

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL A MATERIAL PARTICULADO EN EMPRESAS PERTENECIENTES A DIFERENTES SECTORES ECONÓMICOS EN COLOMBIA, 2014

Juan Carlos Fernández Matallana, Marcela Varona, Milciades Ibañez¹¹

Resumen:

Introducción

El material particulado son partículas sólidas y líquidas emitidas al aire, las cuales pueden generar diferentes alteraciones en la salud, variando desde cuadros respiratorios alérgicos, a episodios asmáticos, dermatitis o inclusive llegar a facilitar la génesis de enfermedades de tipo neoplásico. Estos pueden tener origen natural e industrial, encontrándose en diferentes actividades económicas.

Objetivo

Evaluar la exposición laboral a material particulado en empresas pertenecientes a diferentes sectores económicos afiliadas a una ARL en Colombia, en el periodo comprendido entre 2011 al 2014

Metodología

Es un estudio de corte transversal, analizando una base de datos de 257 empresas con 1108 mediciones de material particulado, recolectados entre 2011 – 2014. Las variables usadas fueron: región, actividad económica, área, oficio, tiempo de exposición y concentración de material particulado. Se realizó distribuciones de frecuencia, medidas de tendencia central y de dispersión. Se evaluaron las diferencias de las distribuciones de los tiempos de exposición y el porcentaje de exposición entre los grupos con y sin riesgo (los que sobrepasaban o no los límites permisibles), con la prueba asintótica no paramétrica de Mann Whitney.

Resultados

Las principales mediciones ambientales en las empresas fueron en la industria química con un 31%, siendo 2 de cada 3 datos pertenecientes a la región andina, las cuales tienen como principales contaminantes químicos las partículas no fraccionadas con el 70,9%. Respecto a las concentraciones ambientales de material particulado en las empresas participantes, se encontró un promedio de $1,72 \text{ mg/m}^3 \pm 3,613$, con una mediana de $0,480 \text{ mg/m}^3$ y un coeficiente de variación de 210,05%. El 2,9% sobrepasaron los valores límites establecidos por la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) y el 92,5% según los límites de la EPA (Agencia de Protección del Ambiente), presentando mayor riesgo en el personal operativo con 93,3% ($p=0,002$).

Conclusión

El riesgo según los límites establecidos por la ACGIH para las mediciones realizadas en Colombia fue bajo, aunque al utilizar los parámetros de la EPA, el riesgo fue alto, por lo cual

¹ Autor. Medico Universidad El Bosque, Estudiante maestría salud ocupacional y ambiental U. Rosario, Bogotá Colombia

¹ Dra Varona Uribe Marcela Eugenia Profesor Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad El Rosario. Dr Milciades Ibañez Pinilla Profesor Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad El Rosario.

se requiere hacer un seguimiento específico a estas empresas y fomentar la implementación del sistema de gestión en seguridad y salud en el trabajo.

Palabras clave

Air pollution

Long-term human health

Particulate matter

Introducción

Desde principios del siglo XX, se han evidenciado de manera paulatina, los diferentes efectos que se generan en la salud de la población y las variaciones que se presentan en el medio ambiente, asociado a la contaminación por diversos factores; entre estas sustancias contaminantes encontramos el monóxido de carbono, el plomo, el dióxido de nitrógeno, el ozono, el dióxido de sulfuro y el material particulado (1).

Esta última, es una combinación de partículas sólidas y líquidas, las fuentes pueden ser naturales o generadas por procesos humanos. Entre estas podemos encontrar: el polvo, la ceniza resultante de incendios y erupciones volcánicas; así mismo la ignición de combustibles fósiles, sedimentos viales, residuos agrarios y las partículas resultantes de otros procesos productivos (2). El material particulado no se tiende a sedimentar en periodos cortos, dado que permanece suspendido en el aire y requiere de tiempos variables para que suceda este proceso, esto depende de su tamaño y densidad. De esta manera se genera su clasificación, entre los que se encuentra PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{0.1-2.5}$ y $PM_{<0.1}$ que representa el tamaño de moléculas y la clasificación en partículas finas y ultrafinas (3).

Las consecuencias que se pueden generar en la salud, pueden ir desde cuadros respiratorios alérgicos, pasando a episodios asmáticos, problemas cutáneos como dermatitis, llegando hasta enfermedades de tipo neoplásico; dependiendo del nivel de exposición y el material (4). Entre estos efectos

desencadenados en la salud y las posibles consecuencias generadas se encuentran cuadros tales como bronquitis crónicas, arritmias cardíacas, ataques cardíacos y muerte prematura, afectan de manera notable a las poblaciones, ya que generan un aumento en los costos a nivel hospitalario y en los años de vida perdidos (5).

Se han determinado diferentes valores límites de exposición a los químicos (TLV), en los cuales se ha observado que la población puede tener una exposición sin que se generen efectos adversos, concentraciones en la que los trabajadores están expuestos en un horario convencional de 8 horas diarias, 5 días a la semana, sin producir afectación en su salud (6). De esta manera, la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) en Estados Unidos, ha definido de manera progresiva diferentes valores según las observaciones que se han realizado, para el 2012, el valor límite es de $0,012 \text{ mg/m}^3$ a nivel anual y para 24 horas de $0,035 \text{ mg/m}^3$ para $PM_{2.5}$ (7), por otra parte, las guías de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ha delimitado el valor de TWA en 10 mg/m^3 para material particulado (8).

Tanto en las mediciones ambientales como en las laborales, los valores de referencia de TLV, varían según el contaminante en estudio y el medio en el cual se encuentran, por lo que uno de los principales métodos que se emplea para su determinación es la cromatografía de gases, en el cual, se desioniza el agua, con el fin de preservar las sustancias tales como los aerosoles. Así mismo está la espectrometría para los extractos acuosos (9).

El material particulado es ampliamente estudiado y vigilado en diferentes partes del mundo; un sitio en el que se han realizados estos seguimientos y evaluado los efectos en la salud fue en Taiwán, en donde se demostró que los materiales líquidos y sólidos que se generan y que son emitidos al medio ambiente producen altos niveles de polución ambiental y laboral, llevando a desencadenar diferentes efectos en la población, por lo que se requiere una cooperación multidisciplinaria con el fin de obtener adecuadas soluciones (2).

La quema de combustibles fósiles, y específicamente la combustión del diesel, puede llegar a generar la liberación de elementos de $PM_{\leq 2.5}$ y de $PM_{\leq 0.1}$ los cuales pueden penetrar con mayor facilidad a nivel pulmonar y generar toxicidad en el organismo, permitiendo aumentar la morbi – mortalidad de la población (10). En Inglaterra se evidenció una asociación del riesgo entre la exposición a material particulado y el aumento de la morbi - mortalidad, así como los estudios realizados en EEUU, con un aumento del riesgo hasta de un 20% (11).

En la minería de carbón hay liberación de material particulado, generando contaminación del aire, lo cual no solo afecta la zona donde está ubicada la mina, sino el entorno. Un ejemplo de esto es lo que sucede en el terreno de Appalachia, en el estado de Virginia en EEUU, en donde se presenta contaminación ambiental, principalmente durante la movilización del material, por medio de vías férreas y por el tránsito de vehículos pesados, tipo camión, los cuales no comprometen únicamente la zona minera, sino que llegan a afectar zonas pobladas en donde se ven afectaciones en la salud, generando una problemática, ya que en estas zonas no se puede obtener una adecuada correlación entre la medición ambiental y las zonas contaminadas por la movilización de materiales (12).

Un estudio elaborado en EEUU, realizó la asociación entre mortalidad y morbilidad asociada al material particulado entre los años 2000 y 2005, con datos de mediciones ambientales hechas por la EPA, específicamente de $PM_{2.5}$, en donde se genera una visión de la muerte no accidental en 72 comunidades urbanas, con una mortalidad aumentada, estimada en un 0,74% (IC 95%: 0.41, 1.07) (13).

En Colombia, el problema de la exposición a material particulado, se correlacionó con la polución del aire, que conlleva a generar alteraciones en la salud de los trabajadores y las poblaciones expuestas, lo cual incrementa los costos para la atención en la salud, que puede llegar al 1% del producto interno, entre lo cual se encuentra que el 65%, está asociado a mortalidad y un 35% a la morbilidad. Específicamente en Bogotá, circulan más de 1,2 millones de vehículos, con lo cual se puede considerar que gran parte de las emisiones atmosféricas de material particulado son generadas por combustión (70%). Un estudio realizado en policías en Bogotá - Colombia, en 2013, el cual buscaba cuantificar la exposición a partículas de menos de 0,010 mg y correlacionarlo con la aparición de síntomas respiratorios, se encontró una correlación entre la exposición y la producción de enfermedades respiratorias (14). Sin embargo, en este estudio, se presentaron limitaciones dado la medición realizada, en donde se tomaron medidas promedios de PM_{10} de 0,0632 mg/m³, con variaciones en la concentración hasta de 0,179 mg/m³, valores que pueden verse afectados según las variaciones meteorológicas, alterando la relación que se puede presentar entre la polución del aire y la mortalidad (15).

Así mismo, un estudio realizado en el 2012, en la zona norte de Colombia, se reporta que desde el 2006, se inició el

monitoreo de PM₁₀, por parte de las autoridades ambientales en las diferentes zonas mineras, lo cual le ha permitido al estado realizar una vigilancia para determinar la calidad del aire en diferentes regiones, y de esta manera lograr ejecutar modelajes relacionando la calidad del aire y la clasificación de la exposición, lo cual permite implementar procedimientos para mitigar el daño ambiental (16).

En el proceso de combustión de combustibles fósiles, se generan múltiples sustancias, las cuales contaminan no solo con dióxido y monóxido de carbono, sino con benzo(a)pireno, indeno y antraceno las cuales pueden generar un daño celular, y esto se pudo comprobar en un estudio en la ciudad de Pamplona – Colombia, realizado en el 2013, en donde se reportó 0,004 mg/m³ de PM_{2,5}, con presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos, sustancias que pueden desencadenar afectaciones en animales y seres humanos por sus efectos mutagénicos y carcinogénicos (17).

Un estudio sobre efectos genotóxicos llevado a cabo en Pamplona, Colombia, en el cual se usó el ensayo cometa para evaluar daños sobre el ADN y donde se realizaron mediciones ambientales de PM_{2,5}, reporto daño en el 92,5% de las células. Con concentraciones de material particulado de 0,1 mg/m³, el 85% de las células presentó un daño tipo 2 y con concentraciones de 0,15 mg/m³ el 52% tuvo daño alto, 25% con daño medio y 18% con daño bajo, con lo cual se demostró la correlación entre las exposición a material particulado y la presencia de daño a nivel del ADN de linfocitos humanos (18).

Metodología:

Se llevó a cabo un estudio de corte transversal en el que se incluyeron 1108 mediciones ambientales realizadas en 275 empresas de diferentes sectores económicos, a los cuales se le realizó el

control de calidad excluyendo 15 registros por información faltante o datos que no se lograron verificar, para un total de 1093 registros.

La medición fue dirigida en 3 focos: la actividad laboral, el área de producción y la fuente de producción del material.

Los valores límites permisibles empleados para la Conferencia Americana Gubernamental de Higienistas Industriales (ACGIH) fueron de 10 mg/m³ (8) y para la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) de 0,035 mg/m³ (7).

La variable dependiente empleada en este estudio, fue la concentración de material particulado medida a través de técnicas de muestreo estandarizadas, de acuerdo a los protocolos empleados por la ARL; las independientes fueron la descripción del área (zona abierta o cerrada), el horario laboral en horas, oficio (operario, técnico o profesional), tiempo de exposición en horas, la fuente generadora (proceso industrial específico), contaminante que involucra partículas no fraccionadas, material particulado (madera, carbón, algodón, polvo, granos, celulosa y cemento, cenizas y talco). También se incluyeron el lugar de medición (el medio, la dosimetría al oficio y a la fuente), la fuente generadora y la actividad económica de la empresa.

Análisis estadístico

La descripción de las variables cualitativas se realizó mediante porcentajes y frecuencias absolutas, para la medición de las variables cuantitativas se utilizaron medidas de tendencia central y de dispersión. Para evaluar las relaciones entre las características ocupaciones y los niveles límites permisibles dados por la ACGIH y la EPA, se utilizó la prueba de independencia Chi² de Pearson o el test exacto de verosimilitud (valores esperados menores de 5).

Se evaluó la normalidad de los tiempos de medición, el tiempo diario de exposición, la jornada laboral diaria y el porcentaje medido del tiempo de exposición por medio de Shapiro - Wilk y Kolmogorov – Smirnov. Se evaluaron las diferencias de las distribuciones de los tiempos de exposición y el porcentaje de exposición entre los grupos con y sin riesgo (los que sobrepasaban o no los límites permisibles), con la prueba asintótica no paramétrica de Mann Whitney.

Este estudio según la resolución 8430 de 1993, se clasificó como una investigación sin riesgo, por ser una investigación documental.

Resultados:

Características ocupacionales

Se realizó la medición ambiental de material particulado en 275 empresas asociadas a una ARL en Colombia, con 1093 mediciones en total. Las actividades económicas de las empresas incluidas fueron la industria química con un 31%,

seguido por alimentos bebidas y víveres con 18,7%, actividades no definidas con 16,4%, arquitectura y construcción con 10,5%, metalmecánica con 7%, servicios públicos con 5,2%, administrativas con 3,2%, salud con 2,5%, transporte con 2%, educación formal y no formal con 1,5%, suelos, bosques y agrícolas con 1,2% y comercio con 0,9%.

Con relación a la cantidad de mediciones realizadas de material particulado según las regiones, se encontró que 2 de cada 3 datos fueron realizadas en la región andina siendo los principales departamentos donde se llevaron a cabo Antioquia, Guajira, Valle, Casanare y Putumayo (tabla 1).

Respecto a los contaminantes químicos se encontró que el 70,9% correspondieron a partículas no fraccionadas de las muestras, seguido por material particulado en general con 10,5%, madera con 7,6%, carbón con 4%, algodón y polvo con 2,2%, granos con 2,0%, celulosa con 0,6% y cemento, cenizas y talco con 0,3%.

Región	Departamento	No.	%
Andina 65,9%	Antioquia	220	20,1
	Bogotá	195	17,8
	Boyacá	27	2,5
	Caldas	24	2,2
	Cauca	18	1,6
	Cundinamarca	86	7,9
	Huila	56	5,1
	Norte de Santander	11	1,0
	Quindío	4	0,4
	Risaralda	9	0,8
	Santander	56	5,1
	Tolima	15	1,4
Llanos orientales	Arauca	8	0,7

5,7%	Casanare	34	3,1
	Meta	21	1,9
Pacífica 12,2%	Choco	13	1,2
	Nariño	21	1,9
	Valle	99	9,1
Caribe 15,2%	Atlántico	17	1,6
	Bolívar	6	0,5
	Cesar	16	1,5
	Córdoba	14	1,3
	Guajira	90	8,1
	Magdalena	14	1,3
	Sucre	10	0,9
Amazonas 0,9%	Putumayo	10	0,9
Total		1094	99,9

Tabla #1: Distribución geográfica por departamentos y regiones de las mediciones ambientales realizadas del 2011 - 2014

Al estudiar las fuentes generadoras de material particulado, el 25,4% correspondió a áreas sin especificar, 8,7% a transporte, 5,5% pulido, 4,6% descarga, 4,3% carga, 3,4% vaciado y otras fuentes el 45,1%.

número de horas laboradas, se encontró que la jornada entre 6-8 horas diarias se presentaba con mayor frecuencia. Del mismo modo, se evidenció que el tiempo diario de exposición fue de 6 a 9 horas, siendo el personal operativo el principal expuesto (tabla 2).

Se realizó agrupación de los resultados obtenidos por rangos, para la variable

Descripción del área	Variables	No.	%
	Cerrado	410	38,7
	Otros	349	32,9
	Abierto	301	28,4
Nombre del proceso	Administrativo	75	7,1
	Operativo	981	92,9
Nombre del oficio	Operario	772	72,5
	Técnico	254	23,8
	Profesional	39	3,7

Jornada laboral (hrs)	6 – 9	957	87,8
	8,5 – 10	73	6,7
	10,5 – 12	60	5,5
Tiempo diario de exposición (hrs)	0,5 – 5	45	4,3
	6 – 9	962	88,3
	9,3 – 12	83	7,6
Tiempo de medición (hrs)	0,08 - 4,13	413	38,9
	4,18 - 6,35	433	40,7
	6,4 – 12	229	21,6
Tipo de medición	Medio	34	3,2
	Dosimetría al oficio	1020	95,8
	Fuente	11	1,0
Descripción de la fuente	Abierto	52	5,3
	Cerrado	12	1,2
	Transporte	77	7,9
	Mixto	837	85,6

Tabla #2: Datos laborales de las empresas donde se realizaron las mediciones

Riesgo ocupacional

Respecto a las concentraciones corregidas de material particulado se encontró un promedio de $1,72 \text{ mg/m}^3 \pm 3,613$, con una mediana de $0,480 \text{ mg/m}^3$, con un mínimo de 0,0 y un máximo de $39,1 \text{ mg/m}^3$ con un percentil 75 de $1,58 \text{ mg/m}^3$. En este se evidenció una alta heterogeneidad con un coeficiente de variación de 210,05%.

Según la concentración de la ACGIH de las 1093 mediciones, el 2,9% (32) sobrepasaron los valores límites permisibles y con los valores de referencia de la EPA el 92,5% (1011) sobrepasó dichos niveles.

Relación de variables con la concentración de material particulado

Al realizar la relación entre algunas variables y el riesgo que se presenta según las clasificaciones de la EPA, se encontró que existe una asociación significativa con el nombre del proceso, nombre del oficio y tipo de medición, y al realizar esta misma relación según el valor de riesgo dado por la ACGIH, se encuentra que únicamente se presenta una asociación estadísticamente significativa con el tipo de medición realizada. (tabla 3).

Riesgo EPA			
	Con	Sin	p

Nombre del proceso	Operativo	93,3	6,7	0,002
	Administrativo	83,2	16,8	
Nombre del oficio	Operario	93,3	6,7	0,05
	Técnico	91,3	8,7	
	Profesional	84,6	15,4	
Tipo de medición	Oficio	100	0	0,025
	Fuente	92,7	7,3	
	Medio	82,4	17,6	
% tiempo de medición	Mediana	0,71	0,568	0,012
Tiempo de medición	Mediana (hrs)	5,3	4,4	0,002
Riesgo ACGIH				
Tiempo de exposición	Mediana (hrs)	8	7	0,008

Tabla #3: Relación según riesgo por concentración evidenciada

Discusión

El material particulado es una problemática que se origina tanto a nivel laboral como ambiental, y la detección de niveles elevados, requiere de procesos de mitigación y/o control, según sea requerido.

Kurth LM, et al, evidenció diferencias estadísticamente significativas respecto a efectos en la salud entre poblaciones expuestas y no expuestas, siendo estos más representativas frente a algunas variaciones climáticas ($p=0.0018$) (19).

En el estudio llevado a cabo por Quijano Parra, et al, se compararon las medias de las mediciones ambientales de hidrocarburos aromáticos policíclicos, encontrando que en la mayoría de empresas donde se realizaron presentaron un valor de $PM_{2.5}$ de 0,0042 mg/m^3 (17), con el cual se encuentran sin

riesgo tanto para la EPA como para la ACGIH. Estos valores son más bajos con respecto a nuestro estudio.

Blanco-Becerra et al, en su estudio realizado en Bogotá, encontraron valores promedio ambientales de PM_{10} de 0,063 mg/m^3 , siendo valor de riesgo para la EPA pero sin riesgo para la ACGIH (15). Estos valores se encuentran aproximados a la mediana reportada en nuestro estudio.

Las altas exposiciones a material particulado ponen en riesgo la salud de la población y de los trabajadores, esto se pudo evidenciar en el estudio de Estévez-García, et al. realizado a la policía en Colombia, en donde se logró relacionar la exposición con la génesis de diferentes patologías de origen respiratorio (14).

Los sitios de construcción y minería son zonas de alta contaminación por material particulado; Hassan HA, et al, reportó mediciones que se encuentran entre 0,05 mg/m^3 a 0,6 mg/m^3 , y de $PM_{2.5}$ de 0,01 mg/m^3 a 0,2 mg/m^3 , en un sitio de construcción en la ciudad de Doha, Qatar (20). Estos resultados fueron valores similares a los resultados encontrados en nuestro estudio.

En el sector de la minería, Aneja VP, et al. evidenciaron valores promedio ajustados de 0,25 mg/m^3 en las mediciones ambientales en una mina en Appalachia, en Virginia, el cual es un valor cercano a la mediana encontrada en nuestro estudio (12).

Llama la atención la diferencia marcada entre los valores de referencia por la EPA como por la ACGIH, con el cual los valores cuantificados se ubican en criterio de riesgo una gran parte de los datos encontrados en nuestro estudio según los límites establecidos por la EPA, sin embargo, el valor dado por la ACGIH es el valor usado en nuestro país.

Es importante anotar que este estudio presenta limitaciones, dado que los valores evidenciados en la base de datos inicialmente no presentaban un fin investigativo, por lo cual se presenta en algunas variables pérdidas de datos, sin embargo, estos no llegaron a afectar de manera significativa los resultados, otra limitación está dada en la medición realizada ya que al ser mediciones tanto ambientales como del puesto de trabajo no se puede aseverar la exposición directa al trabajador por lo cual se debe manejar cuidadosamente la información.

Este estudio de cuantificación de material particulado en empresas de diferentes sectores y regiones del país, ha evidenciado niveles muy similares a los estudios en ambientes laborales, pero en estos, sobrepasan los valores respecto a límites ambientales emitidos por la EPA, por lo que se requiere realizar un seguimiento directo a las empresas, y a sus trabajadores para definir si se han desarrollado patologías de origen laboral.

Según el presente estudio se reconoce que existe un riesgo ambiental dado por la exposición a material particulado, por tal causa, se requiere estar fomentando el desarrollo de los sistemas de gestión en seguridad y salud en el trabajo, en especial el uso y adecuada elección de los elementos de protección personal que deben ser suministrados en todo tipo de empresa.

Finalmente, se debe hacer un control estricto por los entes gubernamentales con el fin de controlar cada vez más la subcontratación y aparición de empresas informales, ya que estas en su mayoría, no tienen adecuados procesos de control para mitigación y vigilancia de efectos sobre la salud.

Agradecimientos

A Dios, a la ARL quien suministro los datos para poder realizar este estudio, así

mismo, a la Universidad El Rosario por la oportunidad de crecimiento personal y profesional, tutores, docentes y compañeros de la maestría que favorecieron a la construcción de este proyecto, a mis padres, hermano y esposa.

Referencias

1. Anderson JO, Thundiyil JG, Stolbach A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *Journal of Medical Toxicology*. 2012;8(2):166-75.
2. Fang G-C, Chang C-N, Chu C-C, Wu Y-S, Fu PP-C, Yang I-L, et al. Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM 2.5 and PM 2.5-10 aerosols at a farm sampling site in Taiwan, Taichung. *Science of the Total Environment*. 2003;308(1):157-66.
3. **MINISTERIO DE AMBIENTE VYDT. RESOLUCIÓN NÚMERO (610).** 2010.
4. Patra A, Gautam S, Kumar P. Emissions and human health impact of particulate matter from opencast mining operation-A review. *Environmental Technology and Innovation*. 2016.
5. Funk PA. The environmental cost of reducing agricultural fine particulate matter emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2010;60(6):681-7.
6. ACGIH. TLV ® Chemical Substances Introduction [Available from: <http://www.acgih.org/tlv-bei-guidelines/tlv-chemical-substances-introduction>].
7. Agency USEP. Draft Integrated Review Plan for the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. Research Triangle Park, North Carolina 27711: National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development and Office of Air Quality Planning and Standards Office of Air and Radiation.; April 2016.
8. Administration OSaH. Particulates Not Otherwise Regulated (Total Dust) [Available from:

https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_259640.html.

9. Csavina J, Field J, Taylor MP, Gao S, Landázuri A, Betterton EA, et al. A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. *Science of the Total Environment*. 2012;433:58-73.
10. Chen R, Hu B, Liu Y, Xu J, Yang G, Xu D, et al. Beyond PM 2.5: The role of ultrafine particles on adverse health effects of air pollution. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*. 2016.
11. Traviss N, Thelen BA, Ingalls JK, Treadwell MD. Evaluation of biodiesel's impact on real-world occupational and environmental particulate matter exposures at a municipal facility in Keene, NH. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2012;5(1):101-14.
12. Aneja VP, Isherwood A, Morgan P. Characterization of particulate matter (PM 10) related to surface coal mining operations in Appalachia. *Atmospheric environment*. 2012;54:496-501.
13. Krall JR, Anderson GB, Dominici F, Bell ML, Peng RD. Short-term exposure to particulate matter constituents and mortality in a national study of US urban communities. 2013.
14. Estévez-García JA, Rojas-Roa NY, Rodríguez-Pulido AI. Occupational exposure to air pollutants: particulate matter and respiratory symptoms affecting traffic-police in Bogotá. *Revista de Salud Pública*. 2013;15(6):870-85.
15. Blanco-Becerra LC, Miranda-Soberanis V, Hernández-Cadena L, Barraza-Villarreal A, Junger W, Hurtado-Díaz M, et al. Effect of particulate matter less than 10µm (PM10) on mortality in Bogota, Colombia: a time-series analysis, 1998-2006. *salud pública de méxico*. 2014;56(4):363-70.
16. Huertas JI, Huertas ME, Izquierdo S, González ED. Air quality impact assessment of multiple open pit coal mines in northern Colombia. *Journal of environmental management*. 2012;93(1):121-9.
17. Quijano Parra A, Quijano Vargas MJ, Meléndez Gélvez I. CUANTIFICACIÓN DE LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAP) EN EL MATERIAL PARTICULADO PM2.5 DE UNA ZONA RESIDENCIAL DE PAMPLONA, COLOMBIA. *Luna Azul*. 2015(40):85-101.
18. Melendez I, Quijano A, Martínez M. Actividad mutagénica y genotóxica en el material particulado fracción respirable PM2.5 en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *IATREIA*. 2012;25(4):347-56.
19. Kurth LM, McCawley M, Hendryx M, Lusk S. Atmospheric particulate matter size distribution and concentration in West Virginia coal mining and non-mining areas. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2014;24(4):405-11.
20. Hassan HA, Kumar P, Kakosimos KE. Flux estimation of fugitive particulate matter emissions from loose Calcsols at construction sites. *Atmospheric Environment*. 2016;141:96-105.