

# Comportamiento de contaminantes atmosféricos en presencia de diferentes situaciones sinópticas



## Behavior of atmospheric pollutants in the presence of different synoptic situations

<https://cu-id.com/2377/v30n2e06>

 Rosemary López Lee<sup>1</sup>,  Arnaldo Evaristo Collazo Aranda<sup>\*1</sup>,  Osvaldo Cuesta Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de la Habana, La Habana, Cuba

**RESUMEN:** Las condiciones sinópticas imperantes en un lugar están directamente vinculadas con los valores de inmisión de contaminantes en la atmósfera. Su estudio permite determinar la presencia de fenómenos que favorecen en mayor o menor grado la acumulación de sustancias contaminantes. Teniendo esto en cuenta, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el comportamiento de las inmisiones de Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno y Ozono en dos localidades de La Habana bajo la influencia de diferentes tipos de situaciones sinópticas. Los datos provienen de estaciones de monitoreo automático y corresponden a concentraciones horarias de los contaminantes criterio. A partir de estas se calcularon las concentraciones medias diarias en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y se agruparon según el tipo de situación sinóptica que predominaba. El período de muestreo fue desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016. Para determinar la relación con los TSS se realizó la prueba H de Kruskal-Wallis y para estudiar esta relación en mayor detalle la prueba de Dunn. Los máximos valores medios de concentración se obtuvieron cuando las localidades estuvieron bajo la débil influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte y los anticiclones continentales migratorios.

**Palabras clave:** dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono, tipo de situación sinóptica.

**ABSTRACT:** The prevailing synoptic conditions in one place are directly linked to the implementation values of contaminants in the atmosphere. Its study allows to determine the presence of phenomena that favor to a greater or lesser extent the accumulation of polluting substances. Taking this into account, the present investigation aimed to determine the behavior of sulfur dioxide, nitrogen and ozone dioxide in two locations in Havana under the influence of different types of synoptic situations. The data comes from automatic monitoring stations and correspond to time concentrations of the pollutants criteria. From these the daily average concentrations were calculated in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and grouped according to the type of synoptic situation that predominated. The sampling period was from November 2015 to October 2016. To determine the relationship with the TSS, the Kruskal-Wallis H test was performed and to study this relationship in greater detail the Dunn test. The maximum average concentration values were obtained when the localities were under the weak influence of the subtropical anti -cyclone of the North Atlantic and the migratory continental anticyclones.

**Key words:** sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ozone, synoptic situation type.

\*Autor para la correspondencia: Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. E-mail: [acollazo40@gmail.com](mailto:acollazo40@gmail.com)

Recibido: 18/02/2024

Aceptado: 24/03/2024

Dra. Rosemary López Lee. Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. E-mail: [rosemary.lopez@insmet.cu](mailto:rosemary.lopez@insmet.cu)

MSc. Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), La Habana, Cuba.

Dr. Osvaldo Cuesta Santos. Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), La Habana, Cuba. E-mail: [osvaldo.cuesta@insmet.cu](mailto:osvaldo.cuesta@insmet.cu)

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización del estudio.

**Declaraciones de autoría:** Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final. **Concepción de la idea:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. **Manejo de los datos:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. **Análisis de los datos:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. **Investigación:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. **Metodología:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. **Supervisión:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. **Validación de los resultados:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda

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/)

## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es en primer lugar, un problema local, sin embargo, la atmósfera arrastra las impurezas alejándolas de sus fuentes. Las condiciones sinópticas imperantes en un lugar están directamente vinculadas con los valores de inmisión de contaminantes en la atmósfera y su estudio nos permite determinar la presencia de fenómenos como el de inversión térmica, las trayectorias de las masas de aire y el origen y dinámica de los vientos (Alonso, 2013).

En Cuba durante el período lluvioso (mayo-octubre) se ha observado el predominio de la influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico, mientras que durante el período poco lluvioso (noviembre-abril) son los anticiclones continentales migratorios (Lapinel, 1988; Bolufé *et al.*, 2016). El primero se caracteriza por masas de aire cálidas y húmedas, procedentes del océano Atlántico. El viento predominante asociado a este sistema puede ser del primero o segundo cuadrante, de región este fundamentalmente. Según Ramírez (1998) las masas de aire que provienen del este (Atlántico Norte) presentan concentraciones de contaminantes inferiores a las provenientes del oeste.

Por otro lado, los anticiclones continentales migratorios se caracterizan por la presencia de una masa de aire fría, seca y estable que provoca una disminución notable de las temperaturas, la humedad del aire y las precipitaciones, asociándose al predominio de largas secuencias de días despejados con buen tiempo (Lecha *et al.*, 1994). Imponen, además, vientos de componente norte (Cremata, 2018). Esto explica el comportamiento de las variables meteorológicas en los meses de noviembre a abril, que no favorecen la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

Algunos autores aseguran que estos sistemas arrastran las masas de aire frías desde el continente americano hacia latitudes bajas. Esta región geográfica, correspondiente al suroeste de los EE.UU y al norte de México es altamente industrializada, lo que unido al movimiento de las masas de aire, puede ocasionar el transporte transfronterizo de los contaminantes (López *et al.*, 2016). Así como, que los contaminantes superen las concentraciones máximas admisibles establecidos en las normas de calidad del aire (Cuesta *et al.*, 2018).

El objetivo de la presente investigación es determinar el comportamiento de las inmisiones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y Ozono (O<sub>3</sub>) en dos localidades de La Habana bajo la influencia de diferentes tipos de situaciones sinópticas (TSS).

## MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se utilizaron datos provenientes de dos Estaciones Automáticas de Monitoreo Atmosférico (EAMA). Ambas son de la marca Automated Air Quality Monitoring System (TH-2000), fabri-

cadas por Yuhong Environmental Protection Industrial Development Co. Las mismas fueron 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), en Plaza de la Revolución. El período de muestreo fue desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016.

Los datos corresponden a concentraciones horarias de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y Ozono (O<sub>3</sub>). A partir de estas se calcularon las concentraciones medias diarias en µg/m<sup>3</sup> y se agruparon según el TSS que predominaba.

Para el estudio de los tipos de situaciones sinópticas tipos se utilizaron los archivos del Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología, principalmente los Estados Generales del Tiempo (EGT) en el período; las Cartas del Estado del Tiempo en los diferentes niveles de altura geopotencial y los Mapas Sinópticos de superficie para los horarios de observaciones. Los TSS fueron clasificados según la metodología desarrollada por Lapinel (1988) (tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de los TSS por Lapinel (1988)

Siglas	Nombre
TSS I	Anticiclón del Atlántico
TSS II	Anticiclón extendido
TSS III	Gradiente débil
TSS IV	Situaciones ciclónicas
TSS V	Zonas de convergencia
TSS VI	Baja extratropical
TSS VII	Zonas frontales
TSS VIII	Anticiclones migratorios
TSS IX	Otras situaciones (indeterminadas)

El procesamiento estadístico de los datos fue realizado utilizando el software *Origin 2016*. Para determinar la relación con los TSS se realizó la prueba H de Kruskal-Wallis y para estudiar esta relación en mayor detalle la prueba de Dunn.

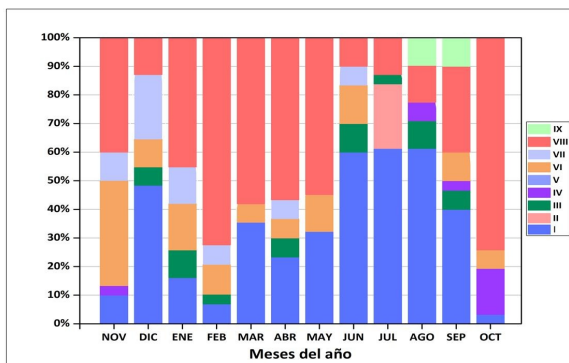
La prueba H de Kruskal-Wallis es una prueba de hipótesis que se aplica al no existir una distribución normal de los datos. Una vez probada la no normalidad de los datos, se utilizó para determinar si existían diferencias significativas entre los valores de inmisión de contaminantes para cada TSS. Puede probarse la hipótesis nula de que todas las medianas de los grupos son iguales, contra la alternativa de que los miembros de por lo menos una pareja no son iguales (Wayne, 1991).

Cuando el valor del estadístico de Kruskal-Wallis fue significativo, se realizó la prueba de Dunn. Esta prueba realiza comparaciones por pares entre cada grupo independiente e indica que grupos presentan diferencias estadísticas significativas entre sí para un nivel de significancia (en este caso 0.05). Puede probarse la hipótesis nula de que los grupos no presentan diferencias significativas, contra la alternativa de que hay al menos una diferencia entre los grupos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comportamiento de los Tipos de Situaciones Sinópticas en la región occidental de Cuba en el período de estudio

En la [figura 1](#) se muestra el por ciento de ocurrencia de los TSS por meses para el periodo de estudio. Predominaron el TSS I, asociado a la influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico, con un 33,3 % y el VIII, relacionado con los anticiclones continentales migratorios con un 39,9 % del total. Vale destacar, el alto por ciento relacionado con los anticiclones continentales migratorios, especialmente en los meses de transición entre los períodos: mayo y octubre.



**Figura 1.** Por ciento de ocurrencia de los TSS por meses para el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016

En la [tabla 2](#) se observa que el TSS I, asociado a la influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico prevaleció durante el período lluvioso y el VIII, relacionado con los anticiclones continentales migratorios durante el poco lluvioso. Lo que corresponde con el comportamiento estacional que otros autores han observado en la región occidental ([Lapinel, 1988](#); [Fonseca, 2018](#); [Alonso, 2013](#); [Bolufé et al., 2016](#)).

**Tabla 2.** Por ciento de ocurrencia de los TSS en los períodos poco lluvioso y lluvioso en la región occidental de Cuba entre noviembre 2015 - octubre 2016

TSS	Período Poco lluvioso		Período Lluvioso	
	N	%	N	%
I	43	23,6	79	42,9
II	0	0	7	3,8
III	8	4,4	9	4,9
IV	1	0,5	8	4,3
V	0	0	0	0
VI	26	14,3	13	7,1
VII	18	9,9	2	1,1
VIII	86	47,3	60	32,6
IX	0	0	6	3,3
Total	182		184	

Leyenda: N: Total de casos %: Por ciento de ocurrencia

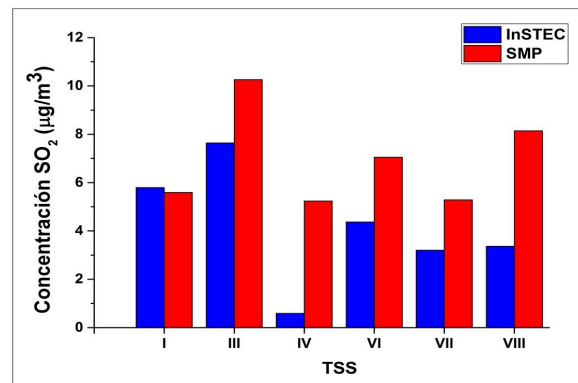
### Relación entre los Tipos de Situaciones Sinópticas y las inmisiones de contaminantes

La distribución de concentraciones de SO<sub>2</sub> asociadas a los TSS para las cuales se evidenció diferencias estadísticas significativas, en las EAMA, utilizando la prueba H de Kruskal-Wallis se muestra en la [figura 2](#).

En ambas estaciones el SO<sub>2</sub> mostró las mayores concentraciones promedio para el TSS III. Esto se debe a la débil influencia del Anticiclón Subtropical de Atlántico (débil gradiente bórico) que produce vientos débiles que no favorecen la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

Los menores valores de inmisión se obtuvieron cuando se presentó el TSS IV, que está relacionada con situaciones ciclónicas. Las mismas tienen asociadas vientos fuertes y precipitaciones intensas que pueden contribuir al transporte, dispersión y limpieza de las impurezas del aire. La prueba de Dunn mostró que entre los TSS III y IV existen diferencias estadísticas significativas de las inmisiones de este contaminante en ambas estaciones.

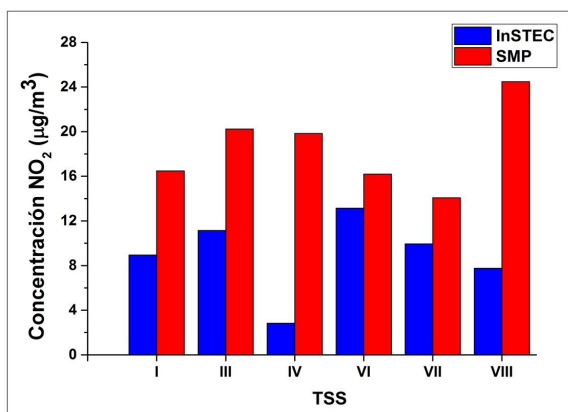
El TSS VIII presentó el caso en el que se supera la CMA en 24 horas (45 µg/m<sup>3</sup>) con un valor de 50,4 µg/m<sup>3</sup> en el InSTEC. Lo analizado anteriormente nos permitió concluir que la contribución fundamental de SO<sub>2</sub> en ambas estaciones fue debido a las emisiones de fuentes locales de la ciudad.



**Figura 2.** Distribución de concentraciones de SO<sub>2</sub> asociadas a los TSS que afectaron las EAMA durante el período desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016

En la [figura 3](#) se muestra la distribución de concentraciones de NO<sub>2</sub> asociadas a los TSS que afectaron las EAMA durante el período de estudio para las cuales se evidenció diferencias estadísticas significativas, utilizando la prueba H de Kruskal-Wallis.

Para este contaminante los mayores valores de inmisiones asociados a los TSS se obtuvieron en SMP, por lo visto anteriormente de ser una estación de exposición al tráfico. En la misma se identificó un máximo de 42,8 µg/m<sup>3</sup>, pero la CMA en 24 horas (40 µg/m<sup>3</sup>) se superó un total de 4 veces en esta estación, las cuales



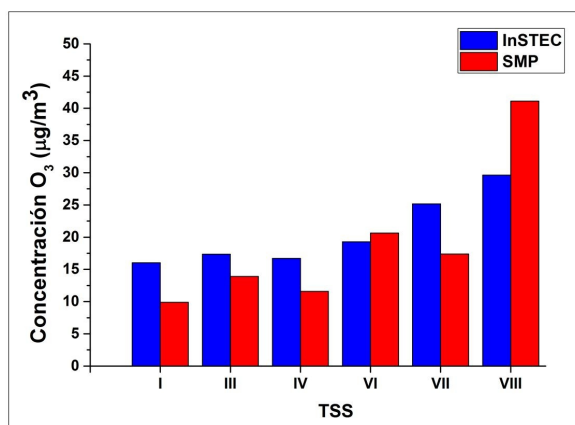
**Figura 3.** Distribución de concentraciones de NO<sub>2</sub> asociadas a los TSS que afectaron las EAMA durante el período desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016

estuvieron asociadas a los anticiclones continentales migratorios.

El promedio máximo se alcanzó para el TSS VIII con un valor de 24,1 µg/m<sup>3</sup>. Una posible causa son las elevadas concentraciones de NO<sub>2</sub> características de este sitio producto de las fuentes móviles, además del aporte transfronterizo por el predominio del TSS VIII. También las condiciones meteorológicas características de esta situación sinóptica, relacionadas con las bajas temperaturas favorecen el estancamiento de este contaminante.

Las diferencias estadísticas significativas de las inmisiones de este contaminante utilizando la prueba de Dunn se encontraron entre los TSS I y VIII; y entre los TSS VI y VIII, en ambas estaciones.

En el caso del O<sub>3</sub> se evidenciaron diferencias estadísticas significativas, utilizando la prueba H de Kruskal - Wallis entre los valores de inmisión de este contaminante asociados a los TSS que afectaron las EAMA en el período de estudio (figura 4). Mostró los valores de inmisión más elevados durante el TSS VIII en ambas estaciones. Para este contaminante no se presentaron casos en los que se excede la normativa.



**Figura 4.** Distribución de concentraciones de O<sub>3</sub> asociadas a los TSS que afectaron las EAMA durante el período desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016

A manera general se observó que los TSS de origen extratropical (VI, VII y VIII) mostraron las mayores concentraciones de O<sub>3</sub> en ambas estaciones, en comparación con los TSS de origen tropical (I, III y IV). La prueba de Dunn identificó diferencias estadísticas significativas entre estos grupos. Esto evidencia el aporte de la contaminación transfronteriza para la formación de este contaminante desde el continente Norteamericano.

## CONCLUSIONES

Los máximos valores medios de concentración de SO<sub>2</sub> se obtuvieron cuando las localidades estuvieron bajo la débil influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte, por lo que el aporte fundamental de este contaminante es desde fuentes locales de la ciudad. En el caso del NO<sub>2</sub> en SMP los anticiclones continentales migratorios no favorecen la dispersión y transporte de este contaminante. Las concentraciones de O<sub>3</sub> en ambas estaciones, para los TSS de origen extratropical fueron superiores respecto a los TSS de origen tropical, lo que evidencia el aporte de la contaminación transfronteriza del continente norteamericano en la formación de este gas contaminante.

## REFERENCIAS

- Alonso, A. (2013). Estudio de algunos factores meteorológicos que influyen en la dispersión de la contaminación atmosférica en La Habana. Tesis presentada en opción al título de Lic. en Meteorología. La Habana, Cuba: Facultad de Medio Ambiente, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.
- Bolufé, J., Guevara, V. A., León, A., Rivero, A., León, L. González, Y., Cuesta, O. (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.
- Cremata, L. (2018). Evaluación económica - ambiental de sistemas de captura de gases en pequeñas centrales termoeléctricas. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, (UH). Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Ciencias de la Gestión Ambiental.
- Cuesta, O., Bolufé, J., Sosa, C., Carrillo, E.R., Madrazo, J. (2018). Contaminación atmosférica por fuentes móviles en la calle Reina, La Habana. Revista Cubana de Meteorología, Vol.23, No.1, pp.78-88, 2017, ISSN: 0864-151X.

- Fonseca, M. (2018). Estudio del impacto en la calidad del aire de las fuentes puntuales en la ciudad de Pinar del Río. *Revista Brasileira de Meteorología* [Internet]. 2013 [citado 26 Mar 2018]; 28(1):1-12. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v28n1/01.pdf>
- 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.
- 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., Bolufé, J., Sosa, C., García, E., Manso, R., Cuesta, O. (2016). Composición iónica de la lluvia y tipos de situaciones sinópticas en Cuba: Efectos en la contaminación atmosférica. En, *Revista Cubana de Meteorología*, no2, pp.141 - 149.
- Ramírez, J. (1989). Estudio de las variaciones en las concentraciones de ozono troposférico en Cuba y su vinculación con algunos fenómenos meteorológicos Tesis de Doctorado en Ciencias Geográficas, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba, 100p.
- Wayne, D. (1991). *Estadísticas no paramétricas y de libre distribución*. En, *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. (pp.503 - 557). México, D.F.: Ed. Simusa.