



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

RELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y
VARIABLES METEOROLÓGICAS

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Claudia Camila Garcia Montoya

Asesor:

Guillermo Lazo

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°186-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 27 de noviembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Relación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas**, presentado por:

- **Claudia Camila García Montoya**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Relación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas** con N° de registro de la carrera: **028-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Guillermo Lazo** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

RELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y VARIABLES METEOROLÓGICAS

Claudia García Montoya & Guillermo Lazo A.

Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Carrera de Ingeniería Ambiental. Panamericana Sur Km 19. Lima 42.

claudiacamilaqm@gmail.com

RESUMEN

Es importante establecer las interacciones que existen entre contaminantes atmosféricos como SO₂, O₃, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}; y variables meteorológicas como, precipitación, temperatura, velocidad y dirección del viento etc; para explicar su comportamiento, con la finalidad de realizar estudios y proyecciones que ayuden a la creación de sistemas contra desastres o fenómenos relacionados (Cepeda-Pizarro & Armijo, 2014). Se determina que, si existe correlación directa entre variables meteorológicas y contaminantes atmosféricos, pues estas influyen y modifican el comportamiento de las partículas en el espacio (Rodríguez, 2009).

Para el ozono, las variables más relacionadas son la temperatura y la radiación solar, resultando la última mencionada tener una influencia más directa (Bravo et al., 2000).

La concentración de partículas suspendidas totales y la humedad relativa, junto con el PM₁₀ sostienen una correlación tipo inversa, esta última también tiene una relación con la temperatura (Garreaud & Rutlland, 2010) al igual que el NO₂ (Murat, 2015). En tanto, la velocidad del viento tiene una relación positiva con el NO₂ y el material particulado; este último también sostiene una relación estrecha con la dirección del viento (Ramos-Herrera et al., 2010).

Palabras clave: contaminación atmosférica, variables meteorológicas, calidad del aire.

ABSTRACT

It is important to establish the interactions that exist between atmospheric pollutants such as SO₂, O₃, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}; and meteorological variables such as wind speed and direction, temperature, precipitation, etc; to explain their behavior, with the purpose of carrying out studies and projections that help the creation of systems against disasters or related phenomena (Cepeda-Pizarro & Armijo, 2014). It is determined that if there is a direct correlation between meteorological variables and atmospheric pollutants, they influence and modify the behavior of the particles in space (Rodríguez, 2009).

For ozone, the most related variables are temperature and solar radiation, having the last one mentioned most direct influence (Bravo et al., 2000). The relative humidity and the concentration of total suspended particles and PM₁₀ support a reverse type correlation, the latter also has a relationship with temperature (Garreaud & Rutlland, 2010) as well as NO₂ (Murat, 2015). Meanwhile, the wind speed has a positive relationship with the NO₂ and the particulate material; the latter also maintains a close relationship with the direction of the wind (Ramos-Herrera et al., 2010).

Keywords: atmospheric pollution, meteorological variables, air quality.

REVISIÓN TEÓRICA

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación y calidad del aire viene a ser un tema de gran importancia y consideración en materias ambientales alrededor del mundo (MINAM, 2014). Los contaminantes atmosféricos más relevantes para la salud son el material particulado (PM) con un diámetro de 10 micras o menos (Who, 2005). La contaminación de aire es un tema de preocupación en varios países alrededor del mundo, es por ello que cuenta con un presupuesto anual que se destina principalmente a reducir la tasa de mortandad causada por enfermedades cardio-pulmonares (62%), y un 38% destinado a prevención y tratamiento de enfermedades respiratorias. Aproximadamente un 1.3% del total de muertes prematuras mundiales son atribuidas a la presencia de material particulado en la atmósfera. (Belausteguigoitia, 2011).

La contaminación de aire suele ser atribuida, en el caso de los países productores o industrializados, a la serie de procesos que se dan en la industrialización; pero en el caso de la mayor parte de ciudades en Latinoamérica y el Caribe, la contaminación de aire es causada principalmente por los vehículos automotores; lo cual es un reflejo del tipo de economía que prevalece en la región: de consumo y no de producción (Etchegaray, 2005). Gran parte de la contaminación del aire existente en los países latinoamericanos es originada por las emisiones de fuentes móviles de los automóviles (SENAMHI, 2011), y es deducible que estos porcentajes sean más elevados en las principales metrópolis y ciudades que concentran gran cantidad de población.

Estas emisiones tienen como contenido contaminantes como dióxido de azufre (SO_x), nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y el contaminante considerado más dañino para la salud

humana; el material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} (PISA, 2005), los cuales se miden con ayuda de una red automatizada de monitoreo de calidad del aire y consta de un número de estaciones distribuidas por toda la ciudad que la disponga con la finalidad de captar datos de sus distintas localidades e implementadas con una estación meteorológica y sofisticados equipos para medir específicamente PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO, SO_2 , O_3 , NO_2 (SENAMHI, 2015). Con estos datos, y a través de la autoridad encargada de cada país, se emiten informes anuales a disposición del público en general.

El presente artículo recopiló información acerca de la relación existente entre variables meteorológicas y contaminantes atmosféricos; con la expectativa que sirva de base para la implementación de nuevas políticas ambientales que aseguren la calidad de aire de cualquier ciudad en estudio y se obtengan resultados a corto, mediano y largo plazo, logrando que la contaminación del aire y los costos asociados a la misma disminuyan, y favoreciendo así a su población de manera directa, principalmente en términos de calidad de vida. A su vez, es importante que las autoridades locales no limiten sus acciones a la publicación de la información de calidad de aire recopilada de sus redes automatizadas, sino que también estudien el comportamiento de los contaminantes identificados según las variables meteorológicas que más influencia podrían tener en los mismos mediante estudios de modelamiento y/o proyecciones para que se puedan tomar acciones que vayan más acorde a las condiciones meteorológicas presentes en su territorio y estas sean más afectivas

2. MARCO TEORICO

2.1. Contaminación ambiental

La contaminación ambiental es un término que viene tomando relevancia en los últimos años, ya que se busca medir sus riesgos, tanto en la actualidad como a futuro (Jiménez, 2011); esto significa una preocupación a nivel mundial por la manera en cómo esta afecta el planeta y sus habitantes (Smith & Akbar, 2003). Se trata de un tema trascendente para diversas ramas de estudio, como por ejemplo la medicina; donde existen antecedentes que demuestran relación entre ciertos agentes ambientales y la salud humana (Vargas-Marcos, 2005). Las consecuencias pueden presentarse como enfermedades respiratorias agudas en aquellas personas expuestas a algún contaminante (Ocaña et al., 2001).

La contaminación ambiental es un tema inherente a las actividades del ser humano (Albert, 2004) por lo cual se puede deducir que ha existido desde los principios del hombre en la tierra. Cifras demuestran que, en países industrializados, un 20% de las enfermedades pueden atribuirse a factores medioambientales; y en Europa una cantidad considerable de muertes y discapacidades en infantes son producto de la contaminación del aire que estos respiran (Vargas-Marcos, 2005).

2.2. Clasificación de la contaminación

Nuestro planeta está constituido por diversos ecosistemas en los cuáles el hombre ha ido desarrollando sus actividades (Albert, 2004), lo cual generó una gran variedad de peligros ambientales como el deterioro de los recursos que la naturaleza le brinda; el suelo, el agua que consume, entre otros (Sánchez-Duque et al., 2015). Si consideramos los efectos de la contaminación según el sustrato afectado podemos referirnos al medio que acumule los contaminantes; los más estudiados suelen ser: agua, suelo, alimentos y atmósfera (Albert, 2004). Con la finalidad de conocer de mejor manera los efectos de

los contaminantes sobre los distintos sustratos mencionados, se desarrolla una colaboración entre las distintas ramas de la ciencia relacionadas al elemento o medio a analizar, ampliando los márgenes de conocimiento y obteniendo así una información más rica sobre lo estudiado (Grau & Dolores., 2003).

2.3. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es la presencia de materias o formas de energía en el aire desencadenantes de un riesgo o daño para los seres humanos o seres vivos en general (Aránguez et al., 1999). Tiene origen en la génesis de nuestro planeta gracias a las erupciones volcánicas y la gran cantidad de gases producto reacciones que finalmente formaron la primera atmósfera (Solís & López, 2003). Por ello, la contaminación atmosférica en países de economías en desarrollo, es un fenómeno que se encuentra en constante crecimiento (Chow et al., 1998).

Las emisiones a la atmósfera pueden tener dos procedencias identificables: fuentes móviles (vehículos automovilísticos), fuentes fijas (industrias) y se clasifican según su fuente de emisión en primarios, aquellos que proceden de la fuente de emisión, y secundarios, que se generan como resultado de las reacciones que sufren las emisiones en contacto con la atmósfera. (Ballester, 2005). Se considera de principal interés el estudio de material particulado que proviene del proceso de oxidación de combustibles fósiles, además del dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono (O₃) como los principales contaminantes de atmósferas urbanas del mundo (Aránguez et al., 1999). Los efectos de la contaminación atmosférica más conocidos en la actualidad son: El efecto invernadero y la destrucción parcial de la

capa de ozono o también llamado el agujero de ozono en el Ártico (Martínez & Díaz de Mera, 2004).

2.4. Contaminantes atmosféricos

2.4.1. Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre es un gas incoloro y se encuentra en altas concentraciones en lugares donde se realizan actividades que implican la combustión de elementos que contienen azufre (Romero-Placeres et al., 2004), lo cual genera un efecto irritante al mezclarse con el oxígeno presente en el aire, formando ácido sulfúrico, H₂SO₄ (Aránguez et al., 1999). Este gas tiene un rol principal en la química de las atmósferas de los planetas y como contaminante atmosférico de la Tierra debido a sus usos, especialmente como precursor del ácido sulfúrico en las industrias (Morales, 2017). Una de las principales consecuencias del SO₂ está vinculada con las lluvias ácidas, las cuales tienen una alta incidencia en la calidad de suelos, flora y salud humana (Silva, 2005).

Es considerado también como causante principal, junto con el humo, del incremento de crisis agudas de asma bronquial e infecciones respiratorias agudas tanto en adultos como en niños (Ocaña et al., 2001). La OMS recomienda que las concentraciones medias diarias de SO₂ no excedan los 125mg/m³ (Romero-Placeres et al., 2004).

2.4.2. Ozono (O₃)

El ozono es una forma alotrópica del O₂, ya que es una molécula triatómica y no diatómica; lo que quiere decir que es oxígeno, pero en una diferente combinación molecular (Martínez & Díaz de Mera, 2004) y es altamente reactivo. Se encuentra principalmente en la estratósfera y la tropósfera (Romero-Placeres et al., 2004) y es a los 25 km-30 km de la superficie terrestre donde está en mayor concentración dando

origen a la ozonósfera que sirve de filtro de los rayos ultravioleta provenientes del sol (Solís & López, 2003). Las altas emisiones de clorofluorocarburos (CFC), metano, entre otros, han causado serios daños en esta capa, lo que significa un gran daño ambiental (Aránguez et al., 1999). Es considerado un contaminante secundario ya que suele alcanzar mayores valores lejos de su lugar de emisión (Ballester, 2005). La OMS, en su guía de calidad de aire, recomienda valores no mayores a 120 mg/m^3 para 8 horas (Aránguez et al., 1999).

2.4.3. Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

El dióxido de nitrógeno es un contaminante atmosférico cuyos efectos ya han sido comprobados son negativos tanto para el ambiente como para la salud (Ibarlucía, 2011) causando irritación en las vías respiratorias y asociado con la fibrosis pulmonar crónica. Su emisión se da como consecuencia de las actividades realizadas por el hombre en industrias y uso de vehículos, donde se da la unión del nitrógeno con el oxígeno debido a las altas temperaturas características de estos procesos (Wark & Warner, 1990) así como también de causas naturales como relámpagos e incendios. Con la humedad de la atmósfera, el NO_2 reacciona generando ácido nítrico (HNO_3), el cual está presente en el fenómeno de lluvias ácidas y es altamente corrosivo (Baird, 2001) alterando los distintos sistemas en los que pueda caer, como agua o suelos, donde a raíz de esto, se produce acidificación y disminución de flora y fauna en medios acuáticos, y la lixiviación y pérdida de nutrientes en sistemas terrestres (Wark & Warner, 1990).

2.4.4. Material Particulado (PM_{10})

El PM es un conjunto de partículas líquidas y/o sólidas que se emiten de manera directa a la atmósfera, podemos considerar como ejemplos más conocidos el hollín de diésel y las partículas que se generan en los distintos procesos productivos (Fang et al., 2003) y es considerado como uno de los contaminantes presentes en la atmósfera más estudiados en la actualidad (Mészáros, 1999). Está comprobado el daño que ocasiona a la vegetación y al ser humano, como por ejemplo disminución del campo visual a consecuencia de los fenómenos de dispersión y absorción de luz (Chen & Kleeman, 2009); su presencia también se asocia con el aumento de mortalidad a causa de enfermedades cardiopulmonares (Pope, 2004).

2.5. Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas son aquellas que determinan el clima según sus variaciones y características, y son monitoreadas a lo largo del tiempo (Pabón et al., 2000); entre ellas se encuentran la temperatura, humedad relativa, dirección del viento, precipitación, radiación solar, presión atmosférica, entre otras (Rodríguez et al., 2004). El monitoreo de las mismas se realiza mediante estaciones meteorológicas situadas en tierra firme, el mar y a distintas alturas para obtener datos más precisos (Carrera-Villacrés et al., 2016) con la finalidad de realizar estudios y proyecciones que ayuden a la creación de sistemas contra desastres o fenómenos relacionados (Cepeda-Pizarro & Armijo, 2014). La concentración y dispersión de los contaminantes atmosféricos está afectada por las variables meteorológicas, las cuales pueden acelerar o retrasar la velocidad con la que se dan las reacciones químicas en la atmósfera; también determinan la estabilidad atmosférica y la dispersión de los contaminantes. (Ramos-Herrera et al., 2010).

2.6. Relación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas

La relación entre las variables meteorológicas y contaminantes atmosféricos ha sido de gran aporte para medir y determinar tendencias y comportamientos de los mismos, para esto se utilizan modelos estadísticos, por mencionar algunos: media aritmética, la mediana y el percentil 98 aplicados en la data obtenida en estaciones de monitoreo; la cual incluye valores anuales, mensuales y diarios diarios del contaminante (Davydova-Belitskaya et al., 1999). Estos datos son utilizados para analizar si estos presentan comportamiento según la temporada, ciclos diarios o son susceptibles a disminuir a largo plazo o por su comportamiento estacional (Varó & Carratalá, 2002).

VARIABLES como la humedad relativa, temperatura y la radiación solar son determinantes en la velocidad de las reacciones químicas atmosféricas (Ramos-Herrera et al., 2010). Se determina que si existe correlación directa entre variables meteorológicas y contaminantes atmosféricos, pues estas influyen y modifican el comportamiento de las partículas en el espacio (Rodríguez, 2009).

Existen contaminantes y variables meteorológicas estrechamente relacionados, los cuales ya han sido identificados y estudiados, como el caso de la determinación del máximo diario de ozono, las variables adecuadas a usar son la temperatura y la radiación solar, resultando tener una influencia más directa la última mencionada (Bravo et al., 2000). Para la concentración de partículas suspendidas totales, humedad relativa y PM₁₀, se conoce sostiene una correlación tipo inversa, siendo esta relación más estrecha con las partículas suspendidas totales; por ende, esta concentración varía en temporada seca, donde las concentraciones son mayores, y en temporada de lluvias (Ramos-

Herrera et al., 2010). Los valores altos de material particulado han sido también asociados a inversiones térmicas nocturnas muy marcadas, una característica de la temporada invernal donde existen cambios considerables de temperatura entre el día y la noche; lo que nos indica una relación entre la variable temperatura y la concentración del material particulado (Garreaud & Rutlland, 2010).

El NO_2 y la temperatura tienen una interacción significativa entre las dos ya que se presentan las concentraciones de NO_2 más altas en el horario donde las temperaturas tienen sus valores más altos; esto también se ve influenciado concuerda con los horarios donde hay gran congestión vehicular; este comportamiento también se aplica para el material particulado (Murat, 2015).

En cuanto a la dispersión de contaminantes atmosféricos y estabilidad de la atmósfera, las variables velocidad y dirección de los vientos son las que modifican estas tendencias (Ramos-Herrera et al., 2010), es así, como están íntimamente relacionadas con lugares con mayores índices de contaminación atmosférica. La velocidad del viento tiene una relación positiva con el NO_2 y el material particulado; este último también sostiene una relación estrecha con la dirección del viento (Ramos-Herrera et al., 2010); en tanto el O_3 y SO_2 no tienen relación alguna con las variables en mención (Garreaud & Rutlland, 2010).

CONCLUSIONES

- La contaminación y calidad del aire es un tema de gran importancia y consideración en materias ambientales alrededor del mundo, ya que afecta directamente la calidad de vida de los habitantes de un territorio.
- Es importante determinar la relación existente entre variables meteorológicas y contaminantes atmosféricos mediante análisis más específicos y de acuerdo al área o ciudad estudiada con la finalidad que estos sirvan de base para la implementación de nuevas y más acertadas políticas ambientales, diseñadas específicamente para cubrir las deficiencias y necesidades existentes, y que aseguren su calidad de aire.
- Se debe considerar como prioridad la reducción significativa de los niveles de contaminación ambiental producidos por las emisiones pues los efectos de la contaminación atmosférica son reales y preocupantes, estando entre los más conocidos en la actualidad el efecto invernadero y la destrucción parcial de la capa de ozono o también llamado el agujero de ozono en el Ártico, los cuales nos afectan no solo a los seres humanos, sino a todas las especies que habitan el planeta Tierra en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, L. (2004). Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos. EN: Toxicología ambiental, 61-74.
- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. Revista española de salud pública, 73, 123-132.
- Baird, C. (2001). Química ambiental. Reverté.
- Ballester Díez, F., Tenías, J. M., & Pérez-Hoyos, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. Revista Española de Salud Pública, 73, 109-121.
- Bravo JL, Nava MM, Muhlia A (2000) Relaciones entre la magnitud del valor máximo de ozono, la radiación solar y la temperatura ambiente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Contaminación Ambiental 16(2): 45–44.
- Cepeda-Pizarro, J; Armijo León, A. 2014. Dinámica fluviométrica y limnológica de un cuerpo superficial de agua asociado a un prado húmedo de los Andes del norte-centro de Chile. Idesia (Arica), 32 (2): 11-19.
- Chen, J., Ying, Q., & Kleeman, M. J. (2009). Source apportionment of visual impairment during the California regional PM10/PM2.5 air quality study. Atmospheric Environment, 43(39), 6136-6144.
- Chow, J.& Watson, J. 1998. Guideline on speciated particulate monitoring. Desert Research Institute, Reno. US-EPA.

- Fang, G.C., Chang, C.N., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P., Yang, I.L., y Chen, M.H. (2003). Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung. *The Science of the Total Environment*, 308, 157-166
- Garreaud, R., & Rutllant, J. (2006). Factores meteorológicos de la contaminación atmosférica en Santiago. Capítulo, 2, 36-53.
- Grau, M., & Dolores, M. (2003). *Toxicología Ambiental: Evaluación de riesgo para la salud humana* (No. 615.902 M843t). Madrid, ES: McGraw-Hill Interamericana.
- Jiménez JCH (2002) Análisis de valores extremos de la concentración de ozono en la ciudad de México Tesis profesional. UJAT División Académica de Ciencias Básicas Cunduacán Tabasco 95p.
- Martínez, E., Aranda, A., Díaz-De-Mera, Y., Rodríguez, A., Rodríguez, D., & Notario, A. (2004). Mechanistic and kinetic study of the gas-phase reaction of atomic chlorine with cyclohexanone using an absolute and a relative technique; influence of temperature. *Journal of atmospheric chemistry*, 48(3), 283-299.
- Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai Kiado.
- Morales Flores, P. (2017). Determinación de la concentración de dióxido de azufre en el área urbana de Gómez Palacio.
- Ocaña H. y otros cuatro autores; *Contaminación atmosférica. Un enfoque global., Daños a la Salud por Contaminación atmosférica*, Universidad Autónoma del Estado de México-IMSS, México, 244-261 (2001).

- Pope (2004). CA III. Air Pollution and Health - Good News and Bad. En: New England Journal of medicine Vol. 351. No. 11, 1132-1134.
- Ramírez-Cerpa, Elkin, Acosta-Coll, Melisa, & Vélez-Zapata, Jaime. (2017). Análisis de condiciones climatológicas de precipitaciones de corto plazo en zonas urbanas: caso de estudio Barranquilla, Colombia. *Idesia (Arica)*, 35(2), 87-94. Epub 13 de mayo de 2017. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000023>
- Ramos-Herrera, S., Bautista-Margulis, R., & Valdez-Manzanilla, A. (2010). Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México. *Universidad y ciencia*, 26(1), 65-80.
- Rodríguez, R.; Benito, Á. and Portela, A. 2004. Meteorología y Clima. En: Meteorología y Clima. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología FECYT(Ed.). Madrid, España, pp. 3-88.
- Romero-Placeres, M., Más-Bermejo, P., Lacasaña-Navarro, M., Rojo-Solís, M. M. T., Aguilar-Valdés, J., & Romieu, I. (2004). Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. *salud pública de méxico*, 46(3), 222-233.
- Sánchez-Duque, A., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Cejudo-Ruiz, R., Reyes-López, J. A., Solís-Domínguez, F. A., & Morales-Contreras, J. J. (2015). Evaluación de la contaminación ambiental a partir del aumento magnético en polvos urbanos. Caso de estudio en la ciudad de Mexicali, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 32(3), 501-513.

Smith K. y S. Akbar; Health-Damaging: A matter of Scale, Air Pollution and Health, in rapidly developing countries, Eathscan: 1(1), 21-34 (2003).

Vargas Marcos, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud.