

“Incidencia de los tipos de situaciones sinópticas y el polvo del Sahara en las concentraciones de material particulado en dos localidades de La Habana.”



"Incidence of the types of synoptic situations and the dust of the Sahara in the concentrations of particulate matter in two locations in Havana."

CU-ID: 2377/v27n4e07

 Amanda de la Rosa González^{1*},  Rosemary López Lee²

¹Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

²Profesora del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba

RESUMEN: Se evaluó la influencia de los tipos de situaciones sinópticas y las masas de aire con polvo del Sahara en las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀. Los datos de las concentraciones de material particulado se obtuvieron de las Estaciones Automáticas de Monitoreo Atmosférico ubicadas en San Miguel del Padrón y el InSTEC. La clasificación de los tipos de situaciones sinópticas se realizó a partir de los mapas sinópticos del INSMET. El estudio abarcó el período comprendido entre enero de 2016 y diciembre de 2017. Se obtuvo la marcha diaria y anual de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ y el comportamiento de estas bajo la influencia de los tipos de situaciones sinópticas y las masas de aire con polvo del Sahara. La estación de San Miguel del Padrón fue la que presentó la mayor cantidad de casos en los que se superó la concentración máxima admisible establecida por la NC 1020:2014 para el PM_{2.5} y el PM₁₀. La disminución de las temperaturas y precipitaciones, así como el bajo contenido de humedad que se imponen bajo la influencia de los anticiclones continentales migratorios (TSS VIII) no favorecieron la difusión del material particulado. Los episodios de polvo del Sahara influyeron en el comportamiento de las concentraciones medias de PM_{2.5} y PM₁₀ en la estación de San Miguel del Padrón, al evidenciar un aumento significativo durante este período.

Palabras claves: material particulado, tipos de situaciones sinópticas, polvo del Sahara, La Habana.

ABSTRACT: The influence of the types of synoptic situations and the dusty air masses of the Sahara on the concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ was evaluated. Data on particulate matter concentrations were obtained from the Automatic Atmospheric Monitoring Stations located in San Miguel del Padrón and the InSTEC. The classification of the types of synoptic situations was carried out from the INSMET synoptic maps. The study covered the period between January 2016 and December 2017. The daily and annual march of the concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ and their behavior under the influence of the types of synoptic situations and the air masses were obtained with dust from the Sahara. The San Miguel del Padrón station was the one that presented the highest number of cases in which the maximum admissible concentration established by NC 1020: 2014 for PM_{2.5} and PM₁₀ was exceeded. The decrease in temperatures and rainfall, as well as the low moisture content imposed under the influence of migratory continental anticyclones (TSS VIII) did not favor the diffusion of particulate matter. The Sahara dust episodes influenced the behavior of the mean concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ in the San Miguel del Padrón station, showing a significant increase during this period.

Keywords: particulate matter, types of synoptic situations, Sahara dust, Havana.

INTRODUCCIÓN

Cada año mueren en el planeta siete millones de personas como consecuencia de respirar aire contaminado (Romero, 2018). Los contaminantes se liberan a la atmósfera a partir de una gran variedad de fuentes, tanto naturales como antrópicas (Carbó, 2009).

En lo que se refiere al material particulado inferior a 10 y 2.5 micras, un papel fundamental en su incorporación a la atmósfera, lo desempeñan las tormentas de polvo del Sahara. Cuba no se encuentra ajena a este fenómeno, pues durante los meses de verano existe una alta frecuencia de días con polvo sobre el territorio nacional (Mojena *et al.*, 2006).

*Autor para correspondencia: Amanda de la Rosa González. E-mail: adgonzalez1608@gmail.com

Recibido: 27/08/2021

Aceptado: 31/10/2021

Sin embargo, las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ no dependen solamente de la cantidad que se emite, pues se vinculan también con la habilidad de la atmósfera para absorberlos o dispersarlos (Jayamurugan *et al.*, 2013). Un ejemplo lo constituyen los patrones sinópticos o tipos de situaciones sinópticas (TSS), a los cuales se asocian características que pueden provocar el aumento o disminución de las inmisiones (Cuesta *et al.*, 2014).

Trabajos que abarcan esta temática se han llevado a cabo en el ámbito nacional. Como ejemplo se pueden citar a Fonseca y Cuesta (2012), los cuales analizaron la relación entre el comportamiento de los principales compuestos de nitrógeno y los TSS.

Vidal (2017) evaluó la influencia de condiciones meteorológicas en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en San Miguel del Padrón y InSTEC y concluyó que el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) fue el contaminante que contabilizó el mayor número de casos en superar las concentraciones máximas admisibles (Cma) establecidas en la NC 1020: 2014.

Por tal motivo, el objetivo del trabajo fue evaluar la incidencia de los TSS y las masas de aire con polvo del Sahara en las concentraciones de material particulado en dos localidades de La Habana, en el período comprendido entre enero de 2016 y diciembre de 2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo

Los datos de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ se obtuvieron de las Estaciones Automáticas de Mo-

nitoreo Atmosférico (EAMA). Una se encuentra en la azotea de la sede del Consejo de Administración Municipal de San Miguel del Padrón (SMP) y la otra en la azotea del edificio central del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) (figura 1). Ambas brindan datos horarios de las inmisiones. Los datos de las ubicaciones geográficas de las estaciones se muestran en la tabla 1.

Obtención de la información

Las EAMA cuentan con muestreadores dicotómicos de partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$). En estos se aplica el principio de atenuación beta para determinar la concentración de partículas en el aire (Bolufé *et al.*, 2016).

Para el estudio de las situaciones sinópticas (tabla 2) se utilizaron los mapas que se encuentran en los Archivos del Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología (INSMET). La clasificación de los patrones sinópticos se realizó utilizando la metodología de Lapinel (1988). Con el desarrollo de esta se puede identificar y clasificar diariamente el TSS representado en el mapa de superficie, considerando el patrón predominante de presión y viento (Lapinel, 1988).

Tratamiento estadístico de los datos

El procesamiento estadístico de los datos se realizó utilizando los softwares MS - Excel, MS - Access y OriginPro 2016. Para cumplir con el objetivo propuesto, a lo largo de la investigación se aplicó la estadística descriptiva.

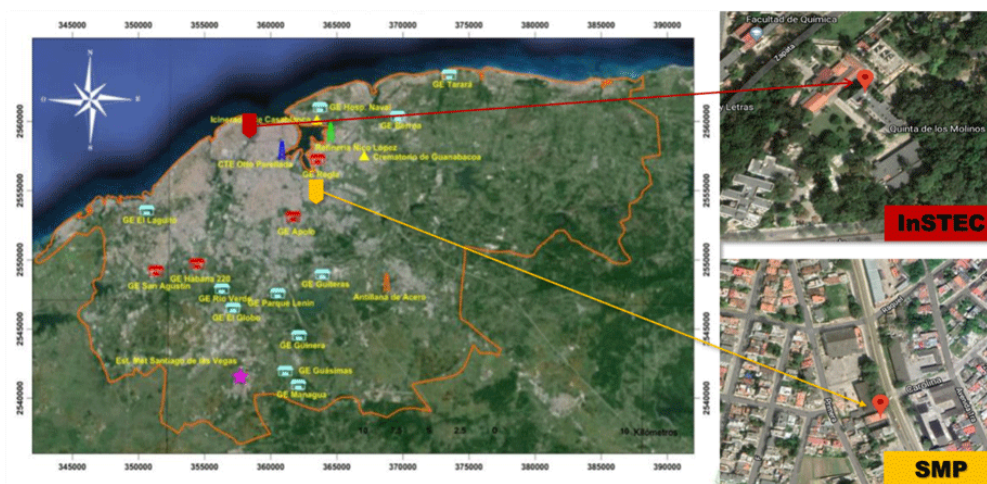


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo y de las principales fuentes fijas de La Habana

Tabla 1. Localización geográfica de las EAMA

Estaciones	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Período de estudio
InSTEC	23°07'55.4"	82°22'52.8"	enero de 2016 - diciembre de 2017
SMP	23°05'37.3"	82°19'58.6"	

Tabla 2. TSS según la clasificación de Lapinel (1988)

I	Anticiclón del Atlántico
II	Anticiclón Extendido
III	Gradiente débil
IV	Situaciones ciclónicas
V	Zonas de Convergencia
VI	Baja Extratropical
VII	Zonas Frontales
VIII	Anticiclones Migratorios
IX	Otras situaciones

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀

En la [figura 2](#) se muestra el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ en las estaciones de SMP y el InSTEC según las horas del día. Las concentraciones medias horarias que se obtuvieron en la EAMA de SMP, superan a las obtenidas en la EAMA del InSTEC, para ambos contaminantes.

Este comportamiento se encuentra condicionado por la exposición directa de la estación de SMP a las emisiones provenientes del tráfico vehicular y de fuentes locales cercanas. Además, pudo haber contribuido el polvo levantado por el viento desde la superficie, ya que a diferencia del InSTEC, la estación de SMP no cuenta con vegetación alrededor ([Vidal, 2017](#)).

En general, en ambas estaciones se observaron dos máximos de concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀. Uno de ellos, el más prominente, tuvo lugar en el horario comprendido entre las 9:00 a.m. y 11:00 a.m., lo que se relaciona con el aumento del flujo vehicular en las mañanas ([Jędruszkiewicz et al., 2017](#)), así como a condiciones de alta estabilidad atmosférica y poca dispersión en horas matutinas que provocan gran acumulación de contaminantes ([Seinfeld y Pandis, 2006](#)).

En ambas EAMA, predominan los valores mínimos de velocidad del viento durante la noche y la madrugada ([Vidal, 2017](#)), a lo que pudo estar asociado el segundo máximo, que tuvo lugar entre las 9:00 pm y 12:00 pm. Esto se debe a que, al existir velocidades cercanas a la calma, no se favorece la dispersión de los contaminantes. Este comportamiento es similar al observado por [Vidal \(2017\)](#) en las mismas estaciones, pero para el período de estudio noviembre 2015 - octubre de 2016.

Tanto en SMP como en el InSTEC, se sobrepasó en varias ocasiones la Cma establecida por la NC 1020:2014 para el PM_{2.5} en el período de 1 hora (100 µg/m³). En el caso del InSTEC se superó 4 veces y en SMP en 67 ocasiones. Lo mismo ocurrió con la Cma establecida para el PM₁₀ en 1 hora (200 µg/m³), pues en el InSTEC se sobrepasó un total de 10 veces y en 6 de ellas se reportaron valores extremos que

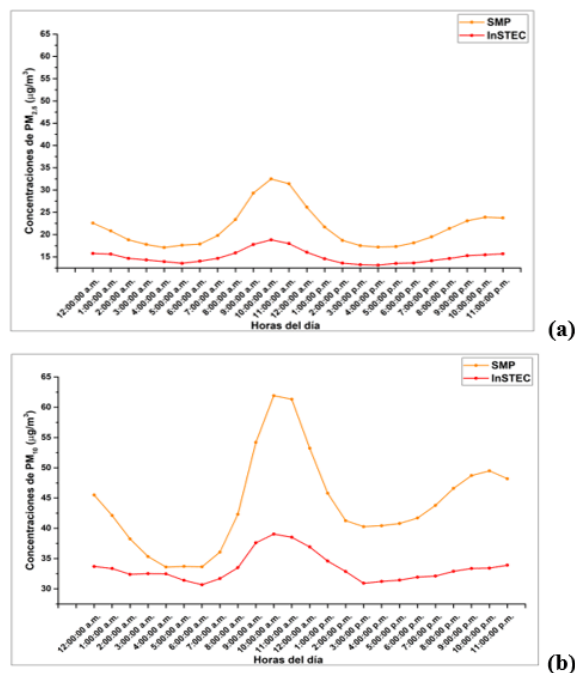


Figura 2. Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{2.5} (a) y PM₁₀ (b) en SMP y el InSTEC

estuvieron entre los 341 y 643 µg/m³. En SMP se superó en 23 ocasiones.

Comportamiento mensual de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀

SMP

En la [figura 3](#) se muestran los promedios mensuales de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ para la EAMA de SMP. En el caso del primero, en el año 2016 las concentraciones medias mensuales correspondientes a los meses de noviembre y diciembre, superaron la Cma establecida por la NC 1020:2014 para este contaminante en el período de 24 horas (25 µg/m³), con valores de 26.1 y 26.5 µg/m³ respectivamente. En lo que se refiere al año 2017, julio presentó el mayor valor medio mensual, el cual fue superior a la Cma diaria, con 37.7 µg/m³.

En cuanto al PM₁₀, lo más relevante es que en julio de 2017 se superó la Cma establecida para este con-

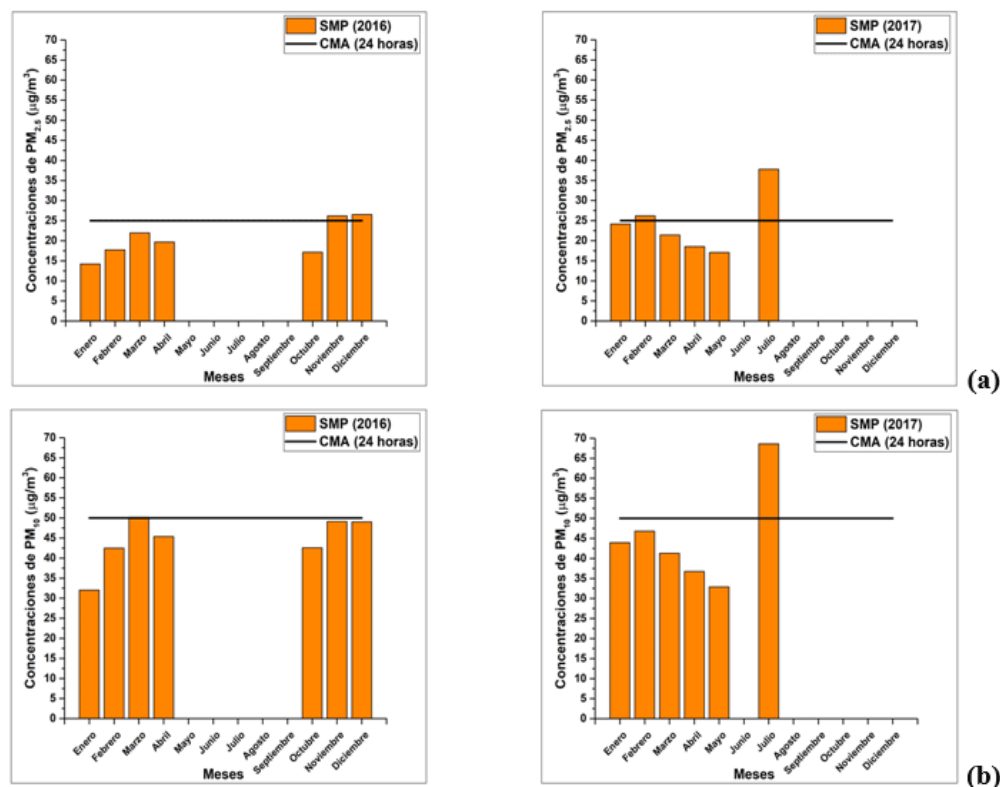


Figura 3. Comportamiento mensual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ (a) y PM_{10} (b) en la EAMA de SMP

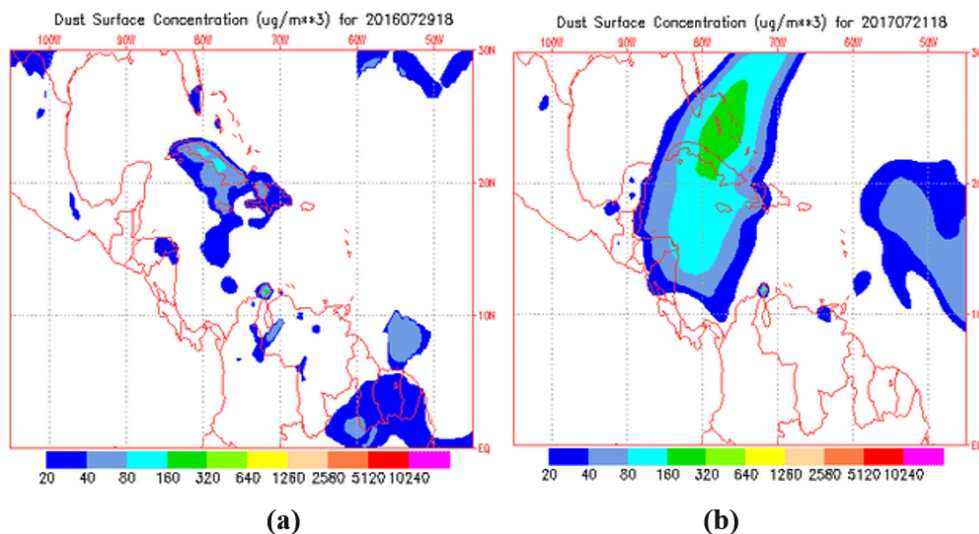


Figura 4. Concentración de polvo en superficie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el 29 de julio de 2016 (a) y el 21 de julio de 2017 (b) (Fuente: Mojena López, E. (2021))

taminante en 24 horas ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), con un valor de $68.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El mes que presentó el mayor número de casos superiores a la Cma diaria para ambos contaminantes fue febrero, con un total de 13 en el caso del $PM_{2.5}$ y de 15 en los que se refiere al PM_{10} , mientras que julio presentó 11 casos respectivamente.

La concentración media mensual que se obtuvo en el mes de julio de 2017, así como la cantidad de ocasiones en las que se superó la Cma en ambos años, podrían estar relacionadas con la presencia de masas de aire con polvo del Sahara en La Habana, pues este es

uno de los meses en los que se reporta el máximo de porcentaje de días con polvo en la provincia (figura 4).

InSTEC

El ciclo anual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} para el InSTEC se muestra en la figura 5. Para ambos contaminantes, las concentraciones medias más bajas en el 2016 se alcanzaron durante los meses de verano, mientras que las más altas en el mes de abril de 2017, las cuales superaron la Cma establecida para este contaminante en 24 horas.

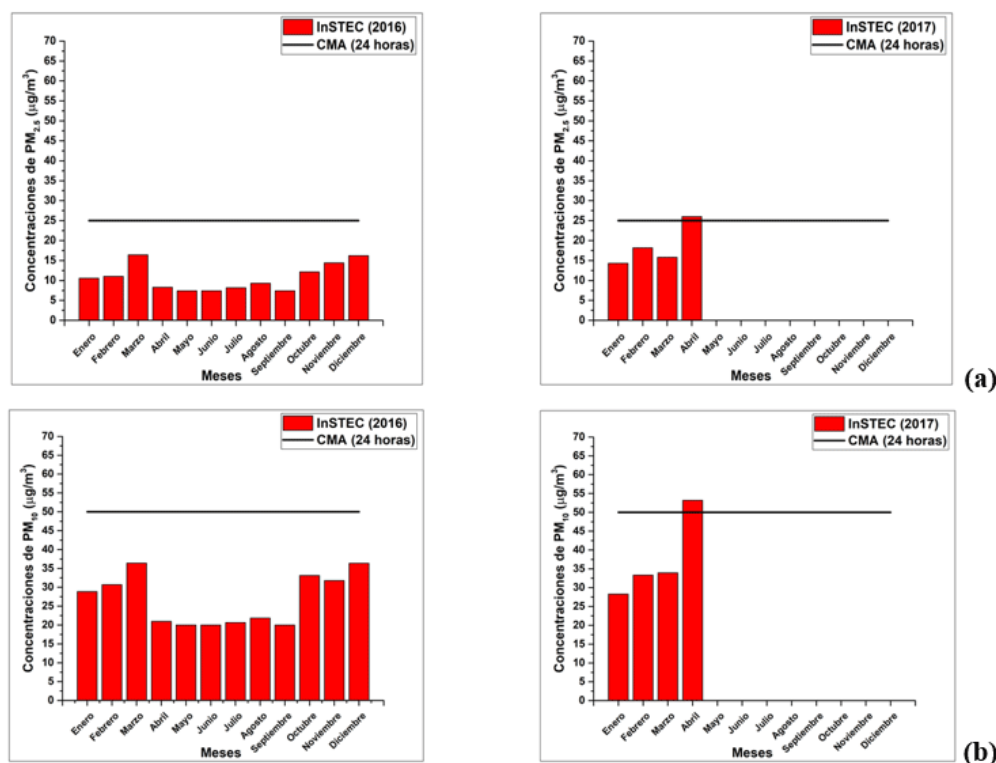


Figura 5. Comportamiento mensual de las concentraciones de PM_{2.5} (a) y PM₁₀ (b) en la EAMA del InSTEC

La cantidad de casos en los que se superó la Cma diaria en esta estación fue inferior a la presentada por SMP y los meses de marzo y abril fueron los que mayor cantidad de casos presentaron en cuanto al PM_{2.5} (4 cada uno). En lo que se refiere al PM₁₀, los meses de marzo, abril y diciembre fueron en los que más ocasiones se sobrepasó la Cma, con 3 casos cada uno.

Según Collazo *et al.* (2004) las bajas temperaturas que se observan durante los meses del período poco lluvioso en Cuba (noviembre - abril), favorecen el estancamiento de los contaminantes, lo que pudo influir en el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ en ambas estaciones. Además, en estos meses la capa de mezcla se encuentra a una altura baja (Lavado, 2012), lo que condiciona un limitado espesor vertical para la dilución de los contaminantes (Alonso, 2013).

Influencia de los TSS en las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀

SMP

La existencia de un débil gradiente bórico (TSS III) fue el patrón sinóptico que presentó la mayor concentración media de PM_{2.5} y PM₁₀ en esta estación, con valores de 22.3 y 45.7 µg/m³ respectivamente (figura 6).

Bajo la influencia del TSS III predominan los vientos variables débiles con áreas de calma, (Lecha *et al.*, 1994), lo que influye de manera negativa en la dispersión de contaminantes. El TSS VIII fue el que

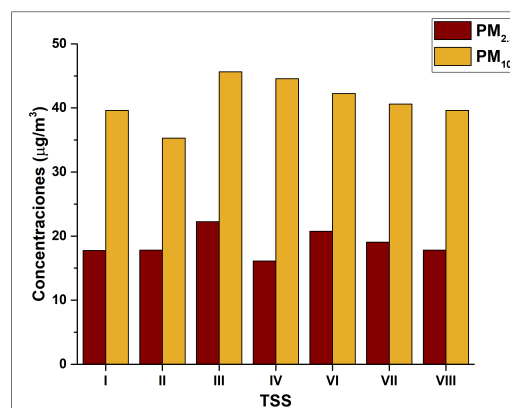


Figura 6. Concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ asociadas a los TSS que influyeron en La Habana en el período de estudio enero de 2016 - diciembre de 2017 (SMP)

presentó la mayor cantidad de casos en los que se superó la Cma para el PM_{2.5} y PM₁₀ en 24 horas en SMP, con 35 y 40 casos respectivamente y un máximo de 71.2 y 118.7 µg/m³ (tabla 3).

Cuando los anticiclones migratorios irrumpen hacia bajas latitudes, Cuba puede quedar influenciada por vientos del norte, un bajo contenido de humedad característico de las masas de aire continentales y un descenso de las temperaturas y las precipitaciones (Lapinel, 1988; Lecha *et al.*, 1994). Estas condiciones favorecen el aumento de las concentraciones de contaminantes, entre ellos el PM_{2.5} y PM₁₀, al impedir su dispersión.

InSTEC

En el InSTEC, la concentración media más elevada se reportó bajo la influencia del TSS VI (bajas extratropicales) (figura 7). Esto puede ser consecuencia de la afectación del sector postfrontal de la baja, pues después del paso de la zona frontal se produce un descenso inmediato de las temperaturas y un giro del viento del oeste al noroeste (Lecha *et al.*, 1994).

Las condiciones meteorológicas que se imponen con la influencia del sector posterior de este centro de bajas presiones de origen extratropical, dan lugar a un aumento de las concentraciones, pues las bajas temperaturas pueden producir un estancamiento de los contaminantes e impedir su difusión en la vertical. Además, los vientos del noroeste dan lugar a un flujo desde tierra, favoreciendo el transporte de masas de aire desde América del Norte, continente que posee zonas con elevado tráfico vehicular y desarrollo industrial (Fonseca, 2010; López *et al.*, 2015).

La influencia del sector cálido de las bajas extratropicales sobre Cuba también puede favorecer el aumento de las concentraciones al imponer un flujo del sur al suroeste (Lecha *et al.*, 1994). Esto propicia que la masa de aire se desplace sobre áreas urbanas densamente pobladas que pueden ser fuentes de material particulado (Fonseca y Cuesta, 2012).

La mayor cantidad de casos en los que se sobrepasó la Cma para el PM_{2.5} tuvo lugar bajo la influencia de los anticiclones migratorios (TSS VIII), con un total de 8 y un máximo de 35.2 µg/m³ (tabla 4). En el caso del PM₁₀ la mayor cantidad de casos se reportó bajo la

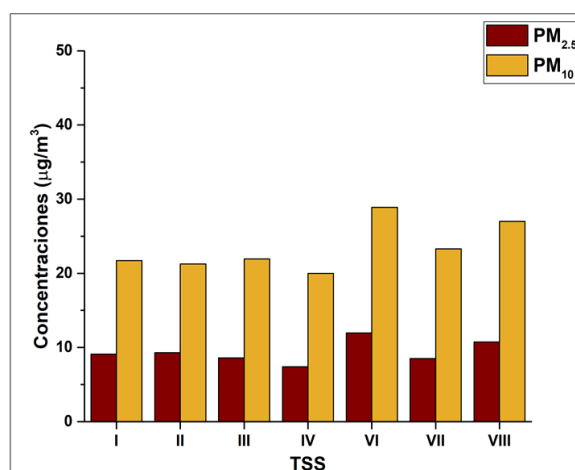


Figura 7. Concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ asociadas a los TSS que influyeron en La Habana en el período de estudio enero de 2016 - diciembre de 2017 (InSTEC)

influencia de los TSS VI y VIII con 5 cada uno y un máximo de 112.8 y 109.5 µg/m³ respectivamente.

Influencia del polvo del Sahara en las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀

Episodios de polvo del Sahara en La Habana

En la figura 8 se muestra, a modo de resumen, el número de días por meses con episodios de polvo sahariano durante el período de estudio. Como se puede apreciar, fueron los meses de verano los que presentaron el máximo de días bajo la influencia del polvo del Sahara. Esto coincide con lo observado por Mojena *et al.* (2015) en la capital.

Tabla 3. Total de casos superiores a la Cma para el PM_{2.5} y PM₁₀ en 24 horas por TSS

TSS	Estación	Total de casos de PM _{2.5} (> Cma diaria)	Máximos (µg/m ³)	Total de casos de PM ₁₀ (> Cma diaria)	Máximos (µg/m ³)
I		8	51.4	10	90.4
II		1	26.1	0	0
III		2	36.6	2	64.2
IV	SMP	1	41.3	1	73
VI		18	72.8	16	128.9
VII		2	54.7	3	81.8
VIII		35	71.2	40	118.7

Tabla 4. Total de casos superiores a la Cma para el PM_{2.5} y PM₁₀ en 24 horas por TSS

TSS	Estación	Total de casos de PM _{2.5} (> Cma diaria)	Máximos (µg/m ³)	Total de casos de PM ₁₀ (> Cma diaria)	Máximos (µg/m ³)
I		2	31.6	2	60.9
II		0	0	0	0
III		0	0	0	0
IV	InSTEC	0	0	0	0
VI		4	54.3	5	112.8
VII		0	0	0	0
VIII		8	35.2	5	109.5

Comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ durante la presencia del polvo del Sahara en La Habana

SMP

En la EAMA de SMP se mostró un aumento diferencial significativo de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ durante los episodios de polvo del Sahara en La Habana. Para ambos contaminantes se superó la Cma en 24 horas, con valores de 29.8 y 73.0 µg/m³ respectivamente (figura 9).

El número de veces que se sobrepasó la Cma diaria de PM_{2.5} y PM₁₀ en la EAMA de SMP se muestra en la figura 10. En esta se identifican cuántas son debidas a fenómenos de intrusión sahariana y cuántas a la contribución del resto las distintas fuentes.

No fue posible contar con los datos de las concentraciones pertenecientes a los meses de mayo a septiembre de 2016, los cuales corresponden a la temporada de arribo de polvo del Sahara a La Habana. Es por esta razón que no se observan casos en los que se sobrepasa la norma para este periodo en el 2016.

En los momentos que se superó la norma bajo la influencia de las masas de aire con polvo del Sahara, los valores de las concentraciones de PM_{2.5} alcanzaron un máximo de 41.3 µg/m³, el cual se reiteró en 5 ocasiones; mientras, el PM₁₀ presentó un máximo de 78.9 µg/m³. De la cantidad de datos de material particulado disponibles para la temporada (26 entre ambos contaminantes), la Cma se superó un total de 16 ocasiones y de estas 14 fueron en el mes de julio, lo que representa un 61.5% y 87.5% del total, respectivamente.

Al descontar las superaciones causadas por la intrusión de polvo sahariano en el cálculo de la media anual de PM_{2.5} y PM₁₀, la reducción de sus niveles en SMP fue de 0.9 y 1.8 µg/m³ respectivamente (figura 11). Esto solo se realizó solo para el 2017 debido a la ausencia de datos.

InSTEC

En la EAMA del InSTEC, los resultados difieren de los alcanzados en la estación de SMP (figura 12), debido a que la mediana de las concentraciones de PM_{2.5}

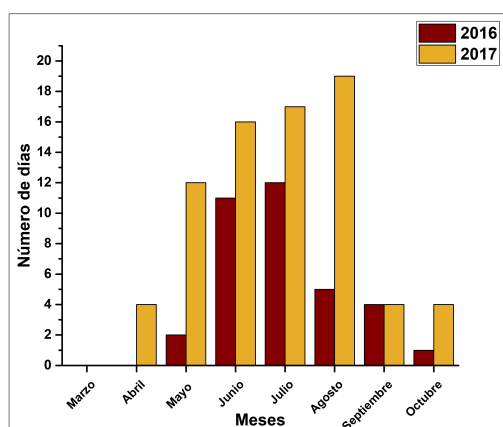


Figura 8. Número de días por mes y año de episodios de polvo sahariano en La Habana

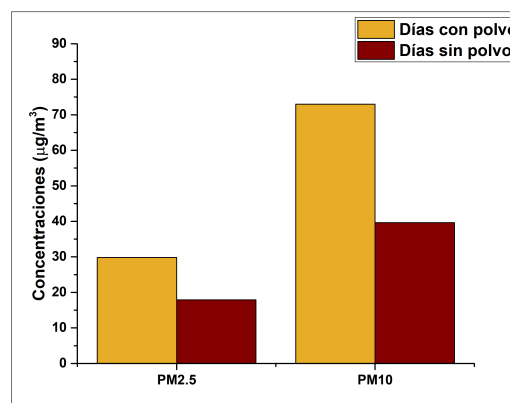
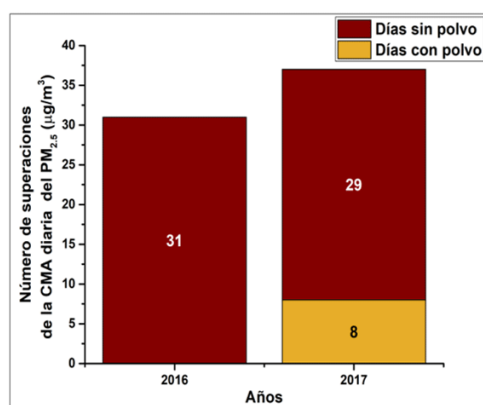
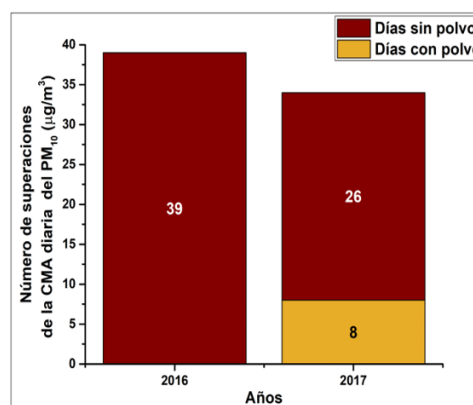


Figura 9. Concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ en SMP



(a)



(b)

Figura 10. Cuantificación del número de superaciones de la Cma diaria de PM_{2.5} (a) y PM₁₀ (b) en SMP

y PM_{10} que se obtuvo durante los días con intrusión sahariana fue inferior a la de los días en los que no reportó presencia de polvo.

Este comportamiento probablemente estuvo condicionado por las características de la estación, pues la presencia de vegetación es un factor que puede dar lugar a que las concentraciones que se reportan dependan también de la capacidad de los árboles y plantas para absorber o adherir a sus hojas el material particulado.

Durante los episodios de polvo del Sahara en La Habana en el año 2016, en la estación del InSTEC no se superó la Cma diaria establecida para el $PM_{2.5}$ y el PM_{10} (figura 13). Debido a esto no se pudo realizar un análisis del aporte de la intrusión sahariana al valor medio anual de estos contaminantes.

En lo que se refiere al año 2017, de las 6 ocasiones en las que se sobrepasó la norma del $PM_{2.5}$, 2 estuvieron relacionadas con la presencia de polvo del Sahara, con valores de 26.0 y 42.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mientras, las concentraciones de PM_{10} se superaron 4 veces y 2 de ellas fueron bajo intrusión sahariana, con valores de 52.9 y 112.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La diferencia observada entre los años 2016 y 2017 en cuanto a la superación de la Cma diaria de $PM_{2.5}$ y PM_{10} bajo la influencia de las masas de aire con polvo del Sahara, puede estar relacionada con la cantidad de episodios que se reportaron en el 2017, la cual fue superior a la reportada en el 2016.

CONCLUSIONES

1. La marcha diaria y anual de las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) coincidió con el patrón observado para este contaminante en el entorno urbano. La estación de San Miguel del Padrón fue la que presentó la mayor cantidad de casos en los que se superó la concentración máxima admisible establecida por la NC 1020:2014 para el $PM_{2.5}$ y el PM_{10} .
2. La disminución de las temperaturas y precipitaciones, así como el bajo contenido de humedad que se imponen bajo la influencia de los anticiclones continentales migratorios (TSS VIII) no favorecieron la difusión del material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}).

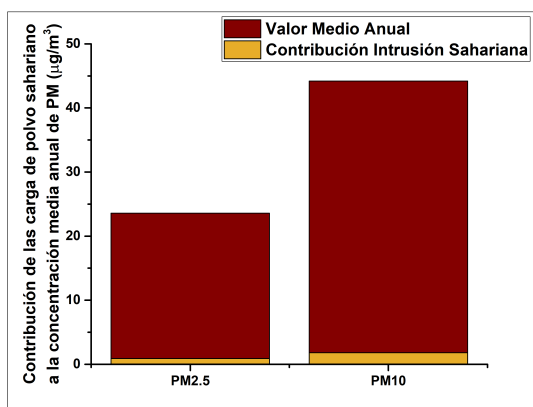


Figura 11. Contribución de la carga de polvo sahariano a la concentración media anual de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la EAMA de SMP para el año 2017

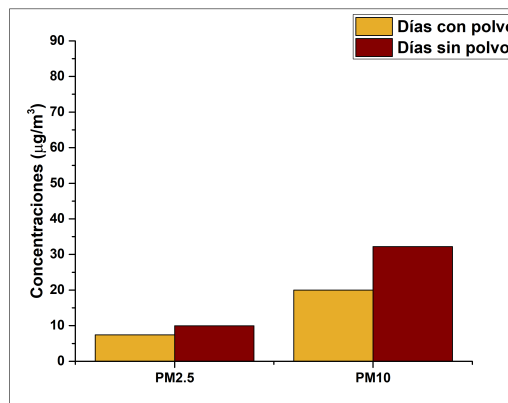
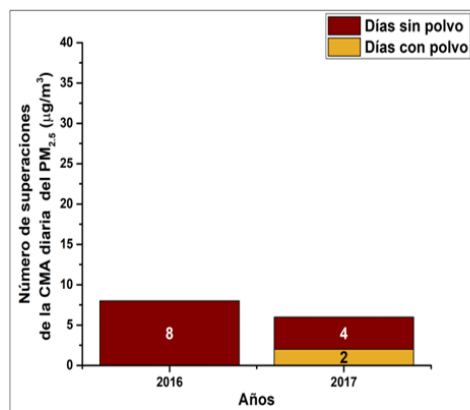
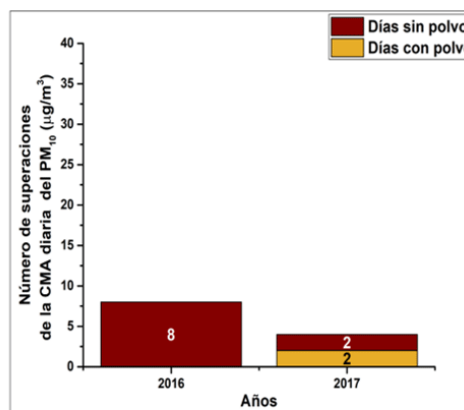


Figura 12. Concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en el InSTEC



(a)



(b)

Figura 13. Cuantificación del número de superaciones de la Cma diaria de $PM_{2.5}$ (a) y PM_{10} (b) en el InSTEC

3. Los episodios de polvo del Sahara influyeron en el comportamiento de las concentraciones medias de PM_{2,5} y PM₁₀ en la estación de San Miguel del Padrón, al evidenciarse un aumento significativo y un aporte al valor medio anual de 0.9 µg/m³ en el caso del PM_{2,5} y de 1.8 µg/m³ para el PM₁₀, durante este período.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr.C. Osvaldo A. Cuesta Santos, por su atención y las críticas acertadas. Al especialista del Instituto de Meteorología Eugenio Mojena López por su colaboración. Al especialista del Instituto de Meteorología Evelio García por la ayuda brindada.

REFERENCIAS

- Alonso, A. (2013). *Estudio de algunos factores meteorológicos que influyen en la dispersión de la contaminación atmosférica en La Habana*. Trabajo de Diploma. La Habana, Cuba: Facultad de Medio Ambiente, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.
- Bolufé, J. et al. (2016). *Efectos del clima y la calidad del aire en la crisis aguda de asma bronquial en La Habana (Proyecto "Influencia de la variabilidad del clima y la calidad del aire en algunas enfermedades crónicas no transmisibles en la región occidental de Cuba")*. Informe de Resultado. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Carbó, M. (2009). *Caracterización de la calidad del aire en el municipio de Regla*. Trabajo de Diploma. La Habana, Cuba: Facultad de Medio Ambiente, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.
- Collazo, A. et al. (2004). *Modelación de las transformaciones químicas a escala local de los contaminantes atmosféricos en la fase gas - aerosol*. Informe Científico Técnico. La Habana, Cuba. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Cuesta, O. et al. (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 (Proyecto "Diagnóstico del medio ambiente atmosférico producto de las principales fuentes fijas de la Ciudad de La Habana")*. Informe de Resultado. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Fonseca, M. (2010). *Caracterización de las concentraciones de los compuestos gaseosos del nitrógeno atmosférico asociados a diversos Tipos de Situaciones Sinópticas (TSS) en la estación La Palma, Pinar del Río, Cuba*. Trabajo de Diploma. La Habana, Cuba: Facultad de Medio Ambiente, Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas.
- Fonseca, M. y Cuesta, O. (2012). Caracterización de las concentraciones de los compuestos del nitrógeno atmosférico asociadas a diversos Tipos de Situaciones Sinópticas (TSS) en la estación La Palma, Pinar del Río, Cuba. En, *Revista Cubana de Meteorología*, n° 1, pp.57 - 69.
- Jayamurugan, R. et al. (2013). Influence of Temperature, Relative Humidity and Seasonal Variability on Ambient Air Quality in a Coastal Urban Area. En, *International Journal of Atmospheric Sciences*, Article ID 264046.
- Jędruszkiewicz, J.; Czernecki, B. y Marosz, M. (2017). The variability of PM₁₀ and PM_{2,5} concentrations in selected Polish agglomerations: the role of meteorological conditions, 2006 - 2016. En, *International Journal of Environmental Health Research*, ISSN: 0960 -3123.
- 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. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Lavado, A. L. (2012). *Las Condes como punto focal de la contaminación estival por ozono en la ciudad de Santiago*. Tesis para optar al Grado de Magister en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.
- Lecha, L. B.; Paz, L. R. y Lapinel, B. (1994). Características de la circulación atmosférica sobre Cuba y sus efectos sobre el clima local. En, *El clima de Cuba*. (pp.19 - 41). La Habana: Ed. Academia.
- López, R. et al. (2015). *Contribución a la gestión de la calidad del aire en Cuba: Gases contaminantes y Componentes químicos de la lluvia y su relación con las fuentes de emisión y condiciones meteorológicas*. Informe de Resultado. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Mojena, E. et al. (2006). Tormentas de polvo del Sahara. Su impacto en el Atlántico, Mar Caribe y el Golfo de México. En, *Revista Cubana de Meteorología*, n° 1, pp.99 - 100.
- Mojena, E. et al. (2015). Nubes de polvo del Sahara. Su presencia en Cuba. En, *Revista Cubana de Meteorología*, n° 1, pp.120 - 134.
- Romero, H. (2018). Contaminación del aire mata a cientos de personas cada año. Disponible en: <http://www.trabajadores.cu/20181119/contaminacion-del-aire-mata-a-cientos-de-personas-cada-año/>. Consultado el 13 de septiembre de 2019.

Seinfeld, J. H. y Pandis, S. N. (2006). *Wet deposition in Atmospheric chemistry and physics from air pollution to climate change: from air pollution to climate change*. (pp. 932 - 979). Editorial John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey. Segunda edición.

Vidal, I. (2017). *Influencia de condiciones meteorológicas en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana*. Trabajo de Diploma. La Habana, Cuba: Facultad de Medio Ambiente, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.

Lic. Amanda de la Rosa González. Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: adgonzalez1608@gmail.com

Dra.C. Rosemary López Lee. Profesora del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba

Conflicto de interés: Declaramos no tener ningún conflicto de interés.

Contribución de autoría: Concepción de la idea: **Amanda de la Rosa González, Rosemary López Lee**. Manejo de los datos: **Amanda de la Rosa González**. Análisis de los datos: **Amanda de la Rosa González**. Investigación: **Amanda de la Rosa González**. Metodología: **Amanda de la Rosa González, Rosemary López Lee**. Supervisión: **Rosemary López Lee**. Validación de los resultados: **Amanda de la Rosa González, Rosemary López Lee**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)