



Composición química de aerosoles marinos PM₁₀ en una ciudad costera del Caribe colombiano

Alejandra Vengoechea-Pimienta^{1,2*}, Roberto Rojano-Alvarado¹, Jorge Ramirez-Muñoz²

¹Universidad de La Guajira. Km 5 vía a Maicao, Riohacha, La Guajira, Colombia.

²Universidad Autónoma Metropolitana de México - Azcapotzalco. Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, 02200 CDMX, México.

*Autor de correspondencia: avengoechea@uniguajira.edu.co.

Recibido 19 de mayo de 2020; aceptado 22 de junio de 2020

RESUMEN

Los aerosoles atmosféricos afectan la calidad del aire y pueden llegar a representar un problema serio de salud en las personas. En estudios previos se ha caracterizado la concentración y composición química del material particulado PM₁₀ en exteriores de una ciudad costera del caribe colombiano (Riohacha, La Guajira, Colombia). Sin embargo, no existen datos sobre el aporte de los aerosoles marinos a la calidad del aire. En la presente investigación se determinó la concentración y composición química de los aerosoles en el material particulado PM₁₀ en el corredor marino a orilla de la playa de dicha ciudad. Para ello se eligieron los siguientes sitios de muestreo: el Muelle Turístico (MT), Centro Cultural (CC) y el Centro de Convenciones Anas Mai (AM). En los sitios de muestreo ubicados a orilla de playa los valores de concentración máxima los presentó MT con 52.537 µg/m³, mientras que los valores menores los presentó CC con 36.317 µg/m³. Entre los catorce elementos químicos analizados, los cuatro más abundantes fueron el Ca con promedio de 6.812 µg/m³, seguido del Na con 5.3 µg/m³, K con 3.6 µg/m³ y el Mg con 1.325 µg/m³. El aporte de aerosoles marinos en la zona de orilla de playa comprende entre el 4 y 10% y en la zona urbana hasta el 7%. Los

resultados obtenidos muestran que calidad del aire en la ciudad de Riohacha cumple con la normatividad colombiana vigente, por lo que los aerosoles marinos no representan un problema serio a la salud de la población.

PALABRAS CLAVE: aerosoles marinos, material particulado, partículas PM₁₀.

ABSTRACT

Atmospheric aerosols affect air quality and can become a serious health problem for people. In previous studies have been characterized the concentration and chemical composition of PM₁₀ particulate material outdoors in a coastal city in the Colombian Caribbean (Riohacha, La Guajira, Colombia). However, there are no available data on the contribution of marine aerosols in the air quality. In this research, the concentration and chemical composition of marine aerosols in the PM₁₀ particulate material in the marine corridor along the beach of said city was determined. For this purpose, the following sampling sites were chosen: the Tourist Pier (MT), Cultural Center (CC) and the Anas Mai Convention Center (AM). In the sampling sites located on the beach shore, the highest concentration values were obtained in MT with 52.537 $\mu\text{g} / \text{m}^3$, whilst the lowest were measured in CC with 36.317 $\mu\text{g} / \text{m}^3$. Among the fourteen chemical elements analyzed, the four most abundant were Ca with an average of 6.812 $\mu\text{g} / \text{m}^3$, followed by Na with 5.3 $\mu\text{g} / \text{m}^3$, K with 3.6 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ and Mg with 1.325 $\mu\text{g} / \text{m}^3$. The contribution of marine aerosols in the beach shore area comprises between 4 and 10% and in the urban area gives values up to 7%. The obtained results show that air quality in the Riohacha city complies with current Colombian regulations, so that marine aerosols do not represent a serious population health problem

KEY WORDS: marine aerosol, PM₁₀ particles, particulate material.

INTRODUCCIÓN

Los aerosoles atmosféricos o el material particulado (PM) son partículas líquidas o sólidas en suspensión y sedimentables presentes en el aire que son emitidas desde diferentes fuentes. Dependiendo de su mecanismo de formación, existen diferentes tipos de partículas, las de origen mineral, marino y las formadas por compuestos de S, N y C (Watson y Chow, 2015).

Dependiendo del tamaño de las partículas, éstas pueden dispersarse a grandes distancias o sedimentarse inmediatamente después de ser generadas. Según Rodríguez (2003), la sedimentación de los aerosoles atmosféricos se puede producir por deposición seca o húmeda y dependerá especialmente de su diámetro aerodinámico, la composición química y las propiedades termodinámicas que posea.

Los aerosoles son partículas que una vez emitidas a la atmósfera pueden reaccionar y afectar la salud humana, a las construcciones e incluso llegar a ocasionar cambios en el microclima del área de influencia. Se ha reportado que existe una relación directa entre la concentración de PM_{10} con el incremento en la concentración de Na^+ . Su aporte puede llegar a ser hasta del 48.5% en la fracción de PM_{10} (CMTI, 2014).

Otras investigaciones han mostrado la influencia determinante del aerosol marino en la magnitud de la corrosión atmosférica. Por ejemplo, la salinidad atmosférica en las regiones costeras genera un notable incremento en la tasa de corrosión en comparación con un ambiente limpio (Alcántara et al., 2015). También se ha reportado que el aerosol marino es el principal contaminante causante de los efectos corrosivos en las estructuras metálicas, particularmente los iones cloruros (Cl^-) presentes en el mismo (Echeverría et al., 2006). Es necesario, entonces, investigar el aporte de los aerosoles marinos en la composición química del material particulado en ambientes exteriores.

Con la determinación de la concentración y composición química de los aerosoles marinos en el material particulado PM_{10} , se conocerá en detalle el aporte que hacen los aerosoles marinos a la calidad de aire en esta comunidad. Además, se identificarán que elementos metálicos provenientes de los aerosoles marinos o de otras fuentes están presentes en el interior de las viviendas y pueden afectar la salud humana o causar daños en los componentes del medio ambiente.

Existen muchas investigaciones sobre la contaminación del aire direccionadas correlacionar su impacto en la salud

humana (OMS, 2005). Se ha reportado que en casos extremos, la contaminación del aire ha causado muertes como resultado de la combinación de características geográficas inusuales con factores climáticos (SDA, 2009). Existen numerosos estudios epidemiológicos que demuestran la correlación entre enfermedades alérgicas, depresivas, renales, coronarias, pulmonares y cardíacas y la contaminación por material particulado (Douglas et al., 1993) (Gill, Cáceres, Quiñones, y Adonis, 1997) (Arden Pope y Dockery, 1999) (Pope et al., 1999) (Brunekreef y Stephen, 2002) (WHO, 2003) (Pope et al., 2009) (Autrup, 2010) (Wiwatanadate y Liwsrisakun, 2011) (Cheng, Jiang, Farjardo, Wang, y Hao, 2013) (Franklin, Brook, y Pope, 2015) (Zijlema et al., 2015) (Mehta et al., 2016) (Raaschou et al., 2016).

El tamaño de los aerosoles atmosféricos es una característica muy importante, porque mientras más pequeño sea su diámetro aerodinámico mayor será su capacidad de penetrar en áreas más profundas del sistema respiratorio (SEMARNAT, 2013).

Investigaciones desarrolladas, han demostrado que la calidad del aire intramural es con frecuencia tanto o más nociva que la de exteriores, implicando un grave peligro para la salud de las personas (Montoya y Hildemann,

2005). Este riesgo se incrementa si se considera que la mayor parte de la población gasta entre un 75 y un 90% de su tiempo en ambientes o espacios interiores (Gill et al., 1997), lo cual puede llegar a ser hasta del 100% en los grupos más vulnerables como ancianos, enfermos y lactantes (INET y GTZ, 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue a orilla de playa de la ciudad costera de Riohacha en La Guajira. Las condiciones meteorológicas y climáticas de este sitio se reconoce dos periodos de lluvias el primero de abril a junio y el segundo entre agosto y noviembre, presentando un clima cálido seco con diferencias entre días y noches. El relieve es una planicie y su clima es influenciado por los vientos alisios y por su cercanía a la Sierra Nevada de Santa Marta (Alcaldía de Riohacha, 2016).

Para la determinación de la composición química del material particulado PM₁₀, y con el fin de caracterizar la calidad del aire se tomaron muestras en el corredor marino ubicado a orilla de la playa. Aquí se seleccionaron tres sitios de muestreo el Centro de Convenciones Anas Mai (AM), el Muelle Turístico de Riohacha (MT), y el Centro Cultural (CC). El equipo utilizado para la toma de muestras fue el muestreador de aire táctico MiniVol

(TAS), de tecnología portátil para el muestreo de contaminantes del aire. La toma de muestras se realizó simultáneamente en los tres sitios, en el periodo de octubre a noviembre del año 2016. Se recolectaron muestras en un lapso de 24 horas con cambio de filtro cada tercer día.

Se utilizaron filtros de 47 mm de diámetro de fibra de vidrio. El manejo de estos se realizó cuidadosamente, se inspeccionaron para descartar cualquier defecto, rotulados con un número de identificación único siguiendo una secuencia, sellados con tinta a base de agua. Se acondicionaron y pesaron antes y después del monitoreo; en el desecador se controló el ambiente, con valores de humedad relativa media constante entre 20 y 45%, con una variabilidad de no más de $\pm 5\%$ y la temperatura en un valor medio constante entre 15 y 30 °C con una variabilidad de no más de ± 3 °C. Fueron almacenados en bolsas ziploc previamente etiquetada y protegidos de la luz por medio de bolsas metalizadas. El monitoreo transporte, almacenamiento y pesadas de los filtros se realizó siguiendo el protocolo para el monitoreo y seguimiento de calidad del aire en Colombia (MAVDT, 2010).

La concentración de las partículas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) fue

determinada por análisis gravimétrico, se emplearon datos de temperatura y condiciones ambientales de la estación meteorológica del IDEAM. Para calcular la concentración de PM_{10} , se dividió la ganancia de masa neta del filtro por el volumen de aire que pasó a través del filtro, utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{PM}_{\text{act}} = M_{\text{PM}} / V_{\text{act}} \quad (1)$$

Donde

PM_{act} = Concentración de PM, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

M_{PM} = Masa de material particulado recolectado en el filtro, (μg)

V_{act} = Volumen de aire que pasó a través del filtro durante el período de muestreo (m^3).

Para el análisis químico se seleccionaron muestras de cada tipo de filtros utilizados en cada punto de muestreo determinando los siguientes elementos Zn, Fe, Cd, V, Ca, Ni, Cu, As, Co, Pb, K, Mn, Mg, Na, por medio de un espectrómetro de emisión atómica de plasma por microondas (MP-AES) Agilent 4210 utilizado para el análisis de elementos de baja concentración con límites de detección inferiores a las partes por billón (ppb). Este análisis se llevó a cabo la Universidad Autónoma

Metropolitana Unidad Iztapalapa.

RESULTADOS

Concentración de PM₁₀

Se determinaron las concentraciones del material particulado PM₁₀, en los diferentes sitios de muestreo.

La Tabla 1 muestra las concentraciones promedio, el número de muestreo, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos en cada estación. El promedio general de todas las estaciones fue de 44.25 µg/m³. El sitio con mayor promedio de PM₁₀ a orilla de playa fue MT con promedio de 52.537 µg/m³. MT está ubicado a 300 metros mar adentro que presentó valores máximos de concentración de 60.790 µg/m³ y mínimos de 40.122 µg/m³, seguido de AM con valores máximos de 52.308 µg/m³ y mínimos de 35.897 µg/m³ y CC con valores máximos de 46.041 µg/m³ y mínimo.

Tabla 1. Concentración de material particulado PM₁₀ a orilla de playa.

Estación	N	Promedio (µg/m ³)	Desviación Estándar (µg/m ³)	Máximo (µg/m ³)	Mínimo (µg/m ³)
AM	8	43.913	7.189	52.308	35.897
MT	8	52.537	8.625	60.790	40.122
CC	8	36.317	6.101	46.041	31.250
Todas	24	44.255		60.790	31.250

Composición química del PM₁₀.

La determinación de la composición química del material particulado PM₁₀ se hizo para 14 elementos, que fueron seleccionados de las muestras tomadas en los tres sitios de muestreo. En la Tabla 2 se presentan las diferencias entre los promedios de las concentraciones de los elementos analizados. Según estas diferencias, las concentraciones fueron agrupadas en: a) elementos mayoritarios (Ca, Na, K) con promedios > 3 µg/m³, b) elementos intermedios (Mg, Fe, Pb), con promedios de concentraciones ≥0.1 y ≤3 µg/m³ y c) elementos minoritarios (V, Cu, Co, Mn, Zn, Cd, Ni, As), con promedios de concentraciones < 0.1 µg/m³.

Tabla 2. Concentraciones promedio de metales presentes en PM₁₀ en µg/m³ a orilla de playa en Riohacha

Elemento	AM		MT		CC	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Zn	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
Fe	0.938	0.266	1.000	0.000	0.893	0.180
Cd	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
V	0.129	0.001	0.155	0.004	0.125	0.003
Ca	13.905	0.266	12.144	2.424	13.584	0.603
Ni	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
Cu	0.014	0.003	0.086	0.005	0.086	0.006
As	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
Co	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
Pb	0.284	0.040	0.454	0.002	0.292	0.052
K	10.450	1.564	10.993	1.708	10.172	1.658
Mn	0.052	0.001	0.045	0.001	0.021	0.001
Mg	3.101	0.322	2.376	0.454	2.777	0.267
Na	19.834	2.353	11.550	1.719	18.477	0.025

La Figura 1 muestra las concentraciones promedio de los elementos mayoritarios e intermedios presentes en las muestras PM_{10} en las estaciones AM, MT y CC, el elemento de mayor abundancia fue el Na, con concentraciones promedio de $16.620 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seguido del Ca con un valor de $13.211 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el K con promedio de $10.538 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La estación AM, presentó los valores mayores de Na con $19.834 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Ca con $13.905 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La estación MT presentó los valores menores de Ca con $12.144 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Na con $11.550 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y los mayores promedios de K, Pb, V, Fe con concentraciones de $10.993 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.454 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.155 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. En las tres estaciones fueron detectados niveles mínimos de Zn, Cd, Ni, As, Co con promedios de $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los autores (Dewangan et al., 2016, Watson y Chow, 2015) clasifican las especies químicas según el origen, donde el principal componente del PM_{10} en las muestras tomadas fueron minerales como el Ca, Na, K, Mg, Fe, que presentaron las masas más abundantes clasificados en este documento como elementos mayoritarios e intermedios.

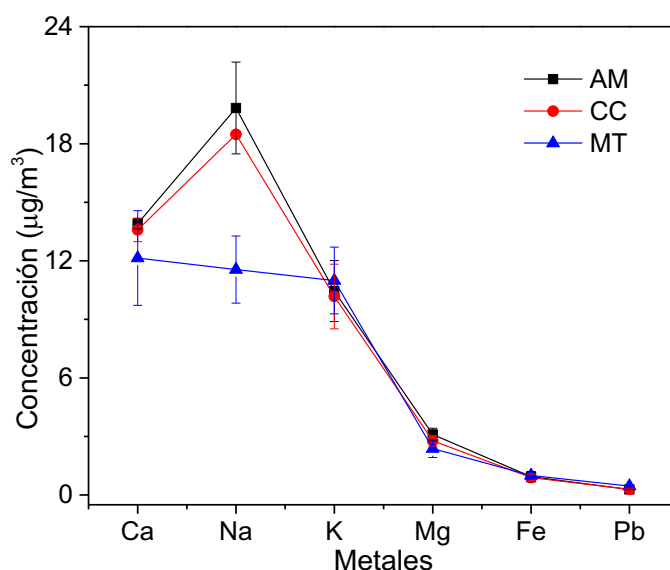


Figura 1. Concentración de metales en PM_{10} a orilla de playa en Riohacha.

El origen de los elementos como el Ca se asocia naturalmente al suelo, la construcción y a la utilización de cemento, el Cd es asociado a la combustión del carbón vegetal, el Fe se asocia a emisiones de vías, minería, construcción y cemento, el K es relacionado con la quema de biomasa y el Na se clasifica como aerosol marino. Riohacha recibe aportes directos de masa de PM_{10} de los aerosoles marinos debido a su ubicación geográfica en zona costera.

Los elementos intermedios como Pb, Zn y Cu fueron asociados a la emisión de vías y transporte, además el Pb y el Cu se asocian a la minería, construcción, cemento y polvo industrial y el Zn a la quema de Carbón vegetal. Elementos minoritarios como el Mn, As, Co se asocian a actividades industriales, el As es asociado a minería,

construcción, cemento, polvo industrial y a la quema de carbón vegetal, y el Ni y V a la quema de combustible fósiles y buques marinos.

Factor de enriquecimiento

A partir de los valores de las concentraciones de los elementos químicos presentes en las partículas PM₁₀ muestreadas, se pudo calcular los valores de factor de enriquecimiento (FE) de los elementos Zn, V, Ca, Ni, Cu, Pb, K, Mn, Mg, Na para cada estación y así poder establecer su origen. Para esta investigación se utilizó el Fe como elemento de origen litogénético de referencia, asociando su origen a procesos naturales, calculando un factor de enriquecimiento para este elemento de 1.

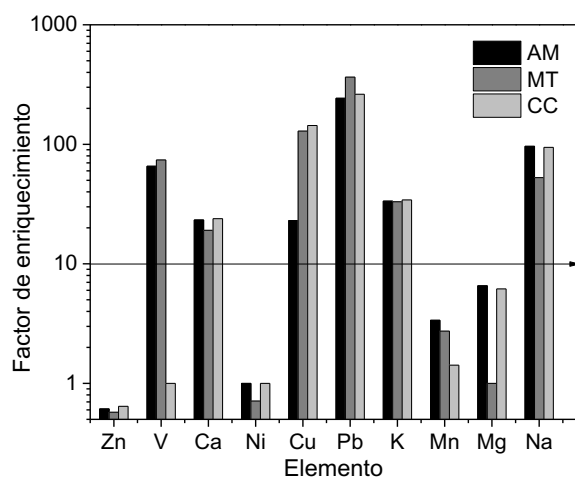


Figura 2. Factor de enriquecimiento de elementos en los sitios a orilla en Riohacha.

La Figura 2 muestra el factor de enriquecimiento de los elementos muestreados a orilla de playa. Se observa que

en las estaciones AM, CC y MT los elementos que presentaron valores de FE entre 1- 10 fueron el Zn, Ni, Mn y Mg, indicando que estos elementos no son enriquecidos por otra fuente de emisión más que su origen, siendo este mineral o litogénico. Elementos como el V, Ca, Cu, Pb, K, Na presentaron valores de FE entre 10-500 atribuyendo el origen de estos elementos diferentes a las fuentes naturales siendo su origen actividades antropogénicas tales como uso de combustibles fósiles o el transporte.

El enriquecimiento de elementos con concentraciones intermedias como el Pb, Zn y Cu se asociaron a acciones antrópicas relacionadas a la quema de combustibles fósiles y al transporte. Por otro lado, el Fe se relacionó exclusivamente a fuentes naturales. Elementos minoritarios como el Mn, As, Co se asocian a actividades industriales, e.g., minería y construcciones y a la quema de carbón vegetal, mientras que el Ni y V a la quema de combustible fósiles

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que las concentraciones de PM₁₀ variaron de 52.537 µg/m³ a 36.317 µg/m³ para ambientes exteriores. Los niveles más altos de las concentraciones se presentaron en MT, punto de muestreo

ubicado 300 m mar adentro. Los principales componentes del PM₁₀ encontrados en las muestras tomadas fueron minerales como el Ca, Na y K, los cuales se encontraron relacionados con los aerosoles marinos y otras fuentes, el origen del Ca se asoció al suelo, las construcciones y a la utilización de material de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Riohacha. (2016). *Riohacha incluyente y sostenible 2016 - 2019*. 52. Retrieved from <https://goo.gl/Y2omU6>
- Alcántara, J., Chico, B., Díaz, I., y Morcillo, M. (2015). Airborne chloride deposit and its effect on marine atmospheric corrosion of mild steel. *Corrosion Science*, 97, 74–88. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.04.015>
- Arden Pope, C., y Dockery, D. W. (1999). Epidemiology of Particle Effects. In *Air Pollution and Health*. <https://doi.org/10.1016/B978-012352335-8/50106-X>
- Autrup, H. (2010). Ambient air pollution and adverse health effects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(5), 7333–7338. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.05.089>
- Brunekreef, B., y Stephen, H. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, 360(7002), 1233–1242. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(02\)11274-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(02)11274-8)
- Cheng, Z., Jiang, J., Farjardo, O., Wang, S., y Hao, J. (2013). Characteristics and health impacts of particulate matter pollution in China (2001-2011). *Atmospheric Environment*, 65, 186 – 194.
- CMTI. (2014). *PM 10 y PM 2, 5 en A Coruña en 2014 y la influencia del aerosol marino*.
- Dewangan, S., Pervez, S., Chakrabarty, R., Watson, J. G., Chow, J. C., Pervez, Y., Rai, J. (2016). Study of carbonaceous fractions associated with indoor PM_{2.5}/PM₁₀ during Asian cultural and ritual burning practices. *Building and Environment*, 106, 229–236. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.006>
- Douglas, D., Arden, P. C., Xiping, X., D., S. J., H., W. J., E., F. M., E., S. F. (1993). An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *New England Journal of Medicine*, 329(24), 1753–1759. <https://doi.org/10.1056/NEJM199312093292401>

- Echeverria, C., Tsembame, J., y Lopéz. (2006). *Influencia del aerosol marino en la corrosión atmosférica*. *Environmental Health Perspectives*, (April).
<https://doi.org/10.1289/ehp.1510269>
- Franklin, B. A., Brook, R., y Pope, A. C. (2015). Air pollution and cardiovascular disease. *Current Problems in Cardiology*, 40(5), 207–238.
<https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2015.01.003>
- Gill, L., Cáceres, D., Quiñones, L., y Adonis, M. (1997). Contaminación del aire en espacios interiores y exteriores en la ciudad de Temuco. *Ambiente y Desarrollo*, 13(1), 70–78. Retrieved from <http://www.cipma.cl/web/200.75.6.169/RAD/1997-1.html>
- INET, y GTZ. (2003). *Conceptos básicos sobre medio ambiente y desarrollo sustentable*. Buenos Aires.
- MAVDT. *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.* , (2010).
- Mehta, A. J., Zanobetti, A., Bind, M.-A. C., Kloog, I., Koutrakis, P., Sparrow, D., Schwartz, J. D. (2016). Long-Term Exposure to Ambient Fine Particulate Matter and Renal Function in Older Men: The VA Normative Aging Study. *Environmental Health Perspectives*, (April).
<https://doi.org/10.1289/ehp.1510269>
- Montoya, L., y Hildemann, L. (2005). Size distributions and height variations of airborne particulate matter and cat allergen indoors immediately following dust-disturbing activities. *Journal of Aerosol Science*, 36(5–6), 735–749.
<https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2004.11.004>
- OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS*. Ginebra.
- Pope, C A, Verrier, R. L., Lovett, E. G., Larson, A. C., Raizenne, M. E., y Kanner, R. E. (1999). Heart rate variability associated with particulate air pollution. *Am Heart J*, 138, 11–15.
[https://doi.org/10.1016/S0002-8703\(99\)70014-1](https://doi.org/10.1016/S0002-8703(99)70014-1)
- Pope, C Arden, Ezzati, M., Dockery, D. W., Pope III, C. A., Ezzati, M., y Dockery, D. W. (2009). Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *New England Journal of Medicine*, 360(4), 376–386.
<https://doi.org/10.1056/NEJMsa0805646>
- Raaschou, O., Beelen, R., Wang, M., Hoek, G., Andersen, Z. J., Hoffmann, B., Vineis, P. (2016). Particulate matter air pollution components and

- risk for lung cancer. *Environment International*, 87(FEBRUARY), 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.11.007>
- Rodríguez, M. del M. (2003). *Niveles , composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias*.
- SDA, S. D. de A. (2009). *Elementos técnicos del plan decenal de descontaminación de Bogota* (Primera ed). Bogota D. C.
- SEMARNAT. (2013). *Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas* (p. 146). p. 146. Mejiro D. C.
- Watson, J., y Chow, J. (2015). Receptor Models and Measurements for Identifying and Quantifying Air Pollution Sources. In *Introduction to Environmental Forensics*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404696-2.00020-5>
- WHO. (2003). Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter , Ozone and Nitrogen Dioxide. *Report on a WHO Working Group Bonn, Germany 13–15 January 2003*, (January), 98. <https://doi.org/10.2105/AJPH.48.7.913>
- Wiwatanadate, P., y Liwsrisakun, C. (2011). Acute effects of air pollution on peak expiratory flow rates and symptoms among asthmatic patients in Chiang Mai, Thailand. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(3), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.03.003>
- Zijlema, W. L., Wolf, K., Emeny, R., Ladwig, K. H., Peters, A., Kongsgård, H., Rosmalen, J. G. M. (2015). The association of air pollution and depressed mood in 70,928 individuals from four European cohorts. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(DECEMBER), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.11.006>