

Relación entre factores meteorológicos y contaminantes criterio en La Habana

Relationship between meteorological factors and criterion pollutants in Havana



<https://cu-id.com/2377/v31n1e07>

 Rosemary López Lee,  Ignavis de la Caridad Castillo Lemus*,
 Arnaldo Evaristo Collazo Aranda,  Rachel Martínez Rodríguez

Instituto Superior de Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.

RESUMEN: Las concentraciones de contaminantes en el aire dependen no solo de la cantidad emitida, sino también, de la capacidad de la atmósfera para absorberlos o dispersarlos. El objetivo de la presente investigación fue relacionar diversos factores meteorológicos con las concentraciones de contaminantes atmosféricos en La Habana. Se trabajó con datos de concentraciones de Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Ozono y Material Particulado para el 2021 provenientes del Modelado Integrado de la Composición Atmosférica. Para conocer la relación entre los factores meteorológicos y las concentraciones de contaminante, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, la prueba de Kruskal-Wallis y la prueba de Dunn. Los contaminantes SO_2 y O_3 presentaron correlación con las variables meteorológicas. Los mayores promedios de concentraciones de contaminantes por Tipo de Situación Sinóptica se encontraron en presencia del TSS III, con excepción del contaminante O_3 , que presentó los mayores promedios asociados a los TSS VIII, VI y VII respectivamente. Se observó que, en presencia de escasas precipitaciones y vientos variables débiles, se sobrepasan las concentraciones máximas admisibles de la NC1020:2014 para el SO_2 , O_3 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$.

Palabras clave: dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, material particulado, ozono, tipos de situaciones sinópticas.

ABSTRACT: The concentrations of pollutants in the air depend not only on the amount emitted, but also on the ability of the atmosphere to absorb or disperse them. The objective of this research was to relate various meteorological factors with the concentrations of atmospheric pollutants in Havana. We worked with data on concentrations of Sulfur Dioxide, Nitrogen Dioxide, Ozone and Particulate Matter for 2021 from the Integrated Modeling of Atmospheric Composition. To know the relationship between meteorological factors and pollutant concentrations, the Spearman correlation coefficient, the Kruskal-Wallis test and the Dunn test were used. The pollutants SO_2 and O_3 present a correlation with meteorological variables. The highest average concentrations of contaminants by Type of Synoptic Situation were found in the presence of TSS III, with the exception of contaminant O_3 , which presented the highest averages associated with TSS VIII, VI and VII respectively. It was observed that, in the presence of little rainfall and weak variable winds, the maximum admissible concentrations of NC1020:2014 for SO_2 , O_3 , PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ are exceeded.

Key words: ozone, nitrogen dioxide, particulate matter, sulfur dioxide, type of synoptic situation.

INTRODUCCIÓN

Las concentraciones de contaminantes en el aire o inmisiones, dependen no solo de la cantidad emitida, sino también, de la capacidad de la atmósfera de absorber o dispersar estos contaminantes. En este aspecto, juega un papel fundamental, el comportamiento de los factores meteorológicos en las primeras capas de la atmósfera.

En la bibliografía consultada destacan las inversiones térmicas, los vientos débiles, las elevadas frecuencias de calmas y la presencia de sistemas de alta presión sobre las regiones estudiadas. Estos factores evitan que los contaminantes emitidos dentro y en la periferia de las ciudades se dispersen (Wallo & Cuesta, 2005).

*Autor para correspondencia: Ignavis de la Caridad Castillo Lemus. E-mail: Ignavis@gmail.com

Recibido: 18/03/2024

Aceptado: 05/05/2024

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

Contribución de los autores: Todos los autores contribuyeron a la realización del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final. **Conceptualización y supervisión:** Rosemary López. **Procesamiento de datos:** Ignavis de la C. Castillo, Arnaldo E. Collazo y Rachel Martínez. **Investigación:** Ignavis de la C. Castillo. **Metodología:** Arnaldo E. Collazo. **Redacción y edición:** Ignavis Castillo

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/)

La contaminación atmosférica es en primer lugar un problema local, sin embargo, la atmosfera arrastra las impurezas alejándolas de sus fuentes. En estos procesos, las variables y los sistemas meteorológicos a mediana y gran escala juegan un rol determinante, pues pueden producir el arrastre de contaminantes desde regiones remotas (Cuesta *et al.*, 2018).

Lo que en principio era un problema local, asociado a grandes centros urbanos o zonas altamente industrializadas, ha desencadenado una serie de problemas globales que afectan a la totalidad del planeta. Esto ha llevado a considerar la contaminación atmosférica como un problema global según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023).

El origen de los patrones sinópticos, su lugar de desplazamiento y los procesos internos que tienen lugar en ellos (precipitación, descargas eléctricas, características de la radiación, etc.) son características que van a provocar un clima químico que resulta de interés para el estudio presente y futuro del medio ambiente (Cuesta, 1995; Cuesta *et al.*, 2014).

Todo esto justifica que muchos autores en el ámbito nacional, dirijan sus investigaciones a la influencia de los Tipos de Situaciones Sinópticas (TSS) en las concentraciones de contaminantes (Alonso, 2013). Como ejemplo se pueden citar a Fonseca & Cuesta (2012), los cuales analizaron la relación entre el comportamiento de los principales compuestos de nitrógeno y los TSS. También López *et al.* (2016) estudiaron la influencia de los TSS, pero esta vez en lo que respecta a la composición química de la lluvia.

Por todo lo antes expuesto, esta investigación tiene como objetivo relacionar diversos factores meteorológicos con las concentraciones de contaminantes atmosféricos en La Habana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con datos provenientes del Modelado Integrado de la Composición Atmosférica (SILAM). Los contaminantes considerados fueron Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃) y Material Particulado (PM_{2.5} y PM₁₀).

Procesamiento de las salidas del modelo SILAM

Se descargaron los archivos (en formato *NetCDF*), provenientes del modelo *SILAM* correspondientes al área de estudio. Se procedió extraer los valores de las concentraciones del contaminante criterio:

promedio diario y máximo en 8 horas para el caso del O₃ y 24 horas para el resto de los contaminantes utilizando un Script de *python* sobre *Linux Ubuntu*. Por último, se procedió a manejar la información utilizando *Microsoft Excel* sobre *Windows* y se obtuvo una serie diaria de las concentraciones de SO₂, NO₂, O₃, PM_{2.5} y PM₁₀ para La Habana desde enero hasta diciembre del 2021.

Se empleó como valores guía la NC 1020:2014 de la Oficina Nacional de Normalización (ONN), que establece las concentraciones máximas admisibles (CMA) de contaminantes atmosféricos en zonas habitables (tabla 1).

Clasificación de los Tipos de Situaciones Sinópticas

La clasificación fue realizada en conjunto por diversos especialistas del Instituto de Meteorología (INSMET) para el período 2015 -2021. Fueron utilizados los archivos del Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología (INSMET). Se analizó los Estados Generales del Tiempo (EGT), las Cartas del Estado del Tiempo en los diferentes niveles de altura geopotencial y los Mapas Sinópticos de superficie para los horarios de observaciones, obtenidos del Centro de Pronóstico del INSMET. Se empleó la clasificación de Lapinel (1988), la cual se muestra en la tabla 2.

Análisis del comportamiento de las variables meteorológicas y los Tipos de Situaciones Sinópticas

La información meteorológica fue obtenida de los archivos de Datos Climáticos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología, para las variables meteorológicas: temperatura (°C), humedad relativa (%), presión atmosférica (hPa), precipitación (mm), y fuerza del viento (km/h). Se consultaron los registros digitales de las observaciones meteorológicas en el período de estudio en los diferentes horarios en que se realizan las observaciones y el Registro de Fenómenos Significativos para la estación de Casablanca, del Instituto de Meteorología.

El procesamiento estadístico de los datos fue realizado utilizando el software *Origin 2016*. A fin de conocer la asociación existente entre las principales variables meteorológicas con el valor de inmisión del contaminante se realizó el análisis de correlación de Spearman. Para determinar la relación con los TSS se realizó la prueba H de Kruskal-Wallis y la prueba de Dunn.

Tabla 1. Concentraciones Máximas Admisibles según la NC 1020:2014

Contaminante	CMA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
Partículas en suspensión $\leq 10\mu\text{m}$ diámetro (PM ₁₀)	50	24 horas
Partículas en suspensión $\leq 2.5\mu\text{m}$ diámetro (PM _{2.5})	25	24 horas
Ozono (O ₃)	100	8 horas
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	40	24 horas
Dióxido de azufre (SO ₂)	45	24 horas

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

I (AA)	Anticiclón del Atlántico
II (AE)	Anticiclón Extendido
III (GD)	Gradiente débil
IV (SC)	Situaciones ciclónicas
V (ZC)	Zonas de Convergencia
VI (BE)	Baja Extratropical
VII (ZF)	Zonas Frontales
VIII (AM)	Anticiclones Migratorios
IX (OS)	Otras situaciones

La medida no paramétrica de correlación que se conoce como coeficiente de correlación por rangos de Spearman oscila entre -1 y 1, indicando asociaciones negativas o positivas respectivamente. Cero, significa no correlación, pero no independencia. Puede probarse la hipótesis nula de que X e Y son mutuamente independientes, contra la alternativa de que de que X e Y son mutuamente dependientes (Ramos *et al.*, 2010; Badii *et al.*, 2014).

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 que se obtiene es significativo, se indica que al menos uno de los grupos es diferente de al menos otro de los grupos. Entonces, se procede a realizar una prueba de comparaciones múltiples. En este caso se implementó la prueba de Dunn (Siegel & Castellan, 1988).

La prueba de Dun 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

Relación entre las variables meteorológicas y las inmisiones de los contaminantes atmosféricos

En la [tabla 3](#) se muestran los resultados de la correlación entre los valores de las concentraciones de los contaminantes utilizando el modelo SILAM y los datos de las variables meteorológicas de la estación de Casablanca para el año 2021. Se observó, que las concentraciones de los contaminantes se correlacionaron con las variables meteorológicas de forma baja, moderada y alta.

La temperatura presentó una correlación moderada con las concentraciones de SO_2 y O_3 . A pesar, de que la relación no es alta, es significativa para la muestra tomada. De este modo, con el aumento de la temperatura se observa incremento del SO_2 y se desfavorece las concentraciones de O_3 . Este último resultado coincide con un estudio de Martínez (2022) en el que se encontró que, durante los días posteriores al paso de un frente frío, aumentan las concentraciones de O_3 en Cuba.

La humedad relativa presentó una correlación alta, significativa e inversa con las concentraciones de O_3 . Esto significa que a medida que disminuye la humedad, aumenta la presencia de este contaminante en la atmósfera. Se encontró además una correlación directa, significativa y moderada de esta variable con las concentraciones de SO_2 , NO_2 y $\text{PM}_{2.5}$.

La presión atmosférica solo mostró correlación altamente significativa con el $\text{PM}_{2.5}$. El resto de los contaminantes mostró una correlación débil, por lo que se entiende que, el grado de concentración del contaminante, depende de otros factores y/o variables meteorológicas.

La fuerza del viento presentó una correlación inversa y alta con el SO_2 ; mientras con el NO_2 y el $\text{PM}_{2.5}$ fue moderada e inversa. Esto significa que, al aumentar la rapidez del viento, se favorece la dispersión de las emisiones de SO_2 y en menor medida, de NO_2 y $\text{PM}_{2.5}$. En estudios anteriores se ha encontrado, que una mayor velocidad del viento reduce las concentraciones de contaminantes al nivel del suelo, ya que se produce una mayor dilución y mezcla (Vidal, 2017).

La precipitación presentó una correlación moderada e inversa con el O_3 . Este resultado respalda el criterio de que la cantidad de precipitación determina el grado de limpieza de la atmósfera.

Relación de los TSS y las condiciones atmosféricas asociadas a cada situación en las inmisiones de los contaminantes criterio

En la [tabla 4](#) se muestran las frecuencias de ocurrencia de los TSS que influyeron sobre la región occidental de Cuba durante el año 2021. Predominó la influencia de los Anticiclones Continentales Migratorios (TSS VIII) y el Anticiclón del Atlántico Norte (TSS I y II) Este resultado coincide con los patrones observados por otros autores (Bolufé *et al.*, 2016; Bolufé, 2017; Vidal, 2017; Martínez, 2022).

En la [figura 1](#) se muestra la distribución de concentraciones de SO_2 asociadas a cada TSS para las cuales se evidenció diferencias estadísticas significativas, utilizando la prueba H de Kruskal-Wallis. El contaminante mostró las mayores concentraciones promedio para el TSS III en torno a los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La débil influencia del Anticiclón

Subtropical de Atlántico (débil gradiente bórico) produce vientos débiles sobre la región estudiada, situación que desfavorecen la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

Los menores valores promedio de inmisión por TSS para el SO₂ se obtuvieron cuando se presentó el TSS VII y oscilaron en torno a los 20 µg/m³. Este TSS está relacionada con la llegada de zonas frontales. Las mismas tienen asociadas, además de una disminución de la temperatura, vientos fuertes y precipitaciones que pueden contribuir al transporte, dispersión y limpieza de las impurezas del aire. Al aplicar la prueba de Dunn a las concentraciones promedio diarias se encontraron diferencias significativas entre los TSS III y TSS VI; TSS III y TSS VII; TSS III y TSS VIII.

Al estudiar los días que sobrepasaban la CMA establecida en la NC1020:2014 para el SO₂ se encontró que el mayor número de casos ocurría en

presencia de los TSS I y II asociados al Anticiclón Continental del Atlántico Norte (11 casos,) y TSS VIII (10 casos) asociado al paso de Anticiclones Continentales migratorios (tabla 5).

Si se analiza el comportamiento de las variables meteorológicas, los resultados muestran que cuando se supera la CMA para el SO₂, predominan las lluvias ligeras (0.1 - 11mm) y vientos variables débiles (hasta 14 km/h) según el manual operacional del Centro de Pronósticos del INSMET (tabla 5).

En la figura 2 se muestra la distribución de concentraciones de NO₂ asociadas a los TSS que afectaron la región occidental durante el período de estudio para las cuales se evidenció diferencias estadísticas significativas, utilizando la prueba H de Kruskal-Wallis. Los mayores valores de inmisiones por TSS se obtuvieron en torno a los 15 µg/m³ y al igual que el SO₂, estuvieron asociados a la influencia de un débil gradiente bórico (TSS III).

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Spearman entre contaminantes (salida del SILAM) y variables meteorológicas (Estación de Casablanca)

Variable meteorológica/contaminante	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
Temperatura	0.68*	0.20	-0.64*	0.26	0.41
Humedad Relativa	0.73*	0.59*	-0.76**	0.31	0.65*
Presión	-0.59	-0.35	0.38	-0.29	0.83**
Fuerza del viento	-0.75**	-0.62*	0.43	-0.22	-0.51*
Precipitación	0.55*	0.48	-0.63*	0.11	0.41

Leyenda: ** Altamente significativa *significativo nivel de α =0.05

Tabla 4. Frecuencia de ocurrencia de cada TSS en La Habana durante 2021

Tipo	Frecuencia	
	absoluta	relativa
I (AA)	67	18.36
II (AE)	41	11.23
III (GD)	10	2.74
IV (SC)	11	3.01
V (ZC)	0	0
VI (BE)	29	7.95
VII (ZF)	11	3.01
VIII (AM)	196	53.70
IX (OS)	0	0

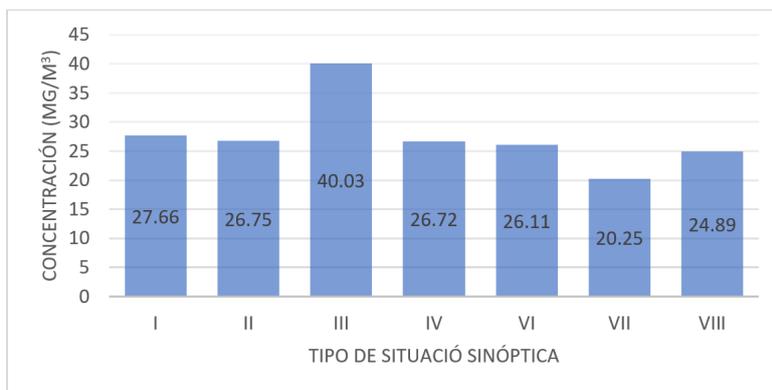


Figura 1. Concentraciones medias de SO₂ por TSS en la Habana (2021)

Tabla 5. Comportamiento de las variables meteorológicas por TSS cuando se supera la CMA de SO₂ en La Habana durante 2021

TSS	Casos >CMA	T min	T max	T med	HR	R	ff
I	8	23.00	30.65	25.90	79	4.10	6.55
II	3	22.73	31.07	27.17	79	7.20	5.90
III	3	23.20	31.37	26.70	81	0.03	6.63
IV	1	24.60	28.70	26.30	85	4.00	17.40
V	0	-	-	-	-	-	-
VI	2	21.90	29.25	24.70	83	0.15	7.05
VII	0	-	-	-	-	-	-
VIII	10	23.03	31.54	25.98	82	5.90	5.85
IX	0	-	-	-	-	-	-

Leyenda: TSS-tipo de situación sinóptica, Tmin-temperatura mínima (°C), Tmax -temperatura máxima (°C), T med-temperatura media diaria (°C), HR-humedad relativa (%), R-cantidad de lluvia caída (mm), ff- fuerza del viento (km/h)

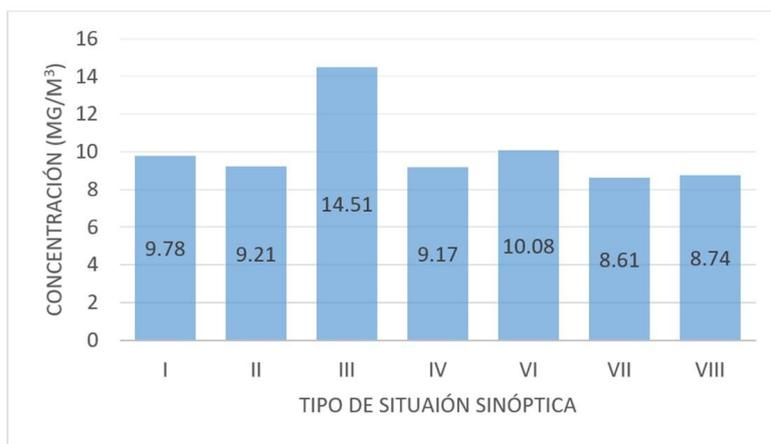


Figura 2. Concentraciones medias de NO₂ por TSS en la Habana (2021)

Para el resto de los casos los valores de concentración oscilaron en torno a los 9 µg/m³. Las diferencias estadísticas significativas de las inmisiones diarias de este contaminante utilizando la prueba de Dunn se encontraron entre el TSS III y los restantes TSS.

Al analizar las concentraciones diarias se encontró que durante 2021 ninguna superó la CMA establecida en la NC1020:2014 para el NO₂.

Para el contaminante O₃ se evidenciaron diferencias estadísticas significativas, utilizando la prueba H de Kruskal-Wallis entre los valores de inmisión de este contaminante asociados a los TSS. Los mayores valores de inmisión oscilaron en torno a los 80 µg/m³ y estuvieron asociados a los TSS VIII, VI y VII respectivamente (figura 3). Estos TSS pueden incrementar las concentraciones de O₃ por el aporte de la contaminación transfronteriza desde el continente.

Los menores valores estuvieron asociados al TSS IV relacionado con situaciones ciclónicas. Las mismas tienen asociado el impacto de fuertes vientos e intensas precipitaciones que contribuyen a la limpieza de la atmósfera. La prueba de Dunn arrojó que existían diferencias estadísticas significativas para las inmisiones diarias de este contaminante entre los TSS VI, VII y VIII con los TSS I, II y IV.

En la tabla 6 se observan los casos en que se superó las CMA para el O₃ de la NC1020:2014. El mayor número de casos apareció en presencia del TSS VIII, correspondiente al paso de Anticiclones Continentales Migratorios. Este TSS favorece la influencia de masas continentales de aire frío, muy seco y estable con valores de presión muy elevados, factores que favorecen la acumulación de contaminantes del aire (Bolufé, 2017).

Los resultados muestran que cuando se supera la CMA para el O₃ predominan escasas precipitaciones y vientos variables débiles; así como temperaturas más bajas que la temperatura media para Casablanca (25.5 °C) y humedad relativa inferior a la media de la estación de Casablanca (75 %) (Resumen climático del Centro del Clima, INSMET) y de la humedad media anual de Casablanca para el año 2021 (78 %) (ONEI, 2022).

En la figura 4 se muestra la distribución de concentraciones de PM₁₀ asociadas a cada TSS para las cuales se evidenció diferencias estadísticas significativas, utilizando la prueba H de Kruskal-Wallis. El contaminante mostró las mayores concentraciones promedio para el TSS III en torno a los 25 µg/m³.

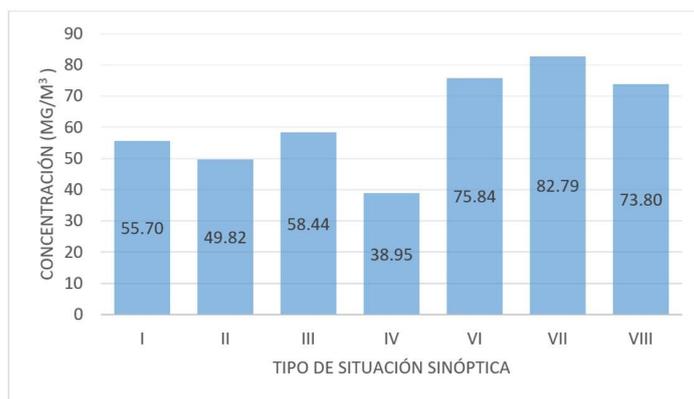


Figura 3. Concentraciones medias de O₃ por TSS en la Habana (2021)

Tabla 6. Comportamiento de las variables meteorológicas y TSS cuando se supera la CMA de O₃ en La Habana durante 2021

TSS	Casos >CMA	T min	T max	T med	HR	R	ff
I	2	18.85	27.75	23.60	66	0.00	10.60
II	0	-	-	-	-	-	-
III	1	21.00	29.10	25.00	83	0.00	8.50
IV	0	-	-	-	-	-	-
V	0	-	-	-	-	-	-
VI	3	21.00	26.70	23.50	67	0.03	13.37
VII	3	20.60	26.43	23.17	62	0.50	14.13
VIII	26	21.75	29.10	25.55	66	0.75	16.75
IX	0	-	-	-	-	-	-

Leyenda: TSS-tipo de situación sinóptica, Tmin-temperatura mínima (°C), Tmax-temperatura máxima (°C), T med-temperatura media diaria (°C), HR-humedad relativa (%), R-cantidad de lluvia caída (mm), ff- fuerza del viento (km/h)

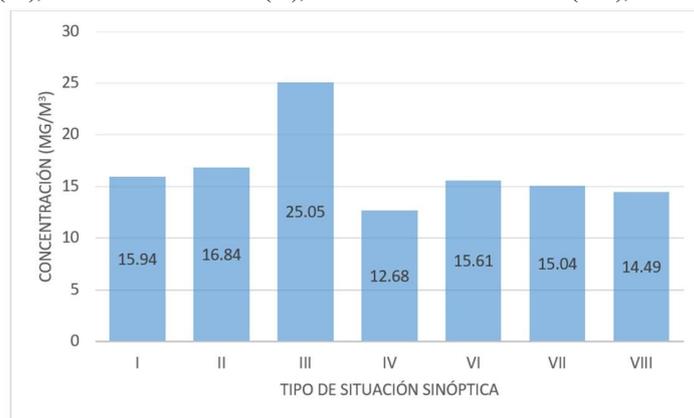


Figura 4. Concentraciones medias de PM₁₀ por TSS en la Habana (2021)

El resto de los TSS estuvieron asociados a concentraciones menores. La prueba de Dunn arrojó que existían diferencias estadísticas significativas para las inmisiones diarias de este contaminante entre el TSS III y los TSS IV y VIII.

Como se muestra en la tabla 7, al analizar las concentraciones diarias se encontró que durante 2021 en solo dos ocasiones se superó la CMA establecida en la NC1020:2014 para el PM₁₀. En ambos casos la precipitación fue nula y el viento variable débil.

La distribución de concentraciones de PM_{2.5} asociadas a cada TSS mantuvo un comportamiento muy similar al observado para el PM₁₀. Se evidenció diferencias estadísticas significativas, utilizando la prueba H de Kruskal-Wallis. Las mayores concentraciones promedio por TSS también estuvieron

asociadas a un débil gradiente bórico (TSS III) y oscilaron en torno a los 22 µg/m³.

El resto de los TSS estuvieron asociados a concentraciones menores. La prueba de Dunn arrojó que existían diferencias estadísticas significativas para las inmisiones diarias de este contaminante entre el TSS III y los TSS IV, VII y VIII (Figura 5).

En la tabla 8 se observan los casos en que se superó las CMA para el PM_{2.5} de la NC1020:2014, utilizando el modelo SILAM. El mayor número de días que incumplió la norma estuvo asociado al TSS VIII. Los resultados muestran que cuando se supera la CMA para el PM_{2.5} predominan las escasas precipitaciones y los vientos variables débiles. Estas condiciones meteorológicas no favorecen la dispersión o remoción de los contaminantes atmosféricos.

Tabla 7. Comportamiento de las variables meteorológicas y TSS cuando se supera la CMA de PM₁₀ en La Habana durante 2021

TSS	Casos >CMA	T min	T max	T med	HR	R	ff
I	0	-	-	-	-	-	-
II	1	21.00	29.10	25.00	83	0.00	8.50
III	1	22.30	29.80	26.40	82	0.00	4.00
IV	0	-	-	-	-	-	-
V	0	-	-	-	-	-	-
VI	0	-	-	-	-	-	-
VII	0	-	-	-	-	-	-
VIII	0	-	-	-	-	-	-
IX	0	-	-	-	-	-	-

Leyenda: TSS-tipo de situación sinóptica, Tmin-temperatura mínima (°C), Tmax-temperatura máxima (°C), T med-temperatura media diaria (°C), HR-humedad relativa (%), R-cantidad de lluvia caída (mm), ff- fuerza del viento (km/h)

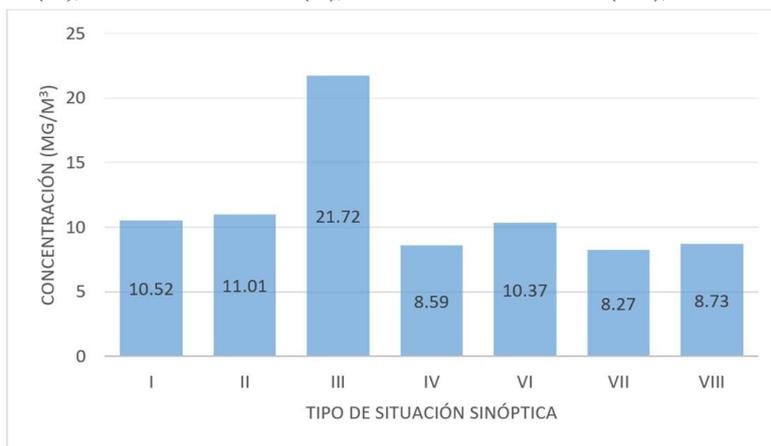


Figura 5. Concentraciones medias de PM_{2.5} por TSS en la Habana (2021)

Tabla 8. Comportamiento de las variables meteorológicas y TSS cuando se supera la CMA de PM_{2.5} en La Habana durante 2021

TSS	Casos >CMA	T min	T max	T med	HR	R	ff
I	1	22.9	30.6	24.9	79	9.8	4.1
II	1	22.3	29.8	25	83	0	8.5
III	2	22.55	30.2	26.8	84	0	4.4
IV	0	-	-	-	-	-	-
V	0	-	-	-	-	-	-
VI	1	20.7	27.2	23.7	83	0	7.6
VII	0	-	-	-	-	-	-
VIII	5	24.02	31.54	27.24	79.4	0.84	5.62
IX	0	-	-	-	-	-	-

Leyenda: TSS-tipo de situación sinóptica, Tmin-temperatura mínima (°C), Tmax-temperatura máxima (°C), T med-temperatura media diaria (°C), HR-humedad relativa (%), R-cantidad de lluvia caída (mm), ff- fuerza del viento (km/h)

CONCLUSIONES

- Los contaminantes SO₂ y O₃ presentaron correlación con las variables meteorológicas. Se encontró una correlación significativa con la temperatura ambiente que favorece de forma directa las concentraciones de SO₂ y de forma inversa las concentraciones de O₃. Una correlación alta, significativa e inversa entre la humedad relativa y el O₃. Y una correlación alta e inversa entre el SO₂ y la fuerza del viento.
- Los mayores promedios de concentraciones de contaminantes por TSS se encontraron en presencia del TSS III, correspondiente a un débil gradiente

bárico; con excepción del contaminante O₃, que presentó los mayores promedios asociados a los TSS VIII, VI y VII respectivamente. Estos TSS puede incrementar las concentraciones de O₃ por el aporte de la contaminación transfronteriza y las altas temperaturas asociadas.

- Se observó que, en presencia de escasas precipitaciones y vientos variables débiles, se sobrepasan las concentraciones máximas admisibles de la NC1020:2014 para el SO₂, O₃, PM₁₀ y PM_{2.5}. Destacó el caso del O₃ donde además se observó que coincidían condiciones de temperatura y humedad relativas más bajas que los promedios usuales.

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.
- Badii, M. H., Guillen, A. y Acunna, M. S. (2014). Aplicación de la correlación en la investigación. *International Journal of Good Conscience*. 9(2)18-23. Agosto 2014, ISSN 1870-557X. UANL, San Nicolas, México.
- 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.
- Bolufé, J. (2017). Influencia del medio ambiente atmosférico sobre las crisis agudas de asma bronquial en La Habana. Tesis presentada en opción al título Académico de Máster en Ciencias. La Habana.
- 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 Doctor en Ciencias Geográficas. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Cuesta, O., Collazo, A., González, Y., Fonseca, M., Carla, A., Rodríguez, Y. (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. La Habana: Instituto de Meteorología; 2014.
- 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. 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*, no1, pp.57 – 69.
- 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.
- 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.
- Martínez, R. (2022). Evaluación del impacto del ozono troposférico en el cultivo de la papa y en las enfermedades respiratorias crónicas en San José de las Lajas bajo influencia de condiciones meteorológicas tipos. Tesis presentada en opción al título de Licenciatura en Meteorología. Instituto superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. La Habana.
- Oficina Nacional de Normalización de Cuba (2014). Norma Cubana 1020: 2014. Calidad del aire - Contaminantes - Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables. La Habana: ONN; 2014.
- OMS (2023). La OMS informa sobre el impacto de la contaminación atmosférica. Consultado en <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2023/05/1>
- ONEI (2022). Anuario Estadístico de Cuba. Tabla: principales Indicadores del clima año 2021. Edición 2022. Available from: <http://www.onei.gob.cu>.
- Ramos, S., Bautista, R., Valdez, A. (2010) Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México. *Universidad y ciencia* [Internet]. 2010 abr [citado 12 mayo 2019]; 26 (1): [aprox. 10 p.]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792010000100005
- Siegel, S. y Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. 2nd Edition. Nueva York: Mc Graw – Hill Book Company.
- Vidal, I. (2017) Influencia de condiciones meteorológicas en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. Tesis en opción al título de Licenciado en Meteorología. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. La Habana. Cuba.
- Wallo, A., y Cuesta, O. (2005). Métodos de pronóstico de la influencia de las condiciones ambientales sobre el Asma Bronquial. CD Memorias III Congreso Cubano de Meteorología, La Habana, 2005.
- 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.

Dra. Rosemary López Lee. Instituto Superior de Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba. E-mail: rosemarylopez73@gmail.com

Lic. Ignavis de la Caridad Castillo Lemus. Instituto Superior de Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba. E-mail: ignavis@gmail.com

MSc. Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. Instituto Superior de Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba. E-mail: acollazo40@gmail.com

Lic. Rachel Martínez Rodríguez. Instituto Superior de Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba. E-mail: victoria20plus@gmail.com