

Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos en el Aeropuerto Internacional "José Martí".



<https://eqrcode.co/a/ngAtP3>

Estimation of atmospheric pollutant emissions at the "José Martí" International Airport.

 Kaili de la Caridad Pérez Tabares^{1*}, Osvaldo A. Cuesta Santos², Idalys González Chacón³, Yosdany González Jaime⁴

¹Instituto de Geofísica y Astronomía, La Habana Cuba

²Sociedad Meteorológica De Cuba, La Habana, Cuba.

³Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica, Empresa Cubana de Navegación Aérea, Ave. Panamericana y Final, Edificio ATC. Boyeros, La Habana, Cuba.

⁴Consultora Ambiental Inversiones GAMMA SA, 308 Calle 14, La Habana, Cuba.

RESUMEN: La contaminación atmosférica es uno de los problemas medioambientales con mayor riesgo para la salud en el mundo; la emisión de contaminantes a la atmósfera se ha agudizado principalmente por el desarrollo de las industrias, provocando un deterioro de la calidad del aire a nivel mundial. Una de las principales preocupaciones de la Aviación Civil Internacional es la protección del Medio Ambiente, por esta causa, los aeropuertos se ven en la necesidad de registrar un inventario de emisiones provenientes de las operaciones aéreas de forma continua. Esta investigación se centra en estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de las operaciones aéreas en el Aeropuerto Internacional "José Martí" en el período 2017-2019. Las emisiones de los contaminantes CO₂, CO, NO_x, HC, SO₂ y partículas suspendidas totales (PST) fueron obtenidas a través del cálculo de los ciclos de despegue y aterrizaje de todas las aeronaves, que operaron durante el período de estudio, y la identificación de sus factores de emisión; posteriormente, a través del Sistema de Modelos AERMOD se obtuvo el comportamiento de las concentraciones anuales, diarias y horarias, para caracterizar la dispersión de los contaminantes y las zonas más afectadas por las emisiones. Los resultados más relevantes arrojaron que la sustancia que más emiten los aviones es el CO₂; mientras que, el NO₂ es el contaminante que más veces sobrepasó la concentración máxima admisible. Las concentraciones más altas se encontraron sobre el eje de la pista del aeropuerto.

Palabras claves: emisiones de contaminantes atmosféricos, operaciones aéreas, AERMOD.

ABSTRACT: The atmospheric pollution is one of the environmental problems with the greatest risk to health in the world; the emission of pollutants into the atmosphere has been exacerbated mainly by the development of industries, causing a deterioration in air quality worldwide. One of the main concerns of International Civil Aviation is the protection of the Environment, for this reason, airports find it necessary to register an inventory of emissions from air operations. This research focuses on estimating the emissions of atmospheric pollutants from the "José Martí" International Airport in the period 2017-2019. The emissions of the pollutants CO₂, CO, NO_x, HC, SO₂ and total suspended particles (TSP) were obtained through the calculation of the take-off and landing cycles of all the aircraft, which operated during the study period, and the identification of their emission factors. Through the AERMOD Model System, the behavior of annual, daily and hourly concentrations was obtained to characterize the dispersion of pollutants and the areas most affected by emissions. The most relevant results showed that the substance that airplanes emit the most is CO₂, while NO₂ is the one that most times exceeds the maximum allowable concentration. The highest concentrations were found on the axis of the airport runway.

Keywords: emissions of air pollutants, air operations, AERMOD.

*Autor para correspondencia: kayli971809pt@gmail.com

Recibido: 19/11/2020

Aceptado: 02/02/2021

INTRODUCCIÓN

La protección del Medio Ambiente ha sido uno de los principales retos de la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) en los últimos años, para ello se han desarrollado una serie de normas, políticas y textos de orientación para la aplicación de medidas que contribuyan a disminuir los problemas ambientales, siendo los más significativos el ruido, las emisiones de los motores de las aeronaves y el consumo de energía en los aeropuertos.

Las emisiones totales de la aviación se han incrementado, debido a que el aumento de la demanda en el transporte aéreo ha superado las reducciones específicas por las continuas mejoras de la tecnología y los procedimientos operacionales, según confirma IPCC (1999). La aviación civil cubana incide positivamente en el desarrollo económico del país y es un eslabón importante del sistema de transporte. En los últimos años, refleja el IACC (2013), la industria aeronáutica cubana ha experimentado un ligero crecimiento con incidencia significativa en el medio ambiente. En este sentido es imprescindible en el sector aeronáutico, concientizar la importancia de desarrollarse acorde con un desempeño ambiental saludable, así como enfrentar los retos de la competencia, las crecientes exigencias de los consumidores y garantizar el éxito futuro de la aviación civil cubana.

Como principales antecedentes en el ámbito internacional se destaca el informe del IPCC (1999) donde se evalúan los efectos de las aeronaves sobre el clima y el ozono atmosférico, aunque no considera el impacto ambiental de las emisiones de los motores en la calidad del aire local cerca de la superficie; así como los estudios realizados por Coppá *et al.* (2013) y Urbaneja (2016), los cuales cuantificaron las emisiones de distintos contaminantes emitidos a la atmósfera por las operaciones aéreas de los aeropuertos del Grupo A del Sistema Nacional Aeroportuario y Adolfo Suárez Madrid-Barajas respectivamente. En Cuba se han desarrollado varios trabajos sobre el estado de la calidad del aire; enfocados en las emisiones de la concentración de contaminantes provenientes de fuentes fijas a escala local se destacan Cuesta *et al.* (2010), Batulé (2012), González (2016) y Cuesta *et al.* (2016).

En el marco nacional no se han realizado investigaciones que vinculen la emisión de contaminantes a la atmósfera directamente con las operaciones aéreas en el Aeropuerto Internacional "José Martí", solo ha quedado resaltado como una de las principales fuentes de emisión de contaminantes en el municipio Boyeros en los resultados de varios estudios, sin llevar a cabo un monitoreo de emisiones o una evaluación de la calidad del aire, a pesar de que existen medidas de mitigación del impacto de este sector sobre el medio ambiente. Por tal razón, el objetivo es estimar las emisiones de los contaminantes CO, CO₂, HC, NO_x, SO₂ y PST procedentes de las operaciones aéreas en el Aeropuerto Internacional "José Martí" en el periodo 2017-2019.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entorno

El Aeropuerto Internacional "José Martí" es el área de estudio, localizado en los 22°59'21"N y los 82°24'33"W, en el municipio Boyeros, La Habana, Cuba. Posee una elevación de 64 m sobre el nivel medio del mar y la pista con una orientación SW-NE con rumbos recíprocos de 60°/240°, lo que la identifica como pista 06 y pista 24; dicha pista se construyó teniendo en cuenta los vientos dominantes en el área, que provienen del noreste la mayor parte del año, por lo que la cabecera principal de operaciones es la 06, para tener el viento de frente para las operaciones de despegue y aterrizaje, y la cabecera secundaria de operaciones es la 24 (AIP-CUBA, 2017).

Metodología

Para determinar las emisiones provenientes de las aeronaves se aplicó el método desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2017). Se utilizó la metodología nivel 2, la cual es aplicada cuando es posible obtener información acerca del número de ciclos de aterrizaje y despegue (CAD) por tipo de aeronave, sin tener información disponible de las distancias empleadas durante la fase de crucero. Se establecieron los siguientes pasos:

1. Análisis de la base de datos de operaciones aéreas del período 2017-2019 del aeródromo de La Habana, perteneciente a la Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeronáuticos (ECASA).
2. Identificación de los tipos de aeronaves y sus factores de emisión.
3. Cálculo de los ciclos de aterrizaje y despegue de las aeronaves.
4. Determinación de las emisiones de cada aeronave.
5. Obtención de los mapas de dispersión a través del Sistema de Modelos AERMOD.
6. Evaluación del nivel de contaminación atmosférica a través del índice de calidad del aire (ICA).

Se obtuvieron los CAD de cada tipo de aeronave por la expresión 1:

$$CAD_{aeronave} = \frac{\sum D + \sum A}{2} \quad (1)$$

Donde $CAD_{aeronave}$ representa los ciclos de aterrizaje y despegue, D las operaciones de despegue y A son las operaciones de aterrizaje.

Los contaminantes analizados fueron el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), los hidrocarburos (principalmente el benceno), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el dióxido de azufre (SO₂) y las partículas suspendidas totales (PST), debido a que son los principales gases de escape emitidos por los aviones y los motores diésel, además de las emisiones

directas de combustible durante el reabastecimiento de los aviones, los procesos de combustión y las partículas de mayor tamaño generadas por los frenos, los neumáticos y el asfalto (Urbaneja, 2016).

A partir de la ecuación 2, se estimaron las emisiones por el método de factores de emisión:

$$E = CAD_{aeronave} * FE_{aeronave} \quad (2)$$

Donde E es la emisión de contaminantes, $CAD_{aeronave}$ los ciclos de despegue y aterrizaje y $FE_{aeronave}$ es el factor de emisión. Los factores de emisión se obtuvieron de la fuente de información de la Base de datos de EEA (2017) y considerando los aportes de Guevara (2010).

La estación meteorológica de referencia, utilizada en el modelo AERMOD, fue Santiago de las Vegas, localizada a 2 km al SE del aeródromo, con las siguientes coordenadas geográficas 22° 58' 40" N y 82° 23' 18" W a una elevación de 77.5 metros sobre el nivel del mar. La información meteorológica comprende periodo 2017-2019 para la entrada de datos al preprocesador AERMET y determinar el comportamiento de la estabilidad atmosférica a partir de la longitud de Monin - Obukhov (L); acorde a los trabajos de EPA (2004) y Gryning *et al.* 2007.

Para evaluar el nivel de contaminación atmosférica se utilizó el Índice de Calidad del Aire (ICA), como se establece en la Norma Cubana (NC) 111:2004. Para los NO_x , el análisis del ICA se realizó tomando en cuenta el NO_2 . Como valores de referencia, para comparar las concentraciones de los contaminantes, exceptuando el CO_2 , se usaron los valores de concentración máxima admisible (CMA) establecidos en la NC 1020:2014.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipos de aeronaves y cantidad de operaciones que realizan en el aeródromo

Del análisis de la base de datos de operaciones aéreas, se obtuvo que en el aeródromo operaron 244 tipos de aeronaves entre el 2017-2019, dando un total de 160801 operaciones (figura 1). El 2017 fue el año con más operaciones, en el 2018 se produjo una ligera disminución, causado fundamentalmente por el accidente aéreo del 18 de mayo de una aeronave Boeing 737-200 de la compañía mexicana Global, que cubría la ruta Habana - Holguín. En el año 2019 hubo un aumento en las operaciones, con respecto al año anterior, pero quedando por debajo del 2017 en más de 2000 operaciones, debido a la disminución de los vuelos de compañías de origen estadounidense, causado por las medidas impuestas por el presidente de dicho país.



Figura 1. Operaciones en el aeródromo MUHA para el periodo 2017-2019

En el comportamiento de las operaciones se evidencia una continua disminución de los vuelos nacionales, contabilizando un 11.94% dentro del periodo, causado por un déficit de la flota aerocomercial de la aerolínea nacional Cubana de Aviación; se destaca que las operaciones internacionales en el aeródromo representan el 88.06%.

Los meses de mayor cantidad de ciclos de aterrizaje y despegue (CAD) fueron del periodo poco lluvioso, temporada en la cual hay mayor llegada de vuelos internacionales debido al turismo y a que las temperaturas son más agradables con una menor afectación de patrones sinópticos peligrosos; mientras que, los meses con menos ciclos (septiembre y octubre) se correspondieron con la mayor frecuencia de ciclones tropicales y coincide con la temporada baja del turismo en el país (figura 2).

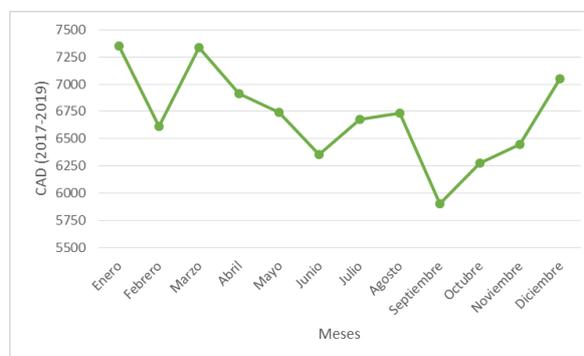


Figura 2. CAD por mes durante el periodo 2017-2019

Las aeronaves con mayor número de CAD (figura 3) fueron el B738, el A320 y el AT72, cubriendo entre ellas el 46.27% de los ciclos realizados.

Emisiones producidas por las operaciones aéreas

Las emisiones evidenciaron una tendencia a disminuir durante el periodo de estudio (tabla 1), debido al decrecimiento de los CAD; exceptuando el caso de las partículas suspendidas totales (PST), donde se produjo un aumento en el año 2019, producto de la entrada de aeronaves que emiten mayores toneladas de este contaminante en dicho año, como el Il-62, que

posee el mayor factor de emisión para las PST. Los contaminantes que más emitieron las aeronaves son el CO₂, los NO_x y el CO, cada uno con más de 700 toneladas en total; se destaca el caso del CO₂, que representa más del 99% de las emisiones, resultado similar fue obtenido por Lee et al. (2008), mientras que, los restantes contaminantes ocuparon menos del 0.5% cada uno.



Figura 3. Aeronaves con mayor número de CAD

Índice de calidad del aire

De acuerdo con la NC 111: 2004 se obtuvo la distribución espacial del ICA, como se muestra en la figura 4; se evidenció que las zonas con las concentraciones anuales más altas se encuentran sobre la pista del aeropuerto, donde se alcanzaron categorías entre crítica y mala, por lo que los trabajadores que operen en zonas cercanas a la pista son los más expuestos a las categorías de calidad del aire desfavorables.

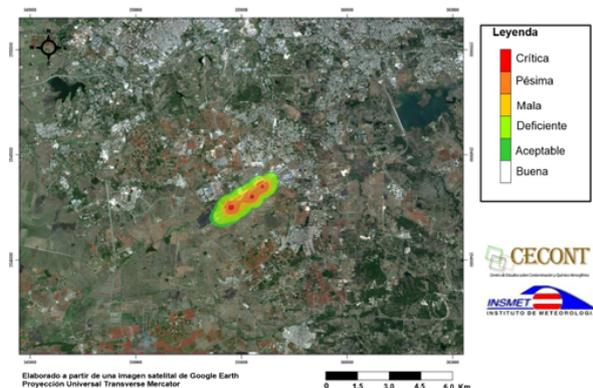


Figura 4. Distribución espacial del ICA, para los promedios anuales de concentraciones de los contaminantes del 2017 al 2019

Modelación de la dispersión de los contaminantes

En el caso de las concentraciones anuales y diarias, la zona más comprometida se encontró sobre y en los alrededores de la pista del aeropuerto (figuras 5 y 6); la dispersión, en las concentraciones anuales, ocurrió fundamentalmente hacia el suroeste, en correspondencia con los vientos predominantes de componente este (figura 5).

La distribución espacial de las concentraciones horarias (figura 7) reflejó que las concentraciones más altas se alcanzaron hacia el extremo SW de la pista. Esta distribución coincide con la localización de la cabecera principal, donde se concentra el mayor número de operaciones aéreas, determinadas por el comportamiento del viento; en el lado opuesto se produce una fuerte actividad convectiva en horas de la tarde causado por factores locales que favorecen la turbulencia y la cizalladura del viento a bajo nivel, lo cual impide su uso por las aeronaves. El CO₂ presentó la mayor dispersión, al igual que en la distribución espacial de las concentraciones diarias.

En la mayoría de estos casos las condiciones meteorológicas son la causa fundamental que propició la ocurrencia de estos valores extremos. Ello obedece a situaciones como las que se presentan en la madrugada y al amanecer con inversión térmica en las capas bajas de la atmósfera, con altura de capa de mezcla baja y relativa calma del viento, evitando que los contaminantes se dispersen y provocando que aumenten las concentraciones, superando las CMA correspondiente en varias ocasiones.

Frecuencia de valores que exceden la CMA

Las veces que se superó la CMA (tabla 2) fueron aumentando a medida que el contaminante llevaba menos tiempo en la atmósfera, en concordancia con que los mismos desaparecen con el paso del tiempo, por eso las veces en que se excede la CMA en los promedios anuales es muchísimo menor que las que ocurren en los diarios y horarios. El total de receptores afectados superó el 25% en los análisis realizados para las concentraciones horarias y diarias, por lo que se debería de llevar a cabo un programa de monitoreo ambiental y elaborar medidas para disminuir las afectaciones que se puedan producir en la salud humana y el medio ambiente.

Tabla 1. Emisiones totales obtenidas en el período de estudio

Contaminante	Emisiones 2017 (Ton/año)	Emisiones 2018 (Ton/año)	Emisiones 2019 (Ton/año)	Total (Ton)	%
CO	271,089	252,676	249,874	773,640	0,325
CO ₂	83090,469	77202,267	75879,364	236172,099	99,16
HC	42,745	40,272	34,742	117,758	0,049
NO _x	370,070	341,337	331,106	1042,512	0,438
SO ₂	22,263	20,646	20,251	63,160	0,027
PST	2,512	2,187	2,334	7,034	0,003

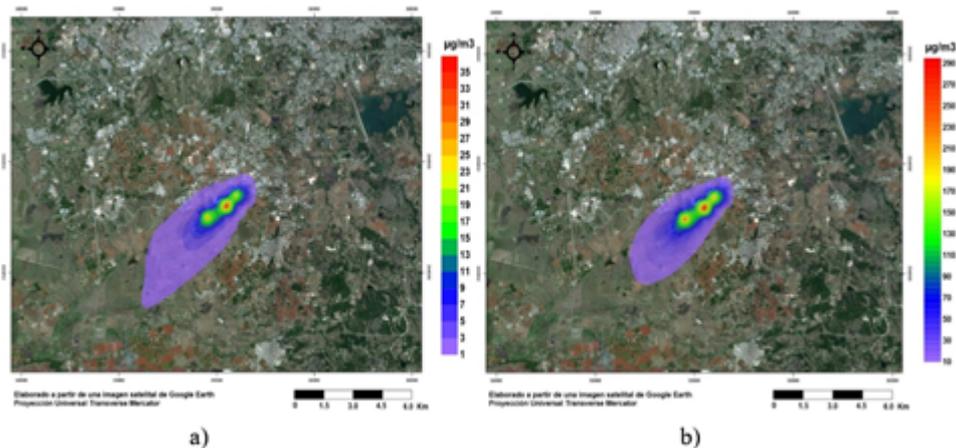


Figura 5. Distribución espacial de las concentraciones anuales de a) HC del 2018 y b) NO₂ del 2017

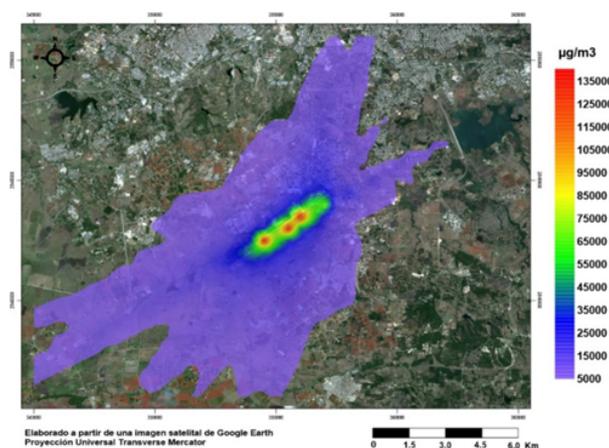


Figura 6. Distribución espacial de las concentraciones máximas diarias del CO₂ del 2019

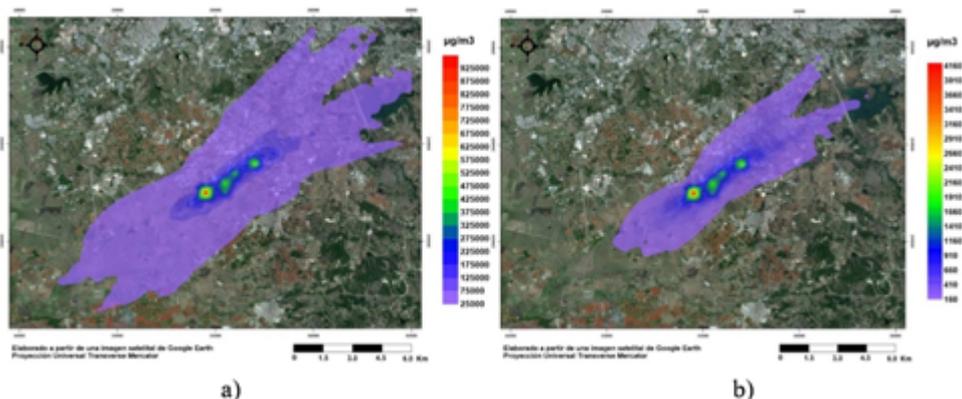


Figura 7. Distribución espacial de las concentraciones máximas horarias de a) CO₂ y b) NO₂ del 2019

Tabla 2. Receptores que captaron valores por encima de la norma para las concentraciones anuales, diarias y horarias de los HC y el NO₂

Contaminante	Concentraciones	Receptores que sobrepasaron la CMA (%)
HC	Anuales	4,33
	Diarias	25,33
NO ₂	Anuales	3,54
	Diarias	30,13
	Horarias	36,66

En los análisis de concentraciones máximas diarias y horarias se encontró que varios receptores captaron concentraciones que superaron en más de 5 veces el valor de la CMA, lo que provoca un incremento del riesgo o probabilidad de ocurrencia de efectos adversos sobre la salud de la población en general y en grupos de riesgo, dando lugar a una situación de emergencia ambiental. La exposición al NO₂ produce afectaciones respiratorias e irritación en los ojos, una alta exposición puede provocar quemaduras y daños graves en el sistema respiratorio, produciendo acumulación de líquido en los pulmones. Los HC, como el benceno, pueden favorecer el desarrollo de cáncer en el ser humano.

Comportamiento de la estabilidad atmosférica, altura de la capa de mezcla y las concentraciones de los contaminantes

La figura 8 representa las características de la estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla unida al comportamiento de las concentraciones del NO₂ para un día específico; el 18 de diciembre de 2019. Se comprobó que el comportamiento obtenido es similar en los demás contaminantes.

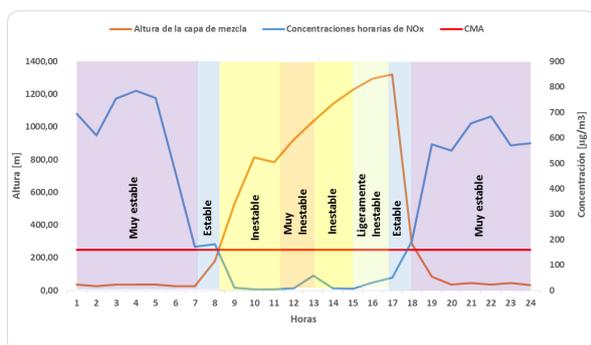


Figura 8. Comportamiento de la estabilidad atmosférica, altura de la capa de mezcla y las concentraciones del NO₂

Se observa entre las 8 y las 17 horas, el predominio de condiciones inestables y un aumento de la altura de la capa de mezcla, con un pico máximo a las 17 horas, lo que propició una mayor dispersión de los contaminantes y, por consiguiente, la disminución de las concentraciones de NO₂. Las CMA fueron sobrepasadas en dos periodos del día, de 1 a 8 horas, así mismo de las 18 a las 24 horas, donde ocurrieron condiciones estables, y la altura de la capa de mezcla disminuyó considerablemente e impidió la dispersión, propiciando un aumento en las concentraciones, las que alcanzaron los mayores valores en horas de la madrugada.

CONCLUSIONES

1. Se identificaron 244 tipos de aeronaves operando en el aeródromo durante el período de estudio. La

aeronave que realizó mayor cantidad de ciclos de aterrizaje y despegue fue el Boeing 737-800, con cerca del 24% del total; mientras que, los meses con más frecuencia de ciclos se correspondieron con el período poco lluvioso.

2. El contaminante que más emitieron las aeronaves fue el CO₂, con más del 99% de las emisiones obtenidas, seguido de los NOX con el 0.44%, el CO con el 0.32%, los HC con el 0.05% y el SO₂ con el 0.03%; las emisiones de las partículas suspendidas totales fueron prácticamente despreciables.
3. La zona de mayor contaminación fue la pista del aeropuerto, con la mayor dispersión hacia el suroeste, que afectó los repartos pertenecientes al Consejo Popular Boyeros. Los contaminantes que más incumplieron con las concentraciones máximas admisibles, de la Norma Cubana 1020: 2014, fueron el NO₂ con el 30% y los HC con el 25% en las concentraciones diarias.

REFERENCIAS

- AIP-CUBA. 2017. *AD 2. Aeródromos*. Publicación de información aeronáutica. La Habana, Cuba: Empresa Cubana de Navegación Aérea. Available: <http://aismet.avianet.cu/assets/data/pdf/AIP/MUHAAD_2.pdf>, [Consulted: March 4, 2020]
- Batulé, L. 2012. *Modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por la Antillana de Acero. Estudio de caso: Cotorro*. Trabajo de Grado, La Habana, Cuba: Universidad de la Habana, 94 p.
- Coppa, M., Tomassini, N., D'Iorio, J., & Di Bernardi, A. 2013. *Cálculo de aporte contaminante gaseoso en los principales aeropuertos y rutas argentinas*. Buenos Aires, Argentina.: Cuarto Congreso de la Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo. Available: <<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/72205>>, [Consulted: April 4, 2020]
- Cuesta, O., Collazo, A., González, Y., Carrillo, E., Sosa, C., Sánchez, P., Manso, R., López, R. 2016. Análisis de las emisiones atmosféricas de las fuentes fijas de La Habana. *Revista Cubana de Meteorología*, 22(1): 81-93, ISSN: 0864-151X. Available: <<http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/210/165>>, [Consulted: March 2, 2020]
- Cuesta, O., Wallo, A., Montes, L., Pierra, A., & Tricio, V. 2010. *Calidad del aire en zonas urbanas de Cuba*. La Habana, Cuba: Décimo Congreso Nacional del Medio Ambiente. Available: <http://www.conama.vsf.es/conama10/download/files/conama/CT_2010/Paneles/40809_panel.pdf>, [Consulted: March 23, 2020]
- EEA. 2017. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>, [Consulted: January 15, 2020]

- EPA. 2004. *AERMOD: Description of Model Formulation*. EPA-454/R-03-004, Office of Air Quality Planning and Standards. Carolina del Norte, Estados Unidos. Available: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/>>, [Consulted: March 21, 2020]
- González, Y. 2016. *Pronóstico de dispersión de contaminantes atmosféricos a escala local utilizando el sistema de modelos AERMOD*. Tesis de Maestría. La Habana, Cuba: Universidad de La Habana.
- Gryning, S., Batchnova, E., Brummer, B., Jorgensen, H., & Larsen, S. 2007. On the extension of the wind profile over homogeneous terrain beyond the surface boundary layer. *Springer Science+Business Media*, 124: 251-268, DOI 10.1007/s10546-007-9166-9. Available: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10546-007-9166-9>>, [Consulted: March 12, 2020]
- Guevara, M. 2010. *Inventario de emisiones atmosféricas de puertos y aeropuertos de España para el año 2008*. Trabajo de Grado. Barcelona, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10640/PFC_Memoria.pdf>, [Consulted: March 28, 2020]
- IACC. 2007. *RAC 16 Gestión Ambiental (Segunda ed.)*. La Habana, Cuba. Available: <<http://www.iacc.gob.cu/regulaciones.htm>>, [Consulted: March 10, 2020]
- IACC. 2013. *Política y Estrategia Ambiental*. La Habana, Cuba. Available: <<http://www.iacc.gob.cu/regulaciones.htm>>, [Consulted: April 5, 2020]
- IPCC. 1999. *Informe Especial del IPCC. La Aviación y la Atmósfera Global*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Available: <<https://www.ipcc.ch/report/aviation-and-the-global-atmosphere-2/>>, [Consulted: March 2, 2020]
- Lee, D., Fahey, D., Forster, P., Newton, P., Wit, R., Lim, L., Owen, B., & Sausen, R. 2008. Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric Environment*, 43: 3520-3537, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.04.024. Available: <https://www.researchgate.net/publication/225002603_Aviation_and_global_climate_change_in_the_21st_century>, [Consulted: April 29, 2020]
- ONN. 2004. *NC 111:2004 Calidad del aire - Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos*. 1st ed., La Habana, Cuba. Available: <<http://www.nconline.cubaindustria.cu:81/>>, [Consulted: March 17, 2020]
- ONN. 2014. *NC 1020: 2014 Calidad del aire - Contaminantes - Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables*. 1st ed., La Habana, Cuba. Available: <<http://www.nconline.cubaindustria.cu:81/>>, [Consulted: March 6, 2020]
- Urbaneja, L. 2016. *Estimación de emisiones de los ciclos de aterrizajes y despegues de aeronaves en el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas*. (Trabajo de Grado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid, España. Available: <http://oa.upm.es/42931/1/TFG_LUISANA_CAROLINA_URBANEJA_MARCANO.pdf>, [Consulted: March 23, 2020]

Kaili de la Caridad Pérez Tabares Agencia de Medio Ambiente, Calle 20 No.4110 esq. 18A, La Habana, Cuba.

E-mail: kayli971809pt@gmail.com

Oswaldo A. Cuesta Santos. Sociedad Meteorológica De Cuba, La Habana, Cuba. E-mail: cuestaosvaldo52@gmail.com

Idalys González Chacón Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica, Empresa Cubana de Navegación Aérea, Ave. Panamericana y Final, Edificio ATC. Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: idalis.gonzalez@aeronav.avianet.cu

Yosdany González Jaime Consultora Ambiental Inversiones GAMMA SA, 308 Calle 14, La Habana, Cuba. E-mail: yosdany.gjaime@gmail.com

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Contribución de los autores: Concepción de la idea: **Kaili de la Caridad Pérez Tabares y Oswaldo Adolfo Cuesta Santos**. Obtención de datos: **Idalys González Chacón**. Elaboración del artículo: **Kaili de la Caridad Pérez Tabares y Yosdany González Jaime**.

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/)