mapas sinópticos que reflejan la Influencia anticiclónica con débil gradiente durante los días 15 y 16 de junio de 2015 que son típicos del Tipo de Situación Sinóptica (TSS II, subtipo 12), relacionada con aquellas configuraciones del campo bórico que se producen cuando la región central del Anticiclón del Atlántico se aleja sensiblemente de Cuba,

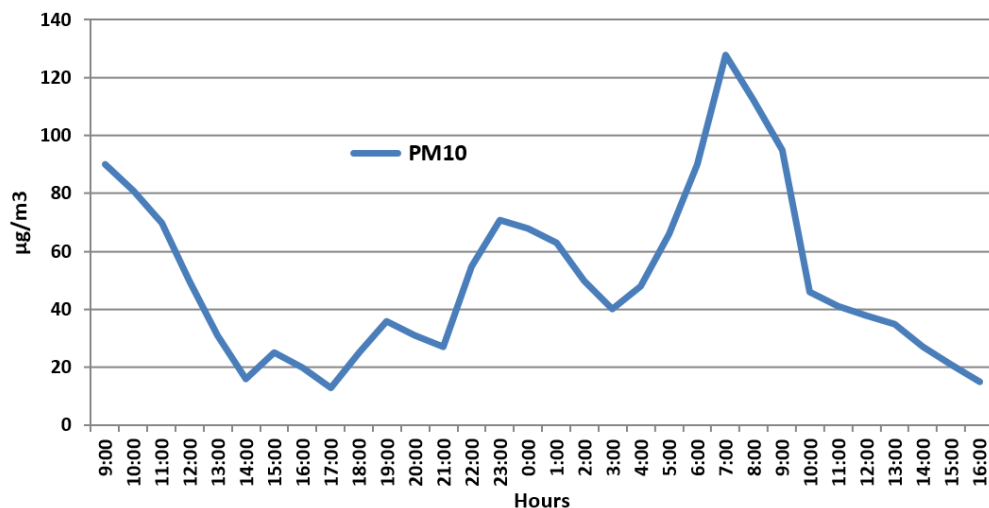


Figura 8. Marcha horaria de las concentraciones de PM_{10} en Casablanca. Junio 15 y 16.

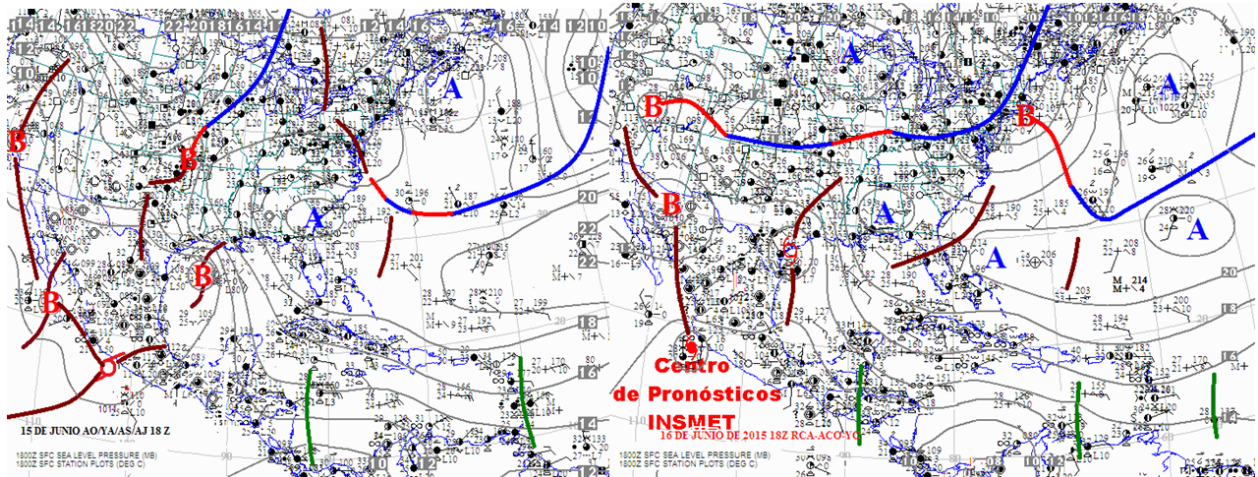


Figura 9. TSS II, Subtipo 12. Anticiclón del Atlántico se aleja sensiblemente de Cuba.

produciéndose un extenso desplazamiento de sus masas de aire desde su región fuente, modificándose sus características iniciales, producto de una más prolongada interacción océano - atmósfera (Lapinel, 1988 y Alonso, 2013). Como se puede apreciar en el mapa correspondiente al día 16 de junio de 2015 sobre Cuba influye un sistema de altas presiones oceánico que tiene un centro principal alejado en el Atlántico de 1022 hPa y un centro secundario de 1020 hPa en el saco de Charleston, manteniendo sobre nuestro país vientos de región este.

La relación que existe entre los valores de las concentraciones del material particulado en Casablanca con las variables meteorológicas y las diversas masas de aire asociadas a los diferentes tipos de situaciones sinópticas tienen gran importancia para conocer el comportamiento de este contaminante vinculado a muchos problemas actuales de la protección del medioambiente.

Comportamiento en el emplazamiento de generación eléctrica de La Lisa

Otro de los puntos de muestreo fue en los alrededores del emplazamiento de generación eléctrica de La Lisa, el PM_{10} mantiene valores horarios entre 20 y 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los días 13 y 14 de septiembre. Los valores obtenidos muestran las mayores concentraciones en horarios de poca dispersión (primeras horas de la mañana y de la

noche), aunque el último día en las primeras horas de la tarde se obtienen también altos valores asociados a una fuerte turbulencia (Figura 10).

Cuando analizamos las muestras diarias (Tabla 3 y Figura 11) entonces podemos apreciar que el PM_{10} está por encima de la concentración máxima admisible, por lo que podemos afirmar que en el emplazamiento del grupo electrógeno de La Lisa se encuentra en una zona en la que la calidad del aire está deteriorada, confirmándose con estas mediciones que el Índice de Calidad del Aire (ICA) según la NC 111:2004 presenta valores catalogados como calidad del aire deficiente.

Comportamiento en el vertedero de la Calle 100

Otro lugar donde se estudió el comportamiento del material particulado fue en el vertedero de la Calle 100 durante los días del 8 al 11 de diciembre. Se registraron valores horarios (Figura 12) desde 10 hasta 136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El máximo ocurrió en las primeras horas de la mañana del segundo día de medición, con vientos débiles y calma. La concentración máxima admisible para valores horarios no se sobrepasó en este intervalo.

Aquí también cuando analizamos las muestras diarias (Tabla 4 y Figura 13) entonces podemos apreciar que el PM_{10} está por encima de la concentración máxima admisible, por lo que podemos afirmar que el vertedero se encuentra en

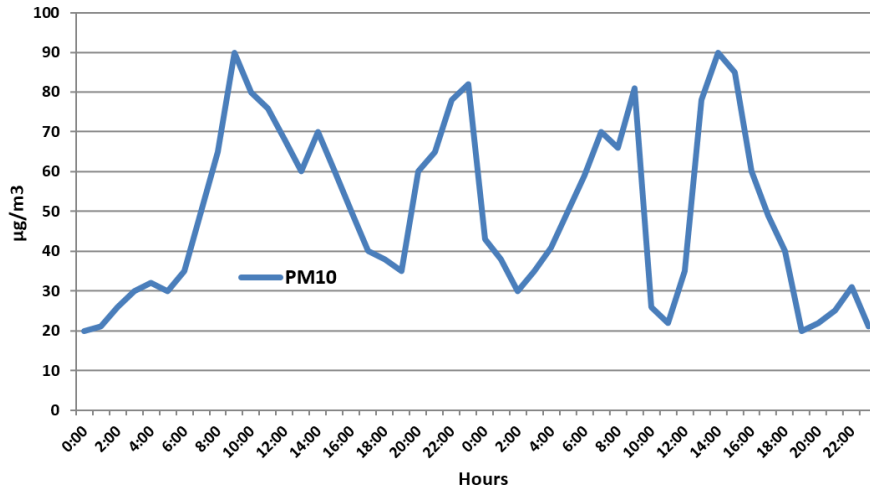


Figura 10. Marcha horaria de las concentraciones de PM₁₀ en La Lisa. Grupo electrógeno. Septiembre 13 y 14.

Tabla 3. Valores medios diarios en µg/m³. Grupo electrógeno La Lisa.

Contaminante	13/09/15	14/09/15	Cma Diaria	Veces por encima Cma Diaria
PM ₁₀	52,5	46,7	50	1

una zona en la que la calidad del aire está deteriorada, confirmándose con estas mediciones que el Índice de Calidad del Aire (ICA) según la NC 111:2004 presenta valores catalogados como calidad del aire deficiente.

Durante los dos primeros días del experimento no se produjeron precipitaciones, lo cual se refleja muy bien en las altas concentraciones que presento

el material particulado, posteriormente en condiciones de lluvia se produce un lavado de las partículas en la atmósfera y las condiciones de humedad favorecen la no incorporación de las partículas por la resuspensión de las mismas o su incorporación a la atmósfera desde vehículos que transportan desechos sin las condiciones necesarias, como lonas y tapacetes.

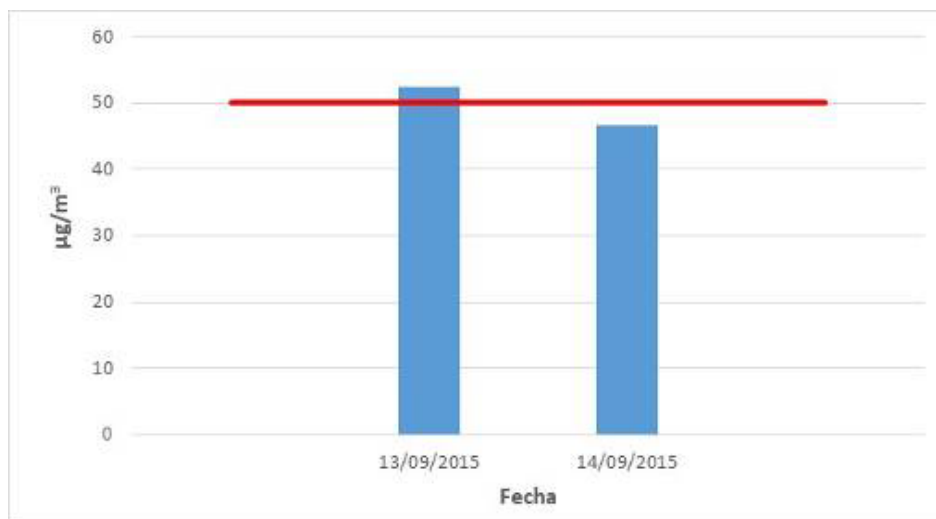


Figura 11. Valores medios diarios en µg/m³. Grupo electrógeno La Lisa.

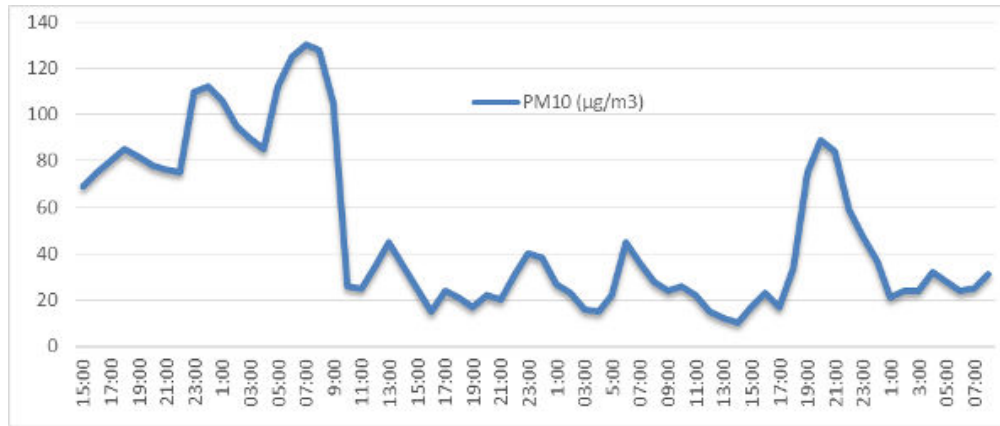


Figura 12. Concentraciones de PM₁₀ del día 8 a las 15 horas hasta el día 11 a las 8 horas de diciembre.

Tabla 4. Valores medios diarios en µg/m³. Vertedero de Calle 100.

Contaminante	8/12/15	9/12/15	10/12/15	11/12/15	Cma Diaria	Veces por encima Cma Diaria
PM ₁₀	81,1	61,2	33,5	27,3	50	2

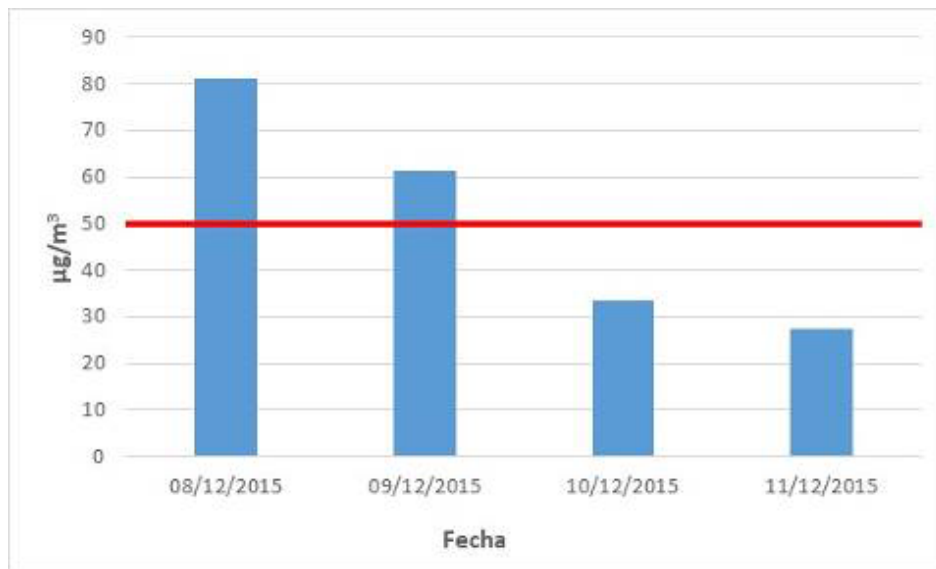


Figura 13. Valores medios diarios en µg/m³. Vertedero de Calle 100.

Comportamiento en la Calle Reina

Otro lugar de interés para conocer el comportamiento del material particulado a través de mediciones experimentales fue un punto de la calle Reina, en el municipio Centro Habana, durante los días del 13 al 23 de julio de 2015, en horario diurno (de 7 de la mañana a las 7 de la tarde), con el fin de conocer las concentraciones asociadas a las fuentes móviles (alto tráfico vehicular) y de fuentes fijas de sus alrededores.

El PM₁₀ presentó valores promedios horarios (Figura 14) entre 115 y 88 µg/m³ en el horario diurno, estos valores están por encima de la Concentración Máxima Admisible (Cma) de 50 µg/m³ establecido para valores diarios en la NC 1020:2014. Valores relativamente más bajos se presentan en horas de la tarde, cuando la fuerza del viento es más fuerte.

Para muestras horarias la norma cubana establece valores de 200 µg/m³. Valores por encima

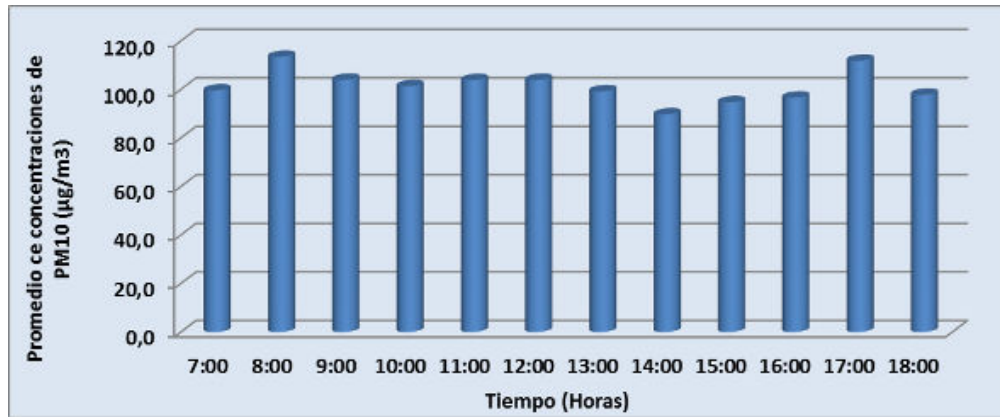


Figura 14. Concentración promedio horaria de PM₁₀ en la calle Reina.

de la norma horaria se registraron en múltiples ocasiones con el paso de vehículos que emitían altas concentraciones de contaminantes, reflejo del mal estado técnico de los mismos, pero solo en minutos, al promediar los valores horarios no se sobrepasa la Cma. Esto se aprecia en la [Figura 15](#), donde por encima de 300, 400 y hasta un máximo de 500 µg/m³ se muestran intervalos de concentraciones por encima de la norma.

Comportamiento del material particulado en tres estaciones fijas: INHEM, InSTEC Y SMP

Para conocer el comportamiento del material particulado se obtienen valores de concentraciones asociados a estaciones de monitoreo en tres localidades de la ciudad, en los cuales se identifican con una mayor cantidad de datos. Estas

estaciones fijas con mayor cantidad de datos son: El Instituto de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM), en la sede del Consejo de la Administración Municipal de San Miguel del Padrón (SMP), y en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), de la Universidad de La Habana, en Plaza de la Revolución.

La estación de monitoreo del Instituto de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM) ubicada en el municipio Centro Habana, se caracteriza por una gran influencia de fuentes móviles (alto tráfico vehicular) y sujeto a la influencia de las fuentes fijas circundantes.

Durante los años del 2015 al 2017 el PM₁₀ se muestrea de forma diaria, presentando valores medios diarios de 32,7 µg/m³ siendo su mayor valor promedio anual en el año 2015 (ver [Tabla 5](#)),

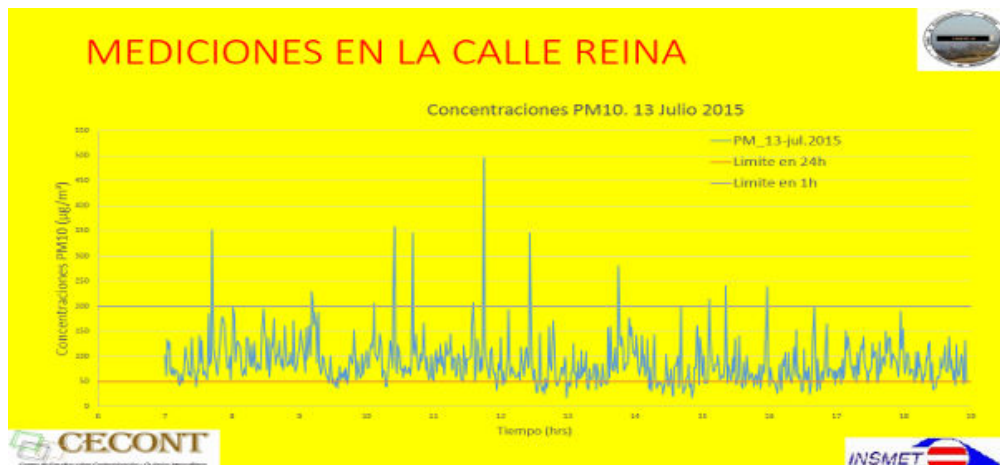


Figura 15. Valores continuos de PM₁₀ durante el día 13 de julio de 2015.

superando la Cma en 75 ocasiones durante este año. Es de destacar que tanto en el año 2016 así como en el 2017 las concentraciones fueron también altas y sobrepasaron la norma en varias ocasiones como se aprecia en la [tabla 5](#).

Tabla 5. Comportamiento promedio del PM₁₀ en el periodo 2015-2017.

Variable	Año 2015	Año 2016	Año 2017
Nº de muestra	263	234	225
Media	39.9	34.3	23.9
Desviación Estándar	23.2	20.0	15.0
Máximo	125.4	149.7	108.8
Mínimo	3.1	2.8	1.3
Cma (µg/m ³)	50	50	50
Total, de Casos >Cma (µg/m ³).	75	42	12

Como se observa en la [Tabla 6](#), durante el período 2015 al 2017 los valores diarios obtenidos del PM₁₀ en los percentiles 10, 25, 50 y 75 muestran valores inferiores a las Cma correspondientes, establecidos por la norma cubana, excepto para el año 2015 en el cual el percentil 75, se supera la Cma. Por otro lado, en los percentiles 90, 95, y 99 se destacan valores máximos para el PM₁₀ que superan la norma, excepto en el año 2017 ([Reyes, F., 2020](#)).

Este comportamiento nos muestra que el PM₁₀ alcanza concentraciones capaces de superar la concentración máxima admisible en varias

ocasiones lo cual debe incidir en la exacerbación de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. En el año 2015 durante los meses de abril y julio las concentraciones medias mensuales superaron la Cma como se puede apreciar en la [Figura 16](#).

Tabla 6. Comportamiento de los percentiles de las concentraciones diarias de PM₁₀ en el periodo 2015 - 2017.

Percentiles	2015	2016	2017
10	11,8	11,5	7,5
25	23,9	20,0	13,4
50	39,9	33,1	21,5
75	53,4	44,5	31,7
90	69,7	58,1	43,9
95	80,4	66,8	51,8
99	109,1	91,1	63,2

Desde la última década del pasado siglo XX, se ha acumulado un creciente número de evidencias epidemiológicas de los efectos de las variables meteorológicas, la variabilidad climática y los contaminantes atmosféricos, en especial el material particulado, sobre los sistemas respiratorio y cardiovascular en el ser humano, determinando en gran medida el patrón de comportamiento de la morbilidad de varias enfermedades de estos sistemas ([Monsalve, 2011](#); [Grass y Cane, 2007](#) y [Bolufé, J., 2017](#)).

Estudios epidemiológicos realizados en Cuba ([Molina, E., et al 2001](#)), Colombia ([Cardozo et](#)

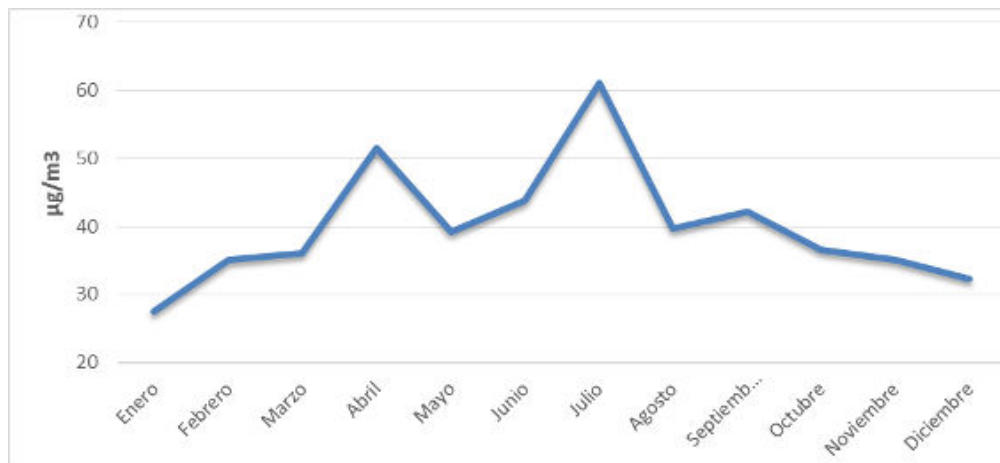


Figura 16. Comportamiento del PM₁₀ durante el año el año 2015 en el INHEM.

al.,2007), Chile ([Sanhueza, Vargas y Mellado, 2006](#)) y Estados Unidos de Norteamérica ([Brook et al., 2015](#)) aseveran la existencia de una asociación entre la exposición a la contaminación atmosférica y los efectos nocivos para la salud y refieren que concentraciones de partículas y otros contaminantes, hasta entonces consideradas seguras (dentro de las normas de calidad del aire), han ocasionado un daño de considerable importancia para la salud humana que se manifiesta en hospitalizaciones por enfermedad cardiovascular y exacerbaciones de cuadros asmáticos entre otros consiguiendo en algunos casos ocasionar hasta la muerte.

Otras dos estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas, una en la sede del Consejo de la Administración Municipal de San Miguel del Padrón (SMP), y la otra en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), de la Universidad de La Habana, en Plaza de la Revolución, muestran las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5}. En estas dos estaciones se midieron de forma continua desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2017.

Las concentraciones horarias promedio más elevadas ocurrieron en la estación de SMP, asociadas a las emisiones del flujo vehicular y algunas fuentes industriales ubicadas en la región inmediata circundante. También contribuye el polvo resuspendido por el viento desde la superficie. Durante el primer periodo de mediciones horarias (noviembre de 2015 a octubre 2016) los máximos valores horarios ocurren en la

estación del InSTEC ([Tabla 7](#)), destacándose el valor de 520,2 µg/m³ que supera la Cma en 2,6 veces, para el PM₁₀ y el valor máximo de 299,3 para el PM_{2,5} que supera la Cma en tres veces, lo cual muestra que la calidad del aire puede catalogarse como pésima en esa estación. Mientras que las horas en que las concentraciones superan la concentración máxima admisible (Cma) siempre fue superior en la estación de SMP y se destaca el segundo periodo de estudio desde noviembre de 2016 a octubre de 2017 con 54 y 13 horas para el PM₁₀ y PM_{2,5} respectivamente.

Por otro lado, al analizar las concentraciones diarias promedio las más elevadas ocurren también en la estación de SMP en todo el periodo ([Tabla 8](#)). Durante el primer periodo de mediciones promedios diarias (noviembre de 2015 a octubre 2016) los promedios para el PM_{2,5} fueron superiores al del PM₁₀ en las dos estaciones. Mientras que los días en que las concentraciones superan la concentración máxima admisible (Cma) siempre fue superior en la estación SMP y se destaca el segundo periodo de estudio desde noviembre de 2016 a octubre de 2017 con 45 días para el PM₁₀.

De interés en las estaciones del InSTEC y SMP es conocer su comportamiento horario durante el periodo de noviembre de 2015 a octubre de 2016, para el PM₁₀ y PM_{2,5} el cual se muestra en la [Figura 17](#) y [18](#). Las concentraciones horarias promedio más elevadas ocurren en la estación de SMP, asociado a las emisiones del flujo vehicular y a la cercanía de algunas fuentes industriales potentes ubicadas alrededor de la bahía de La Habana ([Cuesta et al., 2019](#), [López, R. et al., 2018](#)).

Tabla 7. Mediciones horarias de PM₁₀ y PM_{2,5} en las estaciones InSTEC y SMP en el período desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016 y desde noviembre de 2016 a octubre de 2017.

Contaminantes	PM ₁₀		PM _{2,5}		PM ₁₀		PM _{2,5}	
	InSTEC	SMP	InSTEC	SMP	InSTEC	SMP	InSTEC	SMP
Total de mediciones horarias	2450	4151	2088	3508	2088	3508	2424	4151
% de muestras en el período	27,9	47,3	23,8	40,0	23,8	40,0	27,6	47,3
Media (µg/m³)	33,7	42,5	35,2	43,8	17,0	23,1	13,1	18,4
Máximo (µg/m³)	520,2	246,9	299,3	268,4	140,1	200,9	89,7	168,0
Cma 1 hora (µg/m³)	200		100		200		100	
Total casos > Cma	3	5	4	18	4	54	0	13

Tabla 8. Mediciones diarias de los contaminantes en las estaciones del InSTEC y SMP en el período desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016 y desde noviembre de 2016 a octubre de 2017.

Contaminantes	PM ₁₀		PM _{2,5}		PM ₁₀		PM _{2,5}	
	InSTEC	SMP	InSTEC	SMP	InSTEC	SMP	InSTEC	SMP
Total de mediciones diarias	102	180	98	167	98	167	102	180
% de muestras en el período	27,9	49,2	26,8	45,8	26,8	45,8	27,9	49,2
Media (µg/m ³)	34,0	42,5	36,2	44,0	17,6	23,2	13,2	18,3
Máximo (µg/m ³)	109,5	119,8	112,8	128,9	54,3	72,8	41,6	72,0
Cma 24 horas (µg/m ³)	50		25		50		25	
Total casos > Cma	8	29	11	43	13	45	6	21

Para el caso de la estación del InSTEC, su ubicación en una zona con vegetación (Quinta de los Molinos) y más elevada que la de SMP provoca una atenuación de las concentraciones del material particulado de la influencia del tráfico automotor que se produce en las principales avenidas que la circundan, aunque la influencia de fuentes fijas pequeñas cercanas (Cuesta, O., et al., 2014 and García, M., et al 2014), influyen sobre todo en horas de la madrugada, cuando el viento predominante es muy débil y podemos apreciar valores similares de PM₁₀ entre las 2 am y 6 am en las estaciones de SMP y el InSTEC.

Para el caso del PM₁₀ los valores medios horarios de las concentraciones oscilan entre 26 y 43 µg/m³ ocurriendo el mínimo a las 6 de la mañana y el máximo a las 11 de la mañana en el

InSTEC. Para la estación de SMP el mínimo también ocurre a las 6 am y el máximo a las 11 am oscilando las concentraciones horarias entre 29 y 58 µg/m³. En ambas estaciones la marcha se corresponde con el incremento del flujo vehicular (Cuesta, et al., 2017, Madrazo et al, 2019) y la influencia de las condiciones meteorológicas de vientos débiles en las primeras horas de la mañana que provoca los valores máximos. Mientras que en horas de la tarde las concentraciones disminuyen con el aumento de la fuerza del viento y la turbulencia. De interés en ambas estaciones es la presencia de un segundo máximo en horas de la noche debido a la influencia de las fuentes fijas de la ciudad y a la disminución de la fuerza del viento.

Para el caso del PM_{2,5} en ambas estaciones los valores mínimos de concentraciones horarias

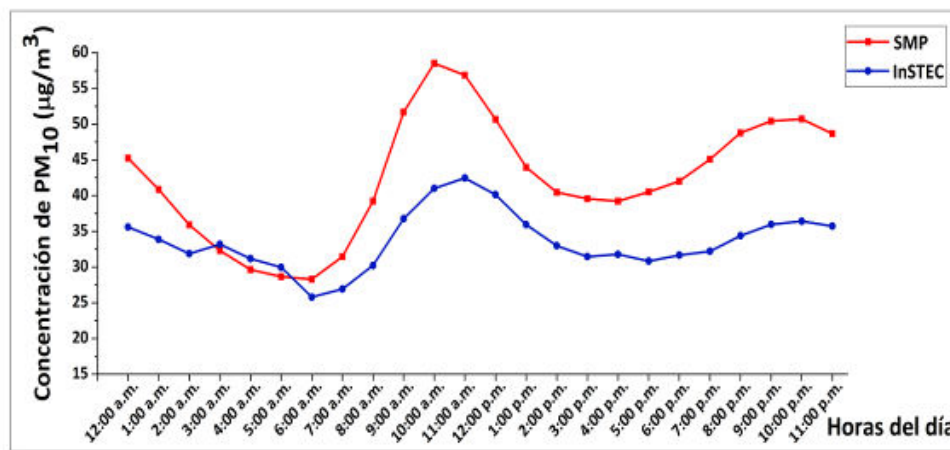


Figura 17. Concentraciones promedio horarias de PM₁₀ en las estaciones del InSTEC y SMP para el período noviembre 2015 - octubre 2016.

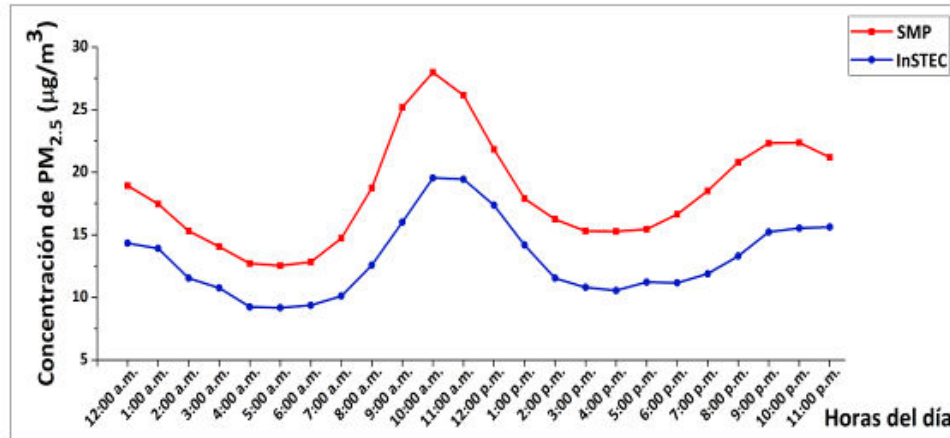


Figura 18. Concentraciones promedio horarias de PM_{2.5} en las estaciones del InSTEC y SMP para el período noviembre 2015 - octubre 2016.

ocurren en la madrugada cuando es mínima la influencia de las fuentes móviles de la ciudad.

El horario de máximas concentraciones correspondió a los intervalos de 9:00 a.m. a 12:00 p.m. y de 8:00 p.m. a 11:00 p.m. Lo que está relacionado con la mayor circulación del transporte automotor. El segundo pudiera, además, ser producto de algún proceso acumulativo favorecido por las condiciones de velocidades del viento cercanas a la calma que ocurren durante la noche (Bolufé et. al., 2016).

Para el caso del PM_{2.5} los valores medios horarios de las concentraciones oscilan entre 8 y 19 µg/m³ ocurriendo el mínimo a las 5 de la mañana y el máximo a las 10 de la mañana en el InSTEC. Para la estación de SMP el mínimo también ocurre a las 5 am y el máximo a las 10 am oscilando las concentraciones horarias entre 13 y 28 µg/m³.

En la estación de SMP se desarrolló un episodio de altas concentraciones durante el día 15 de marzo del 2016 (Figura 19). El PM₁₀ alcanzó valores de concentraciones entre 246,9 y 57,2 µg/m³, este valor máximo supera la Cma para este contaminante según la NC 1020:2014 y fue superado en el intervalo entre las 6 y las 11 de la mañana. Por otro lado, el PM_{2.5} también refleja valores altos los cuales oscilan entre 168 y

21,6 µg/m³, superando la Cma durante las últimas horas de la madrugada y de la mañana (desde las 4 am a las 11 am). Estos valores confirman que la calidad del aire se cataloga de pésima durante ese día según la NC 111:2004.

Durante ese día las condiciones meteorológicas favorecieron los procesos de acumulación y transporte de contaminantes durante la madrugada y las primeras horas de la mañana desde las fuentes fijas cercanas (Refinería y central térmica).

El tipo de situación sinóptica es la TSS VIII que está vinculada con la influencia sobre nuestro territorio de las altas típicas polares continentales de Norteamérica, que tienden, por lo general, a desplazarse al sudeste y luego al este hacia el Atlántico. Desde el día 14 de marzo de 2016 a las 18 UTC, Cuba y sus mares adyacentes se hallaban bajo la influencia de una dorsal anticiclónica que se extendía al oeste suroeste desde un centro de altas presiones con centro de 1020 hPa sobre el Atlántico. Además, se apreciaba un débil centro de altas presiones que se encuentra al norte de la región occidental (Figura 20). Mientras que al día siguiente la celda de altas presiones que se localizaba sobre el Atlántico se debilita y por el contrario la débil celda de altas presiones que se localizaba próxima a la región occidental experimenta un proceso de fortalecimiento y expansión abarcando con su influencia gran parte

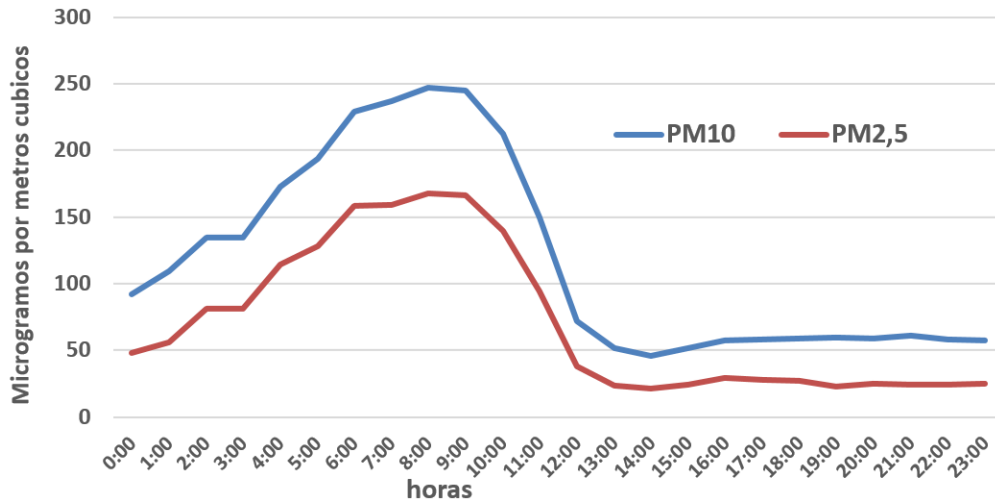


Figura 19. Comportamiento de las concentraciones horarias durante el día 15 de marzo de 2016. En la estación de SMP.

de la región occidental, correspondiéndose con el subtipo 11. Lo cual provoca vientos débiles y subsidencia con la correspondiente situación de smog. Ocurrendo una acumulación en estas horas de la madrugada y la mañana (Sánchez y Cuesta, 1992).

Esta situación meteorológica, junto a las emisiones por fuentes fijas y móviles incentiva que las partículas más grandes puedan penetrar el tracto respiratorio, que suelen tener un diámetro menor de 10 μm (PM_{10}). Las más pequeñas, aquellas que tienen un diámetro menor 2,5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) pueden alcanzar fácilmente los pulmones y desde allí ser

absorbidas directamente al torrente sanguíneo, provocando efectos nocivos conocidos a las personas. Estas últimas, también se asocian con la reducción de la visibilidad, especialmente cuando su tamaño oscila entre 0,4 y 0,8 μm , que corresponde al rango de longitud de onda de la luz visible (Reyes, F., 2020).

Los valores de concentraciones del material particulado mostrados en este trabajo producto de las diversas emisiones de fuentes fijas y móviles ratifican que La Habana es una fuente área importante de emisiones de material particulado procedente de la quema de combustibles fósiles

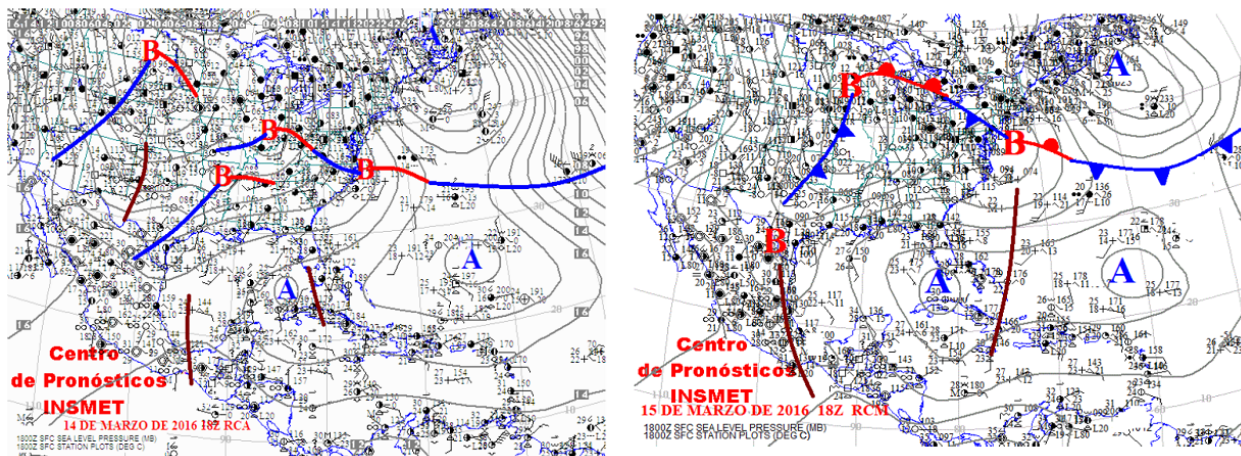


Figura 20. Situaciones sinópticas asociadas al evento de altas concentraciones (smog) durante el día 15 de marzo de 2016.

desde sus fuentes fijas y móviles, junto a la vecina provincia de Mayabeque que emite gran cantidad de este contaminante producto de la quema de biomasa desde sus centrales azucareros (Cuesta, O., et al., 2017 y Cuesta, O., et al., 2018). Ambas pueden contribuir a la atenuación del calentamiento regional de las masas de aires que influyen sobre esta parte del territorio de Cuba.

Por otro lado, los movimientos predominantes de las masas de aire son condicionadas por el flujo zonal de los Vientos Alisios (Gómez, Y. Cuesta, O. y Fonseca, M., 2013) que durante los meses del periodo lluvioso (verano) se refuerza con la presencia del material particulado que arriba procedente del Sahara (Mojena, E., et al., 2015). Mientras que durante los meses del invierno el flujo predominante del viento está condicionado por la presencia del anticiclón migratorio continental que produce un desplazamiento meridional de estas masas de viento lo cual influye en el desplazamiento del material particulado originado en La Habana y Mayabeque.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El comportamiento de las concentraciones horarias y diarias de PM_{10} en Casablanca durante el año 2015 durante el periodo de marzo a octubre muestran que el valor máximo horario fue de $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor máximo diario es de $53,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que está por encima de la Cma que es $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según la NC 1020:2014.

La relación que existe entre los valores de las concentraciones del material particulado en Casablanca con las variables meteorológicas y las diversas masas de aire asociadas a los diferentes tipos de situaciones sinópticas tienen gran importancia para conocer el comportamiento de este contaminante vinculado a muchos problemas actuales de la protección del medioambiente.

El punto de muestreo ubicado en la cercanía del grupo electrógeno de La Lisa (fuente fija) muestra valores que superan la concentración máxima admisible. Mientras que el vertedero de la calle 100 (fuente área) también sobrepasa la Cma ambos

puntos de muestreo tienen calidad de aire deficiente según la NC 111. 2004.

La calidad del aire en la zona de la calle Reina presenta valores de concentraciones diarios para el PM_{10} por encima de la Cma establecida en la NC 1020:2014. El material particulado presenta en muchas ocasiones valores instantáneos por encima de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual es producto de las altas emisiones de los vehículos que circulan en esta vía.

De las tres estaciones que midieron de forma sistemática en el periodo estudiado tenemos>

En la estación del INHEM durante los años del 2015 al 2017 el PM_{10} presenta valores medios diarios de $32,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo su mayor valor promedio anual en el año 2015 (39,9), superando la Cma en 75 ocasiones durante ese año. Tanto en el año 2016 así como en el 2017 las concentraciones fueron también altas y sobrepasaron la norma en varias ocasiones.

Durante el primer periodo de mediciones horarias (noviembre de 2015 a octubre 2016) los máximos valores horarios ocurren en la estación del InSTEC, destacándose el valor de $520,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que supera la Cma en 2,6 veces, para el PM_{10} y el valor máximo de 299,3 para el $PM_{2,5}$ que supera la Cma en tres veces, lo cual muestra que la calidad del aire puede catalogarse como pésima en esa estación.

En la estación SMP las concentraciones horarias promedio más elevadas ocurrieron asociadas a las emisiones del flujo vehicular y algunas fuentes industriales ubicadas en la región inmediata circundante. Las concentraciones máximas admisibles (Cma) en esta estación se superan, sobre todo en el segundo periodo de estudio desde noviembre de 2016 a octubre de 2017 con 54 y 13 horas para el PM_{10} y $PM_{2,5}$ respectivamente.

Las concentraciones diarias promedio más elevadas ocurren en la estación de SMP en todo el periodo. Mientras que los días en que las concentraciones superan la concentración máxima admisible (Cma) siempre fue superior en la estación SMP y se destaca el segundo periodo de estudio desde noviembre de 2016 a octubre de 2017 con 45 días para el PM_{10} .

En ambas estaciones la marcha de las concentraciones se corresponde con el incremento del flujo vehicular y la influencia de las condiciones meteorológicas de vientos débiles en las primeras horas de la mañana que provoca los valores máximos. Mientras que en horas de la tarde las concentraciones disminuyen con el aumento de la fuerza del viento y la turbulencia. De interés en ambas estaciones es la presencia de un segundo máximo en horas de la noche debido a la influencia de las fuentes fijas de la ciudad y a la disminución de la fuerza del viento.

Se recomienda continuar los estudios complejos en diversas calles de la ciudad para conocer la relación entre el flujo vehicular y la calidad del aire. También incrementar las estaciones de monitoreo en la ciudad. Estos estudios deben realizarse de forma integrada entre especialistas de los sectores del transporte, la industria y ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, al Ministerio del Ambiente de la República Popular China y a la asociación suiza UrbamoCuba.CH por el soporte logístico para la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Alonso, A. (2013): Estudio de algunos factores meteorológicos que influyen en la dispersión de la contaminación atmosférica en La Habana (2013): Presentado en opción al título de Licenciatura en Meteorología. Autora Anayli Alonso Saranova Tutor Dr. Osvaldo Cuesta Santos, La Habana, Cuba. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. UH.
- Bolufé, J. et al. , (2016) Influencia de la variabilidad del clima y la calidad del aire en algunas enfermedades crónicas no transmisibles en la región occidental de Cuba. Informe científico técnico. INSMET. La Habana, Cuba.
- Bolufé Torres, Javier (2017): Influencia del medio ambiente atmosférico sobre las crisis agudas de asma bronquial en La Habana. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, UH. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Ciencias Meteorológicas.
- Brook R. et al. Air Pollution and Cardiovascular Disease. *Circulation* [revista en Internet] 2015 [acceso 7 de septiembre de 2016]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/272198184>
- Cuesta, O. (1995) Caracterización de las concentraciones de los principales compuestos del nitrógeno atmosférico en Cuba y su relación con los Tipos de Situaciones Sinópticas. Tesis presentada en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas. INSMET. La Habana, Cuba.
- Cuesta, O. et al., (2000) Evaluación del medio ambiente atmosférico en la ribera este de la bahía de La Habana y su repercusión en la salud. Informe científico técnico. INSMET. La Habana, Cuba.
- 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 Vol.9 No. 2.*
- Cuesta Santos, O.; Wallo, A.; Collazo, A. y P. Castellanos (2005): Contaminación atmosférica en el Municipio Regla: Aplicación del Índice de Calidad del Aire (ICA). *Revista Cubana de Meteorología, Vol. 12, No. 1, pp. 38 - 44, 2005.*
- Cuesta Santos Osvaldo y Antonio Wallo Vázquez (2010): Fuentes de contaminación atmosférica y su relación con la calidad del aire. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-261-317-1, Memorias de la Convención Científica de Ingeniera y Arquitectura, Ciudad de la Habana, 29 noviembre al 3 de diciembre de 2010.
- Cuesta Osvaldo, Mariam Fonseca, Raydel Manrique y Ernesto Carrillo. (2012): Evaluación de la calidad del aire en ciudades de Cuba. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-282-079-1, Memorias de la Convención Internacional Trópico 2012, La Habana, 14 - 18 de Mayo de 2012.

- Cuesta Santos, Osvaldo; Arnaldo Collazo Aranda, Yosdany González Jaime, Mariam Fonseca Hernández, Ana Carla Fernández, Yoandy Rodríguez, Evelio García Valdés, Ernesto Carrillo Vitale, Carlos Sosa Pérez, Raydel Manrique Suárez, Pedro Sánchez Navarro, Ricardo Manso Jiménez, Lázaro Batule Águila, Rosemary López Lee, Pedro J. Expósito Landa, Gleidys Marcelo García, Anayli Alonso Saranova y Liany Menéndez Rodríguez (2014): Caracterización de la dispersión de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos emitidos por las principales fuentes fijas y su impacto potencial en La Habana. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. Resultado Científico, La Habana, 188 pp.
- Cuesta Santos, Osvaldo , Arnaldo Collazo Aranda, Pedro Sánchez Navarro, Raydel Manrique Suárez, Mariam Fonseca Hernández , Dagoberto Rodríguez Valdés, Almara Sánchez Díaz, María Victoria Miló López, Juan M. Díaz Díaz, Alfredo Victorero Hernández, Yosdany González Jaime , Carlos Sosa Pérez (2014): *Calidad del aire en la ciudad de Pinar del Río. Valores experimentales*. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 20 No. 2, 2014.
- Cuesta Santos, Osvaldo ; Carlos Sosa; Caridad Iraola; Yosdany González; Vladimir Núñez, Aramis Fonte, Caridad Imbert, Sinaí Barcia, Yanssel Gómez, Dianelis Portal (2017): Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 23 No. 2. ISSN: 0864-151-X . (P). Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- Cuesta Osvaldo, Javier Bolufé, Yosdany González , Carlos Sosa , Ernesto Carrillo, Ricardo Manso, Jessie Madrazo, Alain Clapier, Carlos Belalcazar, Remy Franhouser (2017): Contaminación atmosférica por fuentes móviles en la calle Reina. Revista Cubana de Meteorología. Vol. 23 No. 1. ISSN: 0864-151-X (P). Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- Cuesta, O., et al (2018): Modelación de la dispersión de los principales contaminantes atmosféricos y su contribución a la gestión ambiental. Resultado científico, Instituto de Meteorología, La Habana, pp. 239.
- Cuesta-Santos, Osvaldo, Yosdany González - Jaime, Carlos Sosa -Pérez, Rosemary López-Lee, Javier Bolufé -Torres, Francisco Reyes-Hernández (2019): La calidad del aire en La Habana. Actualidad. Revista Cubana de Meteorología. Vol. 25 (3) pp. xx - xx, 2019. ISSN: 0864-151X. (P). Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- EPA (2019): <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente> (visitado el 26 de febrero de 2019).
- Fonseca, M. (2010): Caracterización de las concentraciones de los gaseosos del nitrógeno atmosférico asociados a diversos Tipos de Situaciones Sinópticas (TSS) en la estación La Palma, Pinar del Río, Cuba. Trabajo de Diploma. Facultad de Gestión de la Ciencia, la Tecnología y el Medio Ambiente. INSTEC. La Habana, Cuba. 135 pp.
- García, M. et. al., (2014): Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. Revista Iberoamericana de Ciencias. ISSN 2334-2501. Jalisco, México.
- Gómez, Y., Cuesta, O., y Fonseca, M. (2013): Zonas fuentes de los compuestos gaseosos del nitrógeno que afectan el occidente de Cuba. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 19 no. 1, pp. 57 - 67.
- Grass D., Cane M. The effects of weather and air pollution on cardiovascular and respiratory mortality in Santiago, Chile, during the winters of 1988-1996. International Journal of Climatology. [revista en Internet] 2007 [acceso 19 de octubre de 2014]; DOI: 10.1002/joc.1592. Disponible en: Disponible en: <http://www.interscience.wiley.com>

- Junta de Andalucía http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=bd9a6b23d642c310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnextchannel=b61a937a34fcc310VgnVCM2000000624e50aRCRD&lr=lang_es&vgnsecondoid=76816b23d642c310VgnVCM2000000624e50a___¶m1=4 (visitado el 26 de febrero de 2019).
- Lapinel, B. (1988) La circulación atmosférica y las características espacio temporales de las lluvias en Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas. INSMET. La Habana, Cuba.
- López, R. et al., (2018): Evaluación de riesgos para la salud humana y la vegetación por los contaminantes atmosféricos SO₂, NO₂, MP 10 y O₃ en áreas de Cuba. Resultado científico, Instituto de Meteorología, La Habana, pp. 118.
- Madrazo, Jessie; Clapier, Alain; Cuesta, Osvaldo; Belalcazar, Luis Carlos; Yosdany González ; Javier Bolufé ; Carlos Sosa , Ernesto Carrillo ; Ricardo Manso ; Janet Canciano and Golay, Francois (2019): Evidence of traffic-generated air pollution in Havana. *Atmósfera* 32(1), 15-24 (2019). doi: 10.20937/ATM.2019.32.01.02.
- Mojena López, Eugenio, Antonia Ortega González , Ernesto F. Casilles Vega , Julia Leyva Santos (2015): Nubes de polvo del Sahara. Su presencia en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 21, No. 1, enero - junio, 2015, La Habana.
- Molina Esquivel, E. L. Brown Colas, V. Prieto Diaz, L. Cuellar Luna y D. Rodríguez Sordía (2001): Contaminación atmosférica y prevalencia de asma en Centro Habana. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.* 2001, Vol. 39 No. 1, La Habana ene.-abr. 2001.
- Monsalve Irusta F. Influencia de tiempo y la contaminación atmosférica sobre las enfermedades de los sistemas circulatorio y respiratorio en Castilla-La Mancha. Tesis facultad de Ciencias Ecológicas y ambientales. 2011. Universidad de León. 239.
- NC: 111 (2004): Calidad del Aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos. Oficina Nacional de Normalización, La Habana.
- NC: 1020 (2014): Calidad del aire - Contaminantes - Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Reyes Hernández, F (2020): Caracterización de los contaminantes atmosféricos en el municipio Centro Habana en el periodo 2015 - 2017. Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología. Tesis en opción al grado de maestría.
- Sánchez, P. y Cuesta, O. (1992): Smog en la Ciudad de La Habana. Situación meteorológica asociada. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 5, No.1. La Habana, Cuba. 3 - 8pp.
- Sanhueza Pedro, Claudio Vargas, Paula Mellado (2006): Impacto de la contaminación del aire por PM₁₀ sobre la mortalidad diaria en Temuco. *Rev Méd Chile* 2006; 134: 754-761.
- Vidal, Ivet, Rosemary López, Osvaldo Cuesta, Javier Bolufé y Evelio García (2018): Condiciones meteorológicas en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. *Revista Cubana de Meteorología*. Vol. 24 (2) pp. 146 - 158, 2018. ISSN: 0864-151X. (P). Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.