# EVALUACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO Y LA SALUD DE LOS RESIDENTES ALEDAÑOS A LA PLANTA ELÉCTRICA DE CARBÓN EN PUERTO RICO

*Nicole Pagán-González, BS, MSEM(c)[1], & Christian E. Vélez-Gerena, BS, MSEM[2]*

Recibido 4 de agosto de 2020 | Aceptado 14 de octubre 2020

Resumen – La evaluación del material particulado (PM) en la atmósfera y sus efectos sobre la salud de la población es un tema poco estudiado en Puerto Rico. En el municipio de Guayama existe un potencial de contaminación en el aire mayor debido a la presencia de la planta de energía eléctrica a base de carbón de Applied Energy Systems (AES). Este estudio propone un monitoreo atmosférico de partículas no viables (PM 2.5, PM 10, TSP) y los parámetros climáticos al aire libre en lugares públicos dentro de un radio de cinco millas de la planta AES en el municipio de Guayama para determinar si existe relación entre las concentraciones de PM y la operación de la planta de carbón. Además, pretendemos evaluar el cumplimiento de los parámetros de PM con las normas federales aplicables. Por último, evaluaremos datos secundarios semanales de ingreso a la sala de emergencia bajo el diagnóstico de asma del Hospital Guayama para determinar posibles relaciones entre los niveles presentes de PM y la salud de las comunidades que rodean la planta.

*Palabras clave: material particulado, monitoreo atmosférico, planta eléctrica de carbón, asma, parámetros climáticos*

Abstract – Particulate matter (PM) in the atmosphere and their effect on the health of the population is a subject little studied in Puerto Rico. There is a potential health risk in the aerial basin of the municipality of Guayama due to the presence of a coal-based electric power plant Applied Energy Systems (AES). This study proposes an atmospheric monitoring of non-viable particles (PM 2.5, PM 10, TSP) and the climatic parameters outdoors in public places within a radius of five miles from the AES plant in the municipality of Guayama to determine if there is a relationship between PM concentrations and the operation of the coal plant. Additionally, we intend to assess compliance of PM parameters with applicable federal regulations. Finally, we will evaluate weekly secondary data on asthma admission to the emergency room from Hospital Guayama to determine possible relationships between the levels of PM and the health of the communities that surround the plant.

*Keywords: particulate matter, atmospheric monitoring, coal-based electric power plant, asthma, weather parameters*

## Introducción

Las plantas de carbón representan una de las mayores fuentes de PM en tamaños de 2.5 µm hasta 10 µm (Lu & Ren, 2014). Varias 2.5 µm hasta 10 µm

[1] División Ciencias y Tecnología, Universidad Ana G. Méndez, Recinto Cupey. Correo electrónico: npagan64@email.uagm.edu; pg_nicole@hotmail.com

[2] United Stated Department of Agriculture, APHIS, National Veterinary Services Laboratories, Iowa

(Lu & Ren, 2014). Varias investigaciones han relacionado las altas concentraciones atmosféricas de particulado con las emisiones producto de la operación de las plantas eléctricas de carbón (Guttikunda & Jawahar, 2014; Pramaniket al., 2015; Ma et al., 2017). Esta aseveración se hace más evidente en un estudio donde se evaluó el cierre de tres plantas eléctricas de carbón dentro de la región suroeste de Pennsylvania, lo cual resultó en una disminución significativa en la concentración de PM 2.5 (Russell et al., 2017).

Las plantas de carbón generan como parte del proceso de combustión del carbón un material particulado que incluye pequeñas partículas de cenizas volantes, polvo y hollín (Pramanik et al., 2015; Guttikunda & Jawahar, 2014). Estas partículas tienen forma esférica y su tamaño es principalmente de entre 2.5 a 10 micrómetros en diámetro (μm). Debido a su tamaño, las partículas pueden escapar de los dispositivos de control de emisiones y permanecer suspendidas en el aire (Pfeiffer, 2017; Kravchenko & Lyerly, 2018). Su suspensión en la atmósfera puede durar un largo tiempo y viajar largas distancias por lo que pueden llegar a las residencias de las comunidades más cercanas y afectar la salud de sus residentes (Buchanan et al., 2014; Kim et al., 2015; Morabet, 2018).

El particulado fino emitido puede entrar fácilmente por el tracto respiratorio y alcanzar las regiones traqueobronquial y alveolar (Liu et al., 2016, Wu et al., 2018) y se relacionan con una mayor incidencia de enfermedades respiratorias como el asma (Guttikunda & Jawarhar, 2014; Guarnieri & Balmes, 2014; Sears & Zierold, 2017; Kravchenko & Lyerly, 2018). Se ha demostrado que la exposición a altas concentraciones de PM se relaciona con un aumento en las visitas a la sala de emergencia y los ingresos hospitalarios por síntomas relacionados con las vías respiratorias. Incluso, en varios estudios se ha vinculado que el PM de 2.5 puede ejercer una influencia directa en la mortalidad por enfermedades respiratorias (Dai et al., 2014; Zheng, et al., 2015; Pun et al., 2017).

Los efectos en el sistema respiratorio se pueden producir por exposición a corto plazo (Adar et al., 2014; Horne et al., 2018) o a largo plazo (Wyzga & Rohr, 2015; Guo et al., 2018). Se ha observado que puede afectar a la población general, incluyendo el subgrupo de adultos jóvenes y sanos. Así lo demostró Shaughnessy y otros (2015), quienes examinaron 12 subgrupos de adultos jóvenes de 18 a 39 años de edad y encontraron una asociación estadísticamente significativa entre el número promedio semanal de efectos adversos para la salud en esta población y la concentración promedio de PM semanal correspondiente. La población más vulnerable son los adultos envejecientes, niños, fumadores y personas con enfermedades en comparación con la población general (Kim et al., 2015).

Applied Energy Systems Puerto Rico (AES) es una fuente estacionaria de emisión de contaminantes atmosféricos, ubicada en la comunidad Jobos del municipio de Guayama, desde donde genera y distribuye energía eléctrica a su principal cliente, la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE), y cuya fuente de energía es el carbón mineral. Como parte de la operación, la planta produce ceniza volante, ceniza del lecho y un agregado manufacturado a base de estas, los cuales tienen varios usos comerciales (JCA, 2011).

Durante los pasados años, los residentes de las comunidades aledañas a la planta AES han presentado quejas por el deterioro de su salud relacionándolo con la exposición a las cenizas por la quema industrial de carbón. Debido a esta preocupación, Bonilla (2018a; 2018b) realizó dos estudios epidemiológicos mediante encuestas y monitoreo de PM en comunidades comparables entre los municipios de Guayama y Fajardo con la finalidad de identificar la relación entre la operación de la quema de carbón de la AES y el impacto a la salud pública, teniendo como única variante la planta y la disposición de las cenizas. Entre los resultados, Bonilla (2018a; 2018b) encontró una mayor incidencia de condiciones respiratorias, cardiovasculares, de piel y cáncer en el municipio de Guayama en comparación con el municipio de Fajardo, el cual se toma como referencia. También encontró que los niveles de PM 10 atmosférico siempre fueron mayores en el municipio de Guayama a lo largo de un periodo de estudio de 15 años. Además, encontró que la prevalencia de enfermedades crónicas durante incrementó para el 2018 en comparación con el estudio del 2016. En general, Bonilla concluyó que la generación y disposición de cenizas de la planta AES representa una amenaza de grandes proporciones a la salud y a la vida de todos los residentes de Puerto Rico.

Hay muy poca evidencia de estudios que permitan establecer claramente cómo afecta la operación de la planta eléctrica de carbón AES en las concentraciones atmosféricas de PM 10, PM 2.5 y TSP en las comunidades cercanas a la instalación y las enfermedades respiratorias de las cuales la población asentada en el municipio de Guayama ha venido quejándose durante los pasados años. Por tal razón, el propósito de esta investigación es determinar mediante los datos recopilados la relación que hay entre las emisiones generadas por la operación de la planta AES y las concentraciones de PM 10, PM 2.5 y TSP en la atmósfera de las comunidades cercanas a la planta, las implicaciones que pueda tener sobre la salud de los residentes y el cumplimiento de los estándares federales para el conocimiento de los residentes y de las agencias correspondientes para que se tome o se modifique acciones de ser necesarias para el bienestar de la población en base a los datos.

**Influencia de los factores meteorológicos sobre las concentraciones del PM atmosférico**

Hay que tener en cuenta que existen varios factores climáticos que pueden influir en la concentración de PM en la atmosfera, lo cual puede variar la exposición en la población. Una vez el PM es emitido por las plantas eléctricas de carbón, su concentración en la atmosfera depende de factores meteorológicos como la temperatura, la humedad, y la interacción de éstos con la topografía local, entre otros (Liu & Cui, 2014; Tian et al., 2014; Yan et al., 2016). Incluso, existen estudios de la contribución del clima en la hospitalización relacionada con los efectos adversos del PM. Jo y otros autores (2017) analizaron los efectos de PM con relación a las admisiones hospitalarias diarias por enfermedades respiratorias, tomando en cuenta los factores meteorológicos. Los investigadores concluyeron que los niveles de PM y los factores meteorológicos impactaron en la hospitalización por enfermedades respiratorias, especialmente en niños y envejecientes. Según la investigación, el efecto de PM en enfermedades respiratorias incrementó cuando la humedad relativa disminuyó.

Al quedar demostrado en varios estudios la implicación que puede tener los factores topográficos y meteorológicos en las concentraciones de PM, se debe de tener en cuenta estos dos factores en el municipio de Guayama. En términos generales, según la Junta de Planificación de Puerto Rico (2005) en su plan de ordenamiento territorial del municipio, la topografía se puede considerar llana y escarpada y en cuanto al clima, la temperatura promedio es de 80.2 grados Fahrenheit, la precipitación pluvial promedio es de 55 galones anuales y el periodo de lluvia se extiende desde mayo hasta noviembre, en el que septiembre es el mes más húmedo y marzo el más seco.

**Regulaciones para el control de PM atmosférico**

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ha reconocido el PM 2.5 y PM 10 como uno de los contaminantes primarios emitidos al aire y los considera nocivos para la salud pública y el medio ambiente. Estos contaminantes están contemplados dentro la Ley de Aire Limpio de 1970 (USEPA, 1970), la cual establece los Estándares Nacionales de Calidad de Aire Ambiental para Material Particulado (NAAQS, por sus siglas en inglés).

La Ley de Aire Limpio (CAA, por sus siglas en inglés) y sus enmiendas forman la base de la legislación de control de la contaminación del aire en los Estados Unidos, autorizando el desarrollo de regulaciones federales y estatales para limitar las emisiones de fuentes industriales y transporte (USEPA, 1963). La CAA requiere a la EPA establezca

los NAAQS para los niveles ambientales de una variedad de contaminantes, estos son: material particulado, SO2, NOx, monóxido de carbono, ozono y plomo.

Las primeras normas para PM fueron promulgadas en 1971 bajo el CAA (USEPA, 1971). Desde entonces, los estándares de PM se actualizan a medida que la ley exige que la EPA los revise para garantizar que proporcionan adecuada protección sanitaria y medioambiental. Con respecto a las partículas menores o iguales a 2.5 µm, la Agencia de Protección Ambiental (USEPA, 2012) en su última revisión bajó el nivel estándar anual a 12.0 microgramos por metro cúbico (mg /m3) para dar mayor protección contra los efectos en la salud asociado a exposiciones de largo y corto plazo, y retuvo el nivel estándar de 24 horas a un nivel estándar de 35 mg / m3. Con respecto a la norma para partículas menores o iguales a 10 mm de diámetro, la EPA mantiene el estándar de 24 horas a 150 µg/m3.

Además, la Ley Núm. 416 del 2004, conocida como Ley sobre Política Pública Ambiental, encarga a la Junta de Calidad Ambiental (JCA) como la agencia que tiene la función principal de proteger y conservar el medioambiente (JCA, 2004). En esta agencia, la División de Calidad de Aire monitorea la calidad del aire exterior en todo Puerto Rico e informa los hallazgos a la EPA. Según su Plan de Muestreo de Aire en Puerto Rico, los datos ayudan a identificar las fuentes mayores de contaminación atmosférica y evalúa que la salud de la población no se vea afectada (JCA, 2018). En cuanto al PM, es importante tener en cuenta que Puerto Rico carece de estándares nacionales de calidad del aire por lo la que se utiliza los estándares federales del NAAQS.

**Materiales y métodos**

En este estudio evaluaremos las concentraciones ambientales de PM 2.5, PM 10 y TSP en las comunidades del municipio de Guayama cercanas a la planta eléctrica de carbón AES para determinar el cumplimiento de los estándares y evaluar el riesgo de salud utilizando el dato secundario de admisiones por asma de un hospital de las comunidades aledañas a la planta. El protocolo de esta investigación fue aprobado la oficina de cumplimiento de la Universidad Ana G. Méndez (B01-061-19).

*Área de estudio y periodo de muestreo*

La investigación la llevamos a cabo en el municipio de Guayama, ubicado al sureste de la Isla, el cual es de topografía costera llana (JPPR, 2005). Llevamos a cabo un monitoreo atmosférico de PM 2.5, PM 10 y TSP al aire libre en diferentes ubicaciones dentro de un radio de no más de cinco millas de la planta AES. El monitoreo se llevó a cabo por un periodo de ocho semanas (octubre a diciembre de 2019), tres veces a la

semana en un horario que comprendió desde las 8:00 am hasta las 2:00 pm.

*Descripción de la muestra*

Obtuvimos 960 muestras de PM 2.5, PM 10 y TSP utilizando el perfilador de partículas AEROCET Met One 531. Esta unidad es un equipo portable de mano que proporciona conteos de partículas o mediciones de PM en masa como datos almacenados y valores registrados. Estos datos se muestran como PM1, PM2.5, PM7, PM10 y TSP. El tiempo de muestra es de 120 segundos y su límite de concentración es de 3,000,000 partículas por pie cúbico (105,900 partículas/L). Los datos de las concentraciones se dan en tiempo real y se pueden ver en la pantalla. También utilizaremos un Medidor-Registrador de datos de humedad relativa y temperatura de Sper Scientific LTD para registrar los parámetros relacionados con el clima. El mismo muestra simultáneamente los datos de humedad relativa y temperatura en °C o °F en tiempo real.

*Método de colección de muestras*

Establecimos 40 puntos de monitoreo previamente. Tuvimos en consideración los alrededores de cada punto de monitoreo para que los resultados no fueran afectados significativamente por otras fuentes antropogénicas de PM y se consideró la variación de las distancias entre el punto de monitoreo y la planta AES. Los datos de las concentraciones atmosféricas de PM 2.5, PM 10 y TSP a través del Perfilador de Partículas Aerocet Met One 531 se obtuvieron en tiempo real. Para los datos de los parámetros climáticos, utilizamos el Medidor-Registrador de Sper Scientific LTD y fueron anotados en una hoja de datos inmediatamente de obtenerse los resultados. Además de las concentraciones de PM y los parámetros climáticos, también fueron anotados la distancia en millas entre el punto de monitoreo y la planta AES y la hora exacta para cada punto de monitoreo.

*Fuentes de datos secundarios*

Los datos de ingresos hospitalarios de emergencia semanales por diagnóstico de asma los obtuvimos con permisos adquiridos y relevo de responsabilidad del hospital de área. Estos datos comprenden desde la primera de semana de octubre hasta la última semana de diciembre del 2019.

*Análisis de datos*

Para analizar la relación entre las concentraciones de PM atmosférico en comunidades aledañas a una planta eléctrica a base de carbono y la operación de la misma, se hará un análisis de correlación de Pearson para PM 2.5, PM 10 y TSP, individualmente, utilizando el programado estadístico SPSS. Calculamos las millas entre cada punto de monitoreo y la AES, y llevamos a cabo una correlación Pearson

con el promedio de las concentraciones de PM 2.5, PM 10 y TSP de cada punto de monitoreo correspondiente.

Para determinar el riesgo de salud por asma y su recurrencia entre los residentes cercanos a la planta, analizaremos la correlación Pearson entre los promedios semanales de las concentraciones de cada tamaño PM y la tasa de visitas al hospital por asma semanal reportada.

Para determinar la influencia de las variables meteorológicas en el comportamiento de las concentraciones de PM, llevamos a cabo una correlación Pearson entre el promedio de concentraciones de PM 2.5, PM 10 y TSP de cada uno de los puntos monitoreados y el promedio de temperatura y humedad relativa para cada punto de monitoreo correspondiente.

Por último, ya que Puerto Rico carece de estándares nacionales de PM, utilizaremos los promedios anuales establecidos por los estándares del NAAQS como nuestro punto de referencia para comparar nuestros resultados. Los resultados promedio que se obtendrán en este estudio se compararon con el promedio anual NAAQS para PM2.5 (12.0µg/m3) y PM10 (50.0 µg/m3) (EPA, 2012). Utilizaremos los sistemas de información geográfica para caracterizar la distribución geográfica de las concentraciones de PM2.5, PM10 y TSP de los sitios de muestreo.

**Acercamientos futuros**

Según los hallazgos que surjan sobre la relación que hay entre las emisiones generadas por la operación de la planta AES y las concentraciones de PM 10, PM 2.5 y TSP en la atmósfera de las comunidades en Guayama cercanas a la planta; y las implicaciones que pueda tener sobre la salud de los residentes de estas comunidades durante el periodo de estudio, se generarán recomendaciones a las agencias correspondientes para que se tome o se modifique acciones de ser necesarias. El alcance de estas recomendaciones será para mejorar la salud de la población de Guayama y hacer justicia ambiental.

**Agradecimientos**

A la División de Ciencias y Tecnología de la Universidad Ana G. Méndez, recinto de Cupey, especialmente a la Dra. María Calixta Ortíz y Sharon Torres, por brindarme los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación. Gracias a la beca de investigación del proyecto Atlantic Emerging Technologies & Industrial Hygiene Training Center (SUBAWARD 41977-B), de la Universidad Ana G. Méndez, el cual fue auspiciado por el Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental (NIEHS, por sus siglas en inglés) de

los Institutos Nacionales de la Salud (NIH, por sus siglas en inglés) en consorcio con la Universidad de la Ciudad de Nueva York (CUNY, por sus siglas en inglés). Finalmente, al Hospital Menonita de Guayama, especialmente al Lcdo. Rogelio Díaz y a la secretaria ejecutiva, María Elena López Morales, por proveer datos secundarios para esta investigación.

**Literatura citada**

Adar, S. D., Filigrana, P. A., Clements, N., & Peel, J. L. (2014). Ambient coarse particulate matter and human health: A Systematic review and meta-analysis. *Current Environmental Health Reports, 1*(3), 258-274. https://doi.org/10.1007/s40572-014-0022-z

Bonilla, L. A. (2018a). *Mortalidad y contaminación de aire en los municipios de Guayama y Fajardo, Puerto Rico: Un estudio ecológico de series de tiempo*. https://inesi.upr.edu/wp-content/uploads/2019/02/0-5-1.pdf

Bonilla, L. A. (2018b). *Prevalencia de enfermedades crónicas en las comunidades de Miramar y Puerto de Jobos del municipio de Guayama: un estudio de comunidad por encuesta.* https://inesi.upr.edu/wp-content/uploads/2019/02/0-4.pdf

Buchanan, S., Burt, E., & Orris, P. (2014). Beyond black lung: Scientific evidence of health effects from coal use in electricity generation. *Journal of Public Health Policy, 35*(3), 266-277. https://doi.org/10.1057/jphp.2014.16

Dai, L., Zanobetti, A., Koutrakis, P., & Schwartz, J. D. (2014). Associations of fine particulate matter species with mortality in the United States: A multicity time-series analysis. *Environmental Health Perspectives, 122*(8), 837-842. https://doi.org/10.1289/ehp.1307568

Morabet, R. E. (2018). Effects of outdoor air pollution on human health. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.* https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11012-7

Guarnieri, M., & Balmes, J. R. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*, *383*(9928), 1581-1592. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(14)60617-6

Guo, C., Zhang, Z., Lau, A. K. H., Lin, C. Q., Chuang, Y. C., Chan, J., Jiang, W. K., Tam, T., Yeoh, E.-K., Chan, T.-C., Chang, L.-Y., & Lao, X. Q. (2018). Effect of long-term exposure to fine particulate matter on lung function decline and

risk of chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan: a longitudinal, cohort study. *The Lancet Planetary Health, 2*(3), e114–e125. https://doi.org/10.1016/s2542-5196(18)30028-7

Guttikunda, S. K., & Jawahar, P. (2014). Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India. *Atmospheric Environment, 92*, 449–460. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.057

Horne, B. D., Joy, E. A., Hofmann, M. G., Gesteland, P. H., Cannon, J. B., Lefler, J. S., Blagev, D. P., Korgenski, E. K., Torosyan, N., Hansen, G. I., Kartchner, D., & Pope, C. A. (2018). Short-term elevation of fine particulate matter air pollution and acute lower respiratory infection. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 198*(6), 759–766. https://doi.org/10.1164/rccm.201709-1883oc

Jo, E.-J., Lee, W.-S., Jo, H.-Y., Kim, C.-H., Eom, J.-S., Mok, J.-H., Kim, M.-H., Lee, K., Kim, K.-U., Lee, M.-K., & Park, H.-K. (2017). Effects of particulate matter on respiratory disease and the impact of meteorological factors in Busan, Korea. *Respiratory Medicine, 124*, 79–87. https://doi.org/10.1016/j.rmed.2017.02.010

Junta de Calidad Ambiental. (2004). Ley sobre Política Pública Ambiental. LPRA 12. https://www.icp.pr.gov/wp-content/uploads/2018/06/Ley-416-2004-Ley-sobre-Politica-Publica-Ambiental.pdf

Junta de Calidad Ambiental. (2011). *AES permiso final.* http://www.agencias.pr.gov/agencias/jca/Documents/Permisos%20y%20Formularios/Contaminaci%C3%B3n%20deTerrenos/Solicitud%20de%20Permisos%20de%20Operaci%C3%B3n%20AES%20Puerto%20Rico,%20LP/AES%20Permiso%20%20FINAL.pdf

Junta de Calidad Ambiental. (2018). *Puerto Rico air monitoring network plan,* 2018-2019. http://www.agencias.pr.gov/agencias/jca/areasprogramaticas/Pages/%C3%81rea-Calidad-de-Aire.aspx

Junta de Planificación de Puerto Rico. (2005). *Plan de ordenamiento territorial del municipio de Guayama.* https://jp.pr.gov/Portals/0/Planes%20Territoriales/PT%20-%20Guayama/Guayama%20-PT%20Memorial.pdf?ver=2018-01-11-150016-737

Kim, K.-H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International, 74,* 136–143. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005

Kravchenko, J., & Lyerly, H. K. (2018). The impact of coal-powered electrical plants and coal ash impoundments on the health of residential communities. *North Carolina Medical Journal, 79*(5), 289–300. https://doi.org/10.18043/ncm.79.5.289

Li, Y.-R., & Gibson, J. M. (2014). Health and air quality benefits of policies to reduce coal-fired power plant emissions: A case study in North Carolina. *Environmental Science & Technology, 48*(17), 10019-10027. https://doi.org/10.1021/es501358a

Liu, J., & Cui, S. (2014). Meteorological influences on seasonal variation of fine particulate matter in cities over Southern Ontario, Canada. *Advances in Meteorology, 2014,* 1–15. https://doi.org/10.1155/2014/169476

Liu, S., Zhou, Y., Liu, S., Chen, X., Zou, W., Zhao, D., Li, X., Pu, J., Huang, L., Chen, J., Li, B., Liu, S., & Ran, P. (2016). Association between exposure to ambient particulate matter and chronic obstructive pulmonary disease: results from a cross-sectional study in China. *Thorax, 72*(9), 788–795. https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-208910

Lu, J., & Ren, X. (2014). Analysis and discussion on formation and control of primary particulate matter generated from coal-fired power plants. *Journal of the Air & Waste Management Association, 64*(12), 1342–1351. https://doi.org/10.1080/10962247.2014.951744

Ma, Q., Cai, S., Wang, S., Zhao, B., Martin, R. V., Brauer, M., Cohen, A., Jiang, J., Zhou, W., Hao, J., Frostad, J., Forouzanfar, M. H., & Burnett, R. T. (2017). Impacts of coal burning on ambient PM2.5 pollution in China. *Atmospheric Chemistry and Physics, 17*(7), 4477–4491. https://doi.org/10.5194/acp-17-4477-2017

Pfeiffer, J. A. (2017). Coal ash exposure and asthma in children. *Electronic Theses and Dissertations.* Paper 2806. https://doi.org/10.18297/etd/2806

Pramanik, P., Ganguli, I., Rakshit, S., & Chowdhury, R. (2016). Impact of coal-fired thermal power plant on pulmonary health of primary school children. IOSR *Journal of Dental and Medical Sciences, 15*(08), 88–93. https://doi.org/10.9790/0853-1508048893

Pun, V. C., Kazemiparkouhi, F., Manjourides, J., & Suh, H. H. (2017). Long-term PM2.5 exposure and respiratory, cancer, and cardiovascular mortality in older US adults. *American Journal of Epidemiology, 186*(8), 961–969. https://doi.org/10.1093/aje/kwx166

Russell, M. C., Belle, J. H., & Liu, Y. (2016). The impact of three recent coal-fired power plant closings on Pittsburgh air quality: A natural experiment. *Journal of the Air & Waste Management Association, 67*(1), 3-16. https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1170738

Sears, C. G., & Zierold, K. M. (2017). Health of children living near coal ash. *Global Pediatric Health, 4.* https://doi.org/10.1177/2333794x17720330

Shaughnessy, W. J., Venigalla, M. M., & Trump, D. (2015). Health effects of ambient levels of respirable particulate matter (PM) on healthy, young-adult population. *Atmospheric Environment, 123*, 102-111. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.039

Tian, G., Qiao, Z., & Xu, X. (2014). Characteristics of particulate matter (PM10) and its relationship with meteorological factors during 2001–2012 in Beijing. *Environmental Pollution, 192,* 266-274. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.04.036

United States Environmental Protection Agency. (1963). *Clean Air Act. 42 U.S.C. § 7401.* https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act

United States Environmental Protection Agency. (1970). *Clean Air Act Amendments of 1971. 36 FR 8186.* https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/previous/1971-april30-final-36fr8186.pdf

United States Environmental Protection Agency. (2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).* https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2013-01-15/pdf/2012-30946.pdf

Wu, J. Z., Ge, D. D., Zhou, L. F., Hou, L. Y., Zhou, Y., & Li, Q. Y. (2018). Effects of particulate matter on allergic respiratory diseases. *Chronic Diseases and Translational Medicine, 4*(2), 95-102. https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2018.04.001

Wyzga, R., & Rohr, A. (2015). Long-term particulate matter exposure: Attributing health effects to individual PM components. *Journal of the Air & Waste Management Association, 65*(5), 523-543. https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1020396

Yan, S., Cao, H., Chen, Y., Wu, C., Hong, T., & Fan, H. (2016). Spatial and temporal characteristics of air quality and air pollutants in 2013 in Beijing. *Environmental*

*Science and Pollution Research, 23*(14), 13996-14007. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6518-3

Zheng, S., Pozzer, A., Cao, C. X., & Lelieveld, J. (2015). Long-term (2001-2012) concentrations of fine particulate matter (PM2.5) and the impact on human health in Beijing, *China. Atmospheric Chemistry and Physics, 15*(10), 5715-5725. https://doi.org/10.5194/acp-15-5715-2015