

Comportamiento de contaminantes atmosféricos en zonas de 2 municipios de La Habana en el trienio 2015-2017



<https://cu-id.com/2377/v29n1e08>

Behaviour of atmospheric pollutants in areas of 2 municipalities of Havana in the 2015-2017 triennium

✉ Francisco Reyes Hernández^{1**}, ✉ Osvaldo Cuesta Santos^{2*}, ✉ Roberto González Cruz^{1***},
✉ Daniel Palacio Iglesias^{1****}, ✉ Mileyde Guzmán Vila^{1*****}

¹Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología del MINSAP, La Habana, Cuba.

²Instituto de Meteorología (INSMET), Carretera del Asilo S/N. Casa Blanca, Regla, La Habana, Cuba.

RESUMEN: La contaminación atmosférica incide en el estado del medio ambiente de las megaciudades, de ahí que se haya realizado este estudio observacional descriptivo en 2015-2017 en Centro Habana y Cerro, utilizando como resultados de la estación de monitoreo del aire del INHEM los contaminantes SO₂, NO₂ y material particulado menor de 10 micras (PM₁₀). Objetivos: Describir la contaminación atmosférica en zonas de los municipios Centro Habana y Cerro para los contaminantes citados. Metodología: Se realizó un estudio observacional descriptivo de los contaminantes incluyendo valores de tendencia central, porcentaje de transgresión de concentraciones máximas admisibles (CMA), valores máximos y percentiles 90, 95 y 99 y Coeficiente de Correlación de Spearman para la prueba de significación de Hipótesis H₀. Se utilizó modelo de regresión lineal múltiple junto a las variables meteorológicas. Resultados: Los percentiles muestran al año 2015, como el de mayor contaminación atmosférica registrada, con mayor presencia de PM₁₀, NO₂ y SO₂, este último vuelve a superar la CMA en el percentil 99 en el año 2017. Conclusiones: En 2015 se alcanzó la mayor contaminación atmosférica, siendo el PM₁₀ el mayor contribuyente al deterioro del aire. Las cifras diarias de estos contaminantes se correlacionaron con las variables meteorológicas estudiadas. Recomendaciones: Incorporar mediciones meteorológicas en la estación del INHEM para conocer su influencia sobre los contaminantes a evaluar.

Palabras claves: Contaminantes atmosféricos, Calidad del aire, CMA (concentraciones máximas admisibles).

ABSTRACT: Atmospheric pollution affects the state of the environment in megacities, which is why this descriptive observational study was carried out in 2015-2017 in Centro Habana and Cerro, using as results of the INHEM air monitoring station the pollutants SO₂, NO₂ and PM₁₀. Objectives: To describe air pollution in areas of the Centro Habana and Cerro municipalities for the pollutants mentioned. Methodology: A descriptive observational study of the pollutants was carried out, including values of central tendency, percentage of transgression of maximum admissible concentrations (MAC), maximum values and percentiles 90, 95 and 99 and Spearman's Correlation Coefficient for the Hypothesis significance test. H₀. A multiple linear regression model was used together with the meteorological variables. Results: The percentiles show the year 2015 as the highest recorded air pollution, with the highest presence of PM₁₀, NO₂ and SO₂, the latter once again exceeding the CMA at the 99th percentile in 2017. Conclusions: In 2015 the highest atmospheric pollution was reached, with PM₁₀ being the largest contributor to air deterioration. The daily figures of these pollutants were correlated with the meteorological variables studied. Recommendations: Incorporate meteorological measurements at the INHEM station to find out their influence on the pollutants to be evaluated.

Keywords: Air pollutants, Air quality, MAC (maximum allowable concentrations).

* Autor para correspondencia: cuestaosvaldo52@gmail.com, osvaldo.cuesta@insmet.cu

** Email: francisco@inhem.sld.cu

*** Email: roberto.glez@infomed.sld.cu

**** Email: danielpalacioiglesia@gmail.com

***** Email: mileydis@inhem.sld.cu

Recibido: 15/11/2022

Aceptado: 23/12/2022

INTRODUCCIÓN

La solución a los actuales problemas ambientales constituye un paso fundamental para el desarrollo de la vida con sentido de sostenibilidad. La satisfacción de tal aspiración es condicionada en buena medida por la preservación de una atmósfera limpia, dada la incidencia de este medio en la dinámica de la biosfera, resultando premisa indispensable el conocimiento de los mecanismos de incorporación de contaminantes al aire, sus tiempos de vida atmosférica, reacciones de combinación y vías de remoción, entre otros aspectos, considerando que los enfoques del problema varían en dependencia del contexto espacial y temporal involucrado (Cuesta, O. et al., 2017).

El conocimiento de la calidad del aire en una zona determinada, es un dato imprescindible para el diseño de la protección de los seres vivos y de su hábitat. Conocer con qué fuentes, con qué sustancias y en qué medida se contamina una región, es un estudio de suma importancia en la actualidad, donde cada vez más la actividad humana influye en el cambio negativo de su entorno y donde se impone una labor pensada y planificada para su posible mitigación (Cuesta, O. et al., 2019).

Entre las causas fundamentales que generan los problemas de calidad del aire en zonas urbanas de Cuba se encuentran: los errores en la planificación territorial en cuanto a la ubicación física de los asentamientos humanos e industrias; la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y en otras fuentes como el transporte automotor; la no existencia de tratamientos elementales en las emisiones de contaminantes a la atmósfera; la carencia de normas técnicas sobre emisiones en algunos sectores; y por último, la necesidad de educación ambiental e información disponible en la comunidad sobre los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud humana y los ecosistemas en general (Cuesta, O. et al., 2017).

La contaminación atmosférica es un proceso complejo determinado por múltiples factores. En la actualidad este tema reviste gran relevancia, ya que existe un marcado deterioro de la calidad del aire. De ahí que los retos del siglo XXI impulsen a las naciones a instrumentar políticas encaminadas a prevenir, minimizar y controlar las emisiones de contaminantes a la atmósfera y la reducción o eliminación de las modalidades de producción y consumo ambientalmente insostenibles. En los últimos años se han realizado investigaciones para conocer los mecanismos que intervienen en tan complejo proceso (Marrero Díaz J, Cuesta Santos O, y Suarez Benítez M., 2018).

El aire es un bien común indispensable para la vida y que por lo tanto debe estar sujeto a normas que garanticen una calidad necesaria para un desarrollo normal de los seres vivos, y la conservación del patrimonio natural y cultural de la humanidad. Todos los ciudadanos tienen derecho a respirar aire limpio

y sin riesgo para su salud. Los riesgos para la salud, cuando sobrepasan las “Recomendaciones sobre Calidad del Aire” (RCA) de la Organización Mundial de Salud (OMS), varían mucho y van desde los síntomas de dificultades respiratorias, pasando por los efectos hematopoyéticos y por los efectos cognitivos neurológicos, hasta la carcinogénesis, siendo difícil de estimar la exposición real de los habitantes urbanos a la contaminación del aire (Cuesta, O. et al., 2014).

La contaminación atmosférica puede tener carácter local cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo, o planetario, cuando por las características del contaminante, se ven afectados el equilibrio del planeta y las zonas alejadas a las que contienen los focos emisores (Amable Álvarez I, et al., 2017).

La magnitud de los daños causados por la contaminación atmosférica desde hace años ha estado expresada por noticias como esta: “La OMS informa que en el año 2021 la contaminación del aire ocasionó unos siete millones de muertes prematuras en el mundo y la pérdida de millones de años de vida más saludables. Esto confirma que la contaminación atmosférica representa en la actualidad, por sí sola, el mayor riesgo ambiental para la salud. La repercusión de noticias alarmantes como estas, ponen de manifiesto la necesidad de realizar estudios de contaminación atmosférica, puesto que revisten una importancia primordial para la selección e instrumentación de medidas que permitan una adecuada armonía entre las diversas actividades que se ejecutan en un territorio, de forma tal que no se perjudique el medio ambiente y sean compatibles las diferentes actividades socioeconómicas (González Jaime Y., et al., 2016).

En este sentido, recientemente la OMS ha definido una serie de retos para la salud internacional en el decenio 2020-2030 y entre ellos está: Mejorar la salud en medio del debate climático, a partir del reconocimiento de que “la crisis climática es una crisis de salud”, pues cada año se estima que hay 7 millones de muertos por contaminación ambiental y crecen la desnutrición y las enfermedades infecciosas como la malaria por eventos climáticos extremos, entre otros males. De ahí se define que se requieren compromisos público-privados para mejorar el aire y mitigar los efectos de la crisis climática en la salud, por lo que a tal efecto, en 2019 se logró el compromiso de alrededor de 80 ciudades de más de 50 países que trabajarán con pautas de calidad del aire (Ghebreyesus TA., 2020).

La contaminación atmosférica puede ser definida como “una condición de la atmósfera en la cual están presentes, sustancias en concentraciones tales, capaces de afectar la calidad y composición del aire y provocar efectos perjudiciales para los seres humanos, los elementos naturales, ecosistemas, materiales, construcciones e instalaciones, el clima, etc.” (Vidal Ros I., et al 2018).

En los últimos tiempos se ha observado un deterioro de la calidad del aire, principalmente en aquellas regiones densamente pobladas, provocado básicamente por un aumento sustancial de las emisiones de contaminantes a la atmósfera. No obstante, mecanismos como el transporte, la transformación química, la dispersión y el depósito de contaminantes emitidos desde zonas industrializadas, ocasionan el deterioro de la calidad del aire en zonas alejadas de las fuentes de emisión (Fonseca Hernández M., 2013).

Los procesos físico-químicos que se producen en la atmósfera, la meteorología y la orografía (relieve natural y construido) condicionan enormemente los procesos de dispersión y transporte de estos contaminantes. Dentro de esta dinámica atmosférica, los aportes son producidos por emisiones primarias, bien desde fuentes naturales, lo que incluye los fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, actividades sísmicas, actividades geotérmicas, incendios, fuertes vientos, aerosoles marinos, resuspensión atmosférica o transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas o bien desde fuentes antropogénicas (derivadas de las actividades humanas) que son los principales mecanismos de contaminación atmosférica, tanto en el sector industrial, como en medios de transporte o en el ámbito doméstico (ECODES, 2010).

Para determinar el nivel de contaminación atmosférica, hay que considerar las emisiones de estas sustancias, tanto por fuentes naturales, así como por actividades antrópicas. Las ciudades con alta densidad poblacional son un ejemplo típico de contaminación, donde se superponen los efectos de las emisiones de numerosas fuentes fijas de la actividad industrial y las emisiones provocadas por el tráfico vehicular.

Las condiciones meteorológicas influyen sobre el transporte y dispersión de los contaminantes en la atmósfera, así como también en los procesos de remoción de los mismos. Ellas determinan, junto a otros factores, los valores de inmisión de contaminantes en el aire (Fonte Hernández A, Cuesta Santos O, y Sosa Pérez C., (2017) y (Vidal Ros I., 2017).

Existen estudios que muestran que los contaminantes atmosféricos y las variables meteorológicas se correlacionan. Es así que la concentración de los contaminantes en la atmósfera se afecta por variables meteorológicas como, la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar, que controlan a su vez la velocidad con la que se realizan las reacciones químicas atmosféricas. Por otro lado, la dispersión de estos contaminantes es influenciada por la velocidad y dirección de los vientos, así como la estabilidad que predomina en la atmósfera. También es conocido que existen diferencias significativas entre las concentraciones de contaminantes en temporada lluviosa y poco lluviosa (Vidal Ros I., 2017) y (Ramos-Herrera S, Bautista-Margulis R, Valdez-Manzanilla A., 2010).

En la actualidad aumenta la contribución de la contaminación del aire por el tráfico, aunque las plantas

de energía y las fábricas continúan realizando una importante contribución.

La Habana es una de las ciudades más contaminadas de Cuba. Sus principales fuentes contaminantes son: la Refinería de Petróleo Níco López, la Termoelectrónica de Tallapiedra (Otto Parellada) y la Antillana de Acero; además de numerosos grupos electrógenos y el transporte automotor (Wallo Vázquez A, Cuesta Santos O., 2004).

Hay innumerables evidencias de que una mala calidad del aire incide negativamente en la salud de las personas, los ecosistemas y el patrimonio, que para el caso de Centro Habana se ha podido establecer a partir de los resultados obtenidos de los muestreos en la estación de monitoreo continuo de la calidad del aire existente en el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM), ubicada en dicho municipio.

El objetivo del presente trabajo es describir la contaminación atmosférica en zonas de los municipios Centro Habana y Cerro a partir de los resultados de la estación de monitoreo del aire del INHEM de los contaminantes principales SO₂, NO₂ y material particulado menor de 10 micras (PM₁₀) conociendo que estos son capaces de producir diversos problemas de salud, principalmente respiratorios (Ayuntamiento de Santander, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza un estudio observacional descriptivo cuyo universo estuvo constituido por los resultados diarios del monitoreo de algunos indicadores de contaminación del aire en la estación de muestreo situada en la Calzada de Infanta, municipio Centro Habana, a la entrada del INHEM, en la zona suroeste de dicho municipio.

La estación de monitoreo está físicamente en la Calzada de Infanta No.1158, entre las calles Llinás y Clavel, en los límites entre los municipios Centro Habana y Cerro, por lo que es representativa de lo que acontece en cuanto a la calidad del aire en un radio aproximado de un kilómetro, sobre todo, hacia su semicírculo a sotavento, de donde proceden las mayores emisiones de contaminantes debido a la localización de las principales fuentes fijas de contaminación y al mayor tráfico vehicular (fuentes lineales), con una gran influencia de fuentes fijas circundantes, como se aprecia en la [Tabla 1](#) y en la [Figura 1](#).

También se describen las principales fuentes lineales (vías de alto tráfico) de contaminantes del aire en un radio de 1 km de la estación de monitoreo del INHEM. Entre dichas fuentes lineales sobresale la Calzada de Infanta, aunque existen otras avenidas cercanas que son también de alto tráfico y que contribuyen notablemente como fuentes contaminantes sobre la zona de la estación de monitoreo del INHEM. Entre ellas se pueden citar, las calles Manglar, Calzada de Ayestarán, Carlos III, Belascoain, Zanja, Monte y otras.

La zona de trabajo a partir de la cual se hace este estudio, abarcó cuatro Áreas de Salud de los policlínicos situados en el entorno Este de la estación de monitoreo del INHEM, dos en el municipio Cerro, la Héroes de Girón y la Abel Santamaría; y dos en Centro Habana, la del policlínico Nguyen Van Troi y la del Reina, que a su vez se corresponden con el territorio más inmediato a la zona industrial de la bahía de La Habana, representadas en la [Figura 2](#).

El periodo de estudio fue desde enero del año 2015 hasta diciembre del 2017. Los contaminantes evaluados fueron: dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y partículas en suspensión menores de 10 micras de diámetro aerodinámico (PM₁₀). El muestreo se realizó según las normas establecidas para el monitoreo manual de 24 horas, así como su posterior análisis en el laboratorio (WHO /UNEP, 1994). En todos los casos los valores de concentración de los contaminantes se expresan en µg/m³.

Tabla 1. Principales fuentes estacionarias de contaminantes del aire y sus distancias a la estación de monitoreo INHEM, Centro Habana, 2018.

Principales fuentes fijas	Localización con relación al INHEM.	Distancia a la estación del INHEM (metros).
Termoeléctrica Otto Parellada	Este	1 450
Grupos Electrógenos de Regla	Este	4 100
Refinería Níco López	Este	5 450

Fuente: INSMET y resultados del estudio.

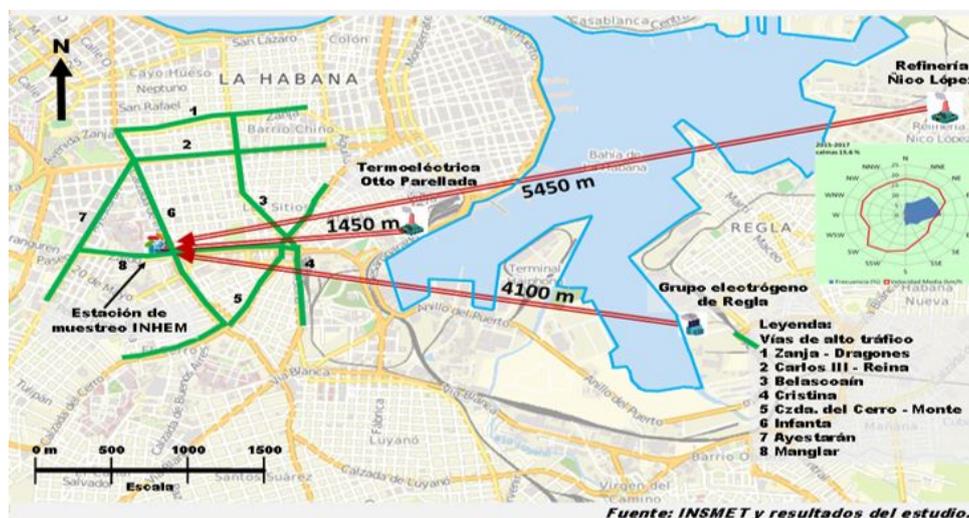


Figura 1. Principales fuentes estacionarias y móviles de contaminantes del aire, distancias a la estación de monitoreo INHEM y Rosa de los vientos de la Estación meteorológica de Casablanca para el trienio 2015-2017.



Figura 2. Principales fuentes contaminantes y las 4 Áreas de Salud comprendidas en la zona del estudio de los municipios Centro Habana y Cerro en torno a la estación de monitoreo INHEM y Rosa de los Vientos de la Estación Meteorológica de Casablanca para el trienio 2015-2017.

Se evaluó el comportamiento diario del SO₂, NO₂ y PM₁₀ incluyendo el resumen de las concentraciones de dichos contaminantes, tanto globalmente para el período de tres años, evaluado como estratificado por los días de la semana y a lo largo de los 36 meses evaluados. Se realizó una revisión actualizada de los valores de las concentraciones máximas admisibles (CMA) establecida en la norma cubana y los valores guías recomendados por la OMS (ONN; 2014, NC 1020:2014) que aparecen en la [Tabla 2](#).

Se construyeron modelos de regresión lineal múltiple entre cada contaminante y las variables meteorológicas seleccionadas, obtenidas en la estación meteorológica de Casablanca, del Instituto de Meteorología, ubicada a unos 3 km al nordeste y a barlovento de la estación de monitoreo de contaminantes del aire, como una aproximación preliminar a la evaluación de la influencia de estas variables sobre las concentraciones de los contaminantes evaluados. Las variables meteorológicas incluidas en los modelos y las unidades en que se expresaron fueron las siguientes:

- Temperatura media diaria (°C)
- Humedad relativa media diaria (%)
- Velocidad del viento media diaria en kilómetros por hora (km/h)
- Presión barométrica media diaria en hectopascales (hPa)

A fin de conocer el peso de las principales variables meteorológicas como la temperatura, la humedad relativa y la fuerza del viento sobre el valor de inmisión del contaminante, se realizó el análisis de correlación de Spearman (Reyes Hernández, Francisco (2022)).

RESULTADOS Y DISCUSION

Comportamiento de las variables meteorológicas que influyen sobre los contaminantes.

Durante el periodo 2015 - 2017 el año de mayor valor promedio de temperatura seca fue el 2015, con 25.9 °C, mientras que en el período de 2016 - 2017 el comportamiento fue el mismo, con un valor de 25.5 °C como se observa en la [Figura 3](#).

Por otro lado la humedad relativa durante el periodo 2015 - 2017 el año de mayor promedio de humedad relativa fue 2017 con un 76%, sin embargo, en el 2015 y 2016 se reportaron valores con una ligera tendencia

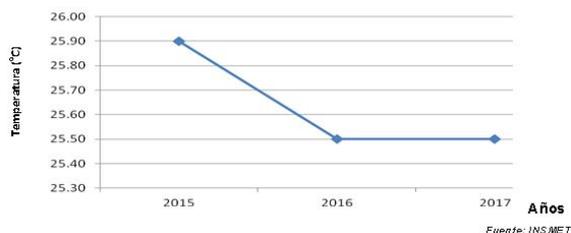


Figura 3. Comportamiento de la temperatura en el período 2015 - 2017.

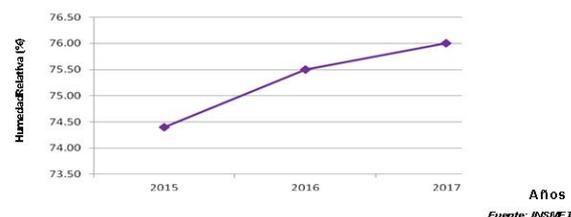


Figura 4. Comportamiento de la humedad relativa en el período 2015 - 2017.

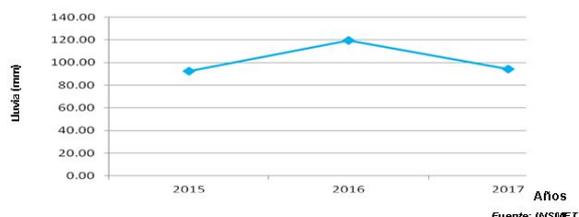


Figura 5. Comportamiento de la lluvia en el período 2015 - 2017.

a disminuir de 75.5% a 74.4% como se aprecia en la [Figura 4](#).

Mientras la lluvia durante el periodo 2015 - 2017 el año de mayor promedio de precipitación fue en el 2016 con 119.6 mm, mientras que en el 2015 disminuyó paulatinamente a valores de 92.4 y en el 2017 a 94.2 mm de lluvia ([Figura 5](#)).

La presión atmosférica en el periodo 2015 - 2017 el año de mayor valor de presión atmosférica fue en el 2016 con 1016.3 hPa, mientras que en el 2015 y el 2017 disminuyó a valores de 1016.2 hPa y 1015.5 hPa respectivamente como se observa en la [Figura 6](#).

El comportamiento del viento en el trienio estudiado la frecuencia de días con calmas fue del 15.6%, lo que se tradujo en aproximadamente 171 días, en los que no se reportaron vientos perceptibles (vientos débiles y calma). El rumbo de viento predominante se mantuvo procedente del cuadrante Noreste. La dirección de viento más frecuente desde el Este (E),

Tabla 2. Concentración máxima admisible en función del tiempo de exposición de los contaminantes analizados.

Contaminantes	Período	CMA [µg/m ³]	Período	CMA [µg/m ³]	Período	CMA [µg/m ³]
SO ₂	1 hora	250	24 horas	45	Anual	40
NO ₂	1 hora	160	24 horas	40	Anual	35
PM ₁₀	1 hora	200	24 horas	50	Anual	20

Fuente: Norma Cubana 1020:2014.

cuya velocidad media fue de 12 km/h; le sigue el Este Noreste (ENE), con velocidad promedio de 17 km/h; y el Noreste (NE) respectivamente, pero con velocidad de 18 km/h como se representa en la Figura 7.

Comportamiento de los contaminantes SO₂, NO₂ y PM₁₀ en la estación de monitoreo del INHEM en el período 2015 - 2017.

Durante el periodo 2015 - 2017, el año de mayor valor promedio de concentración de SO₂ fue el 2015 con 14.2 µg/m³, cuando se sobrepasó la CMA cuatro veces, en comparación con el resto de los años como se aprecia en la Tabla 3.

Durante este periodo el NO₂ presentó el valor medio más elevado de 28.5 µg/m³ en el año 2017 sobrepasando en 38 ocasiones la CMA, aunque en los años 2015 y 2016 los valores de concentración fueron altos y estuvieron por encima de la CMA en varias ocasiones como se aprecia en la Tabla 4.

Los valores obtenidos reflejan la influencia del transporte automotor sobrepasándose la CMA en múltiples ocasiones.

Durante este periodo el PM₁₀ tuvo un valor promedio de 39.9 µg/m³ siendo su mayor valor promedio en el año 2015, superando la CMA en 75 ocasiones. 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.

El PM₁₀ es el contaminante que mayor número de veces sobrepasa la CMA en la zona de estudio, por lo que es el mayor contribuidor al deterioro de la calidad

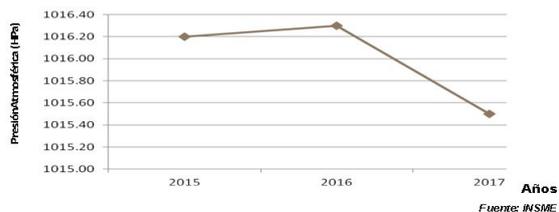


Figura 6. Comportamiento de la presión atmosférica en el periodo 2015 - 2017.

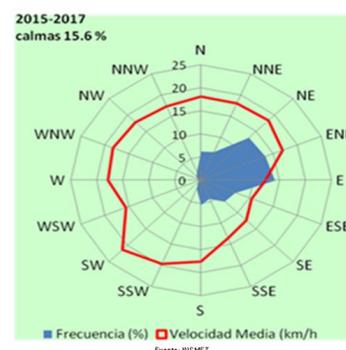


Figura 7. Comportamiento del viento para el periodo 2015 - 2017

del aire en esta localidad. Sus fuentes principales son las industrias cercanas y el tráfico automotor (Reyes Hernández, Francisco (2022).

Coefficiente de correlación de Spearman de los datos diarios de contaminantes y variables meteorológicas en el periodo 2015-2017.

Partiendo de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta el Coeficiente de Correlación de Spearman,

Tabla 3. Comportamiento promedio del SO₂ en el periodo 2015 - 2017

Variable	Año 2015	Año 2016	Año 2017
Nº de muestras	218	199	125
Valor medio	14.2	6.5	3.2
Desviación Estándar	26.4	5.4	8.3
Valor Máx.	359.7	27.5	61.8
Valor mín.	0.5	0.2	0.1
CMA (µg/m ³)	45	45	45
Total de muestras > CMA (µg/m ³)	4	0	2

Fuente: Resultados del Laboratorio de Contaminantes Atmosféricos INHEM.

Tabla 4. Comportamiento promedio del NO₂ en el periodo 2015 - 2017

Variable	Año 2015	Año 2016	Año 2017
Nº de muestras	198	194	205
Valor Medio	27.6	26.6	28.5
Desviación Estándar	16.9	15.7	16.0
Valor Máx.	184.5	117.6	106.5
Valor Mín.	2.8	0.3	0.4
CMA (µg/m ³)	40	40	40
Total de muestras > CMA µg/m ³)	31	29	38

Fuente: Resultados del Laboratorio de Contaminantes Atmosféricos INHEM.

se pudo corroborar que existe correlación entre las variables meteorológicas y las concentraciones de los contaminantes, esto conlleva a rechazar la Hipótesis Ho de que son mutuamente independientes y se acepta que son No mutuamente independientes.

Las explicaciones de las dependencias muestran que las concentraciones diarias de los contaminantes se correlacionaron (Tabla 6), con las variables humedad relativa, la temperatura, presión atmosférica, velocidad del viento y precipitación.

La temperatura seca muestra una correlación altamente significativa directa con el SO₂ y el PM₁₀ lo cual puede explicarse debido al aumento de la turbulencia atmosférica que hace llegar mayor concentración de estos contaminantes al punto de monitoreo. Por otro lado la fuerza del viento parece influir de forma inversa sobre las concentraciones de NO₂ debido que este proviene principalmente del tráfico automotor que circula muy cercano al punto de monitoreo, por lo tanto a mayor fuerza del viento el NO₂ se diluye más y son menores sus concentraciones.

La influencia de la precipitación sobre los contaminantes atmosféricos SO₂ y PM₁₀ es significativa de forma inversa a mayor precipitación se produce el efecto de limpieza de la atmosfera baja y llegan menos contaminantes al punto de muestreo (Reyes Hernández, Francisco (2022).

Comportamiento de los percentiles de las concentraciones en el período 2015 al 2017.

Los percentiles calculados muestran que el año 2015 fue el de mayor presencia de concentraciones de contaminantes, tanto para el PM₁₀ y el NO₂, presen-

tan concentraciones por encima de la norma desde el percentil 90. El SO₂ reportara valores por encima de la CMA en el percentil 98, aunque este último vuelve a alcanzar cifras superiores a la norma de referencia en el percentil 99 en el año 2017, lo que se puede apreciar en la Tabla 7.

En los percentiles calculados en los años estudiados, se muestra que el año 2015 fue el de mayor presencia de concentraciones de contaminantes para el PM₁₀ y va disminuyendo en el 2016 y 2017. Para el caso del SO₂, el año 2015 también es el de mayor presencia de este contaminante, disminuye en el 2016 y vuelve a alcanzar valores por encima de la CMA en el percentil 99 en el año 2017. En cuanto al NO₂ se tiene que, durante los tres años, los valores a partir del percentil 90 estuvieron por encima de la CMA (Reyes Hernández, Francisco (2022).

Como se observa en la Tabla 7, durante el período 2015 - 2017 los valores obtenidos de los contaminantes SO₂, NO₂ y PM₁₀ en los percentiles 10, 25, 50 y 75 muestran valores inferiores a las CMA correspondientes, establecidos por la norma cubana. Sin embargo, en los percentiles 90, 95 y 99 se destacan valores máximos para el NO₂ y el PM₁₀ que superan las respectivas normas de referencia, mientras que en el caso del SO₂ se mantienen inferiores excepto, en el percentil 99 que alcanza un valor por encima de dicha norma.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El PM₁₀ es el contaminante que mayor número de veces sobrepasa la CMA en las zonas de estudio, por lo que es el mayor contribuidor al deterioro de la calidad del aire en estas localidades. Sus fuentes

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

Variable	Año 2015	Año 2016	Año 2017
Nº de muestras	263	234	225
Valor Medio	39.9	34.0	23.9
Desviación Estándar	23.2	20.0	15.0
Valor Máx.	125.4	149.7	108.8
Valor mín.	3.1	2.8	1.3
CMA (µg/m ³)	50	50	50
Total de muestras > CMA (µg/m ³)	75	42	12

Fuente: Resultados del Laboratorio de Contaminantes Atmosféricos INHEM.

Tabla 6. Coeficiente de correlación de Spearman entre contaminantes y variables meteorológicas en el período 2015 - 2017.

Variable meteorológica/contaminante	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀
Temperatura seca	0.027	0.215**	0.187**
Humedad Relativa	0.125*	-0.024	0.019
Presión	-0.153**	0.065	-0.007
Fuerza del Viento	-0.120*	0.101*	0.051
Precipitación	0.025	-0.123*	-0.080*
Numero de datos (n válidos)	598	536	725

Nota: ** Altamente significativa y *significativa nivel de α=0.05

Fuente: INSMET y Laboratorio de Contaminantes Atmosféricos INHEM.

Tabla 7. Comportamiento de los percentiles de los contaminantes SO₂, NO₂, y PM₁₀ durante los años 2015, 2016 y 2017.

Percentiles	Contaminantes según años								
	2015			2016			2017		
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
10	3.4	13.8	11.8	1.0	9.3	11.5	0.4	10.9	7.5
20	4.6	16.6	19.4	2.0	13.1	16.3	0.6	15.5	11.4
25	5.4	17.6	23.9	2.7	15.3	20.0	0.7	18.0	13.4
30	6.3	18.6	26.5	3.1	16.2	23.4	0.8	19.3	14.4
40	7.6	21.6	33.2	4.0	20.2	28.4	1.2	23.3	16.8
50	9.6	25.5	39.9	5.1	24.3	33.1	1.4	26.1	21.5
60	11.2	28.6	44.7	6.8	28.3	36.5	1.7	29.0	25.5
70	13.5	31.6	49.4	8.3	31.8	40.9	2.8	34.2	29.5
75	15.6	34.0	53.4	9.1	32.9	44.5	3.2	36.6	31.7
80	18.6	37.2	57.4	10.0	36.7	48.7	3.9	39.3	34.0
90	27.0	44.3	69.7	12.3	47.2	58.1	6.7	48.3	43.9
95	36.4	49.3	80.4	18.6	56.7	66.8	14.3	59.6	51.8
97	42.6	51.1	84.8	20.9	60.6	78.8	22.8	64.5	55.9
98	52.2	54.0	90.5	22.7	62.3	84.6	35.7	65.3	59.4
99	66.4	62.3	109.1	24.7	68.6	91.1	45.8	67.0	63.2

Fuente: Resultados del Laboratorio de Contaminantes Atmosféricos INHEM.

principales son las industrias cercanas y el tráfico automotor.

- Las concentraciones diarias de SO₂ y PM₁₀ se correlacionaron con la temperatura de forma altamente significativa. La humedad relativa y la presión atmosférica se correlacionaron de forma significativa y altamente significativa e inversamente con el NO₂. Por otro lado, con la fuerza del viento, cuando este disminuye, aumentan las concentraciones de NO₂, lo cual es una evidencia más de la influencia del tráfico automotor de la Calzada de Infanta. Por último, la precipitación refleja que su presencia ayuda a limpiar la atmósfera al correlacionarse negativamente con el material particulado y el SO₂.
- Durante el período 2015-2017 los valores obtenidos de los contaminantes SO₂, NO₂ y PM₁₀ en los percentiles 10, 25, 50 y 75 muestran valores inferiores a las CMA correspondientes, establecidos por la norma cubana. Sin embargo, en los percentiles 90, 95, y 99 se destacan valores máximos para el NO₂ y el PM₁₀ que superan los de referencia, mientras que en el caso del SO₂ se mantienen inferiores, excepto en el percentil 99, que alcanza un valor por encima de dicha norma.
- Se recomienda incorporar mediciones meteorológicas en la estación del INHEM para conocer su influencia sobre los contaminantes a evaluar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amable Álvarez, Isabel, Méndez Martínez, Jesús, Bello Rodríguez, Berta María, Benítez Fuentes, Betsy, Escobar Blanco, Libertad Manuela, & Zamora Monzón, Rolando. (2017). Influencia de

los contaminantes atmosféricos sobre la salud. Revista Médica Electrónica, 39(5), 1160-1170. Recuperado en 16 de febrero de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000500017&lng=es&tlng=es.

Aragón. (2010). Las causas de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes. Calidad del Aire y Salud [Internet]. [citado 26 Mar 2019]. Disponible en: <http://ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176118/Las-causas-de-la-contaminacion-atmosferica-y-los-contaminantes-atmosfericos-mas-importantes>

Ayuntamiento de Santander. (2004). Delegación de medio ambiente. Principales contaminantes atmosféricos. [citado 15 ago. 2019]. Disponible en: <http://www.a21santander.com/documentos/Principales%20Contaminantes%20Atmosfericos.pdf>

Cuesta Santos O, Collazo Aranda A, González Jaime Y, Fonseca Hernández M, Carla Fernández A, Rodríguez Perz 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.

Cuesta-Santos, O., González-Jaime, Y., Sosa-Pérez, C., López-Lee, R., Bolufé-Torres, J., & Reyes-Hernández, F. (2019). La calidad del aire en La Habana. Actualidad. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(3).

Fonte, A., Cuesta, O., & Sosa, C. (2017). Estimación de emisiones contaminantes atmosféricas en la provincia de Camagüey desde fuentes fijas. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(1), 57-77.

Fonseca Hernandez, M. (2013). Estudio del impacto en la calidad del aire de las fuentes puntuales en la ciudad de Pinar del Río. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28, 01-12.

- Ghebreyesus TA. (2020). Los 13 Retos más urgentes de la OMS para mejorar la Sanidad Mundial. Redacción Médica. [citado 7 Feb 2020]. Disponible en: <https://www.redaccionmedica.com/la-revista/noticias/los-13-retos-mas-urgentes-de-la-oms-para-mejorar-la-sanidad-mundial-1621>
- González Jaime Y .(2016). Pronóstico de dispersión de contaminantes atmosféricos a escala local, utilizando el sistema de Modelos AERMOD. [Tesis]. La Habana: Universidad de La Habana.
- Marrero-Díaz, Y., Cuesta-Santos, O., & Suárez-Benítez, M. (2018). Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas de Holguín-Cuba, 2016. Revista Cubana de Meteorología, 24(3), 268-277.
- Oficina Nacional de Normalización de Cuba. Norma Cubana 1020. (2014). Calidad del aire - Contaminantes - Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables. La Habana: ONN.
- Ramos-Herrera, S., Bautista-Margulis, R., & Valdez-Manzanilla, A. (2010). Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México. Universidad y ciencia, 26(1), 65-80.
- Reyes Hernández, Francisco. (2022). Caracterización de los contaminantes atmosféricos en zonas de 2 municipios de La Habana. 2015-2017, tesis para optar por el título de Máster en Salud Ambiental. INHEM, MINSAP.
- World Health Organization. United Nations Environment Program. GEMS/AIR Methodology Reviews. (1994). Quality assurance in urban air quality monitoring. WHO /UNEP.
- Santos, O. C., Pérez, C. S., Ramírez, C. I., Jaime, Y. G., Caraballo, V. N., Hernández, A. F., ... & Castillo, D. P. (2017). Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas. Revista Cubana de Meteorología, 23(2), 178-190.
- Vázquez, A. W., & Santos, O. C. (2006). Análisis espacial de riesgo relacionando con la influencia de la calidad del aire sobre el asma bronquial en el municipio regla, mediante la aplicación de SIG. Revista Cubana de Meteorología, 13(2).
- Vidal Ros I. (2017). Influencia de las condiciones meteorológicas en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de la Habana. [Tesis]. La Habana: Universidad de La Habana.
- Vidal-Ros, I., López-Lee, R., Cuesta-Santos, O. A., Bolufé-Torres, J., & García-Valdés, E. (2018). Condiciones meteorológicas que influyen en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. Revista Cubana de Meteorología, 24(2), 146-158.

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de autores: **Conceptualización:** Francisco Reyes Hernández, Osvaldo Cuesta Santos. **Curación de datos:** Francisco Reyes Hernández, Osvaldo Cuesta Santos, Roberto González Cruz, Daniel Palacio Iglesias y Mileyde Guzmán Vila. **Análisis formal:** Francisco Reyes Hernández. **Adquisición de fondos:** Francisco Reyes Hernández. **Metodología:** Francisco Reyes Hernández, Osvaldo Cuesta Santos, Roberto González Cruz, Daniel Palacio Iglesias y Mileyde Guzmán Vila. **Supervisión:** Francisco Reyes Hernández, Osvaldo Cuesta Santos. **Validación:** Francisco Reyes Hernández, Osvaldo Cuesta Santos. **Redacción del borrador original:** Francisco Reyes Hernández, Osvaldo Cuesta Santos, Roberto González Cruz, Daniel Palacio Iglesias y Mileyde Guzmán Vila. **Redacción, revisión y edición:** Francisco Reyes Hernández, Osvaldo Cuesta Santos

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/)