

La contaminación del aire por el material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco (2010 y 2016)

EDER GUIDO ROBLES MORALES¹
ANA MARÍA MEDINA ESCUDERO²
CARMEN SOFÍA MEDINA ESCUDERO³

RECIBIDO: 25/12/2018 ACEPTADO: 25/04/2019

RESUMEN

A partir del siglo XVII, se descubrieron yacimientos mineros de plomo, cobre, zinc y plata en Cerro de Pasco, Perú, lo cual dio inicio a un proceso de explotación minera en aquella zona. Desde ese momento, la población aledaña a las actividades mineras empezó a sufrir principalmente enfermedades respiratorias agudas. Esta investigación tiene como objetivo determinar la relación entre el material particulado menor a 10 micras, producido en la actividad minera, y las infecciones respiratorias agudas que afectaron a los habitantes de Cerro de Pasco, en 2010 y 2016. Para ello se consideraron los resultados realizados en cuatro estaciones de monitoreo del material particulado, el número de atenciones hospitalarias y el clima seco. Además, la investigación es no experimental y correlacional, se consideró una muestra de 10 029 atenciones hospitalarias de pacientes menores o iguales de 5 años y adultos mayores de 50 años. Para 2010, existió un coeficiente de correlación 0,36, $p=0,0415$; y para 2016, un coeficiente de correlación 0,60, $p=0,00$ de confianza al 95%. Finalmente, el resultado demostró que existe una relación significativa entre el material particulado menor a 10 micras producido por las fuentes de contaminación y las enfermedades de tipo infecto respiratorias agudas.

Palabras-claves: Contaminación atmosférica; enfermedades respiratorias; material particulado; minería; salud ocupacional; tajo abierto.

INTRODUCCIÓN

Según la Dirección General de Salud Ambiental (2005), las partículas totales en suspensión vertidas a la atmósfera de Cerro de Pasco fueron estimadas en 3737 Tm/año, de las cuales el 99,8% era vertido por la actividad minera, mientras que el 56% de estas emisiones estaba constituido por material particulado menor a 10 micrómetros. Además, la composición de dichas partículas es esencialmente mineral, donde predomina el hierro, seguido del manganeso, el zinc, el plomo y el cobre. El material particulado fue generado por las fuentes de contaminación puntual, constituida por el tajo abierto Raúl Rojas, el cual trabaja con el método de explotación de cielo abierto, los depósitos de desmonte mineral y el depósito de relaves como pasivo ambiental.

La población de Cerro de Pasco es de 56 986 habitantes, según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017), y está expuesta constantemente al material particulado, lo que repercute en su salud. Un análisis de la Organización Mundial de la Salud (2005), respecto a la asociación de las PM_{10} y las enfermedades que afectan el sistema respiratorio, demuestra la relación entre la exposición prolongada al material particulado y sus efectos a nivel pulmonar. Asimismo, se evidenciaron altas tasas de enfermedades ocupacionales en Pasco y otras regiones donde priman (en un 49,2%) actividades relacionadas con la explotación minera y de canteras (Hernández-Vásquez, Díaz-Seijas, Vilcarromero y Santero, 2016).

Las enfermedades que afectan al sistema respiratorio relacionadas con las PM_{10} perjudican a niños y adultos mayores, en ellos se presentan infecciones crónicas y agudas que dañan las vías respiratorias bajas y altas, llevándolos a la muerte (Gavidia, Pronczuk y Sly, 2009). El principal vínculo que hay entre el área del centro de trabajo y el medio ambiente general es la fuente de contaminación, por lo tanto, la salud ocupacional y ambiental están íntimamente ligadas por métodos comunes, como la evalua-

- 1 Docente de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.
E-mail: eroblesm@undac.edu.pe
- 2 Docente de la Facultad de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Egresada de la maestría en Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
E-mail: amedinae@unmsm.edu.pe
- 3 Docente de la Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.
E-mail: cmedinae@cientifica.edu.pe

ción de la salud y el control de la exposición (Yassi y Kjellström, 2009). Las fuentes de contaminación en épocas de clima seco generaron mayor difusión del material particulado y como consecuencia se incrementó la cantidad de atenciones hospitalarias por infecciones respiratorias agudas.

Pese a los esfuerzos de la empresa minera para controlar la contaminación, estos no han sido suficientes, por lo que es necesario implementar programas preventivos y de control de infecciones. En tal sentido, es importante determinar la relación significativa que existe entre las enfermedades respiratorias contraídas por niños menores o iguales a 5 años y adultos mayores de 50 años, y las partículas dispersas (PM₁₀) producidas principalmente por la actividad minera.

En efecto, el tema de la investigación es trascendente, ya que contribuye a comprender el comportamiento de las enfermedades que afectan al sistema respiratorio en la cuenca atmosférica de Cerro de Pasco, donde se aprecia una tendencia al incremento de atenciones hospitalarias por infecciones agudas de ese tipo, principalmente durante el clima seco. Este es uno de los pocos casos donde la minería convive con la población, por ello, se plantea establecer lineamientos de escenarios, como zonas mineras con población, divididas por climas, a fin de modificar la normativa de los indicadores de calidad ambiental sobre el aire relacionado al parámetro material particulado (PM₁₀).

METODOLOGÍA

Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo correlacional y se ha aplicado un diseño de tipo no experimental transversal.

Población de estudio

Es el número de atenciones hospitalarias por enfermedades respiratorias en niños con edad igual o inferior a 5 años y adultos mayores a 50 años, residentes de la ciudad de Cerro de Pasco.

Selección de la muestra

Es un muestreo no probabilístico discrecional, pues los individuos fueron escogidos según los criterios de los investigadores y se seleccionaron a dos grupos etarios.

Tamaño de la muestra

La muestra fue de 10 029, la cual se determinó teniendo en cuenta el número de atenciones hospitalarias ocurridas en 2010 y 2016.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se usó la técnica de observación con un instrumento guía del mismo corte para identificar las fuentes de contaminación y determinar el impacto ambiental del polvo particulado que se vierte a la atmósfera. El análisis de contenido se hizo a través del cuadro de registro, el cual comprendió los resultados mediante la cantidad de atenciones hospitalarias por enfermedades respiratorias registradas en los nosocomios.

Análisis e interpretación de la información

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa Excel y el SPSS Statistics 21. Además, con el fin de determinar la relación, se empleó el coeficiente de correlación de Spearman. Luego, se confrontaron las hipótesis mediante la prueba de contraste t de Student, con n -2 grados de libertad, para demostrar las relaciones entre la contaminación del aire por material particulado y las enfermedades de tipo respiratorio en la urbe de Cerro de Pasco. Se consideró un intervalo de confianza de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 permite identificar los resultados de las correlaciones entre el material particulado y las enfermedades de tipo respiratorio agudas, en 2010 y 2016, en ambos grupos etarios. Para 2010, existe un coeficiente de correlación 0,36, p=0,041<0,05; y para 2016, un coeficiente de 0,60, p=0,000<0,05. Este resultado demuestra que hay una relación

Tabla 1. Correlación de Spearman entre el material particulado y las infecciones respiratorias agudas, en 2010 y 2016.

		Infecciones respiratorias agudas (IRA)	
		2010	2016
Material particulado (PM ₁₀)	Coefficiente de correlación	0,357*	0,593**
	Sig. (bilateral)	0,041	0,000
	N	33	33

Nota: *p-valor<0,05, "significativo".
Fuente: Elaboración propia.

significativa entre el material particulado (PM₁₀), producido por las fuentes de contaminación, y las infecciones respiratorias agudas (IRA), al 95% de confianza. En ese sentido, los resultados son similares a lo reportado por Gavidia, Pronczuk y Sly (2009), quienes señalan que las enfermedades de este tipo están relacionadas con las PM₁₀ y afectan tanto a niños como a adultos mayores, pues en ellos se presentan infecciones agudas y crónicas que afectan tanto las vías respiratorias altas y bajas, y que pueden ocasionar su muerte.

La Tabla 2 evidencia los resultados de las correlaciones globalizadas de 2010 y 2016, según el clima seco y lluvioso para ambos grupos etarios. Del análisis de la tabla, en clima seco, se aprecia una relación significativa, siendo $p=0,016 < p=0,05$ y un coeficiente de correlación positiva moderada ($r=0,40$), al 95% de confianza. Los resultados encontrados guardan relación con lo que sostienen Venegas y Mazzeo (2005), quienes establecen que la contaminación del aire está influenciada por la variación de la dirección del viento: si la dirección del viento es permanente, la zona será propensa a valores relativamente altos de contaminación y, por lo tanto, se generan enfermedades respiratorias.

El estudio considera a los adultos mayores a 50 años que laboraron en la empresa minera, lo cual guarda relación con lo afirmado por Yassi y Kjellström (2009), quienes manifiestan que el principal vínculo que hay entre la zona de trabajo y el medio ambiente es la fuente de contaminación. Por ello,

la salud ocupacional y la salud ambiental están ligadas por metodologías comunes, como la evaluación de la salud y el control de la exposición.

Tabla 2. Correlación de Spearman entre el material particulado y las infecciones respiratorias agudas según clima, en 2010 y 2016.

		Clima	PM
IRA	Lluvioso	Coeficiente de correlación	0,311
		Sig. (bilateral)	0,095
		N	30
	Seco	Coeficiente de correlación	0,397*
		Sig. (bilateral)	0,016
		N	36

Nota: *p-valor<0,05, "significativo".

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1, se aprecia que existe un promedio de 230,39 casos de niños, de edad menor o igual a 5 años, con infecciones respiratorias agudas en 2010; en contraste, en 2016, hay un valor promedio de 194,97 casos. Asimismo, se observa un valor promedio de 36,83 casos en adultos mayores de 50 años, en 2010; frente a 42,06 casos, en 2016. Por otro lado, se encontró un valor promedio de 72,15 de material particulado (PM₁₀), en 2010; en comparación con un valor promedio de 38,96, en 2016.

La cantidad de concentración promedio anual de las partículas dispersas (PM₁₀), en 2010, era 72,15 µg/m³, superando los valores de 50 µg/m³, esta-

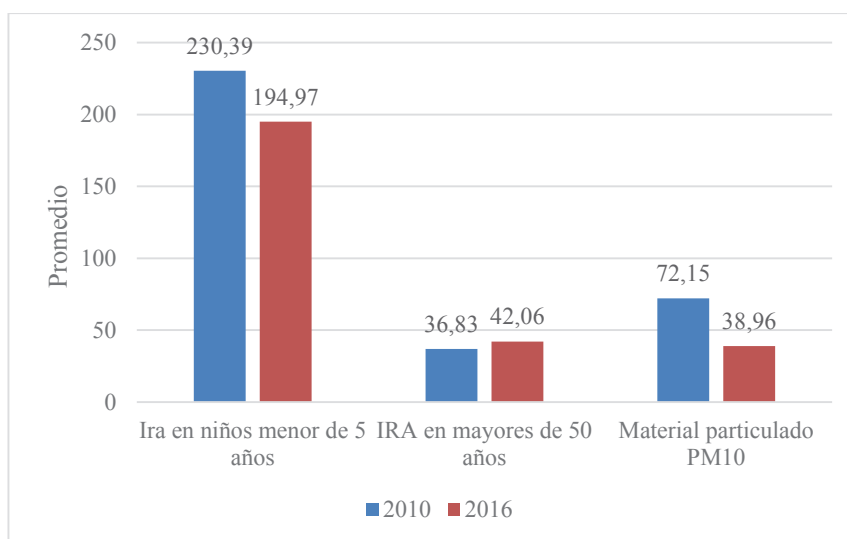


Figura 1. Infecciones respiratorias agudas y material particulado PM₁₀, según 2010 y 2016.

Fuente: Elaboración propia.

blecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Aire (García y Brack, 22 de agosto de 2008), esto indica la existencia de contaminación en la cuenca atmosférica de Cerro de Pasco. De la misma manera, se aprecian niveles de concentración promedio anual de partículas (PM₁₀), para 2016, de 38,96 µg/m³, valores que, de acuerdo con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, son aceptables; pero que según las *Guías de calidad de aire* de la Organización Mundial de la Salud (2005) deberían de ser 20 µg/m³ por año, es decir, los valores siguen siendo elevados y, conforme a los estudios realizados, existen consecuencias perjudiciales en la salud de la población. Así, esta evidencia en la disminución de los valores de concentración promedio anual del material particulado (PM₁₀), en 2016 con respecto a 2010, se debe principalmente a que la empresa, a partir de 2011 hasta la actualidad, dejó de explotar el tajo abierto Raúl Rojas. Según Dockery, Pope, Xu, Spengler, Ware, Fay, Ferris y Speizer (1993), la polución en ciudades tiene índices de partículas totales de 34,1 a 81,9 mg/m³, material particulado (PM₁₀) de 18,2 a 46,5 mg/m³ y partículas contaminantes finas de PM_{2,5} de 11 a 29,6 mg/m³, los cuales se asociaron con defunciones por cáncer de pulmón y diferentes enfermedades cardiopulmonares. Estos resultados guardan relación con los datos encontrados en el estudio.

En la Figura 2, se observa que existe un promedio de 259,06 casos de niños, de edad menor o igual a 5 años, con infecciones respiratorias agudas,

en 2010; en contraste con un valor promedio de 210,67 casos, en 2016. Existe un valor promedio de 39,72 casos en adultos mayores de 50 años, en 2010; frente a 43,11 casos, en 2016. Por otro lado, se encontró un valor promedio de 91,36 de material particulado (PM₁₀), en 2010; en comparación con un valor promedio de 43,15, en 2016.

A partir de ello, se verifica que la concentración de las PM₁₀ es más alta en julio, agosto e incluso septiembre, meses que están comprendidos dentro de la estación seca, es decir, cuando la velocidad del viento se incrementa. Esta rapidez hace propicia la dispersión de material particulado, por lo que empieza a levantarse del suelo y, como consecuencia, es inhalado por la urbe de la cuenca atmosférica de Cerro de Pasco. Asimismo, la dirección del viento en promedio es constante y proviene del noreste, haciendo que la cuenca esté expuesta a niveles considerables de las PM₁₀. Estos resultados guardan relación con la investigación de Aldunate, Paz y Halvorsen (2006), en la cual se demostró que

[...] las concentraciones de PM₁₀ en la localidad de La Paz no exceden los límites máximos permisibles, no obstante se reconocieron efectos característicos sobre la salud de la ciudad, con aumentos de 23% en el número de casos de infecciones de las vías respiratorias inferiores y de 46% en el número de casos de infecciones de las vías respiratorias principales [...] (Reupo, 2018, p. 19).

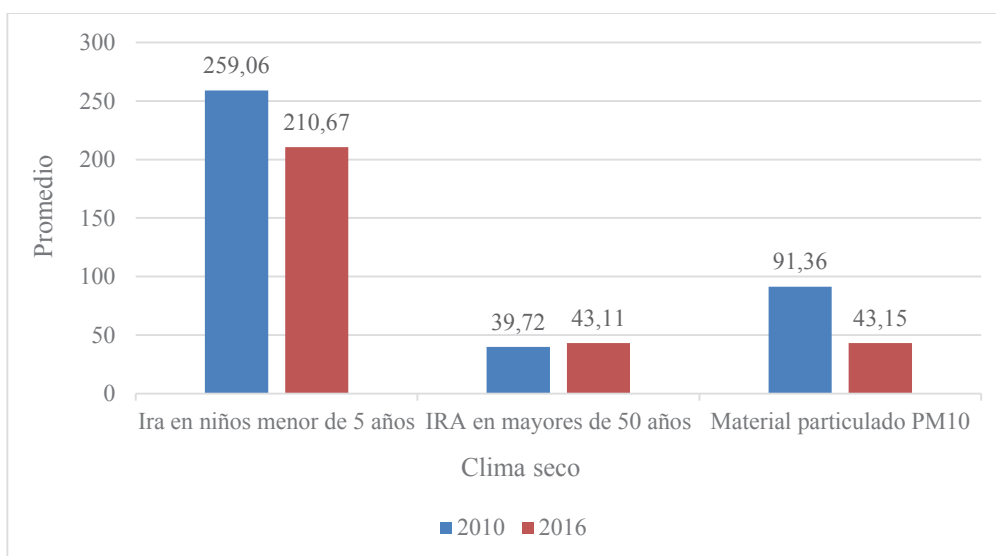


Figura 2. Infecciones respiratorias agudas y el material particulado PM₁₀ en clima seco, según 2010 y 2016.

Fuente: Elaboración propia.

En 2016, no se excedieron los límites máximos permisibles, según lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para Aire (García y Brack, 22 de agosto de 2008); no obstante, en balance con las recomendaciones de la *Guías de la Organización Mundial de la Salud*, se superaron altamente los límites. Además, es importante indicar que la ciudad de La Paz, en Bolivia, y la de Cerro de Pasco se encuentran a alturas similares sobre el nivel del mar.

A partir de los resultados encontrados, se acepta la hipótesis alternativa general que establece que existe relación significativa entre el material particulado (PM_{10}), producido por el tajo de la mina, y las demás fuentes de contaminación identificadas con las infecciones respiratorias agudas que afectaron a la población de Cerro de Pasco, en 2010 y 2016. Asimismo, lo anterior permite determinar que la exposición a contaminantes atmosféricos, como las PM_{10} , durante el clima seco, influye en el número de atenciones hospitalarias por infecciones respiratorias en los grupos etarios de 0 a 5 años y mayores de 50 años, en la cuenca atmosférica de Cerro de Pasco. Es importante destacar que en la población mayor a 50 años se han reportado pacientes trabajadores de la empresa minera, lo cual ratifica que contrajeron enfermedades ocupacionales.

Desde otro punto de vista, se puede aludir a México como el país que diferencia las medidas de concentraciones permisibles para emisiones de partículas sólidas según las zonas de aplicación, las cuales se dividen en zonas críticas y el resto del país (Arriola, 20 de agosto de 2014). Se hace imprescindible limitar las emisiones por sectores, como sucede en Canadá, donde la emisión de contaminantes está regulada por cada provincia, indicando los niveles máximos permisibles de acuerdo a la *Priority Substances List Assessment Report* (Environment Canada y Health Canada, 2000). A su vez, la Unión Europea estableció la necesidad de reducir los niveles de contaminación, limitando al mínimo los efectos perjudiciales para la salud humana y prestando atención a personas más vulnerables, como son los niños menores de 5 años y los adultos mayores. La directiva de la Unión Europea 2008/50/CE tiene como objetivo la reducción de contaminantes a mediano y largo plazo, estableciendo para ello el estándar anual de calidad para material particulado (PM_{10}) de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Parlamento Europeo, 11 de junio de 2008).

En el presente estudio se demostró que la presencia de material particulado en la atmósfera de Cerro de Pasco, a nivel anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, expone la existencia de contaminación. Por eso, es necesario aplicar políticas para hacer frente a ello, fijando lími-

tes legalmente que mejoren la calidad de aire respirable. El Instituto Nacional de Salud Pública (2017) realizó una evaluación de impacto en salud en la Zona Metropolitana del valle de México, indicando que disminuir el valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentración anual de las PM_{10} a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ evitaría 1038 muertes por año, con un intervalo de confianza 95%; mientras que con una disminución de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se evitarían hasta 2306 fallecimientos, con un intervalo de confianza 95%. Por ello, es preciso modificar los estándares nacionales de calidad ambiental del aire referidos al parámetro de material particulado (PM_{10}) para la ciudad de Cerro de Pasco, de acuerdo a las *Guías de la Organización Mundial de la Salud*. El escenario de convivencia entre minería y población es único, por lo que se propone pasar de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentración anual de las PM_{10} a un límite máximo permisible de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentración anual para el material particulado (PM_{10}).

Los depósitos de desmonte, las *stockpile*, deben trasladarse a lugares estratégicos, fuera del área de influencia de la fuente de emisión del material particulado, donde sean geotécnicamente estables, cumpliendo con todas las especificaciones técnicas y normas de seguridad. Asimismo, se debe de considerar la dirección predominante de los vientos, con el fin de poder reducir el impacto ambiental. La probabilidad de ocurrencia de adquirir y desarrollar infecciones respiratorias agudas en las zonas de las vías altas, delimitadas en un radio menor a 3 km desde las fuentes de contaminación, considera que por cada incremento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de las PM_{10} en las concentraciones ambientales se genera un aumento de posibilidad de 1,58% de presentarse un evento, consultas externas o urgencias, seis días después, en la población residente. Por otra parte, la probabilidad de ocurrencia en un radio mayor a 5 km disminuye a 0,47% (Arregoces, 2016). Se realizó la modelación matemática de la emisión de las PM_{10} , considerando la velocidad de sedimentación, donde el comportamiento de la dispersión y sedimentación es característico para cada categoría de estabilidad atmosférica, presentando niveles de dispersión de hasta 5 km, según expresa Pereira-Peláez (2018). Entonces, la distancia deberá ser razonable, así como la minimización de los costos de transporte de los desmontes; por lo que se propone una distancia de 5 km como máximo a partir de las fuentes de contaminación.

Por la creciente preocupación de las alteraciones en el índice de la calidad del aire en la urbe de Cerro de Pasco, futuros estudios deberán analizar la presencia de las $PM_{2,5}$ para conocer sus valores y consecuencias en poblaciones similares.

CONCLUSIONES

1. Existe una relación significativa entre el material particulado (PM_{10}), producido por el tajo abierto y las demás fuentes de contaminación, y las infecciones respiratorias agudas (IRA) que afectaron a la población en 2010 y 2016.
2. El aumento del material particulado (PM_{10}), generado por la actividad minera, incrementa el número de atenciones hospitalarias durante el clima seco, en los niños de edad menor o igual a 5 años y en los adultos mayores de 50 años.
3. Se plantea trasladar los depósitos de desmonte, las *stockpile*, como máximo a 5 km de la fuente de polución, con el fin de mitigar la contaminación ambiental por material particulado.
4. Se plantea establecer lineamientos de escenarios como zonas mineras con población, divididos en climas, a fin de modificar la normativa de los estándares de calidad ambiental sobre el aire relacionada al parámetro de material particulado (PM_{10}).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aldunate, P., Paz, O. y Halvorsen, K. (2006). Los efectos de la contaminación atmosférica por PM_{10} sobre la salud. Ciudad de La Paz-Bolivia (3650 m s. n. m.). *Acta Nova*, 3(2), 422-442.
- [2] Arregoces, H. A. (2016). *Análisis de la relación entre el PM_{10} y las infecciones respiratorias en el sector minero de la Baja Guajira colombiana*. (Tesis de maestría). Universidad de Antioquia, Medellín.
- [3] Arriola, M. A. (20 de agosto de 2014). Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores Límites Permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire ambiente y criterios para su evaluación. *Diario Oficial*. Recuperado de <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/normas/NOM-025-SSA1-2014.pdf>
- [4] Dirección General de Salud Ambiental (2005). *Inventario de emisiones de fuentes fijas. Cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco*. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/inventario_aire/fuentes_fijas/Informe%20Inventario%20Cerro%20de%20Pasco-Final.pdf
- [5] Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G. y Speizer, F. E. (1993). An Association between Air Pollution and Mortality in Six U. S. Cities. *The New England Journal of Medicine*, 329(24), 1753-1759.
- [6] Environment Canada y Health Canada (2000). *Priority Substances List Assessment Report: Respirable Particulate Matter Less Than or Equal to 10 Microns*. *Canadian Environmental Protection Act, 1999*. Recuperado de https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/psl2-lsp2/pm10/pm10-eng.pdf
- [7] García, A. y Brack, A. J. (22 de agosto de 2008). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire. Decreto Supremo N.º 003-2008-MINAM. *El Peruano*, pp. 378462-378464. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/DS-003-2008-MINAM.pdf
- [8] Gavidia, T., Pronczuk, J. y Sly, P. D. (2009). Impactos ambientales sobre la salud respiratoria de los niños. Carga global de las enfermedades respiratorias pediátricas ligada al ambiente. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 25(2), 99-108. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v25n2/art06.pdf>
- [9] Hernández-Vásquez, A., Díaz-Seijas, D., Vilcarromero, S. y Santero, M. (2016). Distribución espacial de los accidentes y enfermedades relacionados con el trabajo en el Perú, 2012-2014. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33(1), 106-112. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v33n1/a14v33n1.pdf>
- [10] Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Perú: Perfil Sociodemográfico. Informe Nacional. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf
- [11] Instituto Nacional de Salud Pública (2017). *Estimación de impactos en la salud por contaminación atmosférica en la región centro del país y alternativas de gestión. Documento final*. Recuperado de http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/52/738_2017_Estimacion_impactos_contaminacion_atmosferica_centropais.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [12] Organización Mundial de la Salud (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos*. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=A10FBC9F96C02A4DD6F6F7C6393DCD33?sequence=1
- [13] Parlamento Europeo (11 de junio de 2008). DIRECTIVA 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. *Diario Oficial de la Unión Europea*, pp. L 152/1-L 152/44. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2008/152/L00001-00044.pdf>
- [14] Pereira-Peláez, D. (2018). Simulación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera de una planta de generación de electricidad a biomasa. *Acta Nova*, 8(3), 376-396.
- [15] Reupo, G. M. (2018). *Influencia del PM₁₀ en la incidencia de enfermedades respiratorias en la población infantil menor de 5 años del distrito de Ate, Lima 2014-2015*. (Tesis de maestría). Universidad César Vallejo, Lima.
- [16] Venegas, L. E. y Mazzeo, N. A. (2005). Application at Atmospheric Dispersion Models to Evaluate Population Exposure to NO₂ Concentration in Buenos Aires. *International Journal of Environment and Pollution*, 25(1), 224-238.
- [17] Yassi, A. y Kjellström, T. (2009). Conexiones entre la salud ambiental y la salud en el trabajo. En J. M. Stellman (Dir.), *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (pp. 53.2-53.5). Madrid, España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Particulate matter air pollution and its relationship with respiratory type diseases in the population of Cerro de Pasco (2010 & 2016)

EDER GUIDO ROBLES MORALES¹
 ANA MARÍA MEDINA ESCUDERO²
 CARMEN SOFÍA MEDINA ESCUDERO³

RECEIVED: 25/12/2018 ACCEPTED: 25/04/2019

ABSTRACT

Beginning in the 17th century, mineral deposits of lead, copper, zinc and silver were discovered in Cerro de Pasco, Peru, which gave rise to a process of mining exploitation in that area. From that moment, the population in the vicinity of the mining activities began to principally suffer from acute respiratory infectious diseases. This study aims to determine the relationship between particulate matter smaller than 10 microns, generated during mining operations, and acute respiratory infections that affected the inhabitants of Cerro de Pasco in 2010 and 2016. To this end, the results from four particulate matter monitoring stations, the number of hospital admissions and the dry season were considered. This is a non-experimental and correlational study that considered a sample of 10 029 hospital admissions of patients aged five years old or younger and adults over 50 years old. Correlation coefficients of 0.36, $p=0.415$ and 0.60, $p=0.00$ with a 95% confidence interval were determined for the year 2010 and 2016, respectively. Finally, the result demonstrated that a significant relationship exists between particulate matter smaller than 10 microns produced by the sources of pollution and acute respiratory infectious diseases.

Keywords: Air pollution; respiratory diseases; particulate matter; mining; occupational health; open pit.

INTRODUCTION

According to the Dirección General de Salud Ambiental^{TN1} – DIGESA (2005), the estimated total of suspended particles released into the atmosphere of Cerro de Pasco was 3737 Mt/year, 99.8% of which was generated by mining activity and 56% of which was comprised of particles smaller than 10 microns. The composition of the particulate matter is essentially mineral matter, predominantly iron, followed by manganese, zinc, lead and copper. Particulate matter was generated by specific sources of pollution comprised of the Raúl Rojas Open Pit, which operates via open-pit mining, mine waste dumps and the tailings storage facility (environmental liability).

As per the census conducted by the National Institute of Statistics and Informatics (INEI in Spanish) in 2017, Cerro de Pasco has a population of 56 986 inhabitants, which is constantly exposed to particulate matter, which has repercussions on health. An analysis undertaken by the World Health Organization (2005), regarding the association of PM₁₀ with diseases affecting the respiratory system, showed the relationship between prolonged exposure to particulate matter and lung problems. Furthermore, high rates of occupational diseases were observed in Pasco and other regions where predominant activities (49.2%) are related to mining and quarrying (Hernández-Vásquez, Díaz-Seijas, Vilcarromero & Santero, 2016).

Respiratory system diseases related to PM₁₀ harm children and the elderly, who experience acute and chronic infections that damage the upper and lower respiratory tracts, resulting in death (Gavidia, Pronczuk & Sly, 2009). The main link between the workplace and the general environment is the source of pollution, thus, occupational and environmental health are closely linked by common methodologies, for instance, health assessment and exposure control (Yassi & Kjellström, 2009). Contamination sources during dry seasons generated greater particulate

-
- 1 Professor at the School of Health Sciences of the Universidad Científica del Sur. Lima, Peru.
E-mail: eroblesm@undac.edu.pe
 - 2 Professor at the School of Engineering Geology of the Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Holds a Masters of Industrial Engineering from the Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Peru.
E-mail: amedinae@unmsm.edu.pe
 - 3 Professor at the Universidad Científica del Sur. Lima, Peru.
E-mail: cmedinae@cientifica.edu.pe

TN1: National regulatory authority that executes actions aimed at the protection of public health.

matter dissemination and, as a consequence, the number of hospital admissions for acute respiratory infections increased.

Despite the mining company’s efforts to control pollution, these efforts have not been sufficient. Therefore, it is necessary to implement preventive and infection control programs. In this regard, it is important to determine the significant relationship between respiratory diseases contracted by children aged five or younger and adults over 50 years old, and particulate matter (PM₁₀) produced mainly by mining activity.

The purpose of the study is indeed relevant, as it contributes to the understanding of the behavior of the diseases that affect the respiratory system in the Cerro de Pasco airshed, where an upward trend in hospital admissions for acute respiratory diseases is observed, primarily during the dry season. As this is one of the few cases where mining coexists with the population, the establishment of scenario guidelines is suggested, such as mining areas with population, divided by climates, in order to modify the environmental air quality indicators regulations related to the particulate matter (PM₁₀) standard.

RESEARCH METHODOLOGY

Research type and design

This is a correlational, non-experimental, cross-sectional study.

Study population

The study population is the number of hospital admissions for respiratory diseases in children under five years old and adults over 50 years old, residing in the city of Cerro de Pasco.

Sample selection

A non-probability purposive sampling is used, as individuals were chosen in accordance with the criteria of the researchers and two age groups were selected.

Sample size

A population size of 10 029 was determined based on the number of hospital admissions in 2010 and 2016.

Data collection technique and instruments

The observational technique together with an observation guide were used to identify the sources of pollution and to determine the environmental impact of particulate dust released into the atmosphere. Content analysis was performed by means of a chart that incorporated the results considering the number of hospital admissions for respiratory diseases registered in hospitals.

Data analysis and interpretation

Excel and SPSS Statistics 21 were used to analyze results. In addition, Spearman’s rank correlation coefficient was used to determine the relationship between variables. The hypotheses were subsequently compared by means of Student’s t-test with n-2 degrees of freedom, to demonstrate the relationship between air pollution due to particulate matter and respiratory diseases in the city of Cerro de Pasco. A confidence interval of 95% was considered.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 presents the results of the correlations between particulate matter and acute respiratory infectious diseases for both age groups in 2010 and 2016. Correlation coefficients of 0.36, p=0.041<0.05 and 0.60, p=0.000<0.05 were determined for the year 2010 and 2016, respectively. These results indicate there is significant relationship between particulate matter (PM₁₀), generated by the sources of pollution, and acute respiratory infections (ARIs) with a confidence interval of 95%. In that sense, the findings are similar to those reported by Gavidia, Pronczuk and Sly (2009), who state that this kind of diseases are related to the PM₁₀ and adversely affect both children and the elderly, as they present

Table 1. Spearman’s rank correlation coefficient between particulate matter and acute respiratory infections in 2010 and 2016.

		Acute Respiratory Infections (ARIs)	
		2010	2016
Particulate matter (PM ₁₀)	Correlation coefficient	0.357*	0.593**
	Sig. (bilateral)	0.041	0.000
	N	33	33

Note: *p-value<0.05, “significant”.

Source: Prepared by the authors.

acute and chronic infections that damage the upper and lower respiratory tracts, that can cause death.

Table 2 displays the global correlations results of 2010 and 2016, according to the rainy and dry seasons. From the analysis, a significant relationship with $p=0.016 < p=0.05$ and a moderate positive correlation coefficient ($r=0.40$) with a confidence interval of 95% were observed in the dry season. The findings are consistent with Venegas and Mazzeo's statement (2005), who argue that wind direction variation affects air pollution: if wind direction remains unchanged, the area will be prone to relatively high values of pollution and, therefore, respiratory conditions arise.

Table 2. Spearman's rank correlation coefficient between particulate matter and acute respiratory infections according to season in 2010 and 2016.

		Season	PM
ARI	Rainy	Correlation coefficient	0.311
		Sig. (bilateral)	0.095
		N	30
	Dry	Correlation coefficient	0.397*
		Sig. (bilateral)	0.016
		N	36

Note: *p-value<0.05, "significant".

Source: Prepared by the authors.

The study considers adults over 50 years old who worked for the mining company, which relates to what was stated by Yassi and Kjellström (2009),

who maintain that the source of pollution is the main link between the workplace and the general environment. Thus, occupational and environmental health are closely linked by common methodologies, for instance, health assessment and exposure control.

Figure 1 shows 230.39 cases of children aged five years old or younger affected by acute respiratory infections in 2010, compared to 194.97 cases in 2016. Similarly, 36.83 cases of adults over 50 years old affected by acute respiratory infections in 2010 were observed compared to 42.06 cases in 2016. At the same time, the average value of particulate matter (PM_{10}) was 72.15 in 2010, compared to 38.96 in 2016.

The annual average concentration of particulate matter (PM_{10}) was $72.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for the year 2010, which exceeded the $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ value established in the National Ambient Air Quality Standards of Peru (García & Brack, August 22, 2008), indicating the existence of pollution in the Cerro de Pasco airshed. Similarly, the annual average concentration of particulate matter (PM_{10}) was $38.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for the year 2016, acceptable values according to the National Ambient Air Quality Standards. However, the Air Quality Standards set by the World Health Organization (2005) establish a limit per year of $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in other words, values continue to be high and there are adverse consequences on the health of the population according to the studies conducted. The decline in annual average concentration of particulate matter (PM_{10}) in 2016 compared to 2010 is mainly because the company stopped mining the

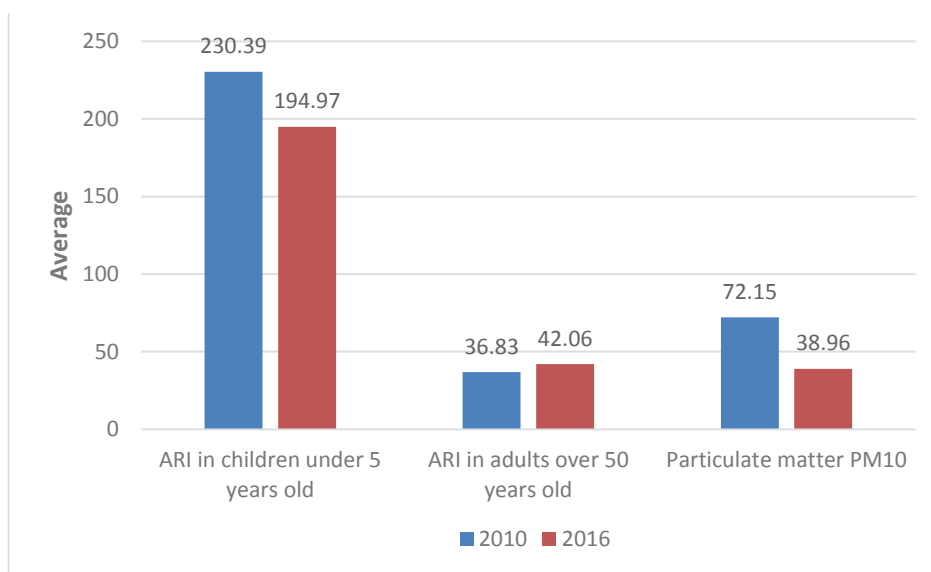


Figure 1. Acute Respiratory Infections and particulate matter PM_{10} , in 2010 and 2016.

Source: Prepared by the authors.

Raúl Porras Open Pit in 2011. According to Dockery, Pope, Xu, Spengler, Ware, Fay, Ferris and Speizer (1993), air pollution in cities has a total suspended particles index of 34.1 to 81.9 mg/m³, particulate matter (PM₁₀) of 18.2 to 46.5 mg/m³ and fine particles (PM_{2.5}) of 11 to 29.6 mg/m³, which were associated with death from lung cancer and various cardiopulmonary disease. These results are related to the data found in this study.

Figure 2 shows 210.67 cases of children aged five years old or younger affected by acute respiratory infections in 2010, compared to 210.67 cases in 2016. In 2010, there were 39.72 cases of adults over 50 years old affected by acute respiratory infections, compared to 43.11 cases in 2016. At the same time, the average value of particulate matter (PM₁₀) was 91.36 in 2010, compared to 43.15 in 2016.

On this basis, it is demonstrated that PM₁₀ concentrations are higher in July, August and even September, months that fall within the dry season, when wind speed increases. This wind speed causes the dispersion of particulate matter, which is lifted from the ground and, subsequently, inhaled by the inhabitants of the Cerro de Pasco airshed. Average wind direction is constant and from the northwest, exposing the airshed to significant levels of PM₁₀. These results correlate with the research conducted by Aldunate, Paz and Halvorsen (2006), where it was demonstrated that

[...] las concentraciones de PM₁₀ en la localidad de La Paz no exceden los límites máximos permisibles, no obstante se reconocieron efectos característicos sobre la salud de la ciudad, con aumentos de 23% en el número de casos de infecciones de las vías respiratorias inferiores y de 46% en el número de casos de infecciones de las vías respiratorias principales [...]. [...] PM₁₀ concentrations in the city of La Paz did not exceed the maximum permissible limits, however, characteristic effects on the health of its citizens were observed, with a 23% increase of lower respiratory tract infection cases and a 46% increase of main respiratory tract infection cases [...]. (Reupo, 2018, p. 19)

The maximum permissible limits specified in the National Ambient Air Quality Standards (García & Brack, August 22, 2008) were not exceeded in 2016; however, according to the Air Quality Standards set by the World Health Organization, the limits were greatly exceeded. In addition, it is important to indicate that the city of La Paz, Bolivia, and Cerro de Pasco are found at similar elevations above sea level.

Based on the results, the general alternative hypothesis that states there is significant relationship between particulate matter (PM₁₀), produced by the open pit and the other sources of pollution, and the

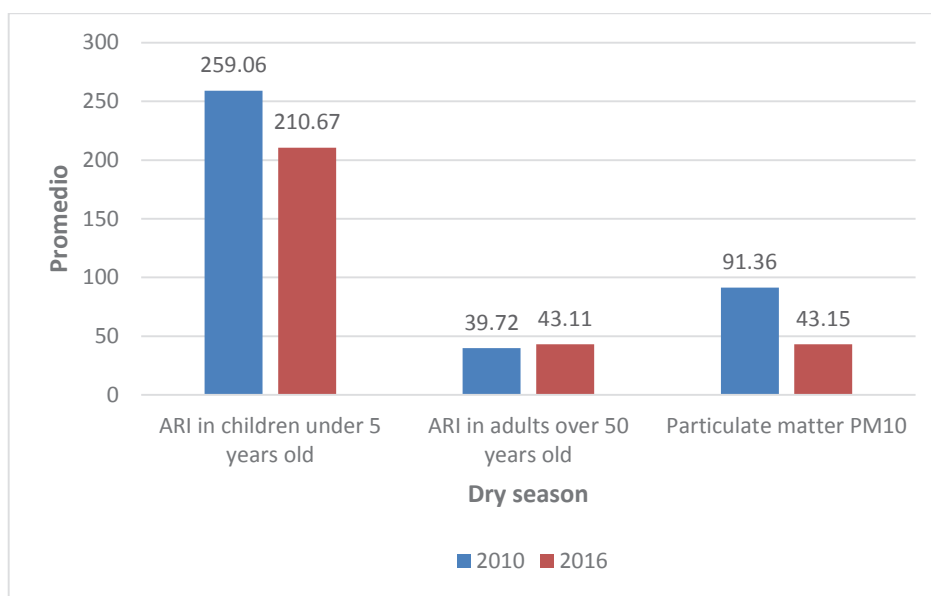


Figure 2. Acute Respiratory Infections and particulate matter PM₁₀ during dry season, in 2010 and 2016.

Source: Prepared by the authors.

acute respiratory infections that affected the population of Cerro de Pasco in the years 2010 and 2016, is accepted. It is therefore possible to determine that exposure to air pollutants, such as PM_{10} , during the dry season, has an impact on the number of hospital admissions for respiratory infections of patients in the age groups of 0-5 and over 50 years old in the Cerro de Pasco airshed. It is important to note that former workers of the company were reported among the age group of patients over 50 years old, which corroborated that they had contracted occupational diseases.

From another perspective, Mexico is a country that differentiates the maximum permissible concentrations for the emission of solid particles depending on enforcement zones, which are divided into critical areas and the rest of the country (Arriola, August 20, 2014). It is essential to establish emissions limits by sectors, as in Canada, where the emission of pollutants is regulated by each province, indicating the maximum permissible concentration levels according to the *Priority Substances List Assessment Report* (Environment Canada and Health Canada, 2000). Likewise, the European Union identified the need to reduce pollution levels, limiting to a minimum the harmful effects of pollution on human health and paying attention to the most vulnerable groups, including children under five and adults over 50 years old. Directive 2008/05/CE of the European Union aims to reduce pollutants in the medium-to-long term, establishing the annual quality standard of $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of particulate matter (PM_{10}) to that end (European Parliament, June 11, 2008).

This study demonstrated that the presence of particulate matter in the Cerro de Pasco airshed, at a level of $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per year, reveals the existence of pollution. It is therefore necessary to implement policies to address this problem through the establishment of regulatory limits to improve breathable air quality. The National Institute of Public Health of Mexico (2017) conducted a health impact assessment in the Valley of Mexico Metropolitan Area, which concluded that a reduction of the PM_{10} annual concentration from $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ to $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ would prevent 1 038 deaths per year with a confidence interval of 95%; whereas a reduction of $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ would prevent up to 2 306 deaths with a confidence interval of 95%. Hence the need to amend the National Standards of Environmental Air Quality concerning the particulate matter (PM_{10}) standard for the city of Cerro de Pasco, in accordance with the Guidelines of the World Health Organization. The coexistence of mining and population is unique, resulting in a proposition to change from a PM_{10} annual concen-

tration of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ to a maximum permissible limit of $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Waste stockpiles should be relocated to strategic locations where they have geotechnical stability, away from the influence area of the emission source of particulate matter, in compliance with all technical specifications and safety requirements. Predominant wind direction must be considered to reduce environmental impact. The relative risk of contracting or developing acute respiratory infections in the upper respiratory tract, circumscribed within a radius of less than three kilometers from the sources of pollution, considers that for every $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase of PM_{10} concentrations, there is an increase of 1.58% of probability of an event, outpatient or urgent care visit, occurring within the resident population six days later. On the contrary, the relative risk in a radius greater than five kilometers decreases to 0.47% (Arregoces, 2016). The mathematical modeling of PM_{10} emissions was performed considering the sedimentation rate, where dispersion and sedimentation behaviors are specific to each atmospheric stability class, presenting dispersion levels of up to five kilometers as stated by Pereira-Peláez (2018). Distance, as well as the reduction of mine waste transport costs should be therefore reasonable; therefore, a maximum distance of five kilometers from the sources of pollution is proposed.

Due to increasing concern about air quality index changes of the city of Cerro de Pasco, future research should analyze the presence of $PM_{2.5}$ in order to determine their values and consequences on similar populations.

CONCLUSIONS

1. A significant relationship exists between particulate matter (PM_{10}), produced by the open pit and the other sources of pollution, and the acute respiratory infections (ARIs) that affected the population in the years 2010 and 2016.
2. The escalation of particular matter (PM_{10}) during the dry season, generated from mining activity, increases the number of hospital admissions of children under five years old and adults over 50 years old.
3. It is suggested that waste stockpiles be relocated to a maximum of five kilometers from the source of pollution in order to mitigate air pollution due to particulate matter.
4. It is suggested that guidelines be established for scenarios such as mining areas with popula-

tions and climatic seasonal divisions, in order to modify the air quality standards concerning the particulate matter (PM₁₀) standard.

REFERENCES

- [1] Aldunate, P., Paz, O. & Halvorsen, K. (2006). Los efectos de la contaminación atmosférica por PM₁₀ sobre la salud. Ciudad de La Paz-Bolivia (3650 m s. n. m.). *Acta Nova*, 3(2), 422-442.
- [2] Arregoces, H. A. (2016). *Análisis de la relación entre el PM₁₀ y las infecciones respiratorias en el sector minero de la Baja Guajira colombiana*. (Master Thesis). Universidad de Antioquia, Medellín.
- [3] Arriola, M. A. (2014, August 20). Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores Límites Permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación. *Diario Oficial*. Retrieved from <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/normas/NOM-025-SSA1-2014.pdf>
- [4] Dirección General de Salud Ambiental (2005). *Inventario de emisiones de fuentes fijas. Cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco*. Retrieved from http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/inventario_aire/fuentes_fijas/Informe%20Inventario%20Cerro%20de%20Pasco-Final.pdf
- [5] Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G. & Speizer, F. E. (1993). An Association between Air Pollution and Mortality in Six U. S. Cities. *The New England Journal of Medicine*, 329(24), 1753-1759.
- [6] Environment Canada & Health Canada (2000). *Priority Substances List Assessment Report: Respirable Particulate Matter Less Than or Equal to 10 Microns*. *Canadian Environmental Protection Act, 1999*. Retrieved from https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/psl2-lsp2/pm10/pm10-eng.pdf
- [7] García, A. & Brack, A. J. (2008, August 22). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire. Decreto Supremo N.º 003-2008-MINAM. *El Peruano*, pp. 378462-378464. Retrieved from http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/DS-003-2008-MINAM.pdf
- [8] Gavidia, T., Pronczuk, J. & Sly, P. D. (2009). Impactos ambientales sobre la salud respiratoria de los niños. Carga global de las enfermedades respiratorias pediátricas ligada al ambiente. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 25(2), 99-108. Retrieved from <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v25n2/art06.pdf>
- [9] Hernández-Vásquez, A., Díaz-Seijas, D., Vilcarromero, S. & Santero, M. (2016). Distribución espacial de los accidentes y enfermedades relacionados con el trabajo en el Perú, 2012-2014. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33(1), 106-112. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v33n1/a14v33n1.pdf>
- [10] Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Perú: Perfil Sociodemográfico. Informe Nacional. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf
- [11] Instituto Nacional de Salud Pública (2017). *Estimación de impactos en la salud por contaminación atmosférica en la región centro del país y alternativas de gestión. Documento final*. Retrieved from http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/52/738_2017_Estimacion_impactos_contaminacion_atmosferica_centropais.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12] Organización Mundial de la Salud (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos*. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=A10FBC9F96C02A4DD6F6F7C6393DCD33?sequence=1
- [13] Parlamento Europeo (2008, June 11). DIRECTIVA 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. *Diario Oficial de la Unión Europea*, pp. L 152/1-L 152/44. Retrieved from <https://www.boe.es/doue/2008/152/L00001-00044.pdf>
- [14] Pereira-Peláez, D. (2018). Simulación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera de una planta de generación de electricidad a biomasa. *Acta Nova*, 8(3), 376-396.

- [15] Reupo, G. M. (2018). *Influencia del PM_{10} en la incidencia de enfermedades respiratorias en la población infantil menor de 5 años del distrito de Ate, Lima 2014-2015*. (Master Thesis). Universidad César Vallejo, Lima.
- [16] Venegas, L. E. & Mazzeo, N. A. (2005). Application at Atmospheric Dispersion Models to Evaluate Population Exposure to NO₂ Concentration in Buenos Aires. *International Journal of Environment and Pollution*, 25(1), 224-238.
- [17] Yassi, A. & Kjellström, T. (2009). Conexiones entre la salud ambiental y la salud en el trabajo. En J. M. Stellman (Dir.), *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (pp. 53.2-53.5). Madrid, Spain: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.