

Cuantificación de la concentración de Zn, Cu, Pb y Cd en partículas menores de 10 μm procedentes del aerosol atmosférico. Clasificación de las fuentes contaminantes en la zona de estudio

Quantifying the concentration of Zn, Cu, Pb and Cd in particles less than 10 μm from the atmospheric aerosol. Classification of polluting sources in the study area

Leandro Cruz Rodríguez* y Jessica Aye Valdivia Pérez

Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (INSTEC)

Miramar, Playa, La Habana, Cuba

*leandro@ceaden.edu.cu

Resumen

En la atmósfera, entre otros fenómenos, ocurre el transporte de material particulado, en especial de aquellas partículas menores o iguales a 10 μm y en la literatura dicha fracción PM10, esta reportada como nociva para el organismo humano. En el presente trabajo se tomaron muestras del aerosol atmosférico en una zona urbana de la provincia La Habana, Cuba. El periodo de muestreo cubrió el último trimestre del año 2009, tomándose un total de 14 muestras. Para la colección de las muestras se empleó un captador de alto flujo Staplex con filtros de cuarzo de 500 cm^2 . La zona muestreada se encuentra altamente influenciada por el tráfico urbano, la industria ligera y pesada, hospitales y vertederos. Se determinaron las concentraciones de PM10 presente en el aerosol atmosférico, así como los niveles de Zinc (Zn), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) que forman parte de la fracción inorgánica del aerosol atmosférico colectado. Para la cuantificación de las concentraciones de PM10 y metales pesados se desarrolló un método de digestión ácida y se empleó la técnica de Espectrometría de Emisión con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES). Las concentraciones obtenidas de PM10, con un valor medio de 39.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es superior a lo establecido por la comunidad europea para el año 2010 (20.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), lo cual es un indicio de un desarrollo no sostenible. Los niveles de metales pesados, con valores medios de 100.31 ng/m^3 , 54.82 ng/m^3 , 50.97 ng/m^3 y 7.74 ng/m^3 para el Cu, Zn, Pb y Cd respectivamente, se encuentran por debajo de lo regulado por normas cubanas y extranjeras. Se identificaron las potenciales fuentes de emisión de material particulado y las zonas geográficas de mayor impacto sobre la área objeto de estudio, encontrándose una influencia notable de la zona occidental del océano Atlántico y la costa este de Estados Unidos y Canadá.

Palabras clave: aerosol atmosférico, material particulado, contaminación atmosférica, metales pesados.

Abstract

In the atmosphere, among other phenomena, there is transport of particle matter, especially of those particles that are smaller or equal to 10 microns (PM10 fraction), which are reported as harmful to the human organisms. In this paper atmospheric aerosol samples were taken from an urban area of La Havana, Cuba. The sampling period covered the last quarter of 2009, during this period, a total of 14 samples were taken. A Staplex high-flow collector with 500 cm^2 quartz filters was used to collect the samples. The area used for the sample is highly influenced by urban traffic, small and large scale industries, hospitals and landfills. The concentrations of PM10, present in the atmospheric aerosol were determined, as well as the levels of Zinc (Zn), Copper (Cu), Lead (Pb) and Cadmium (Cd) which are part of the inorganic fraction of the atmospheric aerosol collected. In order to quantify the PM10 and heavy metal concentration, an acid digestion method was developed, and the Inductively Coupled Plasma Emission spectrometry (ICP-AES) technique was used. The PM10 Concentrations obtained with an average value of 39.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, resulted to be higher than the established by the European Community for the year 2010 (20.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), which is a sign of unsustainable development. The heavy metal levels, with average values of 100.31 ng/m^3 , 54.82 ng/m^3 , 50.97 ng/m^3 , and 7.74 ng/m^3 for Cu, Zn, Pb, and Cd respectively, are below the Cuban and foreign standards. The potential emission sources of particulate matter and the geographic areas with the greatest impact on the area under study were identified; with significant influence of the western Atlantic Ocean as well as of the Eastern Coast of the United States and Canada.

Key words: atmospheric aerosol, particulate matter, air pollution, heavy metals.

I. INTRODUCCIÓN

LA atmósfera es uno de los ecosistemas ambientales de mayor interés para la comunidad científica, debido a que los procesos que ocurren en ella impactan en los fenómenos que tienen lugar en los ecosistemas naturales y artificiales, afectando al correcto desarrollo de la actividad humana y animal. La presencia en el aire de sustancias nocivas ajenas o no a la composición característica del mismo, por encima de ciertos niveles ha dado lugar a lo que se denomina contaminación atmosférica [1].

Es conocido que procesos naturales tales como la erosión, los incendios forestales y la actividad volcánica provocan la incorporación de un grupo de elementos que pueden perturbar la composición estándar del aire y engendrar riesgos o afectaciones a los organismos vivos. Los procesos industriales y otros ligados al transporte y a la actividad residencial del hombre han sido identificados como las principales causas de los daños a la capa de ozono y del calentamiento global [1].

El monitoreo del aerosol atmosférico se ha convertido en una de las técnicas de control ambiental de mayor uso en la actualidad. Constituido por partículas de diverso tamaño y origen, siendo las más dañinas aquellas de tamaño comprendido entre $(0.01-10 \mu\text{m})$ [2], debido a sus características aerodinámicas. Las partículas con tamaño entre $(5-10 \mu\text{m})$ se depositan en su gran mayoría sobre la tráquea y los bronquios, en tanto las más finas pueden incidir directamente sobre los alvéolos [3], siendo una importante fuente de riesgo para la aparición de cáncer pulmonar u otras enfermedades de tipo respiratorio [4]. La existencia de estas partículas en el aire contribuye a los procesos asociados al cambio climático, como el calentamiento global y el efecto invernadero [5].

Los metales pesados son parte constitutiva de la fase inorgánica del aerosol atmosférico, altos niveles de estos pueden provocar afectaciones a los organismos vivos [6]. La cuantificación y el control de la concentración de estos en los diversos sistemas ambientales se han convertido en una premisa para la comunidad científica. La movilidad y dispersión del material particulado presente en la atmósfera depende de factores meteorológicos tales como la temperatura, velocidad y dirección del viento, el movimiento de altas y bajas presiones, entre otros [7].

En el presente trabajo se evalúan los niveles del material particulado menor de $10 \mu\text{m}$ (PM10) presentes en una región urbana de la provincia La Habana, determinando la concentración de los metales Zn, Cu, Pb y Cd presentes en el mismo. Se hace una comparación de los valores de concentraciones medidas durante el estudio realizado con los reportados en normas y directivas de calidad del aire, analizando posibles fuentes de emisión de material particulado y los metales pesados objetos de estudio.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Locación y caracterización de la zona de muestreo

El muestreo del material particulado fue realizado en las instalaciones del Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas (InSTEC), cita en Avenida Salvador Allende, esq. Luaces, Quinta de los Molinos, municipio Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. La figura 1 muestra el sitio donde se realizó el muestro, cuya posición geográfica son los $23^{\circ}7'$ de latitud N y los $82^{\circ}22'$ de longitud W, se encuentra dentro de la Quinta de los Molinos, área rica en vegetación. Aledaño al mismo se encuentran arterias principales de la ciudad como la Ave. Salvador Allende e Infanta, estas avenidas presentan un elevado tráfico vehicular y los municipios Centro Habana, Cerro y Habana Vieja, dos de los más densamente poblados en la provincia y el país [8].

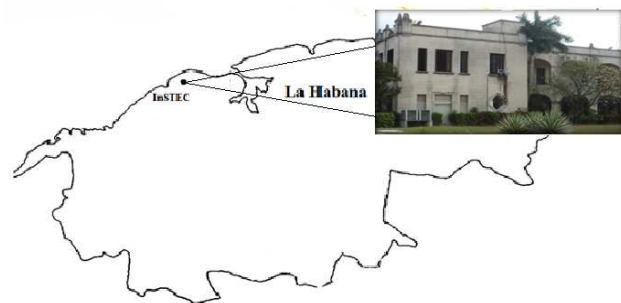


FIG. 1. Sitio de muestreo del PM10.

B. Colección de la fracción PM10 del aerosol atmosférico

El periodo de estudio seleccionado fue el último trimestre del año 2009, en donde se tomaron un total de 14 muestras. La Fig. 2 muestra la secuencia de muestreo. Para la colección del material particulado se instaló un captador de alto flujo Staplex utilizando filtros de cuarzo de 500 cm^2 Staplex® Type TFAQ810 para colectar la fracción PM10 del aerosol. Este captador se colocó en el punto más alto de las instalaciones pertenecientes al InSTEC, el cual se encuentra a una altura de 12 metros respecto al nivel del suelo. Cada filtro fue muestreado durante un periodo de 48 h consecutivas con un flujo constante de $1.13 \text{ m}^3/\text{min}$.

C. Pre tratamiento y análisis de las muestras

Los filtros muestreados son colocados en desecadora durante 24 h, para posteriormente ser pesados y determinar la masa colectada al comparar esta con la del filtro blanco inicialmente medida. Luego, se recortan los bordes blancos que quedan fuera del área muestreada, colocándose en desecadora nuevamente durante un periodo de un 1 día. Posteriormente se divide el filtro en 4 partes iguales, cada porción es pesada y conservada en desecadora hasta su análisis.



FIG. 2. Cronograma de muestreo.

El tratamiento de la porción de filtro seleccionada para cada una de las muestras tomadas, se realizó mediante un proceso de digestión ácida cerrada, que fue creada por los autores pero toma en cuenta recomendaciones realizadas por Kakimoto, et al [9]. La Fig. 3 muestra el diagrama de flujo seguido para la digestión de los cuartos de filtro. El uso de ácido nítrico concentrado y peróxido de hidrógeno garantiza la eliminación de toda la materia orgánica, quedando la componente inorgánica del material particulado, pudiendo obtener una disolución de la misma cuando es lavado el interior del recipiente donde se realizó la digestión con agua destilada. Las bombas Parr empleadas consisten en un cilindro de acero con tapa del mismo material, al que se le introduce un recipiente de teflón con su respectiva tapa.

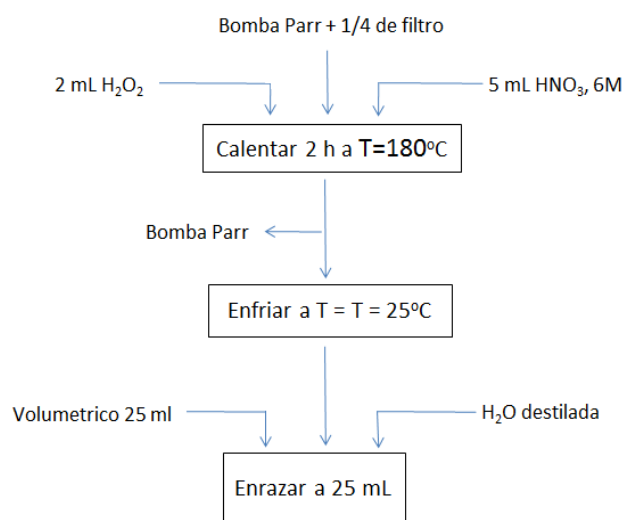


FIG. 3. Diagrama de flujo del proceso de digestión cerrada para las muestras de PM10 colectadas.

Para la determinación de los metales Zn, Cu, Pb y Cd la técnica analítica empleada Espectrometría de Emisión con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES) en un equipo JY38 VHR. El tratamiento estadístico de los resultados experimentales fue realizado siguiendo las orientaciones del libro de estadística para análisis químico “Statistics for Analytical Chemistry” [10]. Se emplea el sistema HYSPLIT para modelar las trayectorias seguidas por el material particulado y así poder identificar las zonas de mayor

influencia sobre el área de muestreo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Concentración de la fracción PM10 presente en el aerosol atmosférico

Se colectaron un total de 14 muestras, abarcando el último trimestre del año 2009. La concentración de material particulado medido en nuestro trabajo tuvo un valor medio de $39.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, oscilando entre los 24.2 y los $70.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Debido a la ausencia de una norma cubana que regule los niveles de material particulado presente en el medio ambiente, empleamos como referencia en nuestro trabajo la Directiva de la comunidad europea número 30 del año 1999 (1999/30/CE) [11], donde se establecen regulaciones para las concentraciones de ciertos contaminantes atmosféricos entre los que se encuentra el PM-10. Dicha directriz disponía para el año 2005 como nivel aceptado de PM-10 en el aerosol un valor inferior a los $40.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y a los $20.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2010.

La Fig. 4 muestra la comparación realizada de los niveles de PM-10 encontrados en nuestro trabajo con lo establecido por la directiva 1999/30 [11], como se puede apreciar las concentraciones obtenidas son elevadas para los niveles exigidos al momento de realizar el trabajo.

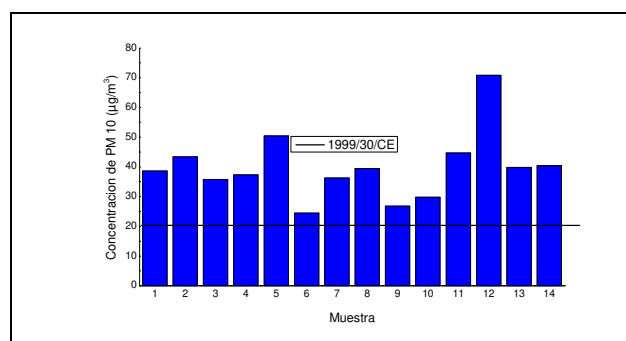


FIG. 4. Comparación de la concentración de PM10 con la directiva 1999/30/CE.

B. Cuantificación de los niveles de Zn, Cu, Pb y Cd presentes en las muestras colectadas

Los metales pesados forman una parte esencial del aerosol atmosférico y sus mecanismos de deposición sobre

los ecosistemas marítimos o terrestres son disímiles. Entre las vías más comunes de incorporación de metales pesados al organismo humano se encuentra la inhalación de PM-10. En este trabajo se estudia el comportamiento de cuatro metales pesados, dos de ellos esenciales para los procesos biológicos del hombre (Cu, Zn) y dos no esenciales (Pb, Cd). Los valores medios de concentración fueron de 100.31 ng/m³, 54.82 ng/m³, 50.97 ng/m³ y 7.74 ng/m³ respectivamente. La Fig. 5 muestra los valores de concentración medidos en la fracción PM-10 del aerosol atmosférico.

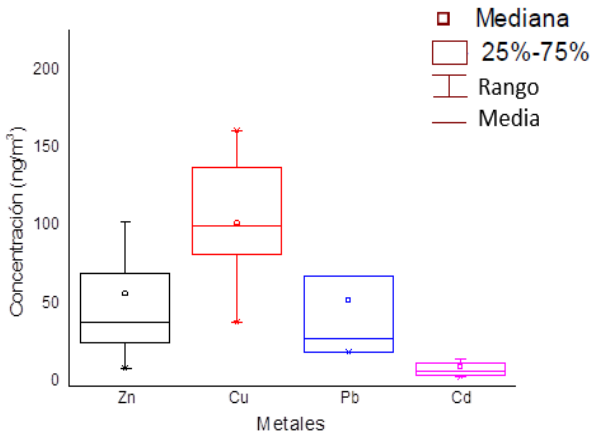


FIG. 5. Concentración de metales pesados medidas en la fracción PM10 del aerosol atmosférico.

La norma cubana de calidad del aire número 39 del año 1999 (NC/39/1999) [12] establece niveles de concentración límites para el Cu, Zn y Pb de (2000, 50000 y 300) ng/m³ respectivamente. Como referencia para los niveles de Cd tomaremos la norma oficial mexicana que establece un valor de (50 ng/m³) [13] para las emisiones de este componente altamente dañino para el medio ambiente. La comunidad europea establece para el año 2010 un valor para la concentración de plomo en la atmósfera de (500 ng/m³) [11]. Las concentraciones obtenidas en este trabajo para los cuatro metales estudiados están por debajo de lo establecido en las normas anteriormente mencionadas.

Dentro de la amplia diversidad de los contaminantes atmosféricos existentes, debido a que altos niveles de estos provocan daños sobre los ecosistemas terrestres y marítimos, teniendo un gran impacto sobre el correcto desarrollo y funcionamiento de los organismos vivos. Al comparar los resultados obtenidos en este trabajo, donde se evalúan los niveles de PM-10 y metales pesados en La Habana, provincia más desarrollada, industrializada y densamente poblada de Cuba [8], con los reportados para las ciudades de Hong Kong [14], Beijing [15] y Shanghai [16], estas dos últimas reconocidas como ciudades de alto grado de contaminación atmosférica [17], se aprecian niveles de metales pesados similares e incluso superior en algunos casos.

Los niveles de Zn en nuestro estudio son inferiores a los obtenidos en las tres ciudades analizadas. Para los

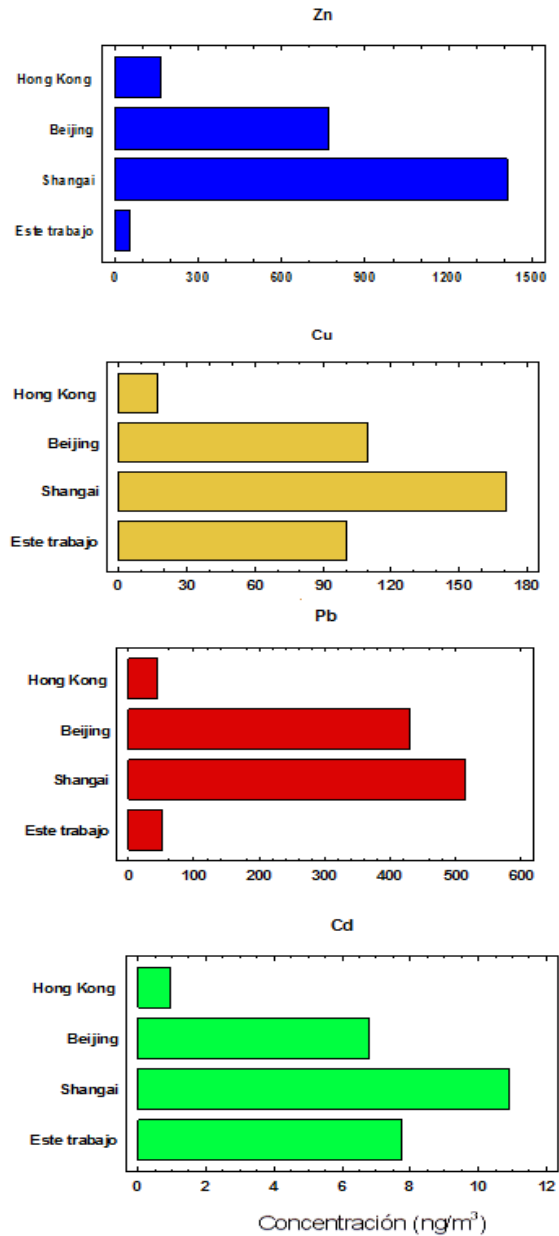


FIG. 6. Comparación de la concentración de metales pesados obtenidos en este trabajo con valores obtenidos en regiones industrializadas.

metales Pb y Cu, las concentraciones son superiores a las encontradas para la ciudad de Hong Kong [14], en tanto el Cd presenta valores superiores a los alcanzados para Hong Kong [14] y Beijing [15]. Puede apreciarse como la ciudad de Shanghai [16] es la de más alto nivel de concentración para todos los metales pesados evaluados, Fig. 6. Este resultado debe servir de alerta para la comunidad científica cubana e internacional, en post de adoptar medidas que contribuyan a disminuir o eliminar las emisiones de metales pesados a la atmósfera y al medio ambiente en general.

C. Fuentes de contaminación. Caracterización de las zonas de incidencia

La zona escogida para nuestro trabajo se encuentra circundada por fuentes de contaminación bien definidas, un estudio de la dirección de los vientos durante el periodo revela la dirección predominante de los mismos durante el último trimestre del año 2009. Teniendo en cuenta la presencia de hospitales e industrias, el alto tráfico vehicular y la alta densidad poblacional de la provincia, podemos identificar y evaluar las fuentes más probables de emisión de partículas y contaminantes a la atmósfera.

Las condiciones meteorológicas tales como temperatura, presión ambiental, porcentaje de humedad, precipitaciones, dirección y velocidad del viento, son factores fundamentales para poder evaluar o predecir el comportamiento del aerosol atmosférico.

Se han identificado y catalogado una serie de zonas fuentes para el movimiento del material particulado, las cuales son mostradas en la Fig. 7 [18]. Estas son regiones que abarcan zonas continentales y otras con marcada influencia de los océanos Atlántico y Pacífico, por lo que la procedencia y movimiento de los contaminantes varía a lo largo del año según las direcciones preferenciales del viento para cada estación.

Para el lugar de muestreo estudiado en este trabajo fue propuesto por trabajos anteriores para el movimiento y la deposición de metales pesados que las zonas de mayor influencia son las Zona I y la Zona II [19].

La Zona I ocupa un área importante de la porción occidental del Océano Atlántico y la mayor influencia sobre el territorio de Cuba viene dada por los vientos alisios. Esta zona presenta un nivel de potenciales fuentes contaminantes reducido, pues los países que están comprendidas en esta región no presentan un alto desarrollo industrial.

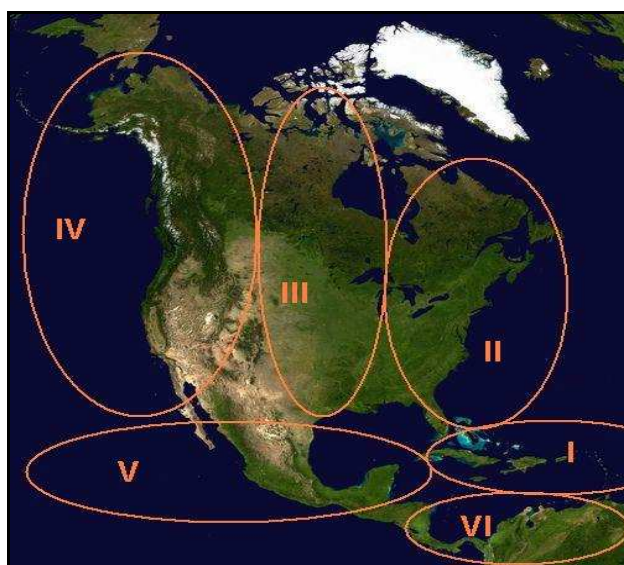


FIG. 7. Clasificación de las zonas fuentes.

La Zona II abarca, fundamentalmente, los estados de la costa este y aquellos limítrofes a estos, de Estados Unidos y Canadá. Esta es una de las regiones más desarrolladas del mundo, con un elevado índice de industrialización, la industria pesada, la energética, la siderúrgica y la de extracción mineral son las de mayor peso en esta región. De ahí que la alta densidad poblacional de esta región es otro factor a tener en cuenta, pues aumenta la demanda en la industria energética con su consecuente aumento de la quema de combustibles fósiles e incremento del tráfico urbano. Esta zona tiene mayor influencia sobre las islas del Caribe en la estación invernal, debido a las corrientes de aire y al movimiento de bajas presiones que se producen durante ese periodo del año.

La Fig. 8 muestra una de las corridas del modelo HYSPLIT realizadas, el cual es ampliamente utilizado para modelar procesos relacionados con el transporte, la dispersión y la deposición de los contaminantes atmosféricos a diversas escalas espaciales: local, meso escala, sinóptica, hemisférica y planetaria [20].

Como puede apreciarse en la Fig. 8, existe una correspondencia entre los resultados obtenidos por Cremata et al., (2014) [19] y los obtenidos en nuestro estudio, comprobándose que las regiones de mayor impacto sobre el área de muestreo son el océano Atlántico y la costa este de Estados Unidos y Canadá. Esta contribución foránea unida al desarrollo creciente de la industrialización en el territorio que comprende a la provincia de La Habana, con un crecimiento en la explotación de los combustibles fósiles, la industria siderúrgica, la industria ligera y pesada, y el aumento del tráfico urbano así como de la densidad

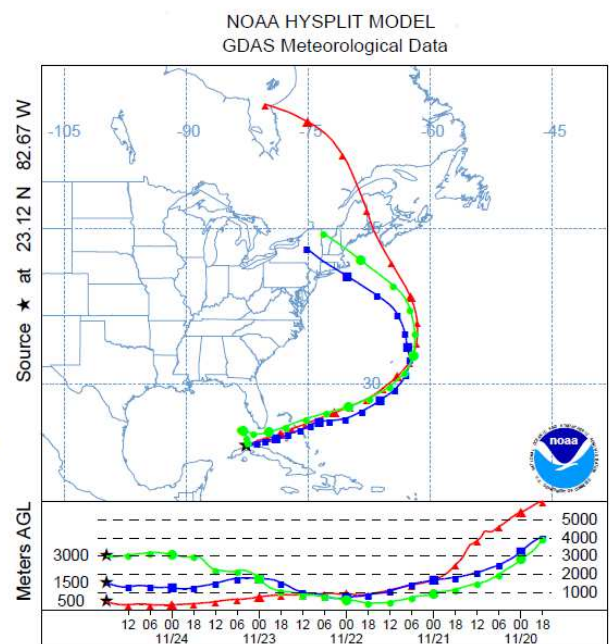


FIG. 8. Corrida del modelo HYSPLIT.

poblacional, arrojan elementos de peso para explicar las causas de la obtención de un elevado nivel de material particulado y específicamente de PM-10 en el aerosol atmosférico. Así como una concentración de metales pesados preocupantes pues son similares, y en algunos casos superiores, a los reportados para zonas urbanas de mayor desarrollo industrial y económico.

IV. CONCLUSIONES

Las concentraciones de la fracción del material particulado menor a $10\mu\text{m}$ colectado en la provincia La Habana, Cuba, son elevadas en comparación con lo establecido por la directiva 30 de la comunidad europea del 1999 para la comunidad europea, lo cual es un indicio de un crecimiento no sostenible en el proceso de desarrollo económico y social de la región.

Los niveles de Zn, Cu, Pb y Cd determinados son inferiores en todos los casos a lo regulado por las normas y directivas empleadas para la evaluación de los mismos, pero presentan niveles similares a los reportados en estudios de ciudades de mayor índice de desarrollo, siendo dos de ellas (Shanghái y Beijing) regiones de elevada contaminación, lo cual puede ser un indicativo para revisar y elaborar nuevas normas reguladoras en cuestión de las concentraciones permitidas para metales pesados. La zona de estudio se ve influenciada mayormente, por la región occidental del océano Atlántico y parte de la costa este de los Estados Unidos y Canadá; correspondientes a las zonas fuentes I y II, por el crecimiento de la densidad poblacional e industrial y el tráfico vehicular en la provincia.

REFERENCIAS

- [1] M. J. Burr and Y. Zhang, "Source apportionment of fine particulate matter over the eastern us part i: source sensitivity simulations using cmaq with the brute force method," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 2, no. 3, pp. 300–317, 2011.
- [2] D. Sinclair, "Handbook on aerosols," *Chap. VII, Atomic Energy Commission, Washington, DC*, 1950.
- [3] M. Zheng, M. Fang, F. Wang, and K. To, "Characterization of the solvent extractable organic compounds in pm_{2.5} aerosols in hong kong," *Atmospheric Environment*, vol. 34, no. 17, pp. 2691–2702, 2000.
- [4] M. Kalaitzoglou, E. Terzi, and C. Samara, "Patterns and sources of particle-phase aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban and rural sites of western greece," *Atmospheric Environment*, vol. 38, no. 16, pp. 2545–2560, 2004.
- [5] O. Pindado Jimenez, *Caracterización de la fracción orgánica del aerosol atmosférico en una zona rural de Madrid mediante el empleo de técnicas cromatográficas*. PhD thesis, Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid, 2009.
- [6] D. C. Adriano, "Arsenic," in *Trace elements in terrestrial environments*, pp. 219–261, Springer, 2001.
- [7] C. Perrino, S. Canepari, M. Catrambone, S. Dalla Torre, E. Rantica, and T. Sargolini, "Influence of natural events on the concentration and composition of atmospheric particulate matter," *Atmospheric Environment*, vol. 43, no. 31, pp. 4766–4779, 2009.
- [8] Oficina Nacional de Estadística e Información - República de Cuba. Disponible en <http://www.one.cu/>.
- [9] H. Kakimoto, H. Yokoe, Y. Matsumoto, S. Sakai, F. Kanoh, T. Murahashi, K. Akutsu, A. Toriba, R. Kizu, and K. Hayakawa, "Considerations of atmospheric behaviors of polycyclic aromatic hydrocarbons, nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons and inorganic pollutants based on their interrelationships," *Journal of Health Science*, vol. 47, no. 4, pp. 385–393, 2001.
- [10] J. Miller and J. Miller, *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry (4th Edition)*. Prentice Hall, 4 ed., 11 2001.
- [11] Consejo de la Unión Europea, "Directiva 1999/30/ce del consejo de 22 de abril de 1999 relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente," *Diario de las Comunidades Europeas*, vol. 29.
- [12] Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente, "Atmosfera. calidad del aire. requisitos higiénicos sanitarios," *NC 39*, 1999.
- [13] Norma Oficial Mexicana, "Nom-010-stps-1999, condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral," 1999.
- [14] K. Ho, J. Cao, S. Lee, and C. K. Chan, "Source apportionment of pm_{2.5} in urban area of hong kong," *Journal of hazardous materials*, vol. 138, no. 1, pp. 73–85, 2006.
- [15] T. Okuda, J. Kato, J. Mori, M. Tenmoku, Y. Suda, S. Tanaka, K. He, Y. Ma, F. Yang, X. Yu, *et al.*, "Daily concentrations of trace metals in aerosols in beijing, china, determined by using inductively coupled plasma mass spectrometry equipped with laser ablation analysis, and source identification of aerosols," *Science of the Total Environment*, vol. 330, no. 1-3, pp. 145–158, 2004.
- [16] J. Zheng, M. Tan, Y. Shibata, A. Tanaka, Y. Li, G. Zhang, Y. Zhang, and Z. Shan, "Characteristics of lead isotope ratios and elemental concentrations in pm₁₀ fraction of airborne particulate matter in shanghai after the phase-out of leaded gasoline," *Atmospheric Environment*, vol. 38, no. 8, pp. 1191–1200, 2004.
- [17] New Geography, "World urban areas population and density: A 2012 update." Disponible en <http://www.newgeography.com/content/002808-world-urban-areas-population-and-density-a-2012-update>.
- [18] Y. Gómez-Zamora, "Caracterización de las zonas fuentes de los compuestos gaseosos del nitrógeno, lluvia ácida, polvo del sahara y moho azul que afectan al occidente de cuba," *mathesis*, Instituto Superior de

- Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InSTEC), 2011.
- [19] L. Cremata-Zaldívar, O. A. Cuesta-Santos, L. A. Lima-Cazorla, and M. Manduca-Artiles, "Influencia de los tipos de situaciones sinópticas en la deposición total de metales pesados. caso de estudio, InSTEC," *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, vol. 15, no. 2, pp. 151–160, 2014.
- [20] S.-C. Hsu, G. T. Wong, G.-C. Gong, F.-K. Shiah, Y.-T. Huang, S.-J. Kao, F. Tsai, S.-C. C. Lung, F.-J. Lin, I. Lin, *et al.*, "Sources, solubility, and dry deposition of aerosol trace elements over the east china sea," *Marine Chemistry*, vol. 120, no. 1-4, pp. 116–127, 2010.

Recibido: 20 de noviembre de 2017

Aceptado: 30 de diciembre de 2017

Leandro Cruz Rodríguez: Técnico en Química Industrial del Instituto Politécnico de Química "Mártires de Girón". Licenciado en Radioquímica de la Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares de la Universidad de La Habana. Profesor Instructor de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Especialista A en ensayos Físico-Químicos y Mecánicos del Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear.

Jessica Aye Valdivia Pérez: Graduada de Bachiller del Instituto Preuniversitario Urbano "José Miguel Pérez Pérez". Estudiante del tercer año de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría".
Correo electrónico: jessyvaldivia97@gmail.com

