

Capítulo 3

Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2020

Air pollution and vulnerability of exposed individuals in commune 21 of the city of Cali 2020

Leidy Maritza Guanga Esterilla

Institución Universidad Antonio José Camacho
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-3285-9181>

✉ sisoledy@gmail.com

Iván Darío López Villalobos

Institución Universidad Antonio José Camacho
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-9513-7162>

✉ idariolopez@admon.uniajc.edu.co

Fabián Felipe Fernández Daza

Institución Universidad Antonio José Camacho
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-9125-705X>

✉ fabfernandez@hotmail.com

Iván Andrés González Vargas

Universidad Santiago de Cali
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-0576-3889>

✉ ivan.gonzalez03@usc.edu.co

Cita este capítulo

Guanga Esterilla, L. M.; Fernández Daza, F. F.; López Villalobos, I. D. & González Vargas, I. A. (2020). Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2020. En: González Vargas, I. A. y López Villalobos, I. D. (eds. científicos). *Contaminación del aire: casos de investigación en el Valle del Cauca*. (pp. 95-140). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2020

Air pollution and vulnerability of exposed individuals in commune 21 of the city of Cali 2020

Leidy Maritza Guanga Esterilla · Fabián Felipe Fernández Daza · Iván Darío López Villalobos · Iván Andrés González Vargas

Resumen

En este capítulo se muestra la relación entre la contaminación del aire y la vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali. Los valores de contaminación de aire para la comuna 21 de Cali, se tomaron de *sisaire* (punto compartir), las características sociodemográficas y de vulnerabilidad se evaluaron a 328 habitantes, la correlación entre la contaminación de aire (síntomas respiratoria), las condiciones sociodemográficas y de vulnerabilidad, se evaluaron mediante regresión logística; la estimación del impacto en la salud pública colombiana entre 2007 y 2019, se estimó a partir de los datos para enfermedades respiratorias crónicas. En general la población contaba con básica primaria (93.8%) e ingresos de hasta un salario mínimo legal vigente (82.3%), el 52.45% eran mujeres, entre 18 a 50 años (93.8%). En total se presentaron sintomatologías respiratorias en el 27.61% de los encuestados, donde el riesgo fue mayor para personas de estrato 1 (RR: 1.546), y menor en el Salario mínimo legal vigente 1 (RR: 0.49), esta última explicó el 3.32% ($p=0.002$) del modelo logístico ($p=0.001$ % explicado: 9.85%); en Colombia la atención por paciente con enfermedades respiratorias oscila entre 85.510 a 1.609.218 de pesos. Se observa una tendencia en el incremento de enfermedades respiratorias en relación con el rango etario, nivel aca-

démico y tiempo de exposición, en la población evaluada; se requiere incrementar el cuestionario y adaptarle para evaluación de condiciones *outdoor* e *indoor*.

Palabras claves: polución, enfermedad respiratoria, costos de atención, vulnerabilidad

Abstract

This chapter shows the relationship between air pollution and the vulnerability of exposed individuals in commune 21 of the city of Cali. The air pollution values for the 21 commune of Cali were taken from *sisaire* (share point), the sociodemographic and vulnerability characteristics were evaluated in 328 inhabitants, the correlation between air pollution (respiratory symptoms), sociodemographic conditions and vulnerability were evaluated by logistic regression; The estimate of the impact on Colombian public health between 2007 and 2019 was estimated from data for chronic respiratory diseases. In general, the population had basic primary education (93.8%) and income of up to a current legal minimum wage (82.3%), 52.45% were women, between 18 and 50 years old (93.8%). In total, respiratory symptoms were presented in 27.61% of those surveyed, where the risk was higher for people in stratum 1 (RR: 1,546), and lower in SLMLV 1 (RR: 0.49), the latter explained 3.32% ($p = 0.002$) of the logistic model ($p = 0.001\%$ explained: 9.85%), in Colombia care per patient with respiratory diseases ranges from 85,510 to 1,609,218 pesos. A trend is observed in the increase of respiratory diseases in relation to the age range, academic level, exposure time and exposure, in the evaluated population, it is necessary to increase the questionnaire and adapt it for the evaluation of outdoor and indoor conditions.

Keywords: pollution, respiratory disease, care costs, vulnerability

3.1 Introducción

En el mundo, la contaminación del aire se encuentra asociada a aproximadamente a más de 3 millones de decesos por año; estos son causados por enfermedades derivadas por la exposición de los contaminantes suspendidos, entre los que se encuentran sulfatos, nitratos, amonio, cloruro de sodio, “carbón negro”, polvo mineral y material orgánico entre otros contaminantes (Ortiz et al., 2017), que son el resultado de la combustión de derivados del petróleo, la industria minera y de procesos naturales (K. Kim et al., 2015). En el ser humano la contaminación ambiental, en específico el material particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$) suspendido, se ha relacionado a muertes en infantes (Conceição et al., 2001; Jakubiak-lasocka et al., 2015), aparición de asma, alergias respiratorias, bronquitis crónica, cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes (K. Kim, Kabir, & Kabir, 2015). y alteraciones de desarrollo (E. Kim et al., 2016).

Si bien, existen diferencias en la mortalidad producida por la contaminación de aire, cuando se compara los países de ingresos altos (7/100.000 habitantes), respecto a países de ingresos medios y bajos (18/100 000 habitantes) (OMS, 2018b) como lo son los países latinoamericanos, esta problemática se encuentra en aumento, como resultado de la industrialización. Esto se evidencia en que solo en América Latina y el Caribe, se estima que por lo menos 100 millones de personas se exponen a niveles de contaminación del aire superiores a los recomendados (valores de exposición por día $MP_{2.5} = 25 \mu\text{g}/\text{m}^2$ y $PM_{10} = 50 \mu\text{g}/\text{m}^2$; y valores promedio anuales de $MP_{2.5} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^2$ y $MP_{10} = 20 \mu\text{g}/\text{m}^2$) (OMS, 2005). En este sentido para el 2018, según el Rankin mundial de contaminación por $MP_{2.5}$, Perú, Chile, México, Brasil y Colombia ocuparon las posiciones 21, 26, 33, 40 y 50 respectivamente, con menor calidad de aire (IQAir, 2018). A pesar de que los peruanos aparecen en una posición mayor en relación a Chile, es en este país donde se reportan las ciudades con mayor contaminación por $PM_{2.5}$ (IQAir, 2018).

En Colombia el Ministerio del Medio Ambiente mediante Resolución 2254 de 2017 (Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones, 2017), define el marco en cual se toman las medidas para garantizar el acceso a un ambiente saludable, en relación a la calidad de aire; estas medidas son constantemente vigiladas por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM), el cual realiza mediciones ambientales continuas, que permiten conocer los niveles de los contaminantes, generando alertas y convirtiéndose en base para desarrollo de políticas públicas. (IDEAM, 2016). Los datos recolectados, por esta institución, han permitido establecer las zonas con menor calidad de aire que corresponden a Puente Aranda, Carvajal y Kennedy en Bogotá, Ráquira (Boyacá) y Yumbo (zona industrial) en el Valle del Cauca. (IDEAM, 2016). En la ciudad de Cali, la contaminación del aire existente, es generada en el 90% por la combustión vehicular, y el 10% por la agricultura (El Tiempo, 2018).

La contaminación del aire constituye una problemática social y de salud pública, afectando a quienes se exponen; puede producir desde alergias y asma, hasta patología crónicas. Este capítulo describe los conceptos asociados, efectos en la salud, y los resultados de la valoración de la vulnerabilidad de los individuos expuestos en la comuna 21, expresado como la morbilidad sentida, y su relación con variables socioeconómicas que podrían estar asociadas a la exposición; finalmente se muestran los costos aproximados derivados de la atención de enfermedades respiratorias agudas, de las cuales la contaminación de aire es considerada un factor de riesgo.

Contaminación del aire

En este escrito, definiremos la contaminación del aire como la presencia de partículas de naturaleza orgánica o inorgánica, en concentraciones superiores a las observadas en ambientes naturales, durante periodos de tiempo prolongados (Manisalidis et al., 2020). Las

fuentes de estos contaminantes (tabla 12) incluyen actividades antropológicas (industria, minería, combustión de derivados del petróleo, agricultura entre otros) y eventos naturales (deslizamientos, erupciones volcánicas, erosión)(Kousehlar & Widom, 2019; Manisalidis et al., 2020; Vallack et al., 2017; Zeng & Han, 2020)

Tabla 12. Fuentes de contaminantes del aire (Public Health England, 2018).

Fuentes	Contaminantes				
	PM _{2.5}	NO ₂	SO ₂	NH ₃	NMVOC
Industria de producción eléctrica	3.3%	22.4%		0.1%	0.5%
Industria de manufactura y construcción	16.1%	15.6%	21.6%	0.7%	2.4%
Industria de procesos	12%	0.1%	4.8%	1.3%	54.1%
Residencias y centro comerciales pequeños	43.1%	10.3%	25.5%	0.8%	6.2%
Emisiones de descomposición	1.1%	0.2%	1.4%	0.1%	15.8%
Transporte diferente al vehicular	3.6%	16.8%	8.3%	0	1.6%
Transporte vehicular	12.4%	33.6%	0.7%	1.5%	3.9%
Agricultura	4%	0.8%	87.6%		14.4%

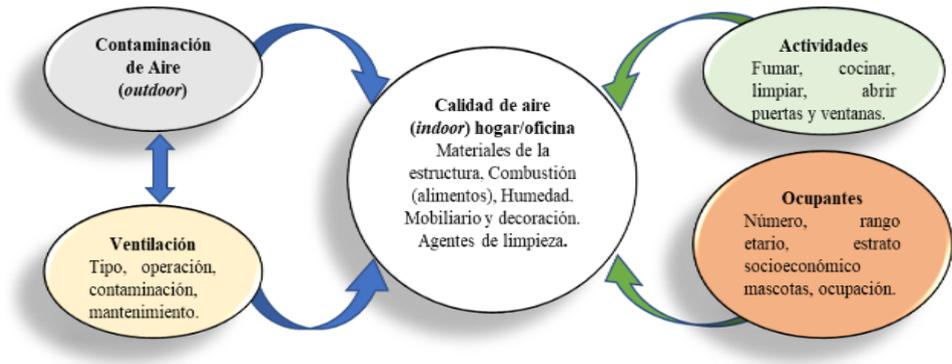
En la tabla PM_{2.5}: material particulado de 2.5µm, NO₂: dióxido de nitrógeno, SO₂: dióxido de azufre, NH₃: amonio, NMVOCs: compuestos orgánicos volátiles, diferentes al metano. * Los valores de filas no suman 100%.

Fuente: elaboración propia (2020).

Debido a la contaminación del aire producida por enfermedades respiratorias, anualmente mueren 63.82 personas por cada 100.000 habitantes. La contaminación de aires se divide en contaminación *outdoor*, cuando se refiere a la contaminación en ambientes abiertos, –en estos su principal fuente es combustión vehicular, responsable de 42.35

muerres por cada 100.000 habitantes (tabla 12)– y la contaminación en ambientes cerrados *indoor* (figura 23), como son los hogares, oficinas u espacios cerrados, en los que se asocian a 21.47 muertes por cada 100.00 habitantes; en condiciones *indoor* las principales fuentes de contaminación son los productos de limpieza, métodos de cocción de alimentos y consumo de cigarrillo entre otras (Bo et al., 2017; Hannah, 2019).

Figura 23. Contaminación por materia particulado en áreas cerradas *indoor* (Livemit, 2019).



Fuente: elaboración propia (2020).

Características de los contaminantes en aire

En esta sección se describen los contaminantes más frecuentes en el aire, que corresponden a: material particulado, ozono(O_3), monóxido de carbono(CO), óxido de azufre (SO_2), óxido de nitrógenos (NO_x), plomo, compuestos orgánicos volátiles (COV) y Bioaerosoles (Chithra & Nagendra, 2018)(OMS, 2018c)(Năstase et al., 2018)but it also poses risks to the food security, the economy and the environment. The majority of the pollutants emitted by human activities derive from the production and use of fossil-fuel-based energy. Most energy-related emissions contain sulfur dioxide and nitrogen oxides. The principal source of sulfur dioxide originates from coal, and the main sources

of nitrogen oxide emissions are power generation and use of vehicles. Other important pollutants are the inhalable coarse particles (PM10

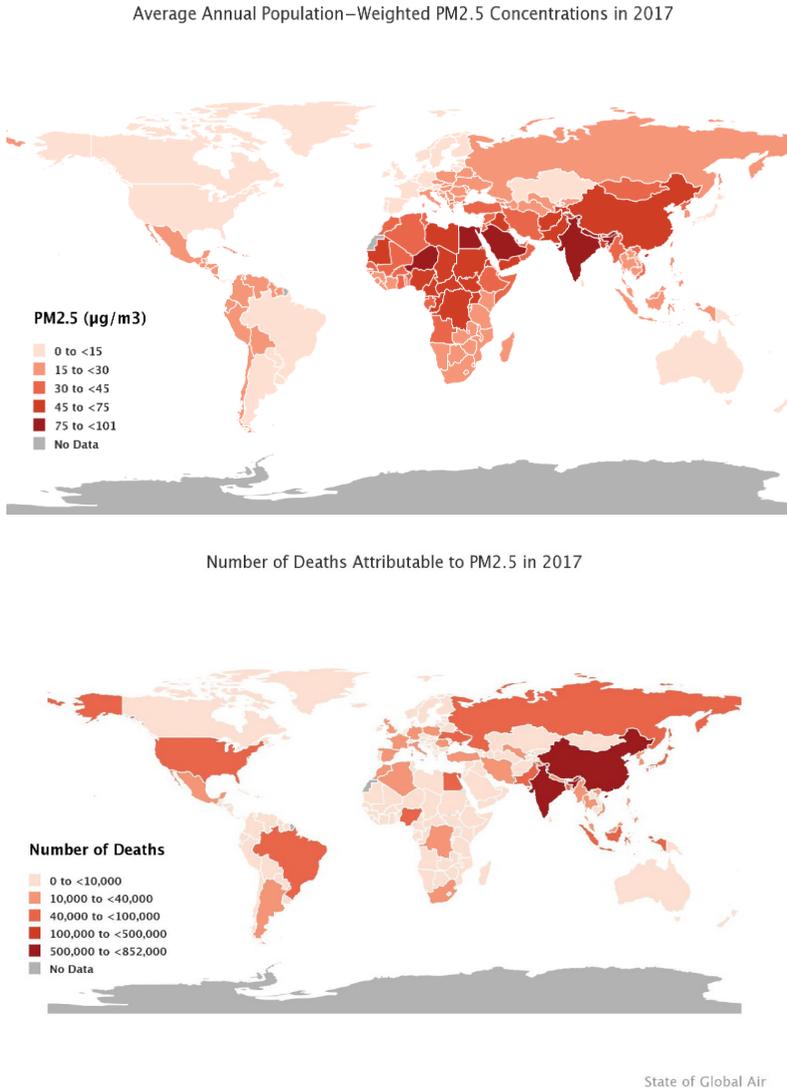
Material particulado

El material particulado es una mezcla de partículas sólidas y líquidas, que se encuentran suspendidas en el aire; estas presentan variación en su composición, forma, tamaño, propiedades químicas y físicas; las propiedades químicas se asocian al impacto en la salud, y las propiedades físicas, a la capacidad de transportarse o mantenerse suspendidas en el aire. Son responsables de 38.15 muertes por cada 100.000 habitantes (Hannah, 2019). Una de sus características físicas más importantes, corresponde al diámetro aerodinámico, que se define cómo el diámetro que debería tener una esfera para que su velocidad terminal en aire sea la misma que la de la partícula de interés (V. Nuñez et al., 2020). Si bien las partículas suspendidas pueden ser clasificadas en partículas gruesas y finas, con relación a los efectos en la salud, se clasifican en PM_{10} , que son partículas con tamaños menores a $10\mu m$, $PM_{2.5}$, con tamaños menores a $2.5\mu m$ (Tabla 13), y UTF: *ultra fine particles*, que corresponden a partículas menores a $0.1\mu m$ (Polichetti et al., 2009).

El materia particulado, se ha asociado al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (W. Wang et al., 2019) (Liang et al., 2020), así como la mortalidad (Figura 24) de estas (Du et al., 2016), complicaciones en cuadros asmáticos (Hao et al., 2017), dificultad para la respiración, reducción en la capacidad pulmonar (Guo et al., 2014), en niños la reducción en el peso (E. Kim et al., 2016), alteraciones en el desarrollo cerebral (Cserbik et al., 2020) desarrollo pulmonar (Isiugo et al., 2019) (Guo et al., 2019), cambios epigenéticos (Shukla et al., 2019), bronquitis crónica, silicosis, asbestosis, cáncer de pulmón (Li et al., 2017) entre otras (K. Kim et al., 2015). A nivel ambiental la contaminación por material particulado puede incrementar la acidez en

fuentes de aguas, reduce la cantidad de nutrientes en el suelo y afecta la diversidad biológica.

Figura 24. Concentración de PM2.5 y número de muertes por exposición para el 2017 (Health Effects Institute, 2019).



Fuente: <https://www.healtheffects.org/>

Tabla 13. Características generales de UTF, PM_{2.5} y PM₁₀.

Características	UTF	PM _{2.5}	PM ₁₀
Diámetro	Menor a <0.1 µm	Menor a 2.5 µm	Menor a 10 µm
Composición	Ca, S, P, Fe, O y compuestos menores de Zn,	SO ₂₋₄ , NO ₃ , amonio, NH ₄ , H ⁺ , C, componentes orgánicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, partículas unidas al agua	Polvo, cenizas, óxidos metálicos de Si, Al, Mg, Ti, Fe, CaCO ₃ , NaCl, sal marina; polen, esporas de moho y partes de plantas.
Fuentes	Combustión de diésel, gasolina, lubricantes, incendios forestales, incensio, cigarrillos, cocina	Combustión de carbón y combustibles, terpenos, procesos de alta temperatura (fundición)	Resuspensión de partículas de suelo, agricultura, minería, polvos construcción, combustión de carbón y petróleo y aspersión oceánica.
Duración	Minutos	Días a semanas	Minutos a horas
Distancia de vuelo (km)	0.3	100 a 1000	1 a 10
Penetración en el cuerpo humano	Pueden atravesar el tracto respiratorio hasta los alvéolos. Penetran la barrera alveolar-capilar llegando al sistema circulatorio	<ul style="list-style-type: none"> Entre 2,1 a 3,3 µm Área bronquial secundaria <ul style="list-style-type: none"> Entre 1,1 a 2,1 µm Paso del área bronquial terminal <ul style="list-style-type: none"> Entre 0.65 a 1,1 µm Penetrabilidad de los bronquiolos <ul style="list-style-type: none"> Entre 0,43-0,65 µm Penetrabilidad alveolar	<ul style="list-style-type: none"> Menor all µm Fosas nasales y al tracto respiratorio superior <ul style="list-style-type: none"> Entre 7 a 11 µm Cavidad nasal <ul style="list-style-type: none"> Entre 4,7 a 7 µm Laringe <ul style="list-style-type: none"> Entre 3,3 a 4,7µm área tráquea-bronquial

*Tomada y modificada de (Jeong et al., 2015; K. Kim et al., 2015; Kwon, 2020; Manisalidis et al., 2020).

Fuente: elaboración propia (2020).

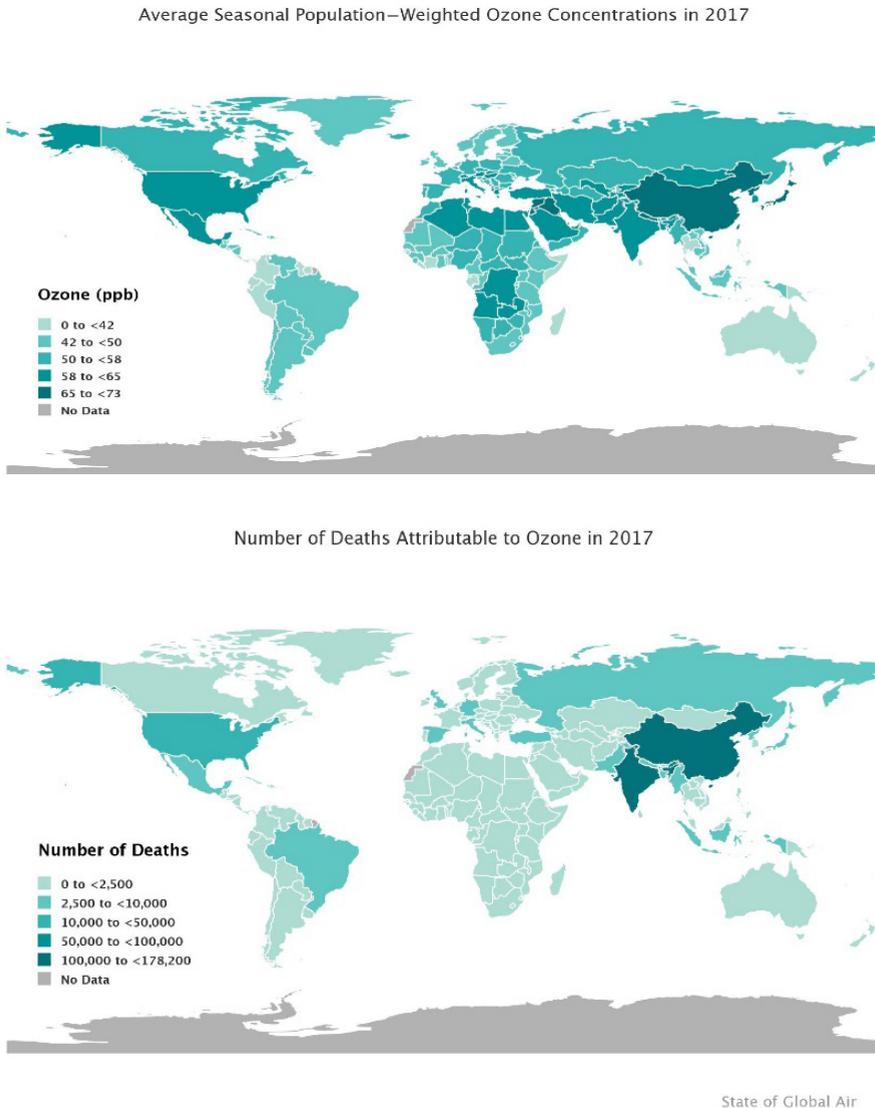
Ozono(O₃)

El ozono (O₃) es considerado un contaminante del aire, cuando se presenta en la antroposfera (nivel del suelo) a concentraciones iguales o mayores a 100µg/m³ (OMS, 2018a). Este se origina por la reacción de oxidación entre el monóxido de carbono, metano u otros compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxido de nitrógeno, en presencia de luz UV(Ge et al., 2021). Este contaminante se ha asociado a muertes por asma, bronquitis, muerte en prematuros, infarto y otras patologías cardiovasculares (Z. Wang et al., 2019), muertes que presentan una tasa de 6.3 por 100.000 habitantes; adicionalmente deteriora la vegetación (Proietti et al., 2020; Tian et al., 2020). La tasa de muertes varía, en relación con la concentración presente, como se observa en la figura 25.

Monóxido de carbono (CO)

Este gas incoloro e inodoro, es producido en condiciones naturales por la oxidación de la materia orgánica en presencia de UV, incendios naturales, erupciones volcánicas entre otras (Dey & Chandra Dhal, 2020; Scranton & de Angelis, 2001), o por acciones antropológicas (95%), especialmente por la combustión incompleta de combustibles (B. G. Miller, 2011). Su efecto nocivo en la salud, se asocia sus características de afinidad de unión al glóbulo rojo, que se estima entre 200 a 400 veces más que el oxígeno, provocando hipoxia (intoxicaciones en una tasa de 136 por millón de habitantes) y la muerte (4.6 casos por millón de habitantes) (Mattiuzzi & Lippi, 2020), en caso de exposición controlar que las a concentraciones sean menores de 7mg/m³ (WHO, 2018).

Figura 25. Concentración de Ozono (O₃) y número de muertes por exposición para el 2019 (Health Effects Institute, 2019).



Fuente: <https://www.healtheffects.org/>

Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre se caracteriza por ser un gas incoloro con un fuerte olor; este proviene de actividades antropológicas entre las que se encuentran: la combustión de combustibles fósiles, carbón y aceites con alto contenido de azufre, calderas industriales y fundición de metales. En la naturaleza se libera durante erupciones volcánicas (35% a 65% de la emisión total) (Jain et al., 2016; B. Miller, 2015). En relación a este contaminante, se recomiendan exposiciones cortas de máximo 10 min, en ambientes con concentraciones de 500 µg/m³ y que, en promedio para exposiciones de 24 h, la concentración de este en el ambiente sea inferior a 20 µg/m³ (WHO, 2018). El óxido de azufre presenta diversos efectos en el medio ambiente y la salud humana, los cuales varían en relación con los compuestos químicos que este produce en la atmosfera, entre los que se encuentran: el ácido hiposulfuroso (H₂SO₂), anhídrido sulfúrico (SO₃), ácido sulfúrico H₂SO₄ y dióxido de azufre en agua. A nivel de ecosistemas acuáticos, los productos generados por el dióxido de azufre reducen el pH, incrementando la acidez; promueven la liberación de aluminio (Al), nutrientes y minerales en el suelo y provocan la reducción de crecimiento en peces y plantas (lluvia acida). En el ser humano puede provocar irritación en los ojos, nariz, garganta y pulmones, broncoconstricción, asma, bronquitis crónica, e inflamación del sistema respiratorio. También provoca daños a edificaciones (Jain et al., 2016; Wu et al., 2020).

Óxido de Nitrógeno (NOX)

En este grupo se encuentran: el óxido de nitrógeno (N₂O), dióxido de nitrógeno (NO₂) y el óxido nítrico (NO), esto últimos, son los principales contaminantes del aire, siendo generados principalmente por la combustión de combustibles (Ji et al., 2019) y biomasa, altas energías como los rayos y la oxidación de amoníaco (Jain et al., 2016;

WHO, 2018). El NO_2 , se caracteriza por su color marrón rojizo y olor acre cuando la concentración es igual o mayor a $188 \mu\text{g}/\text{m}^3$, deben evitarse lugares con concentraciones de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio anual) y $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio en un hora) (Ackermann-Liebrich et al., 2019; WHO, 2018). La exposición a este contaminante se ha asociado a irritación en los ojos (Ji et al., 2019), envejecimiento cutáneo (Fussell & Kelly, 2020), diabetes gestacional (Robledo et al., 2015), nacimientos pretérmino (Ji et al., 2019), irritación en nariz y pulmones (Jiang et al., 2019), dificultad para la respirar, náuseas, discapacidad visual, asma, reducción en la asimilación de oxígeno, alteraciones en el sistema inmune (CD8^+ , NK) (Manisalidis et al., 2020), edema pulmonar y muerte (Ackermann-Liebrich, 2011).

Plomo

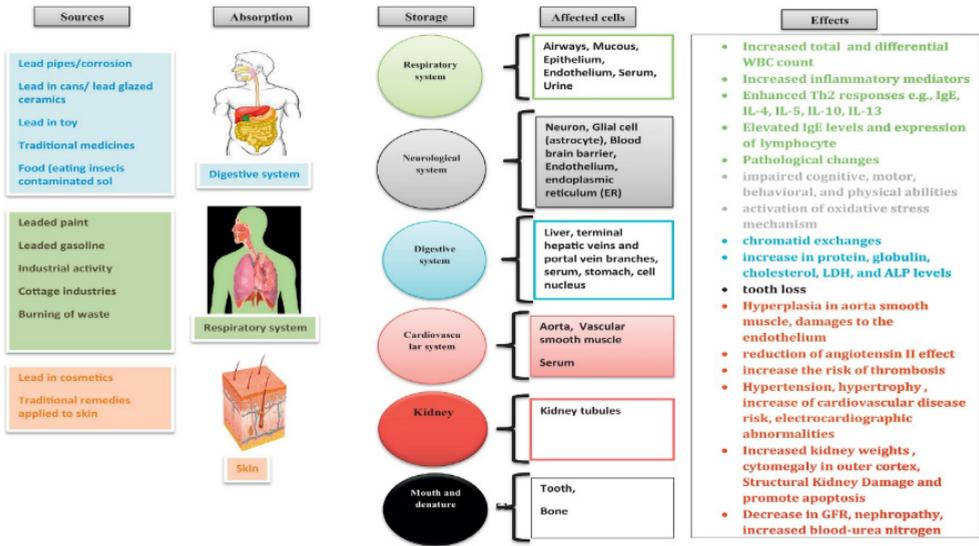
Este metal pesado puede ser liberado al aire por procesos industriales (minería, producción de baterías y reciclaje), combustión de combustibles (se utiliza como antidetonante), incineración de residuos y aguas residuales (EPA, 2017; Hai et al., 2018; Manisalidis et al., 2020; Sun et al., 2006) Los efectos tóxicos en humanos (figura 26), se relacionan con la inhalación, ingestión o absorción dérmica; en mujeres embarazadas este se le transmite al feto, en todos los casos se relaciona con efectos neurotóxicos, debido a la competencia por Ca^{2+} en las células nerviosas, problemas gastrointestinales, retraso de crecimiento, problemas cognitivos y muerte. (Boskabady et al., 2018; Nakata et al., 2017).

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Estos compuestos orgánicos, pueden ser producidos por animales, plantas y microorganismos, (Bedia et al., 2018; Pennerman et al., 2016) estos últimos (MCOVS) se han relacionados con alergias, enfermedades respiratoria y el síndrome de edificio enfermo (Fu, 2016), al-

gunos autores los denominan bioaerosoles (Năstase et al., 2018). Estos compuestos se pueden encontrar en los solventes orgánicos (benceno, tolueno, xileno entre otros), que se emplean en la limpieza, pintura y mantenimiento, así como producto de la quema de material orgánico, combustibles, carbón y gas natural (Thurston, 2017), en general son sustancias que se evaporan rápidamente, liberando sus moléculas al aire por lo cual son más abundantes en espacios cerrados indoor.

Figura 26. Efectos tóxicos de la contaminación por plomo (Boskabady et al., 2018).



Fuente: Boskabady et al. (2018).

Estos compuestos adicionalmente puede reaccionar con los óxidos de nitrógeno y formar ozono a nivel de suelo, o *smog*, que contribuye al cambio climático (Bensouilah et al., 2020). La exposición crónica a estos puede desencadenar daño renal, hepático, neural, y cáncer (Iaqsciencie.lbl.gov, 2020); en caso de presentar exposiciones cortas,

puede haber irritación en los ojos, tracto respiratorio, mareos, fatiga, pérdida de la memoria y otros síntomas asociados a intoxicaciones leves (Jain et al., 2016).

Calidad de aire

Finalmente, la calidad de aire será estimada por la concentración de los diferentes contaminantes, donde valores menores a los recomendados permitirían minimizar los riesgos de aparición de las patologías descritas; diferentes entidades o Estados, determinan los límites a seguir; se describen en la tabla 14.

Regresión logística

La regresión logística, permite identificar el aporte de diferentes variables (categorías o continuas) en la ocurrencia o no de un fenómeno (binomial se presenta o no se presenta), este modelo implica entonces que la variable respuesta, presenta dos valores posibles 1/0, en relación a la regresión lineal, esta difiere en la estimación, ya que emplea el método de máximo-verisimilitud, en lugar que el método de suma de cuadrados (Minitab, 2019)

$$P(y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}}$$

Ecuación 1. Regresión logística de respuesta

Tabla 14. Límites de exposición de contaminantes de aire
(Chithra & Nagendra, 2018).

IAQ parameters	Health symptoms	References
CO ₂ , air exchange rates, particle counts	Nasal congestion, sore throat, headache	Kinshella <i>et al.</i> , 2001
Bioaerosols	Asthma, allergic rhinitis, atopic eczema	Meklin <i>et al.</i> , 2002
VOCs, bioaerosols	Respiratory irritation, asthmatic symptoms, common viral respiratory infection	Putus <i>et al.</i> , 2004
CO ₂ , allergens	Wheeze, asthma, respiratory symptoms	Kim <i>et al.</i> , 2005
CO ₂ , NO ₂ , O ₃	Asthma, wheeze, breathlessness	Mi <i>et al.</i> , 2006
SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , HCHO	Asthma, wheezing, breathlessness	Zhao <i>et al.</i> , 2008
CO ₂ , PM ₁₀	Dry cough, rhinitis, nasal patency	Simoni <i>et al.</i> , 2010
PM	Rhinitis, asthma	Canha <i>et al.</i> , 2011
PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	Allergies, dry flaking skin, dizziness	Habil and Taneja, 2011
PM _{2.5} , NO ₂ , acrolein, HCHO, acetaldehyde	Rhinoconjunctivitis, Asthma	Annesi-Maesano <i>et al.</i> , 2012
SO ₂ , NO ₂ , O ₃	Impaired lung function	Altuğ <i>et al.</i> , 2013
CO ₂ , Temperature	Fatigue, stuffy nose, headache, wheezing, cough with wheezing, fever	Turunen <i>et al.</i> , 2014
CO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	Difficulties in focusing, heavy headed and dizziness, feeling thirsty, feeling uncomfortable, heavy sweating, muscle pain	Elbayoumi <i>et al.</i> , 2015
CO ₂ , Temperature, Relative humidity, Bacteria	Respiratory symptoms, Gastrointestinal symptoms	Haverinen-Shaughnessy <i>et al.</i> , 2015

NAAQS: Reviewing National Ambient Air Quality Standards, OSHA: Occupational Safety and Health Administration, NIOSH: The National Institute for Occupational Safety and Health , ACGIH: Association advancing occupational and environmental health, WHO: World Health Organization, HCHO: Formaldehido, Lead: Plomo.

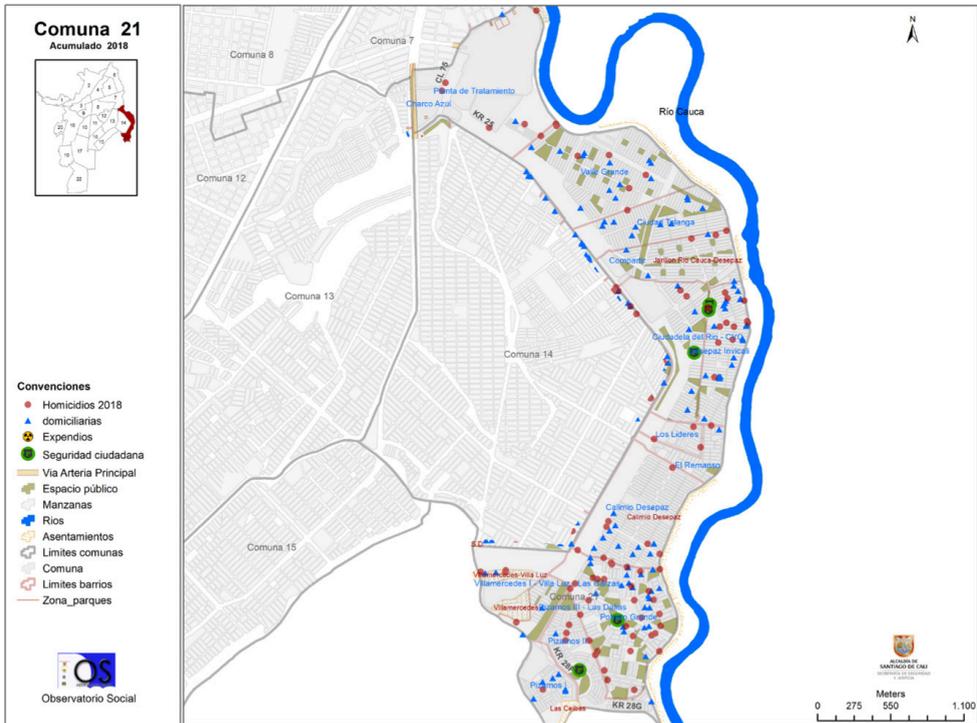
Fuente: Chithra & Nagendra (2018).

Descripción de la comuna 21 de Cali

Se estima que en esta comuna viven más 108.790 habitantes (DANE, 2019) (6,3% indígena, el 17,9% afrodescendiente, el 11,5% mulato, el 23,4% blanco, y 26,6% mestizo); la distribución etaria indica que el 52.1% es menor de 24 años, el 39.1% tiene entre 25 y 59 años, y el 5% más de 60 años (Cadavid et al., 2019).

Territorialmente esta comuna se encuentra formada por 955 manzanas, que agrupan 8 barrios (Pízosos I, II y III, Las Dalías, Villa Mercedes, Calimío, Remansos de Comfandi, Ciudadela Desepaz) y 6 urbanizaciones (Urbanización Compartir, Ciudad Talanga, Proyectos Comunitarios, Coopopulares, Santa Ana, Las Dalías, Ciudadela del Río y Suerte 90)(El Tiempo, 1998). En relación con su ubicación geográfica, la comuna 21 se encuentra en zona oriente, donde limita con Navarro en la zona sur, el oriente y nororiente con el perímetro urbano, las comunas 13, 7 y 14 corresponden a los límites noroccidente, norte y occidente respectivamente (Figura 27) (Cadavid et al., 2019).

Figura 27. Mapa Ubicación de la Comuna 21.



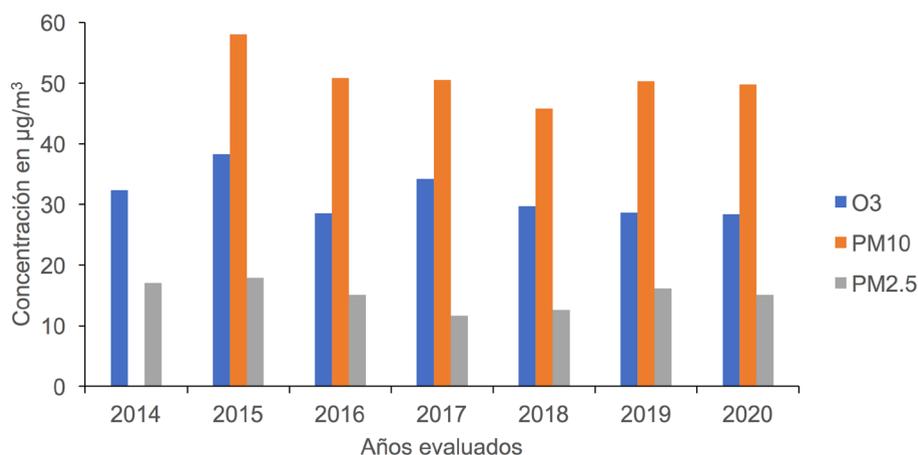
Fuente: Cadavid et al. (2019).

Contaminación de aire en la comuna 21

En relación a la calidad de aire, los reportes indican que el aire en la ciudad de Cali, tiene calidad aceptable (los valores promedio corresponden a PM_{10} : $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2.5}$: $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, O_3 : $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SO_2 : $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_2 : $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y CO : $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (IDEAM, 2020), donde el 93% de los contaminantes son generados por el tráfico; el 77% se atribuye a las motocicletas. Esta situación se relaciona a la circulación de automotores que no cumplen con condiciones óptimas de emisión de gases (54.85%) (El País, 2020).

En la comuna 21, se localiza un medidor de contaminación de aire, en el sector de Compartir; este presenta el registro de contaminación que se encuentra limitado temporalmente; a pesar de esto muestra la dinámica de la contaminación en el área (IDEAM, 2020). Para el ozono, se observa una reducción, desde el año 2017, encontrándose para el 2020 una concentración de $28.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 28); en contraste las concentraciones de PM10 y PM2.5, se incrementaron, presentando concentraciones para el 2020 de $49.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $15.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Figura 28. Concentración de O3, MP10 y MP2.5 para el 2020, en la comuna 21.



Fuente: elaboración propia (2020).

3.2. Metodología

Esta investigación correspondió a un estudio cuantitativo de tipo inferencial de corte transversal, donde se analizó la contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali, en el marco del proyecto macro denominado *Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2019*.

Caracterización de la población

Esta se realizó, a 328 habitantes (I.C + 93% L.C + 5% OpenEpi V3.01) de la comuna 21. La encuesta consistió en preguntas relacionadas al rango etario, salario, antigüedad de labor en la comuna, género, nivel académico, estrato socioeconómico, régimen de salud (en Colombia se puede clasificar en subsidiado o contributivo), exposición (realización de sus actividades en locales comerciales o en la vía pública), presencia de sintomatología respiratoria, los costos inducidos (indirectos) y la disposición a pagar por disminuir la contaminación (directos); el diseño de la encuesta se aprecia en <https://forms.gle/zc-qtNrrZVNGsStbP7>. Todas las personas encuestadas eran mayores de 18 años, ninguno de los cuales presentaron al momento del estudio, patologías asociadas al consumo de sustancias psicoactivas, cigarrillo (tabaco) ni exposición a fogón de leña.

Análisis estadístico

Para establecer el modelo de probabilidad, las variables se integraron en un modelo logístico a través del programa estadístico Minitab 18. El análisis de la vulnerabilidad de los trabajadores expuestos incluyó los costos promedio por presentar una enfermedad respiratoria a partir del documento de la Organización Panamericana de Salud – POS (2008), actualizando los precios del años 2007, según la tasa de inflación promedio de Colombia entre los años 2007 y 2020 que ha sido del 4.13% anual. En total, la moneda presentó un aumento del 69.25% entre estos años.

3.3. Resultados

Se encuestaron 171 personas, de estas el 52.45% pertenecía al género femenino, distribuyéndose en rangos etarios de 18 a 35 años (43.25 %), 36 a 50 años (45.71%) y más de 50 años (11.04); de estos

90 (27.61%) presentaron algún tipo de enfermedad relacionada a la contaminación. Se encontró un incremento en la proporción (calculada como media ponderada para cada rango) de personas que presentaron enfermedades con relación al rango etario (mayor al incrementar la edad), al igual que en la proporción de aquellas consideradas leves (15.56%) o graves (84.44 %). La distribución en los diferentes estratos socioeconómicos, mostró que el 47.87% (143) pertenecía a estrato 1, 54.29 % (117) al estrato 2 y 1.84% (6) al estrato 3; la aparición de las enfermedades se concentró en los estratos 1 (54.4%) y 2 (43.3%), lo cual se evidencia como resultado del número de individuos que componen cada categoría; a pesar de esto, se observó el incremento de la aparición de las enfermedades en relación al incremento del estrato. El 93.8% (306) de los encuestados había cursado primaria (34%) o eran bachilleres (59.8%), y solo el 4.5% (15) eran universitarios; la aparición de enfermedades mostró reducirse al aumentar su nivel académico. La exposición, es entendida como el desarrollo de las actividades en zonas diferentes a locales comerciales, y donde el individuo se expone directamente a las condiciones ambientales de la ciudad; en esta se presentaron 54 casos (60%) en contraste de 35 (38.9%) que se observaron en aquellos que realizaban sus labores en locales. La presencia de enfermedad en los encuestados se redujo al incrementarse el tiempo labor, y el salario, en relación con la antigüedad en el lugar se mantuvo similar (tabla 15).

Tabla 15. Características socioeconómicas y de exposición del personal encuestado.

	Enfermedad				Total	Gravedad				Total
	No		Si			Grave		Leve		
	F	M	F	M		F	M	F	M	
Rango etario										
18-35	55	56	16	14	141	1	1	15	13	30
36-50	56	49	27	17	149	3	5	24	12	44
> 50	10	10	7	9	36	2	2	5	7	16
Estrato socioeconómico										
1	55	39	29	20	143	2	5	27	15	49
2	65	73	20	19	177	4	3	16	16	39
3	1	3	1	1	6			1	1	2
Nivel académico										
Primaria	38	43	17	13	111	4	2	13	11	30
Bachillerato	79	65	29	22	195	2	4	27	18	51
Universitario	4	6	3	2	15			3	2	5
Ninguno		1	1	3	5		2	1	1	4
Exposición a condiciones ambientales										
Exterior	70	63	29	25	187	6	4	23	21	54
Exterior /Interior			1		1			1		1
Interior	51	52	20	15	138		4	20	11	35
Horas labor por día										
0-8 horas	59	62	24	14	159	2	1	22	13	38
8-12 horas	49	36	20	15	120	4	4	16	11	35
> 12 horas	13	17	6	11	47		3	6	8	17

Antigüedad en la labor										
> 36 meses	48	41	18	24	131	1	7	17	17	42
0 - 36 meses	73	74	32	16	195	5	1	27	15	48
Régimen de salud										
Subsidiado	96	79	37	24	236	6	4	30	20	60
Contributivo	25	36	13	16	90	0	4	13	12	29
Ingresos en SMLV*										
1	105	102	36	26	269	6	6	30	20	62
2	16	13	14	12	55		2	14	10	26
3				2	2				2	2

*Salario mínimo legal vigente, para el 2020
(234.33 dólares, a cambio 3789.50 pesos/dólar)

Fuente: elaboración propia (2020).

La asociación entre las diferentes variables sociodemográficas y la enfermedad se evaluó mediante la relación de riesgo (R.R); si bien las relaciones no fueron significativas, se encontró que la aparición de la enfermedad se incrementa en aquellos que trabajan por más de 12 horas, mayores a 35 años, que desempeñan su labores expuestos a condiciones medioambientales (calle) y con más de 36 meses de experiencia en la actividad. Adicionalmente encontramos que el estrato socioeconómico 1 y salarios mayores a dos salarios mínimos legales vigentes (SMLV), se asocian significativamente con la presencia de enfermedad (tabla 16).

Tabla 16. Asociación entre las variables socioeconómicas y enfermedad.

	Enfermedad		Total	Riesgo	Límites de confianza		p	R. R
	No	Si			L.I	L.S		
Tiempo de exposición								
0 - 8 horas	122	38	160	23.75	17.79	30.94	0.144	0.767
> 12 horas	116	52	168	30.95	24.44	38.32		
Rango etario								
15 - 35	133	46	179	25.70	19.83	32.58	0.439	0.870
36 - 50	105	44	149	29.53	22.78	37.31		
Estrato socioeconómico								
1.00	94	49	143	34.27	26.98	42.37	0.015	1.546
2 y 3	144	41	185	22.16	16.75	28.71		
Nivel académico								
Primaria	83	30	113	26.55	19.24	35.4	0.793	0.951
Bachillerato	155	60	215	27.91	22.33	34.26		
Exposición								
Exterior (Calle)	133	54	187	28.88	22.85	35.76	0.483	1.139
Interior (establecimiento)	103	35	138	25.36	18.81	33.25		
Tiempo de labor								
0 - 8 horas	122	38	160	23.75	17.79	30.94	0.144	0.767
> 12 horas	116	52	168	30.95	24.44	38.32		
Antigüedad en el lugar								
0 - 36 meses	147	48	195	24.62	19.08	31.13	0.153	0.774
> 36 meses	90	42	132	31.82	24.47	40.2		
Régimen de salud								
Subsidiado	175	61	236	25.85	20.67	31.8	0.251	0.802
Contributivo	61	29	90	32.22	23.44	42.46		

SMLV								
1.00	207	62	269	23.05	18.4	28.45	0.000	0.469
2.00	29	28	57	49.12	36.62	61.74		

*Salario mínimo legal vigente, para el 2020 (234.33 dólares, a cabio 3789.50 pesos/dólar),
L.I: límite de confianza inferior, L.S: límite de confianza superior, p:valor de probabilidad
para test X2, R.R: razón de riesgo.

Fuente: elaboración propia (2020).

Los resultados previos mostraron un posible efecto de las diferentes variables sociodemográficas en la aparición de las enfermedades relacionadas a la contaminación por material particulado en el aire. El análisis del modelo de regresión binaria mostro que el único efecto significativo, correspondió a los ingresos económicos (SMMLV) (tabla 17).

Tabla 17. Modelo de regresión logística.

Fuente	GL	Dev. sec.	Contribución	Dev. ajust.	Media ajust.	Chi ²	Valor p
Regresión	15	37.336	9.85%	37.336	2.489	37.34	0.001
Tiempo labor	2	2.623	0.69%	1.717	0.858	1.72	0.424
Antigüedad	1	1.220	0.32%	0.201	0.202	0.20	0.654
Exposición	1	0.734	0.19%	2.696	2.696	2.70	0.101
Genero	1	0.623	0.16%	0.697	0.697	0.70	0.404
Rango etario	2	5.490	1.45%	4.648	2.324	4.65	0.098
Régimen de salud	1	2.786	0.74%	0.176	0.176	0.18	0.675
Estrato socioeconómico	2	4.453	1.18%	3.992	1.996	3.99	0.136
SMLV	2	12.575	3.32%	12.041	6.020	12.04	0.002
Nivel académico	3	6.832	1.80%	6.832	2.2773	6.83	0.077
Error	305	341.666	90.15%	341.666	1.1202		
Total	320	379.002	100.00%				

Fuente: elaboración propia (2020).

De este primer resultado, se obtiene que las variables contribuyen al modelo un 9,85% con una probabilidad $P=0,001$ y un Chi-Cuadrado de 37.34% por consiguiente se realiza la prueba de hipótesis.

Según los resultados del modelo de regresión el “nivel de ingresos”, es la variable que más relaciona con la presencia de enfermedades respiratorias en los trabajadores de la zona de estudio, como lo muestra la tabla 18.

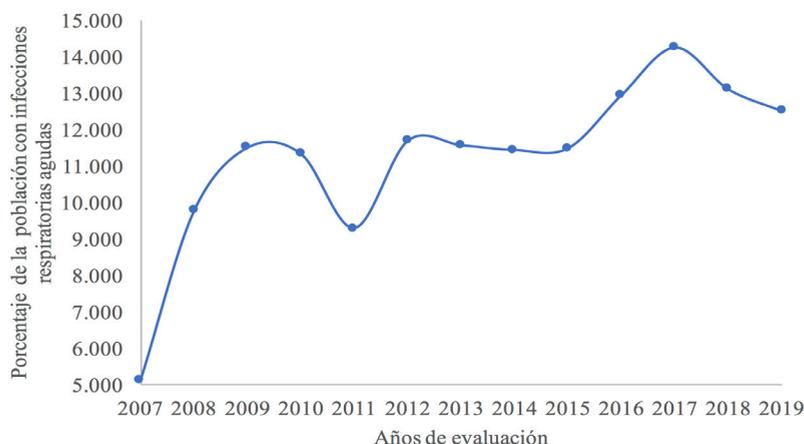
Tabla 18. Variable que mejor explica la vulnerabilidad a la enfermedad.

Fuente	GL	Desv. sec.	Contribución	Desv. ajust.	Media ajust.	Chi-cuadrada	Valor p
Ingresos	2	12.575	3.32%	12.041	6.0203	12.04	0.002

Fuente: elaboración propia (2020).

Debido a que se presenta $P=0,002$, explica que, entre menos ingresos se tengan, existe una mayor vulnerabilidad de presentar una enfermedad por causa de la contaminación del aire por material particulado en los vendedores de la zona de estudio.

En relación a los costos asociados a la contaminación por material particulado, aun aproximado, se muestran los registros de afecciones respiratorias agudas en Colombia, con la salvedad que existe en la relación entre material particulado y otras patologías, entre las que se encuentran problemas cardiovasculares, neuronales, renales y cáncer, datos que no se consideraron en el análisis de costos. En nuestro país encontramos que durante el periodo 2015 a 2019, el 12.5% de la población reportó una afección respiratoria aguda, registrándose reducciones a partir del 2018 (figura 29).

Figura 29. Porcentaje de la población colombiana con enfermedades respiratorias agudas entre el 2007 a 2019.

Fuente: elaboración propia (2019).

Este tipo de enfermedades se asocia con una carga económica, que se encuentra solventada por el sistema nacional de salud, y entidades privadas (instituciones prestadoras de salud); la estimación de esta carga se realizó considerando los valores referencia presentados en la tabla 19.

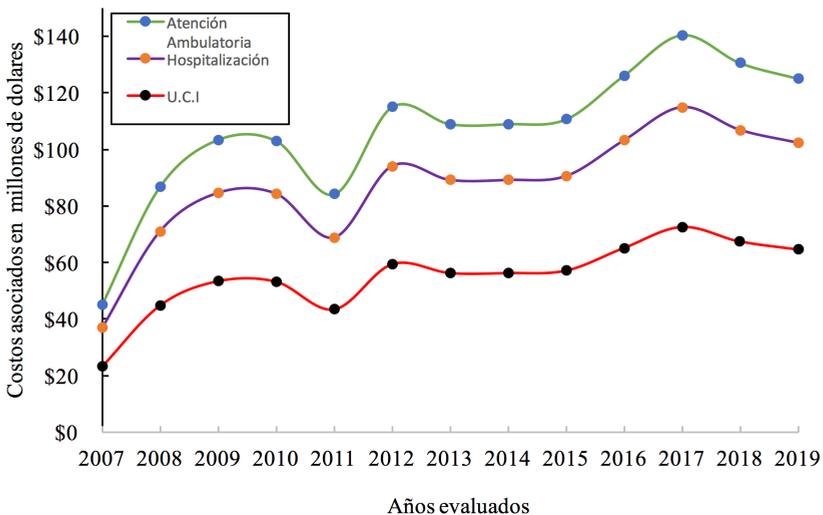
Tabla 19. Análisis básico de costos por presentar enfermedad respiratoria.

ITEM de costo	Costo USD
Atención Ambulatoria	\$ 22
Sala ERA	\$ 34
Observación en urgencias	\$ 60
Hospitalización en casa	\$ 123
Hospital Baja Complejidad + Hos. Día	\$ 192
	\$ 431

Fuente: elaboración propia, adaptada de Organización Panamericana de Salud - OPS (2008).

Estimamos que aproximadamente se han destinado 3.4 billones de dolares en la atención de personas que presentaron enfermedades respiratorias agudas en el periodo comprendido entre el 2006 a 2019, donde 1.4 billones de dolares se destinaron a atención ambulatoria, 1.1 billones en gastos de hospitalización y 770 millones en gastos de unidades cuidados intensivos; en este último solo se consideraron cinco días en la unidad. Solo los últimos cinco años (2014-2019), los gastos fueron de 1.7 billones, estimándose que en promedio los costos de atención ambulatoria, hospitalización y UCI (unidad de cuidados intensivos), correspondieron a 123, 101 y 63 millones de dolares respectivamente; es importante anotar que el costo en pesos es fluctuante, y está sujeto a la variación en el coste de la tasa de cambio; a pesar de esto se estima que para el 2019 la atención de un paciente oscilaría entre 85.510 a 1.609.218 de pesos (dólar: 3887 pesos) por día (figura 30).

Figura 30. Gastos estimados en la atención de la población colombiana con enfermedades respiratorias agudas entre el 2007 a 2019.



Fuente: elaboración propia (2019).

3.4. Discusión

Esta investigación describe la relación entre la contaminación del aire y la vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2020, sector que se caracteriza por presentar una calidad de aire aceptable (El País, 2020).

La distribución etaria, el nivel educativo e ingresos económicos de la población encuestada en este estudio, concuerda con lo reportado previamente por la alcaldía de Cali (Cadavid et al., 2019), y es característico de la población latinoamericana expuesta a la contaminación en el aire (OMS, 2018a, 2019); en este sentido es una población joven, menor de 35 años (43%), con nivel académico que no supera el bachillerato (93%), estrato socioeconómico entre 1 y 2 (98%9), además de un ingreso económico no superior a un salario mínimo legal vigente, catalogándolos como una población vulnerable (J. Hernández et al., 2018).

Cuando se realizó el análisis de razón de riesgo a nuestros resultados, se observó que no existe en la población evaluada relación entre la exposición a las variables (rango etario, exposición, ingresos y antigüedad en la labor) y el incremento en el riesgo, medido como la sintomatología. A pesar de esto, se conoce que estar expuesto a contaminación ambiental, se relaciona a la aparición de patologías respiratorias, entre otras (Chinthra & Shiva, 2018; Gabriel et al., 2018; J. Hernández et al., 2018). Cuando se pondera por el número de participantes en cada rango etario, encontramos el incremento en el porcentaje de enfermedad, que correspondió a 29.5% para personas entre 35 a 50 años, y a 44% para personas mayores a 50 años, lo cual concuerda con los estudios que señalan la relación entre el incremento en la edad y la aparición de patologías o sintomatologías respiratorias, como lo reporta la literatura. (Lelieveld et al., 2018; Noomnual & Shendell, 2017; Public Health England, 2018).

Otro factor asociado es la exposición, medida en nuestro estudio como antigüedad, y exposición (intemperie/local); nuestros resultados muestran un número similar de afectados en relación a estas variables, lo cual puede ser explicado, por los diferentes tipos de contaminación *indoor* y *outdoor*, la usencia de diferencia entre estos podría señalar, que no existen sistemas de ventilación, que estos son defectuosos o inadecuados para el control del ingreso de la contaminación ambiental a los locales, que se comportarían como ambientes cerrados (Bo et al., 2017; Chinthra & Shiva, 2018; Livemit, 2019). Adicionalmente, los sistemas de monitoreo de calidad de aire evalúan las condiciones ambientales, por lo que los ambientes cerrados, requerirían de evaluaciones particulares, así mismo la inclusión en la encuesta de utilización de agentes de contaminación como lo son limpiadores, y factores de consumo de cigarrillo. Estos resultados señalan que no existe diferencia entre el vendedor ambulante, entendiéndose como aquel que desempeña su labor en calle, sin un local fijo, y por su naturaleza con mayor exposición a los contaminantes ambientales (Amegah & Jaakkola, 2013; Kongtip et al., 2006; Noomnual & Shendell, 2017).

El modelo de regresión logística, al igual que la prueba de razón de riesgo, señalan como significativa la variable ingreso SMMLV, que en relación con la aparición de la enfermedad o sintomatología, es confusa, pero podría ser explicarse, si se integra a la encuesta, preguntas orientadas a evaluar el nivel de estrés, un factor que puede ser el resultado de esta exposición (IQAir, 2020), este puede afectar el sistema inmune e incrementar la aparición de patologías, entre estas respiratorias, por sus efectos a nivel de estrés oxidativo, y que en nuestra investigación, se ve expresada por esta relación (Fuller et al., 2017; Münzel et al., 2017; Münzel & Daiber, 2018).

Finalmente los datos asociados al gasto público en la atención de enfermedades relacionadas a la contaminación ambiental, muestran la

necesidad de fortalecer la vigilancia de los emisores de contaminantes, que en general corresponde al sistema vehicular, que si bien presenta regulación, actualmente no todo el parque automotor cumple con estos requisitos (El Pais, 2020).

3.5. Conclusiones

Nuestro estudio indica la relación entre la contaminación ambiental y la sintomatología (enfermedad) al incrementarse la edad, siendo la población mayor de 50 años la más afectada.

En la población evaluada, los resultados en relación a la exposición, indicarían que en la comuna no existe una cultura de prevención o cuidado respecto a la contaminación ambiental, eso sugerido por la frecuencia similar de enfermedad en condiciones ambientales (*outdoor*) y de local (*indoor*).

La contaminación del aire corresponde a un problema de salud pública en Colombia y un factor asociado a gasto público, que puede ser reducido, al vigilar de forma más eficiente el parque automotor, el cual es el responsable del más del 80%, de la contaminación en aire, y éste un factor de desarrollo de patologías, respiratorias y cardiovasculares entre otras.

3.6. Referencias

- Ackermann-Liebrich, U. (2011). Respiratory and Cardiovascular Effects of NO₂ in Epidemiological Studies. In J. O. B. T.-E. of E. H. Nriagu (Ed.) (pp. 840–844). Burlington: Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00065-9>
- Ackermann-Liebrich, U., Felber Dietrich, D., & Joss, M. K. B. T.-R. M. in E. S. and E. S. (2019). Respiratory and Cardiovascular Effects of NO₂. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.02128-X>
- Amegah, A., & Jaakkola, J. (2013). Work as a street vendor, associated traffic-related air pollution exposures and risk of adverse pregnancy outcomes in Accra, Ghana. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.07.010>
- Bedia, C., Cardoso, P., Dalmau, N., Garreta-Lara, E., Gómez-Canela, C., Gorrochategui, E. y Tauler, R. (2018). C Applications of Metabolomics Analysis in Environmental Research. In J. Jaumot, C. Bedia, & R. B. T.-C. A. C. Tauler (Eds.), *Data Analysis for Omic Sciences: Methods and Applications* (Vol. 82, pp. 533–582). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.coac.2018.07.006>
- Bensouilah, R., Knani, S., Mansour, S., & Ksibi, Z. (2020). Air pollution (volatile organic compound, etc.) and climate change. In A. Figoli, Y. Li, & A. B. T.-C. T. and F. D. on (Bio-) M. Basile (Eds.), *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes* (pp. 31–46). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816778-6.00002-3>

- Bo, M., Salizzoni, P., Clerico, M., & Buccolieri, R. (2017). Assessment of Indoor-Outdoor Particulate Matter Air Pollution : A Review. *Atmosphere*, 8(136). <https://doi.org/10.3390/atmos8080136>
- Boskabady, M., Marefati, N., Farkhondeh, T., Shakeri, F., & Farshbaf, A. (2018). The effect of environmental lead exposure on human health and the contribution of inflammatory mechanisms, a review. *Environment International*, 120(July), 404–420. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.013>
- Cadavid, M. A., Villamizar, A., Uribe, P., & Loaiza, J. (2019). Caracterización Comuna 21. Cali-Colombia: Alcaldia de Santiago de Cali.
- Chinthra, V., & Shiva, N. (2018). A review of scientific evidence on indoor air of school building : pollutants, sources, health effects and management. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 12(2), 87–108. <https://doi.org/doi>: <https://doi.org/10.5572/ajae.2018.12.2.87>
- Chithra, V. ., & Nagendra, S. (2018). A review of scientific evidence on indoor air of school building : pollutants, sources, health effects and management. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 12(2), pp. 87–108.
- Conceição, G. M. S., Miraglia, S. G. E. K., Kishi, H. S., Saldiva, P. H. N., & Singer, J. M. (2001). Air Pollution and Child Mortality : A Time – Series Study in São Paulo, Brazil. *Environmental Health Perspectives*, 109(April), 347–350.
- Cserbik, D., Chen, J., Mcconnell, R., Berhane, K., Sowell, E. R., Schwartz, J., ... Herting, M. M. (2020). Fine particulate matter exposure during childhood relates to hemispheric- specific differences in brain structure. *Environment International*, 143 (December 2019), 105933. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105933>

- DANE. (2019). Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Cali-Colombia. Retrieved from <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190711-CNPV-presentacion-valle.pdf>
- Dey, S., & Chandra Dhal, G. (2020). Controlling carbon monoxide emissions from automobile vehicle exhaust using copper oxide catalysts in a catalytic converter. *Materials Today Chemistry*, 17, 100282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2020.100282>
- Du, Y., Xu, X., Chu, M., Guo, Y., & Wang, J. (2016). Air particulate matter and cardiovascular disease : the epidemiological, biomedical and clinical evidence. *Review Article on Pollutational Haze*, 8(1), 8–19. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2015.11.37>
- El Pais. (2020). Desmejora la calidad del aire en Cali, ¿qué lo está contaminando?. Retrieved October 9, 2020, from <https://www.elpais.com.co/cali/desmejora-la-dad-del-aire-en-que-lo-esta-contaminando.html>
- El Tiempo. (2018). Las ciudades más contaminadas de Colombia -. Retrieved September 27, 2020, from <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/las-ciudades-mas-contaminadas-de-colombia-244542#:~:text=De acuerdo con los datos,calidad del aire en Colombia.>
- El Tiempo. (1998). Vías, dolor de cabeza de comuna 21. Retrieved October 6, 2020, from <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-850050#:~:text=Los barrios y asentamientos que,90%2C Los habitantes solicitaron que>
- EPA. (2017). *Basic Information about Lead Air Pollution*. Retrieved October 6, 2020, from <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/basic-information-about-lead-air-pollution>

- Fu, X. (2016). Indoor Microbial Volatile Organic Compound (MVOC) Levels and Associations with Respiratory Health, Sick Building Syndrome (SBS), and Allergy. In C. Viegas, A. C. Pinheiro, R. Sabino, S. Viegas, J. Brandão, & C. B. T.-E. M. in P. H. Veríssimo (Eds.), *Environmental Mycology in Public Health* (pp. 387–395). Amsterdam: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411471-5.00022-3>
- Fuller, C. H., Feeser, K. R., Sarnat, J. A., & Neill, M. S. O. (2017). Air pollution, cardiovascular endpoints and susceptibility by stress and material resources : a systematic review of the evidence. *Environmental Health*, 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0270-0>
- Fussell, J. C., & Kelly, F. J. (2020). Free Radical Biology and Medicine Oxidative contribution of air pollution to extrinsic skin ageing. *Free Radical Biology and Medicine*, 151(November 2019), 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.11.038>
- Gabriel, N., Alexandru, Ş, Florentina, A., & Dragomir, G. (2018). Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania. *Atmospheric Environment*, 184, 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.034>
- Ge, S., Wang, S., Xu, Q., & Ho, T. (2021). Characterization and sensitivity analysis on ozone pollution over the Beaumont-Port Arthur Area in Texas of USA through source apportionment technologies. *Atmospheric Research*, 247, 105249. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105249>
- Guo, C., Hoek, G., Chang, L., Bo, Y., Lin, C., Huang, B. & Lao, X. Q. (2019). Long-Term Exposure to Ambient Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) and Lung Function in Children, Adolescents , and Young Adults : A Longitudinal Cohort Study. *BMC Medicine*, 127(12), 1–9.

- Guo, C., Zhang, Z., Lau, A. K. H., Lin, C. Q., Chuang, Y. C., Chan, J., ... Yeoh, E. (2014). Articles 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](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30028-7)
- Hai, D. N., Tung, L. Van, Van, D. K., Binh, T. T., Phuong, H. L., Trung, N. D. & Khue, P. M. (2018). *Lead Environmental Pollution and Childhood Lead Poisoning at Ban Thi Commune, Bac Kan Province, Vietnam*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5156812>
- Hannah, R. (2019). *Outdoor Air Pollution - Our World in Data*. Retrieved October 5, 2020, from <https://ourworldindata.org/outdoor-air-pollution#citation>
- Hao, Y., Zhang, G., Han, B., Xu, X., Feng, N., Li, Y. & Xia, Z. (2017). Prospective evaluation of respiratory health benefits from reduced exposure to airborne particulate matter. *International Journal of Environmental Health Research*, 3123, 0. <https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1292497>
- Health Effects Institute. (2019). *State of Global Air 2019*. Retrieved October 5, 2020, from <https://www.stateofglobalair.org/data/#/health/map>
- Hernández, J., Cardona-Arango, D., & Segura-Cardona, A. M. (2018). Construcción y análisis de un índice de vulnerabilidad social en la población joven. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 16(1), 403–412. <https://doi.org/10.11600/1692715x.16125>
- Iaqsciencie.lbl.gov. (2020). VOCs and Cancer. Retrieved October 6, 2020, from <https://iaqscience.lbl.gov/voc-cancer>

IDEAM. (2016). Calidad del aire. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

IDEAM. (2020). SISAIRE - IDEAM. Retrieved October 9, 2020, from http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/calidad_aire_municipio.xhtml

IQAir. (2018). World air quality. Retrieved from file:///D:/New folder/world-air-quality-report-2018-en.pdf

IQAir. (2020). Stress and Air Pollution _ IQAir. Retrieved October 9, 2020, from <https://www.iqair.com/blog/health-wellness/air-pollution-stress-and-your-health>

Isiugo, K., Jandarov, R., Cox, J., Ryan, P., Newman, N., Grinshpun, S. A., Reponen, T. (2019). Science of the Total Environment Indoor particulate matter and lung function in children. *Science of the Total Environment*, 663, 408–417. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.309>

Jain, R. K., Cui, Z. “Cindy,” & Domen, J. K. (2016). Environmental Impacts of Mining. In R. K. Jain, Z. “Cindy” Cui, & J. K. B. T.-E. I. of M. and M. P. Domen (Eds.), *Environmental Impact of Mining and Mineral Processing* (pp. 53–157). Boston: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804040-9.00004-8>

Jakubiak-lasocka, J., Lasocki, J., & Badyda, A. J. (2015). The Influence of Particulate Matter on Respiratory Morbidity and Mortality in Children and Infants. *Adv Exp. Medicine, Biology - Neuroscience and Respiration*, 10, 39–48. <https://doi.org/10.1007/5584>

Jeong, C. H., Evans, G. J., Healy, R. M., Jadidian, P., Wentzell, J., Liggio, J., & Brook, J. R. (2015). Rapid physical and chemical trans-

- formation of traffic-related atmospheric particles near a highway. *Atmospheric Pollution Research*, 6(4), 662–672. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.075>
- Ji, X., Meng, X., Liu, C., Chen, R., Ge, Y., Kan, L., & Fu, Q. (2019). Nitrogen dioxide air pollution and preterm birth in Shanghai, China. *Environmental Research*, 169(June 2018), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.007>
- Jiang, Y., Niu, Y., Xia, Y., Liu, C., Lin, Z., Wang, W., Kan, H. (2019). Effects of personal nitrogen dioxide exposure on airway inflammation and. *Environmental Research Journal*, 177(August), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108620>
- Kim, E., Park, H., Ae, E., Hong, Y., Ha, M., Kim, H., & Ha, E. (2016). Particulate matter and early childhood body weight. *Environment International*, 94, 591–599. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.021>
- Kim, K., 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>
- Kongtip, P., Thongsuk, W., Yoosook, W., & Chantanakul, S. (2006). Health effects of metropolitan traffic-related air pollutants on street vendors. *Atmospheric Environment*, 40(37), 7138–7145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.025>
- Kousehlar, M., & Widom, E. (2019). Applied Geochemistry Sources of metals in atmospheric particulate matter in Tehran, Iran : Tree bark biomonitoring. *Applied Geochemistry*, 104(November 2018), 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.03.018>

- Kwon, H. (2020). Ultra fine particles : unique physicochemical properties relevant to health and disease. *Experimental & Molecular Medicine*, 52, 318–328. <https://doi.org/10.1038/s12276-020-0405-1>
- Lelieveld, J., Haines, A., & Pozzer, A. (2018). Age-dependent health risk from ambient air pollution: a modelling and data analysis of childhood mortality in middle-income and low-income countries. *The Lancet Planetary Health*, 2(7), e292–e300. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30147-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30147-5)
- Li, J., Li, W., Bai, C., & Song, Y. (2017). Particulate matter-induced epigenetic changes and lung cancer. *The Clinical Respiratory Journal*, (2), 539–546. <https://doi.org/10.1111/crj.12389>
- Liang, F., Liu, F., Huang, K., Yang, X., Li, J., Xiao, Q., Gu, D. (2020). Long-Term Exposure to Fine Particulate Matter and Cardiovascular Disease in China. *Journal of the American College of Cardiology*, 75(7), 707 LP – 717. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.12.031>
- Livemint. (2019). *Indoor air pollution the invisible adversary*. Retrieved September 27, 2020, from <https://www.livemint.com/mint-lounge/features/indoor-air-pollution-the-invisible-adversary-1567759328936.html>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., & Stavropoulos, A. (2020). *Environmental and Health Impacts of Air Pollution : A Review*. *Front. Public Health*, 8, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Mattiuzzi, C., & Lippi, G. (2020). Worldwide epidemiology of carbon monoxide poisoning. *Human and Experimental Toxicology*, 39(4), 387–392. <https://doi.org/10.1177/0960327119891214>
- Miller, B. (2015). 4 - Sulfur oxides formation and control. In B. B. T.-F. F. E. C. T. Miller (Ed.), *Fossil Fuel Emissions Control Technologies*

(pp. 197–242). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801566-7.00004-X>

Miller, B. G. (2011). The Effect of Coal Usage on Human Health and the Environment. In B. G. B. T.-C. C. E. T. Miller (Ed.), *Clean Coal Engineering Technology* (pp. 85–132). Boston: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-710-8.00004-2>

Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. Resolución 2254 del 2017. "Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones" (2017). Bogotá-Colombia: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia. Retrieved from <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=82634>

Minitab. (2019). Revisión general de ajustar modelo logístico binario - Minitab. Retrieved October 6, 2020, from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/fit-binary-logistic-model/before-you-start/overview/>

Münzel, T., & Daiber, A. (2018, March). *Environmental Stressors and Their Impact on Health and Disease with Focus on Oxidative Stress. Antioxidants & Redox Signaling*. United States. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7488>

Münzel, T., Sørensen, M., Gori, T., Schmidt, F. P., Rao, X., Brook, F. R., Rajagopalan, S. (2017). Environmental stressors and cardio-metabolic disease: part II-mechanistic insights. *European Heart Journal*, 38(8), 557–564. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw294>

Nakata, H., Nakayama, S. M. M., Oroszlany, B., & Ikenaka, Y. (2017). Monitoring Lead (Pb) Pollution and Identifying Pb Pollution Sources in Japan Using Stable Pb Isotope Analysis with Kidneys of

Wild Rats. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14(1), 56. <https://doi.org/10.3390/ijerph14010056>

Năstase, G., Șerban, A., Năstase, A. F., Dragomir, G., & Brezeanu, A. I. (2018). Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania. *Atmospheric Environment*, 184, 292–303. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.034>

Noomnual, S., & Shendell, D. G. (2017). Young Adult Street Vendors and Adverse Respiratory Health Outcomes in Bangkok, Thailand. *Safety and Health at Work*, 8(4), 407–409. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.02.002>

Nuñez, V., Rojas, R., Martín, M. O., Machado, A., Oca, M. De, Arbolaez, P., ... Sánchez, D. A. (2020). Estimación de la carga contaminante por PM 10 en los municipios costeros, provincia Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(1), 1–9.

OMS. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=D655B2A562D8508E3E49A4CBE519A232?sequence=1

OMS. (2018a). Ambient (outdoor) air pollution. Retrieved October 5, 2020, from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

OMS. (2018b). Contaminación del Aire Ambiental. Retrieved September 26, 2020, from https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es

- OMS. (2018c). Types of pollutants. Retrieved October 5, 2020, from <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/ambient-air-pollution/pollutants/types-of-pollutants>
- OMS. (2019). Determinantes sociales de la salud. Retrieved August 24, 2019, from https://www.who.int/social_determinants/thecommission/finalreport/key_concepts/es/
- Ortiz, C., Linares, C., Carmona, R., & Díaz, J. (2017). Evaluation of short-term mortality attributable to particulate matter pollution in Spain. *Environmental Pollution*, 224, 541–551. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.037>
- Pennerman, K. K., AL-Maliki, H. S., Lee, S., & Bennett, J. W. (2016). Fungal Volatile Organic Compounds (VOCs) and the Genus *Aspergillus*. In V. K. B. T.-N. and F. D. in M. B. and B. Gupta (Ed.), *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 95–115). Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00007-5>
- Polichetti, G., Cocco, S., Spinali, A., Trimarco, V., & Nunziata, A. (2009). Effects of particulate matter (PM 10 , PM 2 . 5 and PM 1) on the cardiovascular system. *Toxicology*, 261(2), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.04.035>
- Proietti, C., Coulibaly, F., & Marco, A. De. (2020). Ozone weekend effect in cities : Deep insights for urban air pollution control. *Environmental Research*, 191(September). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110193>
- Public Health England. (2018). Health matters air pollution -. Retrieved September 27, 2020, from <https://www.gov.uk/govern->

ment/publications/health-matters-air-pollution/health-matters-air-pollution

- Robledo, C. A., Mendola, P., Yeung, E., Männistö, T., Sundaram, R., Liu, D., Grantz, K. L. (2015). Preconception and early pregnancy air pollution exposures and risk of gestational diabetes mellitus. *Environmental Research*, 137, 316–322. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.020>
- Scranton, M. I., & de Angelis, M. A. (2001). Gas Exchange in Estuaries. In J. H. B. T.-E. of O. S. (Second E. Steele (Ed.), *Encyclopedia of Ocean Sciences* (Second Edi, pp. 1–8). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00080-1>
- Shukla, A., Bunkar, N., Kumar, R., Bhargava, A., Tiwari, R., Chaudhury, K., Mishra, P. K. (2019). Air pollution associated epigenetic modifications: Transgenerational inheritance and underlying molecular mechanisms. *Science of The Total Environment*, 656, 760–777. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.381>
- Sun, Y., Zhuang, G., Zhang, W., Wang, Y., & Zhuang, Y. (2006). *Characteristics and sources of lead pollution after phasing out leaded gasoline in Beijing*, 40, 2973–2985. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.032>
- Thurston, G. D. (2017). Outdoor Air Pollution: Sources, Atmospheric Transport, and Human Health Effects. In S. R. B. T.-I. E. of P. H. (Second E. Quah (Ed.), *International Encyclopedia of Public Health* (2nd ed., pp. 367–377). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00320-9>
- Tian, Y., Wu, Y., Liu, H., Si, Y., Wu, Y., & Wang, X. (2020). The impact of ambient ozone pollution on pneumonia : A nationwide time-

series analysis. *Environment International*, 136(September 2019), 105498. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105498>

Vallack, H. W., Philip, S., Martin, R. V, Snider, G., Weagle, C. L., & Donkelaar, A. Van. (2017). Anthropogenic fugitive , combustion and industrial dust is a significant , underrepresented fine particulate matter source in global atmospheric models Anthropogenic fugitive , combustion and industrial dust is a significant , underrepresented fine partic. *Environmental Research Letters*, 12(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa65a4>

Wang, W., Liu, C., Ying, Z., Lei, X., Wang, C., Huo, J., Kan, H. (2019). Particulate air pollution and ischemic stroke hospitalization: How the associations vary by constituents in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 695, 133780. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133780>

Wang, Z., Lv, J., Tan, Y., Guo, M., Gu, Y., Xu, S., & Zhou, Y. (2019). Temporospatial variations and Spearman correlation analysis of ozone concentrations to nitrogen dioxide, sulfur dioxide , particulate matters and carbon monoxide in ambient air , China. *Atmospheric Pollution Research*, 10(4), 1203–1210. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.02.003>

WHO. (2018). Carbon monoxide. In *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. (pp. 55–102). WHO Regional Office for Europe. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138710/>

Wu, Y., Li, R., Cui, L., Meng, Y., Cheng, H., & Fu, H. (2020). The high-resolution estimation of sulfur dioxide (SO₂) concentration, health effect and monetary costs in Beijing. *Chemosphere*, 241, 125031. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125031>

Zeng, J., & Han, G. (2020). Tracing zinc sources with Zn isotope of fluvial suspended particulate matter in Zhujiang River, southwest China. *Ecological Indicators*, 118(June), 106723. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106723>

Índice de figuras

Figura 1. Difractogramas (DRX) de las muestras de zeolitas estudiadas	27
Figura 2. Espectro de FT-IR de las zeolitas A, B, C y D.	29
Figura 3. Espectro de FT-IR de las zeolitas A, B, C y D cargadas con NH ₄ ⁺	30
Figura 4. Termogramas de las zeolitas comerciales A, B, C y D	32
Figura 5. Termogramas de las zeolitas comerciales A, B, C y D cargadas con NH ₄ ⁺	33
Figura 6. Imágenes de microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva (SEM-EDS) de las zeolitas A, B, C y D	34
Figura 7. Índice de retención de NH ₄ ⁺ de las zeolitas comerciales A, B, C y D.	40
Figura 8. Tasa de adsorción de amonio.	41
Figura 9. Volatilización de amonio con diferentes concentraciones de material zeolítico.	45
Figura 10. Fases metodológicas de estudio	63
Figura 11. Zona de estudio.	64
Figura 12. Ubicación de los 12 puntos de muestreo	67
Figura 13. Condiciones de salud vs edad.	71
Figura 14. Tipo de actividad vs exposición a ruido	72
Figura 15. Condiciones de salud vs tiempo realizando la actividad. ...	72
Figura 16. Condiciones de salud vs actividades extralaborales.	73
Figura 17. Diagrama de cajas y alambres medición viernes.	74
Figura 18. Diagrama de cajas y alambres medición sábado.	75

Figura 19. Resultado dosimetría día entre semana.	77
Figura 20. Resultado dosimetría sábado.	78
Figura 21. Mapas día viernes por rango de medición, referencia del fenómeno entre semana	79
Figura 22. Mapas día sábado por rango de medición, referencia del fenómeno fin de semana	81
Figura 23. Contaminación por materia particulado en áreas cerradas indoor (Livemit, 2019)	101
Figura 24. Concentración de PM2.5 y número de muertes por exposición para el 2017 (Health Effects Institute, 2019)	103
Figura 25. Concentración de Ozono (O3) y número de muertes por exposición para el 2019 (Health Effects Institute, 2019)	106
Figura 26. Efectos tóxicos de la contaminación por plomo (Boskabady et al., 2018)	109
Figura 27. Mapa Ubicación de la Comuna 21.....	113
Figura 28. Concentración de O3, MP10 y MP2.5 para el 2020, en la comuna 21	114
Figura 29. Porcentaje de la población colombiana con enfermedades respiratorias agudas entre el 2007 a 2019	122
Figura 30. Gastos estimados en la atención de la población colombiana con enfermedades respiratorias agudas entre el 2007 a 2019.....	123

Index of figures

Figure 1. Diffractograms (XRD) of the zeolite samples studied	27
Figure 2. FT-IR spectra of zeolites A, B, C and D.....	29
Figure 3. FT-IR spectra of zeolites A, B, C and D loaded with NH ₄ ⁺ ...	30
Figure 4. Thermograms of commercial zeolites A, B, C and D.....	32
Figure 5. Thermograms of commercial zeolites A, B, C and D loaded with NH ₄ ⁺	33
Figure 6. Scanning electron microscopy with energy dispersive detector (SEM-EDS) images of zeolites A, B, C and D.....	34
Figure 7. NH ₄ ⁺ retention rate of commercial zeolites A, B, C and D ...	40
Figure 8. Ammonium adsorption rate	41
Figure 9. Volatilization of ammonium with different concentrations of zeolitic material.....	45
Figure 10. Methodological phases of the study	63
Figure 11. Study area	64
Figure 12. Location of the 12 sampling points.....	67
Figure 13. Health conditions vs. age	71
Figure 14. Type of activity vs. noise exposure	72
Figure 15. Health conditions vs. time performing the activity.....	72
Figure 16. Health conditions vs. extra-occupational activities	73
Figure 17. Diagram of boxes and wires Friday measurement	74
Figure 18. Box-and-wire diagram Saturday measurement	75
Figure 19. Weekday dosimetry result	77
Figure 20. Saturday dosimetry result.....	78

Figure 21. Friday maps by measurement range, reference of the phenomenon during the week	79
Figure 22. Saturday maps by measurement range, reference of the weekend phenomenon	81
Figure 23. Particulate matter pollution in indoor closed areas (Livemit, 2019)	101
Figure 24. PM2.5 concentration and number of deaths from exposure for 2017 (Health Effects Institute, 2019)	103
Figure 25. Ozone (O3) concentration and number of deaths from exposure by 2019 (Health Effects Institute, 2019)	106
Figure 26. Toxic effects of lead pollution. (Boskabady et al., 2018)....	109
Figure 27. Map Location of Comuna 21	113
Figure 28. Concentration of O3, PM10 and PM2.5 for 2020, in commune 21	114
Figure 29. Percentage of the Colombian population with acute respiratory diseases between 2007 and 2019	122
Figure 30. Estimated expenses for the care of the Colombian population with acute respiratory diseases between 2007 and 2019	123

Índice de tablas

Tabla 1. Composición del material zeolítico y parámetros evaluados según las empresas donde se compró el material.....	20
Tabla 2. Tratamientos usados en la evaluación de emisión del ion amonio en el compost de gallinaza.....	25
Tabla 3. Identificación y cuantificación de minerales en las zeolitas A, B, C y D.....	28
Tabla 4. Frecuencias y bandas vibracionales correspondientes al espectro infrarrojo de materiales zeolíticos.....	29
Tabla 5. Composición elemental de las zeolitas A, B, C y D mediante análisis de microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva	35
Tabla 6. Composición elemental realizado por análisis de espectroscopiaz de absorción atómica de llama de las zeolitas A, B, C y D	36
Tabla 7. Capacidades de intercambio catiónico.....	38
Tabla 8. Capacidad de absorción de las zeolitas A,B,C y D según el método de trabajo.....	42
Tabla 9. Índice de retención de Ca ⁺² , Mg ⁺² y K ⁺ con respecto al índice de retención del ion NH ₄ ⁺ de las zeolitas A, B, C y D.....	43
Tabla 10. Coordenadas planas de puntos de muestreo	69
Tabla 11. Efectos en salud de trabajadores expuestos a ruido según resultados	83
Tabla 12. Fuentes de contaminantes del aire (Public Health England, 2018).....	100
Tabla 13. Características generales de UTF, PM2.5 y PM10	104

Tabla 14. Límites de exposición de contaminantes de aire (Chithra & Nagendra, 2018)	111
Tabla 15. Características socioeconómicas y de exposición del personal encuestados.....	117
Tabla 16. Asociación entre las variables socioeconómicas y enfermedad.....	119
Tabla 17. Modelo de regresión logística.....	120
Tabla 18. Variable que mejor explica la vulnerabilidad a la enfermedad.....	121
Tabla 19. Análisis básico de costos por presentar enfermedad respiratoria	122

Index of tables

Table 1. Composition of zeolitic material and parameters evaluated according to the companies where the material was purchased	20
Table 2. Treatments used in the evaluation of ammonium ion emission in poultry manure compost	25
Table 3. Identification and quantification of minerals in zeolites A, B, C and D	28
Table 4. Frequencies and vibrational bands corresponding to the infrared spectrum of zeolitic materials	29
Table 5. Elemental composition of zeolites A, B, C and D by scanning electron microscopy analysis with energy dispersive detector	35
Table 6. Elemental composition performed by flame atomic absorption spectroscopy analysis of zeolites A, B, C and D	36
Table 7. Cation exchange capacities	38
Table 8. Absorption capacity of zeolites A,B,C and D according to the working method	42
Table 9. Ca ⁺² , Mg ⁺² and K ⁺ retention index with respect to the NH ₄ ⁺ ion retention index of zeolites A, B, C and D	43
Table 10. Plane coordinates of sampling points	69
Table 11. Health Effects of Noise-Exposed Workers by Results	83
Table 12. Sources of air pollutants (Public Health England, 2018)	100
Table 13. General characteristics of UTF, PM _{2.5} and PM ₁₀	104
Table 14. Air pollutant exposure limits (Chithra & Nagendra, 2018) ...	111
Table 15. Socioeconomic and exposure characteristics of surveyed personnel	117

Table 16. Association between socioeconomic variables and disease	119
Table 17. Logistic regression model.....	120
Table 18. Variable that best explains vulnerability to disease	121
Table 19. Basic cost analysis for presenting respiratory disease	122

Índice de anexos

Anexo 1. Tabla de análisis de varianza entre los tratamientos de las zeolitas A, B, C y D	54
Anexo 2. Tabla prueba de Tukey entre los tratamiento de las zeolitas A, B, C y D.....	54
Anexo 3. Tabla de análisis de varianza entre los tratamiento de las zeolitas A y D	55
Anexo 4. Modelo encuesta.....	94

Index of annexes

- Annex 1.** Table of analysis of variance between zeolites
A, B, C and D treatments 54
- Annex 2.** Table Tukey test between zeolites A, B, C and D
treatments..... 54
- Annex 3.** Table of analysis of variance between zeolites
A and D treatments 55
- Annex 4.** Model survey 94