Caracterización de tamaños de partículas suspendidas en un área conurbada de la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México

Characterization of suspended particle sizes in a conurbated area of the city of Guadalajara, Jalisco, Mexico

GARCÍA-VELASCO, Javier†*, GONZÁLEZ-TORRES, Graciela, CONTRERAS-RODRÍGUEZ, Sergio H. y CORTES-ROMAN, Isabel

Universidad de Guadalajara. Instituto de Ciencias Ambientales y Comunidades Humanas, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara Jalisco México. Camino Ramón Padilla Sánchez #2100 Nextipac, Teléfono: Directo 3777-1180, Zapopan, Jalisco Código Postal 45200 México.

ID 1^{er} Author: Javier, García-Velasco / ORC ID: 0000-0003-3042-7841, Researcher ID Thomson: T-4575-2018, CVU CONACYT ID: 252703

ID 1^{er} Coauthor: Graciela, González-Torres / ORC ID: (0000-0003-0995-0187, CVU CONACYT ID: 66716

ID 2^{do} Coautor: Sergio H., Contreras-Rodríguez / ORC ID: 0000-0002-8905-2725, Researcher ID Thomson: T-4585-2018, arXiv ID: SERCONTRER

ID3^{er} Coautor: Isabel, Cortes-Roman / ORC ID: 0000-0001-7966-021X, arXiv ID: C-Isabel, PubMed ID: 810e6a84ddb6ddf420f89ea9d4c6a0f1109

DOI: 10.35429/JOHS.2019.18.6.18.27 Recibido Enero 25, 2019; Aceptado Marzo 17, 2019

Resumen

La contaminación atmosférica es un problema que las grandes ciudades enfrentan de manera ineficaz y sus repercusiones a la salud son evidentes y poco evaluadas en México, su origen son emisión de vehículos, la industria y procesos de combustión diversos. En el área conurbada de Guadalajara denominada El Salto, se presentan problemas por partículas suspendidas, y el objetivo de este estudio fue evaluar mediante un equipo video contador de partículas, el número y tamaño en dicha localidad, en 25 puntos de muestreo a un intervalo de medición que fue de 0,3 µm a 10,0 µm en seis tamaños (0,3µm - 0,5µm - 1µm - 2,5µm - 5,0µm - 10,0µm), siendo este el primer abordaje metodológico en la zona. Los resultados muestran una distribución muy homogénea por cada uno de los 6 tamaños de partícula medido, el mayor número corresponde en un 90% a las partículas de fracción respirable, de diámetro aerodinámico 0,3µm y 0,5µm denominadas ultrafinas, que pasan al torrente sanguíneo, respondiendo a un mismo patrón de distribución en todos los puntos de muestreo. Las partículas de 0,3µm y 0,5µm presentan valores de referencia en rango de precaución en el 28%, las partículas 2,5, 5,0 y 10, presentan valores de referencia en rango de precaución en el 44%, los mapas elaborados muestran la distribución de las partículas en la zona de estudio.

Contaminación, partículas MP10, Salud ambiental

Abstract

Air pollution is a problem that large cities face inefficiently and its health impacts are evident and poorly evaluated in Mexico, its origin is emission of vehicles, industry and various combustion processes. In the metropolitan area of Guadalajara called El Salto, there are problems with suspended particles, and the objective of this study was to evaluate the number and size of said location by means of a videocontroller of particles at that location, in 25 sampling points at a measurement interval which was 0.3 µm to 10.0 µm in six sizes (0.3µm - 0.5µm - 1µm - 2.5µm - 5.0µm - 10.0µm), this being the first methodological approach in the area. The results show a very homogeneous distribution for each of the 6 measured particle sizes, the largest number corresponds in 90% to the particles of respirable fraction, of aerodynamic diameter 0.3µm and 0.5µm called ultra fine, which pass into the bloodstream, responding to the same distribution pattern at all sampling points. The particles of 0.3µm and 0.5µm have reference values in the precautionary range in 28%, the particles 2.5, 5.0 and 10, have reference values in the precautionary range in 44%, the elaborated maps show the distribution of the particles in the study area.

Pollution, MP10 particles, Environmental health

Citación: GARCÍA-VELASCO, Javier, GONZÁLEZ-TORRES, Graciela, CONTRERAS-RODRÍGUEZ, Sergio H. y CORTES-ROMAN, Isabel. Caracterización de tamaños de partículas suspendidas en un área conurbada de la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Revista de Ciencias de la Salud. 2019. 6-18: 18-27.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: javier.gvelasco@academicos.udg.mx)
† Investigador contribuyendo como primer Autor

Introducción

El estudio de la contaminación atmosférica ha adquirido una importancia vital en todo el mundo (Molina et al., 2004). Estudios recientes dan cuenta de que el medio ambiente se está deteriorando (Morales, 2006) y, debido a ello se produce un notable cambio climático a nivel planetario (Parry et al., 2007).

En los estudios de salud ambiental se exploran variables relacionadas con el medio ambiente físico, que son considerados servicios de los ecosistemas, y en este caso se aborda un territorio en condiciones especiales por su localización y su contexto socio ambiental, enclavado en una cuenca hidrológica, en los márgenes de un río contaminado por descargas domésticas, agropecuarias e industriales, entre cauces de agua residual a cielo abierto y tiraderos de residuos industriales y domésticos, con una evidente devastación, producto de una dinámica poblacional de acelerada urbanización habitacional sobrepuesta en la zona industrial más importante en Jalisco y la segunda a nivel nacional.

El material particulado (PM) es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de diesel, polvo de vías de tránsito rodado, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos (Fang et al., 2003). Estas partículas son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos (Billet et al., 2007). Moore (2012), hace varias referencias y menciona que, según sus observaciones, existe una importante asociación epidemiológica entre la exposición a las PM y los resultados adversos para la salud. Las PM presentan propiedades similares al gas y la inhalación trae a las partículas a niveles profundos en los pulmones, como el hollín, negro de carbono o humo negro. Debido al pequeño tamaño de las PM, las defensas naturales del cuerpo, como la filtración por el cabello nasal y los cilios en los pulmones, no las pueden retener. En su revisión bibliográfica, Moore, encuentra que las PM se han relacionado con el agravamiento del asma, la bronquitis crónica y la disminución de la función pulmonar.

El efecto de las partículas en la salud depende de su composición química, pueden producir irritación de las vías respiratorias, y favorecer las enfermedades cardiovasculares. En un corto plazo la contaminación por PM puede causar el deterioro de la función respiratoria, en el largo plazo se asocia con el desarrollo de enfermedades crónicas, como el cáncer o muerte prematura (Alen 2009, citado en CASAS SOLIS & LOZA LLAMAS, 2013).

El material particulado es el contaminante más complejo por sus características de tamaño (desde 0.007 hasta 60 μm , aproximadamente), composición química (carbón, compuestos orgánicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos – varios de ellos cancerígenos –, metales, ácidos sulfúrico y nítrico, sales de amonio, minerales, entre otros), transformaciones en la atmósfera e interacción con los demás contaminantes.

Comúnmente es medido como PM₁₀, que incluye todas las partículas de tamaño inferior a 10 μm , que son aquellas que permanecen suspendidas durante varias horas o días en el aire. En Estados Unidos y otros países alrededor del mundo, existen normas y mediciones para las partículas consideradas como finas, es decir, aquellas que tienen un tamaño inferior a 2,5 μm , las cuales están compuestas principalmente por partículas producidas en procesos de combustión y aquellas a partir de vapores que se condensan en la atmósfera. Las partículas finas no sólo son inhalables, sino que además se depositan eficientemente en las vías respiratorias inferiores y en los alvéolos pulmonares, produciendo irritación e inflamación en las células alveolares. Aquellas partículas con tamaño inferior a 1 μm tienen la capacidad de entrar en el torrente sanguíneo, y han sido asociadas a enfermedades cardiovasculares.

El Instituto Nacional de Ecología y la Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales (INE-SEMARNAT 2011). Define los siguientes conceptos relacionados a las partículas o material particulado (fracción respirable). Puede llegar a ser un elemento importante como factor contaminante en la atmósfera de una ciudad, una zona o sitio, pueden estar depositadas sobre el suelo aunque generalmente flotan en el aire.

Este hecho se favorece principalmente debido a su tamaño ya que son muy pequeñas tanto que para hablar de su medida se utiliza el término micrómetro o micra, unidad de longitud equivalente a la millonésima parte de un metro. El tamaño de partículas: Es el diámetro de una esfera que produce una respuesta en un instrumento que evalúa el tamaño dado de una partícula. Para efectos del análisis y medición de las partículas en el aire atmosférico se conocen como partículas finas o, más frecuentemente, como material particulado (particulate matter PM en inglés), de ahí que refiriéndose a las partículas menores a 10 micrómetros se usa la nomenclatura PM10, y para hacer alusión a las que son menores a 2.5 µm se usa PM2,5.

Recientemente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido unos nuevos valores guía para las concentraciones de partículas materiales en el aire en función de las concentraciones de partículas, es preferible la utilización de los valores de PM2,5 frente a los de PM10, En una atmósfera urbana, el principal aporte a las PM2,5, entre un 70 y un 80%, se debe al tráfico rodado, y tienen un componente natural menos importante que las PM10, por lo que parece, a priori, un indicador más fiable para medir la actividad antropogénica. Además, estas partículas finas penetran más profundamente en los alvéolos pulmonares y por tanto, es plausible que induzcan efectos más adversos para la salud que las partículas de diámetro mayor, como las PM10 las partículas totales en suspensión (PST) (Linares & Díaz, 2009).

Las PM10 se originan de procesos mecánicos de trituración, por la combustión deficiente de combustibles de origen fósil o por agregación de partículas más pequeñas en la atmósfera. A las PM10 se les asocia con diversos problemas de salud humana como el cáncer de pulmón, agravamiento del asma e irritación de la garganta, esto debido a que su tamaño pequeño les permite ingresar al sistema respiratorio. Incluso existen estudios que establecen incrementos relativos de mortalidad humana por un aumento de 10 µg/m3 de las PM10 en el aire ambiente. (Hernández Mena, Gallardo Valdez, de Jesús Díaz Torres, & Villegas García, 2017, p. 1). Las aeropartículas varían en forma, tamaño, composición química y origen biológico o antropogénico que determinan su presencia en la atmósfera y sobre la calidad del aire.

El aspecto del tamaño de las partículas es de sumo interés para entender su movilidad y sus perjuicios a la salud. La clasificación en base al tamaño (tabla 1) se ha dividido en tres grupos principales: las grandes, o fracción gruesa, señaladas como PM10 cuyo tamaño está entre los 5 -10µm; y las pequeñas de fracción fina, PM5, PM2,5 de 5 a 2.5µm, y las de fracción ultra fina, menores a los 2.5 µm.

Nombre	Tamaño	En el cuerpo humano
PM10 µm (fracción gruesa)	<=10 µm	Vías respiratorias altas, torácicas
PM5, PM2.5 µm (partículas respirables)	<=5.0 µm, 2.5 µm,	Llegan a los alveolos pulmonares
PM1.0, PM 0.5, -, PM0.3 µm (fracción ultrafina)	<= 1.0µm,0.5 µm, 0.3 µm	Pasan al torrente sanguíneo

Tabla 1 Tipos de partículas y efectos según su tamaño, con diámetro aerodinámico menor a 10 µm.
Fuente: nota de aplicación del contador de partículas FLUKE 985®

Estas dimensiones las hacen ser sumamente ligeras, aspecto que se combina con su forma y con diversos factores de tipo climático entre los cuales, está la temperatura del ambiente y los vientos. La influencia del hombre en este material en la atmósfera es propiciada principalmente por la interacción de las actividades productivas en un medio determinado.

La mayoría de las partículas son altamente perjudiciales a la salud, y son de origen antropogénico, y se pueden clasificar como: Polvos: Son partículas sólidas pequeñas (de 1 a 1,000µm), se forman por fragmentación en procesos de molienda, cribado, explosiones y erosión del suelo. Se mantienen en suspensión y se desplazan mediante corrientes de aire.

Humos: Son partículas sólidas finas que resultan de la combustión incompleta de materiales orgánicos como carbón, madera y tabaco. Su diámetro oscila en el intervalo de 0.5 a 1µm.

Fumos: Son partículas sólidas finas. Se forman por la condensación de los vapores originados en procesos de sublimación, destilación, calcinación y fundición. Miden entre 0.03 y 0.3µm.

Cenizas volantes: Son partículas finas no combustibles que provienen de la combustión del carbón. Entre sus componentes se encuentran sustancias inorgánicas de metales, óxidos de silicio, aluminio, hierro y calcio. Al depositarse en superficies actúan como abrasivos.

Niebla: Son gotas pequeñas que se forman por condensación de un vapor, dispersión de un líquido o como producto de una reacción química. Miden entre 0.0002 y 10µm.

Aerosoles: Un aerosol ambiental es una suspensión en el aire de partículas finas líquidas o sólidas. Se dividen en aerosoles primarios y secundarios. Los primarios son partículas relativamente estables que se emite directamente a la atmósfera, mientras que los secundarios son partículas que se forman en procesos de conversión de gas a partícula. Miden entre 0.01 y 100µm de diámetro. Los aerosoles de diámetro de 0.01 a 0.1µm se conocen como “partículas ultrafinas”. Estos son productos de la nucleación homogénea de vapores saturados (Espinosa Rubio, 2007). En la tabla 2 se presentan características de las partículas PM menor a 10µm de acuerdo a su tamaño, origen y efecto en la salud.

Tamaño de partículas y Normatividad	Origen	Afectación en la salud humana
PM10 NOM-025-SSA12014 Límite promedio de 24 horas: es de 50 µg/m3, Límite promedio anual: es de 35 µg/m3	Contienen principalmente materiales de la corteza terrestre y se originan en su mayoría por procesos de desintegración de partículas más grandes. También pueden contener material biológico como polen, esporas, virus o bacterias o provenir de la combustión incompleta de combustibles fósiles.	Se depositan en la región extra torácica del tracto respiratorio (nariz, boca, naso, oro y laringofarínge). Los elevados niveles tanto de PM10 como de PM2.5 se han asociado con reducciones agudas en el volumen respiratorio forzado del primer segundo (FEV1) y en la capacidad vital forzada (FVC), estas reducciones se observan tanto de forma inmediata como tardía. Durante los meses de verano se asocia con mayores síntomas de apnea obstructiva y menor saturación durante el sueño.

PM2.5 NOM-025-SSA12014 Límite promedio de 24 horas: es de 30 µg/m3, Límite promedio anual: es de 10 µg/m3.	Están formadas primordialmente por gases y por material proveniente de la combustión, una gran proporción de esta fracción, son secundarias	Se depositan fundamentalmente en la región traqueo bronquial (tráquea hasta bronquiolo terminal), aunque pueden ingresar a los alvéolos. Son causantes de bronquitis, asma y alergias en la población infantil. Se asocia significativamente a hospitalizaciones por neumonía adquirida.
PM1, PM 0.3, PM 0.5 No existe normatividad	Son generadas directamente por combustión y actividad fotoquímica.	Se depositan mayoritariamente en la región alveolar, incrementando la posibilidad de atravesar la membrana alvéolo capilar hacia el torrente sanguíneo y migrar hacia otros órganos. Relacionada con enfermedades cardiovasculares, hipertensión arterial.

Tabla 2 Tipos de partículas según su tamaño, diámetro aerodinámico menor a 10 µm.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de NOM-025-SSA1-2014, (Espinosa Rubio, 2007; Manahan, 2007)

Metodología

El municipio de El Salto se ubica en el estado de Jalisco en el occidente de México, coordenadas UTM x= 681408 y= 2275045, con una extensión territorial de 41 Km², el 88.7% del municipio tiene terrenos planos, con pendientes menores a 5°, la agricultura (49.7%) es el uso de suelo dominante, 19.7%, es el uso del asentamiento humano, con una altitud promedio de 1508 msnm, tiene clima semicálido-semihúmedo, la temperatura media anual es de 20°C, máximas y mínimas promedio entre 31°C y 9°C respectivamente, la precipitación media anual es de 1000mm.

El Salto forma parte de la Zona conurbada de Guadalajara (ZMG) (figura1), al norte colinda con Tlaquepaque y Tonalá, al sur con Tlajomulco e Ixtlahuacán de los Membrillos, al este con de Tonalá y Juanacatlán y al oeste con Tlajomulco de Zúñiga y Tlaquepaque, y esta asentado en las márgenes de la Presa Las Pintas, de la Cuenca del Ahogado y del Río Santiago.

Gráfico 1 Mapa del municipio de El Salto se ubica en el estado de Jalisco en el occidente de México
Fuente: (Google & INEGI, 2017; A. Ortega & Corona, 2010)

El área de estudio específica está enclavada en una cuenca baja, que recibe por cauce natural del río Santiago, aguas residuales de origen doméstico, industrial y agropecuario, las cuales llegan a través de una gran cantidad de arroyos y cuerpos de agua, que desembocan en él, provenientes de gran parte la ZMG, al igual recibe la contaminación de los residuos sólidos municipales no peligrosos depositados en el relleno sanitario “Los Laureles”, y el escurrimiento en suelos de residuos especiales, industriales y biológico infecciosos dispuestos en el municipio, por el enorme incumplimiento de las normas ambientales, así como las emisiones al aire del corredor industrial presente en el sitio. El objetivo principal de este trabajo fue la caracterización de tamaño y número de partículas en aire por un método no gravimétrico alternativo al que marca la legislación vigente. Para el muestreo de partículas se utilizó el Contador de Partículas en Aire con cámara de video incorporada Modelo VPC300 de la marca EXTECH Instruments®, el cual permite medir y analizar seis tamaños de partículas simultáneamente. Esta técnica de muestreo ambiental y de análisis inmediato es muy eficiente y barato, y los tiempos de análisis son cortos respecto a las técnicas convencionales.

Se realizó la medición en 25 puntos de la zona de estudio, se realizó el día 23 de febrero del 2016 de día y entre semana, en el transcurso de la mañana con las mismas condiciones meteorológicas y en diferentes zonas con variabilidad de tráfico, la medición se realizó durante el lapso de un minuto por punto, la altura del muestreo fue de 1.5 mts. El intervalo de medición del equipo es de 0,3 μm a 10,0 μm en seis canales o tamaños (0,3 μ - 0,5 μ - 1 μ - 2,5 μ - 5,0 μ - 10,0 μ) por pie cúbico, el equipo también realiza medición de temperatura, humedad y punto de rocío (calculado) con sonda externa. El rango de medición fue de 0 a 2.000.000 de partículas. El rango de temperatura es de -25°C a +60°C y el rango de humedad de 0%HR a 100%HR. Cuenta con memoria Interna de hasta 5.000 mediciones y un caudal de 2,83 L/min. El método de medición utilizado no determina concentración de partículas por peso, por lo que los resultados no son comparados con la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014 Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente. Dado que la medición del número de tamaño de partículas no tiene referencia normada oficialmente en México, se utilizó para el análisis de los resultados la tabla de valores de referencia que proporciona el equipo de medición del número por tamaño de partícula, ver tabla 3, (los valores resultantes de la medición en pies cúbicos, se convirtieron a metros cúbicos) por lo tanto los valores expresados son número de partícula /m³. Los valores de referencia para el conteo de partículas, se consideran estratificados para definir la calidad del aire en bueno, precaución y peligro, esta una clasificación nominativa en función del número de partículas por tamaño y se presenta a continuación:

Tamaño	Bueno	Precaución	Peligro
0.3 μm	0 a 3,531,467	3,531,468 a 8,828,667	8,828,668 a 17,657,335
0.5 μm	0 a 1,243,076	1,243,077 a 3,090,034	3,090,035 a 6,180,067
1.0 μm	0 a 293,818	293,819 a 734,545	734,546 a 1,469,090
2.5 μm	0 a 19,246	19,247 a 48,099	48,100 a 96,197
5.0 μm	0 a 6,815	6,816 a 17,057	17,058 a 34,114
10 μm	0 a 2,401	2,402 a 6,003	6,004 a 12,007

Tabla 3 Valores de Referencia para clasificación por el Número de tamaño de partícula en m³
Fuente: equipo Modelo VPC300 de la marca EXTECH Instruments®

Resultados

En la estadística descriptiva obtenida, se incluye el mínimo, máximo, media, y desviación estándar (tabla 4) para cada tamaño de partícula.

Tamaño	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
0.3 µm	1,559,179	6,287,393	2,793,877	1,072,659
0.5 µm	291,205	1,523,193	647,208	282,755
1.0 µm	48,593	374,406	121,057	65,636
2.5 µm	6,462	89,275	21,900	16,363
5.0 µm	1,836	35,667	7,846	6,786
10.0 µm	918	21,789	4,781	4,303

Tabla 4 Estadísticos descriptivos del número de partícula por tamaño (n=25)

Los resultados por tamaño de partícula se clasifican como: 59 puntos estan en el rango de bueno, los sitios en el rango de precaución son: para el tamaño de partícula 0.3 µm los puntos: 4,8,14 y 18, para 0.5 µm, los puntos: 4 y 18, para 1.0 µm es el punto 18, para 2.5 µm los puntos: 4,8,11,14,15,16,17 y 20, para 5.0 µ los puntos: 4,8,9,11,14,15,16,17,20 por ultimo para 10.0µm, los puntos siguientes: 6,9,10,11,12,13,16,17,19,21,22,23,24,25. Para el rango de peligro los puntos son: para el tamaño 2.5 µm el punto 18, para 5.0 µm, el 18 y para 10.0 µm, los puntos: 8,14, 15,18 y 20.

En el gráfico 1 se aprecia la distribución del 100% del número de cada uno de los seis tamaños de partícula medido, el mayor número corresponde en un 90% a las partículas de fracción respirable, de diámetro aerodinámico 0.3µm y 0.5µm denominadas ultra finas, que pasan al torrente sanguíneo, respondiendo a un mismo patrón de distribución en todos los puntos de muestreo.

Gráfico 2 Porcentaje por del número de tamaño de partícula en los 25 puntos evaluados

El dendrograma obtenido del análisis de clúster por proximidad (gráfico 2) permite identificar semejanzas entre los puntos de muestreo.

Se distinguen dos grupos, el primero incluye el punto 4, que corresponde al cruce de las calles Álvarez del Castillo y Ejército Constituyente, el cual presenta tráfico vehicular pesado y es zona empedrada. El segundo grupo incluye dos subgrupos, uno son los puntos 8, 14 y 18, los tres son calles con tráfico vehicular constante, el punto 14 es empedrado y los otros dos son vialidades principales pavimentadas, el otro subgrupo incluye los puntos 1, 10,11, 15, 16 y 24, de los cuales el 1, 10, 11 y 16 se encuentran situados cercanos al río Santiago en El Salto, el 15 en calle Revolución, con constante tráfico y la instalación de 3 escuelas y por último el 24, que está en la zona centro de Juanacatlán.

Gráfico 3 Clúster jerárquico por tamaño de partículas encontrados en los 25 puntos de muestreo

Cabe señalar que las partículas 2.5µm se encuentran en categoría de precaución en la mayoría de los puntos ubicados en la zona centro y los PM 10µm en 20 puntos de muestreo la mayoría con categoría de precaución, en ambos casos estos tamaños de partícula están presentes en el punto 11 ubicado en la escuela primaria donde estudian los niños y en la mayoría de los domicilios de los niños que presentaron anomalía restrictiva.

Discusión

Reconocer las afectaciones por PM implica la protección de la salud humana y el bienestar, ocupa un lugar destacado en los objetivos y reglamentos de la mayoría de las naciones del mundo. En la práctica, sin embargo, la consideración de la salud dentro de la evaluación de los impactos ambientales no es tan común y éstas se han centrado en las exposiciones tóxicas. El enfoque integral y sistemático de los impactos en la salud humana en la práctica no ha evolucionado.

La falta de atención a la salud en la práctica se encuentra en contraste con la interdependencia entre los cambios ambientales, las condiciones sociales y la salud ambiental (Bhatia&Wernham, 2008).

Estudios diversos demuestran que las partículas PM, menores a 10 µm suspendidas en aire, 0,3µm - 0,5µm - 1µm - 2,5µm - 5,0µm - 10,0µm presentan características físicas y químicas muy diversas, de acuerdo a su tamaño aerodinámico, dependiendo de su origen e interacción con elementos propios de la cuenca hidrológica y atmosférica en la formación de aerosoles. Los resultados obtenidos por conteo de número de partículas permiten establecer cuáles son los tamaños mayoritarios o constitutivos, (en orden de número de tamaño son 0,3µm - 0,5µm - 1µm - 2,5µm - 5,0µm - 10,0µm) que son característicos de aire exterior urbano. Sin embargo, es importante resaltar la posible presencia de elementos tóxicos como metales pesados y varios compuestos volátiles denominados comúnmente elementos trazas cuya importancia toxicológica es evidente. (INECC 2016).

El análisis del número de tamaño de partícula en aire, adquiere especial importancia ya que los procesos de contaminación geomorfológicos, biológicos y antrópicos, tienen repercusión en el sistema respiratorio humano, especialmente en la infancia. Además, este tipo de medición podría servir como un indicador del estado para un ecosistema definido, en cuanto a la calidad del aire. Asimismo, debido a la compleja naturaleza química del material particulado (PM), y la variación espacial y temporal de las fuentes locales de estos contaminantes, se necesitan más investigaciones para comprender los procesos físicos y los componentes químicos que contribuyen al PM ambiental. Aun cuando la medición puntual que se realizó solo refiere el número de partículas, es importante considerar que el tipo de medición empleado en el presente estudio es pertinente para generar información de línea base.

El análisis de clúster aplicado a cada punto de muestreo permite observar diferencias considerables del número por tamaño de partícula. Encontramos que el mayor número de partículas justamente se encuentra en el tamaño entre 0.3, 0.5 y 1.0 µm. lo cual podría ocasionar daños a la salud, por tratarse de partículas de tamaño ultrafino, de fracción respirable.

En particular el riesgo en la población infantil aumenta por la mayor cantidad de veces que inhala. Además, este tamaño de partículas representa riesgo por su capacidad de llegar al torrente sanguíneo y a los alveolos pulmonares, en donde se realiza el intercambio de gases. En caso de que las partículas estén constituidas por metales, entre otros compuestos, se produce una destrucción de los alveolos con la consecuente disminución de la función respiratoria (véase más adelante). Lo descrito anteriormente de acuerdo con Linares-Díaz (2009).

No obstante, las diferentes características de los puntos de muestreo y de las posibles fuentes de emisión, la distribución de las partículas en la zona de estudios presenta una distribución muy homogénea por cada tipo de partícula. Una posible causa de esta forma de distribución se puede encontrar en una fuente de emisión común.

Se ha determinado la presencia de partículas de 0,3µm y 0,5µm en cantidades importantes, en todos los puntos de muestreo, de manera homogénea. Es necesario señalar que el radio del área de estudio no excede los 2 kilómetros a la redonda a partir del punto 1 que es la cascada del río Santiago. Varios estudios demuestran que las partículas de tamaño menor a 10µm, procede de actividades antropogénicas. En la zona de estudio, se observa que las posibles fuentes de emisión no son constantes, como son: quema de basura, incendios forestales, tráfico vehicular de diésel, el cual está presente solo en algunos puntos (3, 12, 18) en particular, la instalación desregulada de una fundidora en la zona Nor-poniente de la cabecera municipal de El Salto, así como las emisiones industriales provenientes de los corredores industriales instalados en el poniente del municipio. Además, considerando que la medición de partículas se realizó en el mes de febrero, época de sequía y que no se cuenta con información del movimiento de aire en la cuenca, la cascada con la emisión de aerosoles, podría ser la fuente en común de las partículas encontradas en partes diversas.

De los resultados obtenidos se desprende el interés de visualizar la dispersión del tipo de partículas en la zona de estudio, en los siguientes cuatro figuras 4, 5, 6 y 7 se observa la similitud a la que se alude, en cuanto a la distribución de las partículas en la zona de estudio, se muestran las líneas de isovalores cubriendo toda el área.

En color rojo, los valores máximos centrados en la cabecera municipal de El Salto, una isla hacia el Nor-poniente, junto al Cerro de la Cruz y otra al sur poniente, zona que se encuentra cercana al río antes de llegar a la casa.

Gráfico 8 Distribución de Partículas con tamaño de 5.0 μm
Fuente: elaboración propia

Es importante señalar que, el punto 11 que corresponde a la ubicación del centro escolar al cual pertenecen los niños de la muestra, se encuentra en rango de precaución para los tamaños 2.5 μm , 5.0 μm y 10 μm . Es importante mencionar que alrededor del punto 15, a menos de 100 metros de distancia, se encuentran cuatro centros escolares, dos de ellos con más de mil estudiantes.

Gráfico 9 Distribución de Partículas con tamaño de 10.0 μm
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El número de partículas presenta una distribución muy homogénea por cada uno de los seis tamaños de partícula medido.

El mayor número corresponde en un 90% a las partículas de fracción respirable, de diámetro aerodinámico 0.3 μm y 0.5 μm denominadas ultra finas, que pasan al torrente sanguíneo, respondiendo a un mismo patrón de distribución en todos los puntos de muestreo, la fuente de origen puede ser además de las descargas industriales de la cascada del río Santiago y el tráfico vehicular en algunos puntos en particular cercanos al vertedero municipal.

Las partículas de 0,3 μm y 0,5 μm presentan valores de referencia en rango de precaución en el 28% de los puntos de muestreo. Las partículas PM2.5, PM5.0 y PM10, presentan valores de referencia en rango de precaución en el 44% de los puntos de muestreo. Las partículas PM10 presentan valores de referencia en rango de peligro para en el 28% de los sitios de muestreo en la zona de estudio.

El sitio 18 ubicado en Calle Independencia y Lázaro Cárdenas en la cabecera municipal de El Salto, presenta valores de referencia en rango de peligro para partículas PM2.5, PM5.0 y PM10. En el punto 11, ubicado en el centro escolar donde asisten los niños de la muestra estudiada, los tamaños de partícula PM2.5, PM5.0 y PM10, presentan valores de referencia en rango de precaución.

No se puede determinar la dinámica atmosférica, que permita explicar la distribución de las partículas PM en la zona de estudio dado el tipo de estudio puntual, por lo que se requiere estudios longitudinales.

La utilidad de aplicar técnicas de muestreo ambiental y de análisis por contador de partículas, con equipo analítico avanzado, es novedosa. Es una técnica que permite ser exactos en la medición, y los tiempos de análisis son cortos respecto a las técnicas convencionales.

Referencias

Billet, S., Garc-on, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., Courcot, D. Aboukais, A., y Pirouz, S.P. (2007).Ambient Particulate Matter (PM2.5): Physicochemical characterization and metabolic activation.

Bhatia, R., & Wernham, A. (2008). Integrating human health into environmental impact assessment: An unrealized opportunity for environmental health and justice. *Environmental Health Perspectives*, 116(8), 991–1000. <https://doi.org/10.1289/ehp.11132>.

Casas Solis, J., & Loza Llamas, J. (2013). Riesgos a la salud de la población de la cuenca del ahogado por presencia de bacterias patógenas en el aire. In CIATEJ (Ed.), *Diagnóstico Integral del Polígono de Fragilidad Ambiental y su entorno 2012*. Guadalajara: CIATEJ, COECYTJAL, CONACYT

Espinosa Rubio, M. E. (2007). Manual 1. Monitoreo de Calidad del Aire. Mexico D.F.

Fang, G.C., Chang, C.N., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P., Yang, I.L., y Chen, M.H. (2003). Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung. *The Science of the Total Environment*, 308, 157–166.

Hernández Mena, L., Gallardo Valdez, J., de Jesús Díaz Torres, J., & Villegas García, E. (2017). Contaminación del aire por partículas (PM₁₀) en el Polígono de Fragilidad Ambiental, Guadalajara, Jalisco. *REAXION UAL*, 4(2). Retrieved from http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Impr_Contaminacion_del_aire_por_particulas_PM10_en_el_Poligono_de_Fragilidad_Ambiental_Guadalajara_Jalisco.html

INE-SEMARNAT. (2005). Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Western Governors' Association. Retrieved from <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/457.pdf>

Linares, C., & Díaz, J. (2009). Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2.5}) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *Gaceta Sanitaria*, 23(3), 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2008.04.006>

Moore, A. (2012). An Empirical Study of Particulate Matter Exposure for Transit Users at Bus Stop Shelters by Adam Moore A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil and Environmental Engineering Thesis Committee. Portland State University.

Molina, M, J. and Molina, L, T. (2004) “Megacities and atmospheric pollution”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 54, pp. 1047–3289

Morales, R, G, E., Ed. (2006). *Contaminación Atmosférica Urbana*. Santiago (Chile): Editorial Universitaria

Parry, M, L., Canziani, O. F., Palutikof, J, P., van der Linden, P, J., and Hanson, C, E., Eds. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, adaptations and vulnerability*. IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge, UK: Cambridge University Press

Rosas, I., Salinas, E., Martínez, L., Esclava, C., & Cravioto, A. (2004). Bacterias en la Atmósfera. In R. M. del Pont Lalli (Ed.), *Microbiología ambiental* (1st ed., pp. 15–46). Mexico D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y de Recursos Naturales, Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv_pub=593&tipo_file=pdf&filename=440

Salini Calderón, G, A. (2014). Estudio Acerca del Material Particulado Emitido en Ciudades de Tamaño Medio al Sur de Santiago de Chile, *INGE CUC*, vol. 10, no. 1, pp. 97–108.