

## Estado del arte del proyecto: “Análisis de la distribución y variabilidad espacial del contaminante atmosférico NO<sub>2</sub> en Barranquilla”

**Autores:** WENDY MORGADO GAMERO.

### Resumen:

Algunos de los contaminantes atmosféricos más críticos en términos de efectos sobre la salud es el dióxido de nitrógeno -NO<sub>2</sub>, cuyos niveles exceden los estándares nacionales y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en muchas áreas. El aumento de las concentraciones de NO<sub>2</sub> no solo afecta gravemente la salud física humana debido a la función pulmonar reducida sino también a los ecosistemas acuáticos por deposición ácida y eutrofización del suelo y el agua. Este proyecto de investigación pretende comprender la distribución y variabilidad espacial del NO<sub>2</sub> durante el periodo de estudio en la ciudad de Barranquilla, Atlántico. El método de muestreo a emplear es a través de muestreadores pasivos de difusión durante un periodo de 2 a 3 semanas, esto en función de obtener la concentración del contaminante en una adecuada resolución; la gran ventaja es la medición simultánea de varios puntos de monitoreo al mismo tiempo del área de estudio en una amplia zona con un método costo efectivo. Los tubos serán preparados con trietanolamina al 20% / agua desionizada y se ubicaron en el borde de la carretera entre 1 y 5 metros del borde de la acera, posteriormente las muestras serán analizadas por espectrofotometría. Se realizarán mapas de isoconcentración con el software Arcgis 10.7 y mediante la aplicación de estadística espacial se establecerán modelos de predicción del comportamiento de la variable NO<sub>2</sub> en la ciudad de Barranquilla. Los resultados esperados incluyen analizar las áreas de la ciudad con elevadas concentraciones de este contaminante que superan los límites permisibles, su relación con las condiciones meteorológicas de la ciudad, el tráfico y fuentes fijas. También determinar los puntos críticos de la ciudad que pueden necesitar con urgencia de planes de gestión, y de esta forma subsidiar el conocimiento para servir de herramienta a las autoridades ambientales y de salud. De esta forma se pretende conocer los lugares en los cuales se recomiende la instalación de sistemas de control y medición de NO<sub>2</sub> automáticos de mayor resolución temporal y en tiempo real.

### Marco teórico:

La contaminación del aire es un asunto que se ha dimensionado a diferentes escalas, por lo que se debe al crecimiento urbano, actividades humanas, fuentes industriales y móviles, que contribuyen al deterioro de la calidad del aire. Estas acciones han traído efectos como el aumento de los contaminantes atmosféricos, y a su vez se vuelve en un grave problema ambiental en muchos países y es debido al rápido desarrollo de la industrialización y la urbanización en las últimas décadas.(Amoatey, Omidvarborna, Baawain, & Al-Mamun, 2019; Jinhong Xian, Dongsong Sun, Wenjing Xu, Yuli Han, Jun Zheng, Jiancao Peng, 2020). La mayoría de estos contaminantes atmosféricos son considerado como sustancias que son

producidas por el consumo de combustibles fósiles en motores de combustión interna como (automóviles, buses, camiones, plantas de energía, termoeléctricas, maquinaria industrial), todas estas fuentes antropogénicas. Sin embargo, podemos encontrar contaminación atmosférica de origen natural como erosión de suelo, evaporación del agua del mar, erupciones volcánicas e incendios forestales y también producidas algunas por el hombre como las quemas indiscriminadas. Es así, como (González, 2018), define que la contaminación atmosférica “es una mezcla compleja de una gran variedad de sustancias producidas por la combustión incompleta en procesos antropogénicos pero también existen contribuciones de origen natural”. La contaminación del aire es una problemática que cada día aumenta por las diferentes actividades que realiza el hombre ya sean en áreas urbanas o rurales causando no solo afecciones al medio ambiente si no a la salud humana. A su vez esta contaminación trae consigo muchas de las enfermedades respiratorias que por hoy van incrementando en especial en las poblaciones más vulnerables. A partir de lo anterior, este tema se ha convertido en una de las principales preocupaciones de salud pública y de organizaciones mundiales las cuales comentan que nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminantes y siete millones de personas mueren cada año por la contaminación del aire ambiente de exteriores y doméstico. (Paoletti, De Marco, Beddows, Harrison, & Manning, 2014) El contaminante atmosférico dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), es uno de los contaminantes que causa muchas afectaciones al medio ambiente y a la salud, y por lo tanto ha sido uno de los que ha influido en el calentamiento global, debido a que sus niveles han aumentado en los últimos años a causa de las actividades antropogénicas, que lo convierte en uno de los contaminantes para la formación de la lluvia ácida. (Gutiérrez Oyarce et al., 2018). Uno de los contaminantes criterios o que resalta entre los que afecta la calidad del aire encontramos el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) un gas amarronado que es producido directa e indirectamente por la combustión a altas temperaturas, por ejemplo, en automóviles, plantas termoeléctricas, fundiciones, entre otros. (Sbarato, Dario, 2015). Sin embargo, el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) al ser uno de los contaminantes ubicuos en el aire ambiente que presenta efectos adversos documentados sobre la salud y el bienestar. Si bien las técnicas estándar de monitoreo de  $\text{NO}_2$  requieren instrumentos costosos, los muestreadores difusivos, también llamados muestreadores pasivos, son livianos, económicos y no necesitan mantenimiento, energía en el sitio y bombeo. (Alatorre & Llanos, 2014). Para el monitoreo del dióxido de nitrógeno  $\text{NO}_2$ , es importante considerar la ubicación y el tipo de equipos que se han de utilizar para encontrar las concentraciones que se presentan en el área a estudiar. Es así como, La disposición final de los monitores en el sitio seleccionado depende de las obstrucciones físicas y de las actividades en el área inmediatamente próxima, la disponibilidad de facilidades como energía eléctrica y otras utilidades de soporte. Debido a que obstáculos como árboles o construcciones pueden alterar notablemente el flujo de aire, los equipos monitores deben estar lo suficientemente alejados como para que la influencia de dichos elementos no perturbe la medición. (Querol et al., 2014). Dentro de los tipos de muestreadores podemos considerar que encontraremos:

- Muestreadores pasivos: son en general un sustrato químico en el cual se pueden absorber y adsorber diferentes contaminantes. Son especialmente indicados en casos de estudios de dosis personales por exposición a atmósferas contaminadas. El sustrato químico es elegido para un contaminante en particular. (Sbarato, Dario, 2015)
- Muestreadores activos: necesitan de un suministro de energía eléctrica para su funcionamiento. Se basan en una bomba que fuerza un controlado volumen de aire a pasar a través de un medio colector. La diferencia más importante respecto a los muestreadores pasivos es que tienen mayor sensibilidad y mayor resolución

temporal.(Sbarato, Dario, 2015) • Monitores automáticos: son activos, aunque, como su nombre lo indica, funcionan con controles automatizados.(Sbarato, Dario, 2015) Al tratar de conocer las concentraciones del NO<sub>2</sub>, y analizar la difusión molecular de este contaminante, los muestreadores pasivos ofrecen un medio simple y rentable para medir los contaminantes del aire para el monitoreo del nivel ambiental de NO<sub>2</sub> en todo el mundo. La muestra de difusión más simple es la muestra de tipo tubo introducida por primera vez por Palmes et al. (Mecánica, Por, & Diego Cruz Freire Darwin Vinicio Chimbo Chimbo, 2015), estos tubos anteriores usan trietanolamina (TEA) como absorbente.(de Jesús Torres Noreña, Montoya Izquierdo, & Guillermo Castaño González, 2009). Los muestreadores pasivos se diseñan generalmente ya sea en una configuración tipo tubo con un extremo abierto (los llamados tubos Palmes); o en una configuración más corta tipo insignia, donde el extremo abierto está protegido por un filtro de membrana u otra pantalla contra el viento. En cualquier caso, el extremo cerrado contiene un absorbente para las especies gaseosas que se controlarán. Varios tipos diferentes de tubos de difusión comerciales están disponibles en el mercado en los últimos tiempos.(de Jesús Torres Noreña et al., 2009). Los muestreadores son útiles para identificar áreas de alta concentración de NO<sub>2</sub>, especialmente cuando se trata de fuentes como las emisiones de tráfico, que no cambian mucho de un día a otro. Son menos útiles para monitorear las concentraciones ambientales alrededor de fuentes de emisión específicas, como las plantas industriales, ya que no pueden identificar fluctuaciones a corto plazo en el NO<sub>2</sub>, como puede ser el resultado de fluctuaciones en la dirección del viento.(Yang et al., 2019b). Los tubos de difusión están hechos de plástico transparente, con un tapón de goma en cada extremo. Diseñado para el control pasivo del NO<sub>2</sub> gaseoso en el aire. Trabajan mediante la recopilación de información sobre el NO<sub>2</sub> mediante una malla de acero recubierta con un químico llamado triethanolimne (TEA), que se encuentra en el extremo del tubo con el tapón rojo. La TEA absorbe el nitrógeno del aire cuando se quita el tapón blanco y el análisis de laboratorio puede mostrar los niveles de contaminante en el aire (los tubos de N.B. deben colocarse siempre para permitir que el aire circule libremente). Los resultados proporcionan un promedio durante el período en que el tubo se expuso al medio ambiente.(Mecánica et al., 2015). Los tubos de difusión funcionan mediante un proceso denominado difusión molecular. Durante la difusión molecular, los compuestos se moverán desde un área de alta concentración a un área de baja concentración. Los compuestos en el aire están en una concentración más alta que los del tubo, por lo que los compuestos se difunden en el tubo y se acumulan en el absorbente al final del tubo.(Thomas & Devasthale, 2017). Debido a que los compuestos se absorben, se mantiene la baja concentración en el tubo y, por lo tanto, la difusión continúa. La tasa de movimiento de los compuestos en el tubo se denomina tasa de absorción. Esta es una tasa conocida y se utiliza en los cálculos durante el análisis. El principio básico sobre el que operan los muestreadores de tubos de difusión es el de la difusión molecular, con moléculas de un gas que se difunden desde una región de alta concentración (extremo abierto del muestreador) a una región de baja concentración (extremo ab sorber del muestreador). El movimiento de las moléculas de gas a través del gas se rige por la ley de Fick, que establece que el flujo es proporcional al gradiente de concentración.(Thomas & Devasthale, 2017). Se utilizan diversas técnicas de análisis para los diferentes tubos de difusión. El laboratorio determina la concentración de compuestos en el momento (en este caso, UV / visible utilizando un espectrofotómetro). Esto se usa luego en un cálculo con la tasa de absorción para calcular la concentración promedio de compuestos que estaban presentes en el aire durante el período de monitoreo.(Mecánica et al., 2015).

## Estado del arte:

El contaminante atmosférico dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), es uno de los contaminantes que causa muchas afectaciones al medio ambiente y a la salud, y por lo tanto ha sido uno de los que ha influido en el calentamiento global, debido a que sus niveles han aumentado en los últimos años a causa de las actividades antropogénicas, que lo convierte en uno de los contaminantes para la formación de la lluvia ácida. La contaminación ambiental, especialmente la atmósfera se ha convertido en una gran afectación para la salud en todo el mundo. Grandes organizaciones como OMS (Organización Mundial de la Salud) han identificado los contaminantes atmosféricos que causan un impacto en la salud humana dentro de ella entran el ozono (O<sub>3</sub>), partículas (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) (OMS, 2018). Las relaciones NO - NO<sub>2</sub> de las emisiones de vehículos diésel ha sido ampliamente informada que son los que realizan más combustión y son los más contaminantes de este, a pesar, que los vehículos que utilizan este combustible han disminuido en estos últimos años. (Carslaw, et al., 2016; EMEP, 2016; Paoletti et al., 2014; Querol et al., 2014, 2016; Sicard et al., 2013). No obstante los contaminantes atmosféricos pueden variar en su espacio temporal , lo que tiene un impacto importante en la exposición de las personas y la salud ambiental (Vitolo, Scutari, Ghalaieny, Tucker, & Russell, 2018). Uno de los contaminantes con un impacto significativo en el medio ambiente es el derivado del nitrógeno en el aire lo cual se deriva de la quema de combustibles fósiles. Este se da por el escape de automóviles, las calefacciones, emisiones de gases por parte de la industria que hace que aumente la concentración de este contaminante en la atmosfera. Dentro del contexto encontramos el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) que pertenece a la familia de gases altamente reactivos llamada óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), que es una mezcla de NO (óxido nítrico) y NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno). (González, 2018). El NO<sub>2</sub> cuando se encuentra en la atmosfera tienen la facilidad de combinarse, son liberados a través de las combustiones que liberan óxido nítrico el cual reacciona y se convierte fácilmente en dióxido de nitrógeno. Los óxidos de nitrógeno son un importante indicador de la contaminación del aire, ya que la concentración del NO<sub>2</sub> ha sido bien correlacionada con la concentración de monóxido de carbono, partículas de hidrocarburos aromáticos policíclicos y otros contaminantes. (de Jesús Torres Noreña et al., 2009). En un estudio realizado por (Yang et al., 2019a) comenta que Material Particulado (PM 2.5 ), Material Particulado (PM 10 ), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub> ), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>) en el oeste de China, las características espaciotemporales de los contaminantes del aire, y su relación con los factores meteorológicos y las fuentes de emisión, y la eficiencia de las estrategias de control de emisiones para la región. No obstante, se estima que el NO<sub>2</sub> afecta a la salud, hay estudios que han relacionado el riesgo de mortalidad causado por la contaminación del aire y los cambios de temperatura lo cual es un tema de preocupación. En un estudio realizado por (Duan et al., 2019) menciona que hay pocos estudios sobre el efecto de los cambios en la estación y la temperatura en la mortalidad cardiovascular diaria asociada con el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) contaminante del aire. Sin embargo, La contaminación del aire por NO<sub>2</sub> puede tener efectos inmediatos sobre algunos resultados específicos de la enfermedad, como los infartos de miocardio (Jf Argacha, P.Collart, A.Wauters, Y. Coppiertes, P. Sinnaeve, 2016). El efecto de la exposición a largo plazo del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), en la mortalidad respiratoria y cardiorrespiratoria, que

para este último es menos concluyente. Además, existe evidencia de sobre un efecto sobre la mortalidad entre las personas con condiciones potencialmente predisponentes (enfermedad pulmonar obstructiva crónica, diabetes, insuficiencia cardíaca congestiva e infarto de miocardio). (WHO, Health Organization, & Office for Europe, 2013). Las concentraciones elevadas de NO<sub>2</sub> pueden acumularse a niveles peligrosos y contribuir a efectos adversos para la salud, como la inflamación de las vías respiratorias y la reducción de la función pulmonar. El aumento de las concentraciones de NO<sub>2</sub> no solo afecta gravemente la salud física humana debido a la función pulmonar reducida sino también a los ecosistemas acuáticos por deposición ácida y eutrofización del suelo y el agua (Thomas, 2017).

#### **Bibliografía:**

**Alatorre, A. G., & Llanos, M. del C. (2014). Contaminación Atmosférica en Tepic, Nayarit, México Air Pollution in Tepic, Nayarit, Mexico. Revista EDUCATECONCIENCIA, Volumen 4(4), 34–47.**

**Amoatey, P., Omidvarborna, H., Baawain, M. S., & Al-Mamun, A. (2019). Emissions and exposure assessments of SOX, NOX, PM10/2.5 and trace metals from oil industries: A review study (2000–2018). Process Safety and Environmental Protection, 123, 215–228.**  
**<https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.01.014>**

**Cabello-Eras, J. (2016). Acercamiento a la producción más limpia como estrategia de gestión ambiental. IJMSOR: International Journal of Management Science & Operation Research, 1(1), 4-7. <https://doi.org/10.17981/ijmsor.01.01.01>**

**Carslaw, D. C., Murrells, T. P., Andersson, J., & Keenan, M. (2016). Have vehicle emissions of primary NO<sub>2</sub> peaked? Faraday Discussions, 189, 439–454. <https://doi.org/10.1039/c5fd00162e>**

**de Jesús Torres Noreña, H., Montoya Izquierdo, P. M., & Guillermo Castaño González, J. (2009). Determinación de NO<sub>2</sub> atmosférico mediante captadores pasivos y cromatografía de intercambio iónico Measurement of atmospheric NO<sub>2</sub> by passive samplers and ion interchange chromatography. Ingeniería y desarrollo. Universidad del Norte., 25, 25–47.**

Recuperado de **<http://www.scielo.org.co/pdf/inde/n25/n25a02.pdf>**

De la Peña, Y., Bordeth, G., Campo, H., & Murillo, U. (2018). Clean Energies: An Opportunity to save the Planet. *IJMSOR: International Journal of Management Science & Operation Research*, 3(1), 21-25. Retrieved from <http://ijmsoridi.com/index.php/ijmsor/article/view/91>

Duan, Y., Liao, Y., Li, H., Yan, S., Zhao, Z., Yu, S., ... Jiang, H. (2019). Effect of changes in season and temperature on cardiovascular mortality associated with nitrogen dioxide air pollution in Shenzhen, China. *Science of the Total Environment*, 697, 134051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134051>

EMEP. (2016). Air pollution trends in the EMEP region between 1990 and 2012.

González, H. J. (2018). *Introducción a la Contaminación Atmosférica* (Ediciones; E. UC, Ed.). Chile: Alfaomega.

Gutiérrez Oyarce, A., Ferrero, A., Estarlich, M., Esplugues, A., Iñiguez, C., & Ballester, F. (2018). Exposición ambiental a dióxido de nitrógeno y salud respiratoria a los 2 años en la Cohorte INMA-Valencia. *Gaceta Sanitaria*, 32(6), 507–512. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.05.012>

Jf Argacha, P.Collart, A.Wauters, Y. Coppiertes, P. Sinnaeve, M. C. (2016). Air pollution and ST segment elevation myocardial infarction: a crossover case study from the Belgian STEMI registry 2009–2013. Recuperado de [https://www.internationaljournalofcardiology.com/article/S0167-5273\(16\)31583-2/fulltext](https://www.internationaljournalofcardiology.com/article/S0167-5273(16)31583-2/fulltext)

Jinhong Xian, Dongsong Sun, Wenjing Xu, Yuli Han, Jun Zheng, Jiancao Peng, S. Y. (2020). Urban air pollution Xian Jinhong.pdf. Elsevier, 258(113696). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749119350420?via%3>

Dihu Mecánica, F. DE, Por, P., & Diego Cruz Freire Darwin Vinicio Chimbo Chimbo, J. (2015). ESTUDIO DE SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> EMPLEANDO MUESTREO PASIVO EN LA ZONA INDUSTRIAL DE VÍA A LA COSTA - GUAYAQUIL.

M. Hernández y R. Buitrago, Rol del sinésteta organizacional en el manejo de la comunicación asertiva, *Económicas CUC*, vol. 38, n.º 2, pp. 61-76, jul. 2017.

OMS. (2018). Organización Mundial de la Salud. Recuperado de Calidad del aire y salud website:

[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health-](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health-)

Paoletti, E., De Marco, A., Beddows, D. C. S., Harrison, R. M., & Manning, W. J. (2014). Ozone levels in European and USA cities are increasing more than at rural sites, while peak values are decreasing. *Environmental Pollution*, 192, 295–299.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.04.040>

Querol, X., Alastuey, A., Pandolfi, M., Reche, C., Pérez, N., Minguillón, M. C., ... Reina, F. (2014). 2001-2012 trends on air quality in Spain. *Science of the Total Environment*, 490, 957–969.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.074>

Querol, X., Alastuey, A., Reche, C., Orío, A., Pallares, M., Reina, F., ... Millán, M. (2016). On the origin of the highest ozone episodes in Spain. *Science of the Total Environment*, 572, 379–389.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.193>

Sbarato, Dario, S. V. (2015). Contaminación del aire (E. Las Brujas, Ed.). Recuperado de

<http://ezproxy.uninorte.edu.co:2507/a/41889>

Sicard, P., De Marco, A., Troussier, F., Renou, C., Vas, N., & Paoletti, E. (2013). Decrease in surface ozone concentrations at Mediterranean remote sites and increase in the cities. *Atmospheric Environment*, 79, 705–715.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.042>

Thomas, M. A., & Devasthale, A. (2017). Typical meteorological conditions associated with extreme nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) pollution events over Scandinavia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(19), 12071–12080.

<https://doi.org/10.5194/acp-17-12071-2017>

Vitolo, C., Scutari, M., Ghalaieny, M., Tucker, A., & Russell, A. (2018). Modeling Air Pollution, Climate, and Health Data Using Bayesian Networks: A Case Study of the English Regions. *Earth and Space Science*, 5(4), 76–88. <https://doi.org/10.1002/2017EA000326>

WHO, Health Organization, W., & Office for Europe, R. (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP

Project Technical Report.

Yang, J., Ji, Z., Kang, S., Zhang, Q., Chen, X., & Lee, S.-Y. (2019a). Spatiotemporal variations of air pollutants in western China and their relationship to meteorological factors and emission sources. *Environmental Pollution*, 254, 112952. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.120>

Yang, J., Ji, Z., Kang, S., Zhang, Q., Chen, X., & Lee, S. Y. (2019b). Spatiotemporal variations of air pollutants in western China and their relationship to meteorological factors and emission sources. *Environmental Pollution*, 254, 112952. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.120>

alvis, B., & Rojas, N. . (2006). Relación entre PM 2.5 Y PM 2.10 en la ciudad de Bogotá. 3(2), 336-356.

Biermann, J. M. (2013). Allergic disorders of the respiratory tract – endings from a large patient sample in the German statutory health insurance system. *Allergo Journal*, 22(6), 366-373.

Franco, J. F. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio. Bogotá. *Revista EAN*, , (72), 193-204.

Kharol, S. K., Martin, R. V., Philip, S., Boys, B., Lamsal, L. N., Jerrett, M., ... & Burnett, R. T. (2015). Assessment of the magnitude and recent trends in satellite-derived ground-level nitrogen dioxide over North America. *Atmospheric Environment*, 118, 236-245.



Leal, J. L. (2006 ). Air quality in the Mexico megacity. An integrated assessment, 32(96), 141-145.

OMS. (2 de mayo de 2018). Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 03 de 05 de 2018, de <http://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

Oyarzun, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Revista chilena de enfermedades respiratorias, 26(1), 16-25.

Thomas, M. D. (2017). Typical meteorological conditions associated with extreme nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) pollution events over Scandinavia. Atmospheric Chemistry and Physics, 17(19) 12071-12080.

Weichenthal, S., Crouse, D. L., Pinault, L., Godri-Pollitt, K., Lavigne, E., Evans, G., ... & Burnett, R. T. (2016). Oxidative burden of fine particulate air pollution and risk of cause-specific mortality in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC). Environmental research, 146, 92-99.

Yale, E. I. (2018). Environmental Performance Index. Recuperado el 01 de 05 de 2018 , de

<https://epi.envirocenter.yale.edu/epi-topline> IDEAM. Atlas climatológico de Colombia.  
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>