

**RELACIÓN ENTRE LA MORBILIDAD POR ENFERMEDADES RESPIRATORIAS  
AGUDAS (ERA) EN MENORES DE CERO A CINCO AÑOS Y LOS  
CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI  
EN EL PERIODO 2015-2017**



**JULIETH ALEJANDRA CAMACHO PATIÑO  
2051043**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES  
PROGRAMA ADMINISTRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS  
RECURSOS NATURALES  
SANTIAGO DE CALI  
2020**

**RELACIÓN ENTRE LA MORBILIDAD POR ENFERMEDADES RESPIRATORIAS  
AGUDAS (ERA) EN MENORES DE CERO A CINCO AÑOS Y LOS  
CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI  
EN EL PERIODO 2015-2017**



**JULIETH ALEJANDRA CAMACHO PATIÑO**

**Proyecto de grado para optar al título de  
Administrador Ambiental**

**Director  
ALEJANDRO SOTO DUQUE  
Químico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES  
PROGRAMA ADMINISTRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS  
RECURSOS NATURALES  
SANTIAGO DE CALI  
2020**

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Administrador Ambiental**

**GLORIA AMPARO JIMENEZ BOTERO**  
**Jurado**

**ELIZABETH MUÑOZ**  
**Jurado**

**Santiago de Cali, 11 de Diciembre de 2020**

## CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>11</b>
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>11</b>
<b>1.2 ELEMENTOS DEL PROBLEMA</b>	<b>11</b>
<b>1.2.1 Pregunta de investigación</b>	<b>13</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>14</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
<b>3.1 OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>15</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>15</b>
<b>4. MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>16</b>
<b>4.1 ESTADO DEL ARTE</b>	<b>16</b>
<b>4.2 MARCO TEÓRICO</b>	<b>18</b>
<b>4.2.1 Contaminación atmosférica</b>	<b>18</b>
<b>4.2.2 Contaminación atmosférica en Colombia</b>	<b>20</b>
<b>4.2.3 Afectaciones a la salud por la contaminación atmosférica</b>	<b>22</b>
<b>4.2.4 Enfermedades respiratorias agudas (ERA)</b>	<b>23</b>
<b>4.2.5 Morbilidad nacional por ERA</b>	<b>25</b>
<b>4.3 MARCO LEGAL</b>	<b>26</b>

<b>4.3.1 Normatividad para fuentes fijas</b>	<b>26</b>
<b>4.3.2 Normatividad para fuentes móviles</b>	<b>28</b>
<b>5. METODOLOGIA</b>	<b>29</b>
<b>5.1 ZONA O AREA DE ESTUDIO</b>	<b>29</b>
<b>5.2 CARACTERIZACIÓN DEL AREA</b>	<b>29</b>
<b>5.3 ACTIVIDADES, MÉTODOS, TÉCNICAS</b>	<b>30</b>
<b>6. RESULTADOS</b>	<b>31</b>
<b>6.1 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO</b>	<b>31</b>
<b>6.1.1 Material particulado con diámetro menor a 10 µm (PM10)</b>	<b>33</b>
<b>6.1.2 Material particulado con diámetro menor a 2.5 µm (PM2.5)</b>	<b>35</b>
<b>6.1.3 Ozono troposférico (O3)</b>	<b>37</b>
<b>6.1.4 Dióxido de nitrógeno (NO2)</b>	<b>39</b>
<b>6.1.5 Dióxido de azufre (SO2)</b>	<b>40</b>
<b>6.2 MORBILIDAD POR ENFERMEDADES RESPIRATORIAS AGUDAS (ERA) EN MENORES DE CERO A CINCO AÑOS DURANTE EL PERIODO 2015-2017</b>	<b>43</b>
<b>6.3 RELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DE LAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS AGUDAS EN MENORES DE CINCO AÑOS CON LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE</b>	<b>47</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>49</b>
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	<b>51</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>52</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b><i>Figura 1. Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Cali</i></b>	<b>31</b>
<b><i>Figura 2. PM10 año 2015</i></b>	<b>33</b>
<b><i>Figura 3. PM10 año 2016</i></b>	<b>33</b>
<b><i>Figura 4. PM10 año 2017</i></b>	<b>34</b>
<b><i>Figura 5. PM2.5 año 2015</i></b>	<b>35</b>
<b><i>Figura 6. PM2.5 año 2016</i></b>	<b>35</b>
<b><i>Figura 7. PM2.5 año 2017</i></b>	<b>36</b>
<b><i>Figura 8. O3 año 201</i></b>	<b>37</b>
<b><i>Figura 9. O3 año 201</i></b>	<b>37</b>
<b><i>Figura 10. O3 año 2017</i></b>	<b>38</b>
<b><i>Figura 11. NO2 año 2015</i></b>	<b>39</b>
<b><i>Figura 12. NO2 año 2016</i></b>	<b>39</b>
<b><i>Figura 13. NO2 año 2017</i></b>	<b>40</b>
<b><i>Figura 14. SO2 año 2015</i></b>	<b>40</b>
<b><i>Figura 15. SO2 año 2016</i></b>	<b>41</b>
<b><i>Figura 16. SO2 año 2017</i></b>	<b>41</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b><i>Tabla 1. Límites de contaminantes atmosféricos OMS vs norma nacional</i></b>	<b>32</b>
<b><i>Tabla 2. Clasificación del índice de la calidad del aire en cada estación de monitoreo periodo 2015-2017</i></b>	<b>42</b>
<b><i>Tabla 3. Hospitalizaciones por ERA en menores de cero a cinco años en 2015</i></b>	<b>43</b>
<b><i>Tabla 4. Hospitalizaciones por ERA en menores de cero a cinco años en 2016</i></b>	<b>44</b>
<b><i>Tabla 5. Hospitalizaciones por ERA en menores de cero a cinco años en 2017</i></b>	<b>45</b>

## RESUMEN

El documento que se presenta a continuación, tuvo como objetivo principal establecer la relación entre la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años y los contaminantes atmosféricos en la ciudad de Santiago de Cali en el periodo 2015-2017. Para ello se llevaron a cabo las siguientes actividades específicas: determinación de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Santiago de Cali durante el periodo de estudio, identificación de la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años y evidenciar si el comportamiento de las enfermedades respiratorias agudas (incremento, disminución, estabilidad) se relaciona con los niveles de contaminación del aire. Se trata de un estudio descriptivo no experimental en el que se utilizó el método cuantitativo, aplicado a los instrumentos de investigación, constituidos por la base de datos Grupo de Calidad del Aire del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) y la base de datos del Grupo de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud Pública Municipal que registra el número de hospitalizaciones por ERA en niños de cero a cinco años. Los resultados muestran contaminación atmosférica por material particulado y gases efecto invernadero, especialmente detectadas por las estaciones de monitoreo Univalle y Base Aérea y mayor número de hospitalizaciones por ERA en menores de cero a cinco años en las comunas 6, 7, 10, 13 y 21, encontrándose una relación directa entre las dos variables de estudio.

**Palabras clave:** contaminación atmosférica, enfermedades respiratorias agudas, menores de cero a cinco años, material particulado, gases de efecto invernadero.



## ABSTRACT

The main objective of the document presented below is to establish the relationship between morbidity from acute respiratory diseases (ARD) in children under the age of zero to five years and air pollutants in the city of Santiago de Cali in the period 2015-2017. For this purpose, the following specific activities were carried out: determination of atmospheric pollutant concentrations in the city of Santiago de Cali during the study period, identification of morbidity from acute respiratory diseases (ARD) in children under the age of zero to five years, and evidence whether the behavior of acute respiratory diseases (increase, decrease, stability) is related to the levels of air pollution. It is a non-experimental descriptive study in which the quantitative method was applied to the research instruments, consisting of the Air Quality Group database of the Administrative Department of Environmental Management (DAGMA) and the database of data from the Environmental Health Group of the Municipal Public Health Secretariat that records the number of hospitalizations for ERA in children from zero to five years. The results show atmospheric contamination by particulate matter and greenhouse gases, especially detected by the Univalle and Air Base monitoring stations and the highest number of hospitalizations for ERA in children under the age of zero to five in communes 6, 7, 10, 13 and 21, finding a direct relationship between the two study variables.

**Key words:** air pollution, acute respiratory diseases, children under zero to five years, particulate matter, greenhouse gases.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica, es decir la disminución de la calidad del aire que todos los días se respira en el mundo, es una preocupación global, debido a que el incremento de acumulación de material particulado y gases efecto invernadero en la atmósfera, afecta negativamente la salud de la población.

Colombia también se afecta por esta situación y, la ciudad de Santiago de Cali, tercera más importante del país, como en el resto de las demás capitales departamentales del territorio nacional, no cuenta con una óptima calidad del aire.

La Organización Mundial de la Salud -OMS- (s.f.), es enfática en afirmar que contaminación del aire urbano incrementa el riesgo de sufrir patologías respiratorias agudas y crónicas, enfermedades cardiovasculares e incremento de cáncer del pulmón.

Estas enfermedades afectan de modo especial a los grupos más vulnerables, como son los adultos mayores y los niños de cero a cinco años. Este último grupo poblacional es el que se aborda en esta investigación, al analizar la relación entre la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en ellos y los contaminantes atmosféricos en la ciudad, durante el periodo 2015-2017.

Para exponer adecuadamente el tema, inicialmente se incluyen los referentes teóricos sobre los principales contaminantes atmosféricos, ahondando en la situación colombiana, seguidos de las afectaciones para la salud producto de la contaminación del aire, enfatizando en las enfermedades respiratorias agudas (ERA) y también se revisa la normatividad colombiana para fuentes contaminantes tanto fijas como móviles.

Cuantitativamente se analiza la información obtenida del Grupo de Calidad del Aire del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) y del Grupo de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud Pública Municipal correspondiente al periodo 2015-2017, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos de investigación.

Este trabajo contribuye al acervo bibliográfico sobre el tema, enfocado en la ciudad de Santiago de Cali, puesto que luego de realizar una revisión en bases de datos, no se encontraron antecedentes de trabajos de grado que abordaran el tema específico que aquí se estudia.

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En las últimas décadas, la contaminación atmosférica se ha convertido en una de las principales problemáticas ambientales que se tienen en cuenta para la formulación de políticas públicas por parte de los gobiernos, en aras de mejorar la calidad del aire, puesto que su degradación por la presencia de material particulado y gases tóxicos, además de ser preocupación en materia ambiental, también se considera importante en el ámbito de salud pública, ya que se ha evidenciado que se constituye en uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de enfermedades respiratorias agudas (ERA) (Pereira, 2017).

## 1.2 ELEMENTOS DEL PROBLEMA

Con base en lo expuesto en el planteamiento, los elementos constitutivos del problema que se investiga son: contaminación del aire y enfermedades respiratorias agudas.

Respecto al primer elemento, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- (2017) indican que el material particulado presente en el aire que se respira se clasifica en dos clases: 1) material particulado menor a 10 micras (PM10), también llamado partículas gruesas, con un tamaño de entre 2.5 y 10 micrómetros; y 2) material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5), conocido como partículas finas.

Por su parte, los gases tóxicos que predominan en el aire, son principalmente el monóxido de carbono CO, el dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, el dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> y el ozono troposférico O<sub>3</sub>.

Las partículas PM10 afectan el sistema respiratorio superior, reduciendo la capacidad respiratoria con su consecuente agotamiento, el cual afecta la ejecución de las labores diarias y cualquier clase de actividad física. Las partículas PM2.5 tendrían un peor efecto sobre la salud, puesto que al inhalarlas pueden llegar a las zonas periféricas de los bronquios y, por tanto, se encuentran relacionadas directamente con la aparición de enfermedades respiratorias agudas como la pulmonía, neumonía, bronconeumonía, bronquitis, bronquiolitis y asma.

Así mismo, los gases tóxicos. El dióxido de hidrógeno NO<sub>2</sub> se encuentra vinculado a la bronquitis y pulmonía; el dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, a la bronquitis; el ozono troposférico O<sub>3</sub> agrava el asma y, el monóxido de carbono CO se asocia con el empeoramiento de las patologías mencionadas.

En cuanto al diagnóstico de enfermedades respiratorias agudas en menores, la Organización Mundial de la Salud -OMS- (2018, p. 1) afirma que aproximadamente “el 93% de los niños y niñas del mundo menores de 15 años (es decir, 1.800 millones de niños y niñas) respiran aire tan contaminado que pone en grave peligro su salud y su crecimiento”.

Informa también la OMS (2018) que la contaminación del aire lesiona la capacidad pulmonar de los niños, incluso si se exponen a bajos niveles de dicha contaminación; además, 630 millones de menores de cinco años se exponen a diario a la inhalación de partículas finas (PM<sub>2,5</sub>) en niveles superiores a los fijados como directrices para la calidad del aire por esta organización, fenómeno que sucede en su mayoría en los países de medianos y bajos ingresos, causando por lo menos una de cada 10 muertes en este rango de edad.

En Colombia, se vienen implementando acciones encaminadas a la disminución de la contaminación atmosférica, como el control a las fábricas respecto a la emisión de gases tóxicos y micropartículas y, el reemplazo de los vehículos de transporte público a gasolina y diésel por eléctricos, iniciativa de la cual Santiago de Cali es pionera, al poner al servicio de sus habitantes una flota de 136 buses eléctricos, de los cuales 26 empezaron a rodar el 10 de septiembre del año en curso (Alcaldía de Santiago de Cali, 2019).

Así mismo, Colombia ha implementado los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire que, a 2018 eran 26, compuestos por 204 estaciones de monitoreo, nueve de las cuales se encuentran en la ciudad de Santiago de Cali: La Flora, La Ermita, Escuela República de Argentina (ERA), Cañaveralejo, Transitoria, Compatir, Pance, Base Aérea y Univalle.

El monitoreo constante de la calidad del aire a través de los sistemas de vigilancia tiene los siguientes objetivos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010, p. 14).

1. Determinar el cumplimiento de las normas nacionales de la calidad del aire.

2. Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales.
3. Observar las tendencias a mediano y largo plazo.
4. Evaluar el riesgo para la salud humana.
5. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente.
6. Activar los procedimientos de control en episodios de contaminación.
7. Estudiar fuentes de contaminación e investigar quejas concretas.
8. Validar modelos de dispersión de la calidad del aire

Para propósitos de esta investigación interesan de modo especial los objetivos 1 y 4, puesto que el cumplimiento de la normatividad nacional además de la internacional respecto a la calidad del aire, influye definitivamente en el riesgo que la contaminación atmosférica tiene para la salud humana y, en este caso en particular, para el desarrollo de enfermedades respiratorias agudas en niños de cero a cinco años.

### **1.2.1 Pregunta de investigación**

Teniendo en cuenta el problema expuesto y los elementos que lo conforman, se formula la siguiente pregunta guía de investigación: ¿cuál es relación entre la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años y los contaminantes atmosféricos de la ciudad en Santiago de Cali en el periodo 2015-2017?

Responder este interrogante mediante la información suministrada por los entes respectivos: Grupo de Calidad del Aire del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) y Grupo de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud Pública Municipal, permitirá establecer el comportamiento de las variables de investigación en el periodo de estudio y si se relacionan directamente.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La realización de este estudio permite establecer las concentraciones de material particulado registradas por el Grupo de Calidad del Aire del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), en la ciudad de Santiago de Cali, lo que lleva a detectar las zonas de la ciudad en que los menores de cero a cinco años tienen mayor vulnerabilidad de ser afectados por enfermedades respiratorias agudas.

Cobra importancia, si se tiene en cuenta que “la mayoría de las enfermedades respiratorias se pueden prevenir mejorando la calidad del aire” (Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales, 2017, p. 8), y al hacerlo, se podría disminuir la tasa de mortalidad por estas enfermedades, que actualmente alcanza en los lactantes y los niños menores de cinco años nueve millones de casos anuales, siendo la neumonía la principal patología asociada (Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales, 2017).

Además, puede contribuir a disminuir la carga económica que estas enfermedades generan al sistema de salud, puesto que según el Departamento Nacional de Planeación -DNP- (2017), los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones de pesos y, de éstos, la contaminación del aire urbano aportó el 75%, con \$15,4 billones de pesos, asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades en el territorio nacional.

El informe del DPN (2017), también indica que, en Santiago de Cali, el 9,5% (1.317) del total de las muertes que se presentan en la ciudad son atribuidas a la contaminación del aire urbano, lo que genera costos estimados en \$1,7 billones de pesos, equivalentes al 5,6% del PIB de la ciudad.

Por tanto, analizar la información de la calidad del aire en la ciudad de Santiago de Cali y contrastarla con la prevalencia de enfermedades respiratorias agudas en menores de cero a cinco años, contribuye al acervo bibliográfico sobre el tema, al entregar un documento que puede convertirse en material de consulta para la intervención de las entidades públicas así como de las privadas que se han comprometido con el desarrollo sostenible, a fin de que se diseñen y se lleven a la práctica acciones encaminadas a optimizar la calidad del aire, sobre todo en las zonas de la ciudad en las que se detecta mayor morbilidad por estas enfermedades.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO PRINCIPAL**

Establecer la relación entre la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años y los contaminantes atmosféricos en la ciudad de Santiago de Cali en el periodo 2015-2017.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las concentraciones de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Santiago de Cali durante el periodo de estudio.
- Identificar la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años durante el periodo de estudio.
- Evidenciar si el comportamiento de las enfermedades respiratorias agudas (incremento, disminución, estabilidad) se relaciona con los niveles de contaminación del aire durante el periodo de estudio.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 ESTADO DEL ARTE

Teniendo en cuenta el objetivo general de estudio, a continuación, se relacionan investigaciones que abordan la relación entre la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años y los contaminantes atmosféricos.

En el presente año 2019, se publicó el estudio realizado por Robles, Medina y Medina, que tuvo como objetivo determinar la relación entre el material particulado menor a 10 micras, producido en la actividad minera, y las infecciones respiratorias agudas que afectaron a los habitantes de Cerro de Pasco-Perú, entre los años 2010 y 2016. Para ello se consideraron los resultados de las mediciones de material particulado de cuatro estaciones de monitoreo, el número de atenciones hospitalarias y el clima seco.

Se trata de una investigación no experimental y correlacional, en la que la muestra de estudio estuvo conformada por 10.029 atenciones hospitalarias de pacientes menores o iguales de cinco años y adultos mayores de 50. Los resultados mostraron que existe una relación significativa entre el material particulado menor a 10 micras producido por las fuentes de contaminación y las enfermedades respiratorias agudas.

También en el 2019 Amaiquema y Narváez, analizaron los factores de riesgo que influyen en las alergias respiratorias en niños de cero a cinco años del Centro de Salud Enrique Ponce Luque, Babahoyo-Ecuador. La investigación es de tipo cuali-cuantitativo, descriptivo y se diligenciaron encuestas por parte de los padres de familia para la obtención de la información requerida.

Se estableció que la edad media de los pacientes fue de dos a 11 meses, prevaleció el sexo masculino con el 52%, y los factores de riesgo con mayor incidencia para las alergias respiratorias fueron: la exposición a polvos y químicos con el 33%, seguida de la contaminación de interiores 27%. Se detectó un porcentaje elevado del 73% para la rinitis alérgica y otro de 27% para el asma.

En Madrid-España, en el año 2018, Martín y Sánchez publicaron los resultados de su estudio enfocado en la relación entre los niveles de contaminantes ambientales y la demanda por enfermedad respiratoria en las consultas pediátricas de Atención



Primaria en un centro de salud, en el periodo comprendido entre 2013 y 2015. Específicamente, caso de bronquiolitis, episodios de broncoespasmo y procesos respiratorios de vías altas, teniendo como variable independiente los valores de contaminación ambiental. Se comparó el promedio de consultas cuando los valores de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) eran superiores e inferiores a 40ug/m<sup>3</sup>. En el intervalo considerado, hubo un total de 52.322 consultas pediátricas, de las cuales 6.473 (12,37%) lo fueron por procesos respiratorios.

Se encontró relación positiva entre los niveles de SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, benceno y el número de consultas que aumentaron significativamente cuando los niveles de NO<sub>2</sub> superaban los 40ug/m<sup>3</sup>, llevando a concluir que la contaminación ambiental por NO<sub>2</sub> está relacionada con el aumento de la enfermedad respiratoria en la infancia.

Igualmente, en España, pero en la localidad de Valencia en el año 2018, Gutiérrez, Ferrero, Estarlich, Espugles, Iñiguez y Ballester, analizaron la relación entre la exposición a dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en las etapas prenatal y posnatal y la incidencia de problemas respiratorios en niños y niñas hasta los dos años de edad. Valoraron a 624 menores de la ciudad de Valencia, estimando su exposición individual al NO<sub>2</sub> en el exterior de la vivienda y la información sobre los síntomas respiratorios. Se estableció que la incidencia acumulada fue del 16,3% para tos persistente, del 34,9% para episodios de sibilancias y del 27,6% para las infecciones respiratorias de vías bajas, relacionados con la exposición al NO<sub>2</sub>.

En 2013, Hernández et al., estudiaron la contaminación del aire y enfermedad respiratoria en menores de cinco años de Bogotá. Trabajaron con 315 niños y niñas de jardines ubicados en zonas de mayor exposición a material particulado PM<sub>10</sub>, y 304 de jardines en zonas de menor exposición, durante 19 semanas, teniendo en cuenta síntomas respiratorios.

Los resultados indican que 74.3 % de los niños presentaron sibilancias en el último año, con diferencia entre mayor y menor exposición de 79,6% vs 69,0%. Las sibilancias y expectoración estuvieron asociadas a mayor exposición a PM<sub>10</sub>, estableciendo que la cercanía del jardín o vivienda a menos de 100 metros de chimeneas industriales y vías de alto flujo vehicular. Concluyeron que los niños menores de cinco años expuestos a PM<sub>10</sub> tienen 1,70 veces más riesgo de presentar ausentismo escolar por enfermedad respiratoria aguda y, una disminución de PM<sub>10</sub> reduciría en un 41,1 % este ausentismo escolar.

## 4.2 MARCO TEÓRICO

En este apartado se exponen los referentes teóricos en cuanto a la contaminación atmosférica, las enfermedades respiratorias agudas y la morbilidad de las mismas.

### 4.2.1 Contaminación atmosférica

La Universidad de Los Andes de Colombia y el University College London del Reino Unido (2013), mencionan que dentro de todos los contaminantes que existen en la atmósfera, cinco afectan de modo especial la salud humana inmediatamente desde su inhalación; ellos son: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 µm (PM<sub>10</sub>), incluyendo además al CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) por su aporte al efecto invernadero.

Los óxidos de nitrógeno, y especialmente el NO<sub>2</sub>, son promotores de otros contaminantes como el smog y la lluvia ácida. En un centro urbano, el 55% de las emisiones son del sector transporte y 22% de generación energética. La presencia del NO<sub>2</sub> en la tropósfera en conjunto con radicales libres HC, hace que se forme O<sub>3</sub> troposférico, mientras que, en la atmósfera, reacciona con el monóxido de cloro formando nitrato de cloro y liberando átomos de cloro que destruyen la capa de ozono al reaccionar con el ácido clorhídrico

El SO<sub>2</sub> es un gas estable que se produce por la quema de combustibles. En un centro urbano, el 67% de las emisiones vienen de las generadoras de energía y el 18% del sector industrial. La contribución del sector transporte a las emisiones mundiales de SO<sub>2</sub> se estima entre 2% y 6%. Es un gas irritante, que afecta a las partes superiores de las vías respiratorias y está asociado con la disminución en el funcionamiento pulmonar.

El monóxido de carbono (CO) es un gas inodoro, incoloro, que a muy bajas dosis es uno de los contaminantes más peligrosos para la salud. En un centro urbano el 56% de las emisiones provienen del transporte.

El ozono troposférico (O<sub>3</sub>) se forma a partir de otros compuestos en el aire como el NO<sub>2</sub>. En presencia de los rayos del Sol, los enlaces del NO<sub>2</sub> se rompen formando óxido de nitrógeno (NO) y oxígeno molecular (O) que combinados con el O<sub>2</sub> presente en la atmósfera, generan O<sub>3</sub>. De aquí que los niveles de concentración del ozono dependan de la intensidad lumínica, la concentración de óxidos de nitrógeno

y variables meteorológicas, entre otras (Banco Mundial, 1997 como se citó en Universidad de Los Andes y University College London).

Además de los gases tóxicos, el material particulado (PM10), partículas sólidas o líquidas presentes en el aire, tienen la capacidad de penetrar las vías respiratorias. Existe plena evidencia científica de la relación entre la presencia de éstas con enfermedades respiratorias y cardíacas. Los más afectados son la población sensible (niños menores de cinco años y personas de la tercera edad) y su peligrosidad depende del tamaño y con las sustancias que se adhieren a ellas. Se clasifican en PST (partículas suspendidas totales), partículas con diámetro menor a 10  $\mu\text{m}$  (PM10) y con diámetro menor a 2.5  $\mu\text{m}$  (PM2.5).

El comportamiento de estos gases en la atmósfera depende no sólo de las características químicas del componente y del ambiente donde se encuentran, sino además de condiciones físicas y meteorológicas donde se emiten. Por esto, las entidades regulatorias ambientales toman las decisiones de estandarizar unos niveles máximos permisibles de concentración para cada uno de los contaminantes criterio. De aquí que las normas de calidad del aire en el mundo están siendo cada vez más exigentes y tienen mayor similitud a nivel global.

La acumulación de gases en la atmósfera forma una capa que evita el intercambio energético entre los rayos emitidos por el Sol y la Tierra (entrada y salida) y eso hace que se acumule energía entre la Tierra y la capa de ozono. Así, la temperatura aumenta dando como resultado un invernadero alterando los ciclos naturales, los ecosistemas, y la química y física de los gases en la atmósfera.

El transporte es responsable de algunos de los riesgos ambientales y de salud que enfrentan muchas ciudades en desarrollo. En general, para que las emisiones generen efectos adversos en la salud, deben tener una línea de proceso que involucra: concentración del contaminante (masa por tiempo), fracción inhalada (masa inhalada por masa emitida) y toxicidad (impacto a la salud por masa inhalada) (Marshall y Nazaroff, 2006, como se citó en Universidad de Los Andes y University College London, 2013); de ello se puede establecer la relación intrínseca entre cantidad de emisiones y efectos a la salud.

Según la OMS en el mundo, nueve de cada diez personas respiran aire contaminado, lo que provoca siete millones de muertes anuales por causas directamente relacionadas la polución (eltiempo.com, 2018).

Las cifras de contaminación a nivel mundial han alcanzado un punto de estabilización, evidenciado en los últimos seis años, lo que se convierte en un problema de suma gravedad, puesto que según la OMS como se citó en [el tiempo.com](#) (2018), a pesar de los progresos logrados y de los esfuerzos en marcha, todavía la inmensa mayoría de la población mundial, el 92%, respira aire contaminado en unos niveles muy peligrosos para la salud.

La OMS estima que siete millones de personas mueren anualmente por causas directamente relacionadas con la polución ambiental, la que causó la muerte de 4,2 millones de personas en 2016, por lo que María Neira, directora de Salud Pública y Medio Ambiente de la OMS, afirma que “la contaminación ambiental es el mayor desafío para la salud pública mundial” ([el tiempo.com](#), 2018).

El 90% de los fallecimientos a nivel mundial por causa de la contaminación atmosférica se da en países de bajos y medianos ingresos, especialmente en Asia, África y Oriente Medio, con niveles que exceden en muchos casos cinco veces los establecidos por la OMS, aunque es un problema global que afecta a todo el planeta, incluyendo algunas áreas de países ricos.

#### **4.2.2 Contaminación atmosférica en Colombia**

La contaminación del aire en el país es causada principalmente por el uso de combustibles fósiles, ya sea por fuentes de emisiones móviles, fijas o aéreas. El 41% del total de las emisiones se genera en las principales ciudades del país donde Bogotá lidera, seguida por Medellín y Cali.

Las mayores emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10), de óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) son ocasionadas por fuentes móviles (vehículos, motocicletas, trenes, aviones, barcos, etc.) que son los que utilizan fuentes fósiles de energía mientras que las partículas suspendidas totales (PST) y los óxidos de azufre (SOx) son generados por las fuentes fijas como establecimientos industriales y termoeléctricos, principalmente. La participación de los distintos sectores en la contaminación del aire es: 86% en el transporte terrestre, 8% en la industria, 3% termoeléctricas, 2% en los sectores residencial y comercial y 1% en el transporte aéreo (Universidad de Los Andes y University College London, 2013).

La contaminación del aire es una de las grandes preocupaciones para los colombianos, ya que es la mayor generadora de costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales. Estos costos fueron estimados

en el 2014, en 1.5 billones de pesos anuales y están relacionados con efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad.

El contaminante monitoreado de mayor interés, dados sus efectos nocivos sobre la salud humana es el material particulado (PM10), ya que con frecuencia las concentraciones de éste superan los estándares ambientales de la regulación vigente.

Al respecto, ha trascendido que una de las principales causas que afectan la contaminación está a cargo de los combustibles fósiles, las chimeneas industriales, la quema indiscriminada de basura, los residuos químicos y farmacéuticos, entre otros.

En el año 2019 Bogotá, Medellín y Bucaramanga han vivido una auténtica emergencia por cuenta de la nube gris y tóxica que se cierne sobre sus habitantes. Entre sus causas se cuentan la falta de viento y sobre todo los gases provenientes de las industrias, los vehículos de carga, buses y carros particulares. Este problema viene desde hace mucho tiempo y los crecientes sistemas de vigilancia y control del aire, que aún resultan insuficientes, en algunas ciudades del país lo están destacando últimamente, buscando generar y fortalecer la conciencia ciudadana dadas las grandes cifras de muertos y afectados, así como el impacto que la contaminación del aire genera en la economía. (Revista Dinero, 2019).

Así mismo, la Revista Dinero (2019) expone que Antioquia, Bogotá, Valle del Cauca y Atlántico representan el 42,9% del total de la carga económica por muertes evitables producidas por los factores de riesgo ambiental.

Destaca el estudio realizado en 2010 por la Universidad de Los Andes, el cual concluyó que la contaminación del aire causa 27.500 hospitalizaciones por causas respiratorias, 75.000 atenciones en salas de Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) y cerca de 5.500 casos en unidades de cuidados intensivos. Adicionalmente, se estaría frente a 1.500 casos potencialmente evitables de mortalidad en niños y, en el caso de los adultos, se podrían evitar unas 14.000 muertes. El costo de las medidas para reducir las emisiones en el periodo 2010-2020, se calcula en \$1,7 billones, mientras que los beneficios llegarían a \$16 billones, de aplicarse con rigurosidad.

Esto podría reducir considerablemente la mortalidad por polución del aire, que en Colombia alcanzó en el año 2016, según la OMS 2016 la cifra de 12.668 personas.

### 4.2.3 Afectaciones a la salud por la contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica afecta la supervivencia y calidad de vida del hombre. Barrios, Peña y Osses (2004) señalan sus efectos adversos sobre la salud respiratoria como cambios fisiológicos o patológicos, evidenciados por uno o más de los siguientes puntos: interferencia con la actividad normal de las personas afectadas, enfermedad respiratoria episódica, enfermedad incapacitante, daño respiratorio y/o difusión respiratoria progresiva

El tiempo de exposición a gases tóxicos determina el alcance a la salud para las personas. Respecto al NO<sub>2</sub>, un tiempo de exposición corto (una a 24 horas) tendrá un efecto inmediato en el aumento de problemas respiratorios incluyendo inflamación de las vías respiratorias y el aumento de síntomas para las personas que tienen asma. A largo plazo, con la formación de partículas que se ubican en todo el tracto respiratorio, pueden aumentar problemas cardiovasculares, bronquitis, asma y muerte prematura para la población más vulnerable.

El SO<sub>2</sub> es un gas irritante, que afecta a las partes superiores de las vías respiratorias y está asociado con la disminución en el funcionamiento pulmonar. La OMS (2005) determinó que los efectos mortales están entre 500 µg/m<sup>3</sup> por un tiempo de exposición de 24 horas y una morbilidad respiratoria en ambientes con exposiciones superiores a 250 µg/m<sup>3</sup>.

El CO está asociado a la formación de carboxi-hemoglobina (COHb), una condición en la que la hemoglobina es más afín con el CO que con el oxígeno. Al estar presente el CO en la sangre, la hemoglobina no puede transportar oxígeno para las condiciones vitales y, por tanto, creará un déficit de éste en la sangre. En niveles por debajo de 10% de COHb se producen mareos, dolor de cabeza y vómito. Para niveles con más del 40% de COHb, el monóxido empieza a causar coma neurológico y colapso en el sistema nervioso y a más del 60% causa la muerte.

Respecto al O<sub>3</sub>, en tiempos de exposición bajos, la inhalación genera inflamación del todo el sistema respiratorio superior; es decir, las fosas nasales, la garganta y la laringe. Hay que tener en cuenta que así los niveles de exposición se reduzcan luego de haber estado en ambientes con concentraciones altas, los efectos persisten en los pulmones y principalmente, la afectación en las unidades terminales de los bronquios. Existe además evidencia que la presencia de O<sub>3</sub> genera mutaciones en las células respiratorias resultando en mayores probabilidades de padecer cáncer (OMS, 2005 como se citó en Universidad de Los Andes y University College London).

La inhalación de material particulado (PM) puede inflammar las partes más pequeñas del sistema respiratorio, causando bronquitis crónica. En el momento de una inflamación, se corre el riesgo de padecer hipercoagulabilidad transitoria (OMS, 2005). Las partículas con diámetro menor a 2.5 µm son aún más peligrosas pues pueden alcanzar las partes más pequeñas de los pulmones, por lo que la acción natural de limpieza del cuerpo no pueda ser llevada a cabo y se necesite de intervención quirúrgica.

Otras afectaciones a la salud incluyen muerte prematura en las personas con problemas cardíacos o pulmonares, ataques al corazón, arritmia cardíaca, asma, aumento en problemas respiratorios como irritación de las vías respiratorias, tos y dificultad para respirar (OMS, 2005 como se citó en Universidad de Los Andes y University College London, 2013).

La Organización Panamericana de la Salud -OPS- (2016) indica que los riesgos y efectos en la salud de la contaminación del aire no están distribuidos equitativamente en la población. Las personas con enfermedades previas, los niños menores de cinco años y los adultos entre 50 y 75 años de edad son los más afectados, así como las personas pobres y aquellas que viven en situación de vulnerabilidad y, las mujeres y sus hijos que utilizan estufas tradicionales de biomasa para cocinar y calentarse, también corren mayor riesgo.

Hay efectos de la contaminación del aire sobre la salud a corto y largo plazo, siendo la exposición a largo plazo y de larga duración la más significativa para la salud pública. La mayoría de las muertes atribuibles a la contaminación atmosférica en la población general están relacionadas con las enfermedades no transmisibles. El 36% de las muertes por cáncer de pulmón, el 35% de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD), el 34% de los accidentes cerebrovasculares y el 27% de las cardiopatías isquémicas son atribuibles a la contaminación atmosférica. Sin embargo, el mayor impacto es sobre la mortalidad infantil, ya que más de la mitad de las muertes de niños menores de cinco años se atribuyen afecciones agudas de las vías respiratorias inferiores.

#### **4.2.4 Enfermedades respiratorias agudas (ERA)**

Molina, Brown, Prieto, Bonet y Cuéllar (2001), afirman que las exposiciones agudas y crónicas a los contaminantes atmosféricos son una de las principales causas de enfermedades respiratorias agudas que afectan especialmente a los niños y a la población adulta mayor.

Dentro de las enfermedades asociadas con el material particulado se encuentran el asma, la bronquitis, las infecciones respiratorias y, en poblaciones sensibles, ataques cardíacos y arritmia. Entre otros, los síntomas relacionados corresponden con dolor de garganta, tos, dolor de cabeza y sibilancias. Las enfermedades respiratorias agudas, son una de las principales causas de mortalidad infantil en Colombia (Pereira, 2017).

La División de Sanidad de las Fuerzas Militares de Colombia (2015) agrega que ERA son un conjunto de enfermedades que afectan el sistema respiratorio y se constituyen en la causa más frecuente de morbilidad y mortalidad en niños y niñas menores de cinco años en todo el mundo, en especial por infección respiratoria aguda (IRA) la cual representa cerca de dos millones de muertes cada año.

Entre las enfermedades respiratorias agudas se encuentran el resfriado común, la influenza, la neumonía y el asma, cuya duración varía entre ocho y 15 días.

El riesgo radica en no proporcionar los cuidados primarios adecuados, dejando que las ERA se compliquen. Los padres y cuidadores que no saben reconocer los signos de alarma, llegan tarde a la consulta con el médico; en consecuencia, los niños y niñas se agravan y mueren, especialmente los menores de dos meses de edad.

Los síntomas de las enfermedades respiratorias suelen ser: fiebre, tos, flema o moco, dolor o enrojecimiento de la garganta, ronquera, dolor de oído y, en los niños menores de cinco años se destacan los siguientes: respiración rápida, ruidos en el pecho al respirar, hundimiento de las costillas, no pueden comer o beber nada o vomitan todo y tienen demasiado sueño.

Los factores de riesgo para las ERA se dividen en tres grupos: externos, internos y sociales. Los externos incluyen la contaminación ambiental dentro o fuera del hogar; presencia de humo en la vivienda, especialmente cuando se cocina con leña; tabaquismo pasivo, lo que consiste en exponer a los niños y niñas al humo del cigarrillo o tabaco; vivienda con escasa o deficiente ventilación e iluminación; las épocas de lluvia y los cambios bruscos de temperatura y la asistencia a lugares de concentración como teatros, cines, escuelas infantiles, etc.

Los factores de riesgo internos son: bajo peso al nacer; ausencia de lactancia materna exclusiva durante los primeros seis meses de vida, alimentar al bebé acostado, desnutrición, infecciones respiratorias anteriores y frecuentes, no tener el esquema de vacunación completo, carencia de vitamina A y abuso en la utilización de antibióticos no formulados, ya que crean resistencia. Así mismo, que los padres



y cuidadores no conozcan los signos y síntomas de las ERA, los signos de peligro y alarma para la neumonía, las medidas preventivas ni las recomendaciones para el manejo en casa.

Los factores sociales incluyen: contacto con personas que tengan ERA, hacinamiento, vivienda con piso de tierra, polvo casero, falta de aseo personal y de la vivienda, convivencia con animales domésticos y baja o escasa escolaridad de los cuidadores.

#### **4.2.5 Morbilidad nacional por ERA**

El Instituto Nacional de Salud (2017) en su informe más reciente entrega los indicadores de vigilancia de morbilidad para las ERA, junto con las IRA. No se encontraron datos de morbilidad por separado de estas dos categorías de enfermedades respiratorias, tal vez porque se encuentran muy relacionadas, ya que las IRA pueden desembocar en ERA y los síntomas que conducen a la consulta médica, inicialmente pueden ser los mismos, hasta el momento del diagnóstico diferencial.

Una vez hecha esta aclaración, el Instituto Nacional de Salud (2017) entrega la siguiente información: en 2017, se notificaron en el sistema de morbilidad por enfermedades respiratorias 7.017.426 consultas externas y de urgencias, 248.210 hospitalizaciones en sala general y 20.702 hospitalizaciones en UCI, de las cuales el 67% se dieron en menores de cinco años de edad. La proporción de consultas externas y urgencias por enfermedades respiratorias a nivel nacional para todos los grupos etarios fue de 6,6%; de éstas, las hospitalizaciones en sala general representaron el 7,2% y en UCI el 9,0%. Se presentó la mayor incidencia en La Guajira con 13,7% y Magdalena con 10,9%. En el Valle del Cauca, alcanzó el 5,4%.

La mortalidad nacional en menores de cero a cinco años por enfermedades respiratorias alcanzó la cifra de 488 casos en 2017, de los cuales 26 se dieron en el departamento del Valle del Cauca y representaron una tasa de mortalidad de 8,1 por cada 100.000 niños.

Debido al gran impacto que la contaminación atmosférica tiene en la morbilidad por ERA en todas las personas y especialmente en los menores de cero a cinco años, el gobierno nacional ha expedido una normatividad para disminuir la emisión de material particulado y gases contaminantes, que se expone a continuación.

### **4.3 MARCO LEGAL**

Las normas expedidas se dividen en dos: para las fuentes fijas y para las fuentes móviles que contaminan el aire (Pereira, 2017).

#### **4.3.1 Normatividad para fuentes fijas**

- Decreto 168 de 1994 por el cual se establecen las normas para la industria transformadora de concreto, su tipología y las condiciones urbanísticas y ambientales para el funcionamiento de los establecimientos. Se establecen medidas de control para las emisiones atmosféricas (material particulado) generadas por la operación de plantas transformadoras de concreto.
- Decreto 948 de 1995 por el cual se establecen normas para la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Se destacan los siguientes artículos: Art 23: establece que los establecimientos pequeños como restaurantes o lavanderías deberán contar con ductos o dispositivos que aseguren la adecuada dispersión de los gases, vapores, partículas u olores, y que impidan causar con ellos molestias a los vecinos o a los transeúntes. Art 29: prohíbe las quemas a cielo abierto dentro del perímetro urbano. Así como prohíbe que los responsables de establecimientos comerciales, industriales y hospitalarios, efectúen quemas para sus desechos sólidos. Art 75: establece la información requerida para solicitar el permiso de emisiones atmosféricas. Art 76: define las diferentes etapas que componen el trámite de permiso de emisiones.
- Resolución 909 de 2008 por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Se destacan los siguientes artículos: Art 68: todo establecimiento de comercio y de servicio que genere emisiones molestas, debe contar con ductos y/o dispositivos que aseguren la dispersión de las emisiones molestas, de acuerdo a lo establecido en el artículo 23 del Decreto 948 de 1995. En caso de ser necesario, el establecimiento debe contar con dispositivos adecuados de control de acuerdo con lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Art 69: toda actividad que realice descargas de contaminantes a la atmósfera debe contar con un ducto o chimenea cuya altura y ubicación favorezca la dispersión de éstos al aire, cumpliendo con los estándares de emisión que le son aplicables. Art 90: las actividades industriales, de comercio y de servicio que realicen emisiones fugitivas de sustancias contaminantes deben contar con mecanismos de control que garanticen que dichas emisiones no trasciendan más allá de los límites del predio del establecimiento. Art 71: todas las actividades industriales, los equipos de

combustión externa, las actividades de incineración de residuos y los hornos crematorios que realicen descargas de contaminantes a la atmósfera deben contar con un sistema de extracción localizada, chimenea, plataforma y puertos de muestreo que permitan realizar la medición directa y demostrar el cumplimiento normativo. Art 97: establece que las fuentes fijas y generadoras de emisiones contaminantes que utilicen carbón como combustible, deben garantizar la legal procedencia del mismo, llevando un registro pormenorizado del consumo del mismo.

- Resolución 610 de 2010 que establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. Se destaca el Art 2: establece los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio (Partículas Suspendidas Totales PST, PM10, PM2.5, dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>, Ozono troposférico O<sub>3</sub> y monóxido de carbono CO).

- Resolución 6982 de 2011 por la cual se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire. Se destacan los siguientes artículos: Art 4: establece los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg), de acuerdo al tipo de combustible. Parágrafo tercero: toda fuente fija que utilice combustibles sólidos y/o crudos pesados, debe contar con equipos de control instalados y funcionando. Art 5: se prohíbe el uso de aceite tratado no usado como combustible en ninguna proporción o mezcla. Art 7: se establecen los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa nuevos a condiciones de referencia 25°C y 760 mmHg, de acuerdo al tipo de combustible. Art 9: establece los estándares máximos de emisión de contaminantes al aire para procesos productivos nuevos y existentes, se regirán por límites a condiciones de referencia 25° C y 760 mmHg, con oxígeno de referencia del 11%. Art 11: establece los límites máximos de emisión que deben cumplir las industrias nuevas y existentes de fabricación de productos de cerámica, no refractaria y de arcilla. Art 12: todos los establecimientos de comercio y servicios que generen emisiones molestas, deberán cumplir con lo establecido en los artículos 68 y 90 de la Resolución 909 de 2008 o la norma que la adicione, modifique o sustituya. Parágrafo primero: en caso de no poder garantizar la dispersión de las emisiones molestas, deberá soportar técnicamente la eficacia de los dispositivos de control a instalar. Art 17: se establece la metodología para el cálculo de la altura mínima de descarga de los ductos de instalaciones nuevas y existentes. Parágrafo primero: las fuentes de ventilación industrial, deberán adecuar sus ductos o instalar dispositivos de tal forma que se asegure la adecuada dispersión de los gases, vapores, partículas u olores y que impidan causar con ellos molestias a los vecinos o transeúntes. Art 20: establece que las actividades económicas, que cuenten con sistemas de control deberán presentar ante las Secretarías de Ambiente un plan de

contingencia a implementar durante la suspensión del funcionamiento de dicho sistema de control.

#### **4.3.2 Normatividad para fuentes móviles**

- Resolución 910 de 2010. Establece los límites permisibles para vehículos acondicionados a ciclo diésel y motos, así como los límites para vehículos de carga. También controles a concesionarios y/o ensambladores.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4231 de 2012. Establece los procedimientos de evaluación y características de los equipos de flujo parcial necesarios para medir las emisiones de humo generadas por las fuentes móviles accionadas con ciclo diésel. Método de aceleración libre.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4983 de 2012. Evaluación de gases de escape de vehículos automotores que operan con ciclo Otto. Método de ensayo en marcha mínima y velocidad crucero, y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación.
- Norma Técnica Colombiana NTC 5365 de 2012. Evaluación de gases de escape de motocicletas, motociclos, mototriciclos, motocarros y cuatrimotos, accionados tanto con gas o gasolina (motor de cuatro tiempos) como con mezcla gasolina aceite (motor de dos tiempos). Método de ensayo en marcha mínima y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación.

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 ZONA O AREA DE ESTUDIO**

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Santiago de Cali, departamento del Valle del Cauca, Colombia.

### **5.2 CARACTERIZACIÓN DEL AREA**

Santiago de Cali, fundada el 25 de julio de 1536, es la capital del departamento del Valle del Cauca y está ubicada al sur en la margen izquierda del río Cauca. Tiene una extensión de 619 km<sup>2</sup>, temperatura promedio de 23°C. Es el centro urbano más importante del occidente colombiano y la tercera ciudad más poblada del país después de Bogotá y Medellín.

Cuenta con aproximadamente 2.5 millones de habitantes, de los cuales el 52.8% son mujeres y el 47.2% hombres. El 26,2% de la población residente en Cali se auto-reconoce como negro, mulato, afrocolombiano o afrodescendiente

El 55.6% de las unidades de vivienda son casas, el 38.9% apartamentos y el restante 5.5% es calificado como cuarto y otro.

El 99,0% de las viviendas tiene conexión a energía eléctrica, 96.8% alcantarillado, 98.2% acueducto y 61,6% a gas natural. El 2.3% de los hogares tiene actividad económica en su vivienda y aproximadamente el 70% tiene cuatro o menos personas.

El 30,9% de la población residente ha alcanzado el nivel de básica primaria; el 38,1% secundaria, el 16,0% el nivel superior y posgrado. La población residente sin ningún nivel educativo es el 4,6%.

El 9,4% de los establecimientos se dedica a la industria; el 60,2% al comercio y el 30,4% a servicios y, el 94,7% de los establecimientos ocupó entre 1 y 10 empleados (Departamento Nacional de Estadística -DANE-, 2005).

Los principales problemas ambientales que aquejan a la ciudad son la calidad del aire por su afectación a causa los vehículos y las industrias cercanas del municipio

de Yumbo, la contaminación de los ríos Cañaveralejo, Pance y Cali, la deforestación, las basuras y el ruido (El País.com.co).

La Secretaría de Salud Pública de Cali (2018) menciona que el análisis por grandes causas de morbilidad para el municipio de Cali presentó un incremento en el número de personas atendidas según el Sistema Integral de Información de la Protección Social (SISPRO) entre los años 2016 al 2017, correspondiente al 19%. Este incremento se dio por condiciones transmisibles y nutricionales, enfermedades no transmisibles y condiciones maternas perinatales; se registró un descenso del 10% en las causas externas.

Las condiciones transmisibles y nutricionales presentaron un incremento del 52%; este grupo incluye las infecciones respiratorias. Por su parte, las enfermedades crónicas no trasmisibles incrementaron en un 12%.

### **5.3 ACTIVIDADES, MÉTODOS, TÉCNICAS**

- Para determinar las concentraciones de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Santiago de Cali durante el periodo de estudio, se recurrió a la base de datos Grupo de Calidad del Aire del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), que realiza permanente monitoreo de la calidad del aire en la ciudad a través de sus estaciones de monitoreo.
- Para identificar la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años durante el periodo de estudio, se utilizó la base de datos del Grupo de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud Pública Municipal que registra el número de hospitalizaciones por ERA en niños de cero a cinco años.
- Para evidenciar si el comportamiento de las enfermedades respiratorias agudas incrementó, disminuyó o se mantuvo estable durante el periodo de estudio con relación a los niveles de contaminación del aire, se recurrió al método estadístico descriptivo (análisis exploratorio de datos) que permite presentar los datos de modo tal que sobresalga su estructura, organizados en gráficos mediante los cuales se detectan tanto las características sobresalientes como las inesperadas, determinando las medias representativas y su relación (Orellana, 2001).

## 6. RESULTADOS

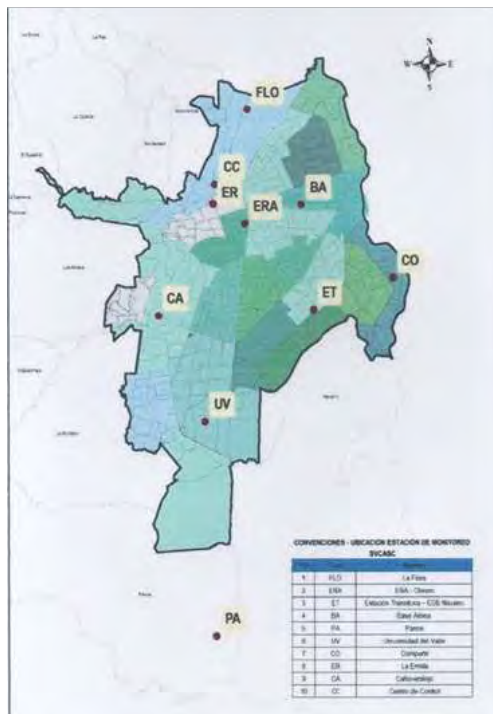
La realización de esta investigación entrega los siguientes resultados, cumpliendo con los objetivos específicos planteados.

### 6.1 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO

Inicialmente, cabe recordar que la ciudad de Santiago de Cali cuenta con nueve estaciones de monitoreo de la calidad del aire: La Flora, La Ermita, Escuela República de Argentina (ERA), Cañaveralejo, Transitoria, Compatir, Pance, Base Aérea y Univalle, además de un Centro de Control. Su ubicación se observa en la figura 1.

#### **Figura 1.**

*Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Cali*



Nota: Tomado de “Informe anual de calidad del aire de Santiago de Cali” por Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA-, 2015, p. 6. Disponible en <https://www.cali.gov.co/dagma/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=9183>. Derechos de Autor DAGMA 2015.

Así mismo, es pertinente mencionar que, en Colombia y en la ciudad de Santiago de Cali, el índice de calidad del aire (ICA) se calcula tomando como referencia el establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, adaptado a la normativa colombiana por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS-.

Este índice adaptado, considera aceptables límites superiores de PM2.5 y PM10 a los establecidos por la OMS (2005). Respecto al O3, establece un límite inferior; en cuanto al NO2, es igual y en el SO2, la norma nacional supera considerablemente los límites sugeridos por la OMS. En la tabla 1 se comparan los límites establecidos por la OMS para estos contaminantes del aire, frente a los estipulados en la norma nacional -Resolución 610- (MADS, 2010).

**Tabla 1**

*Límites de contaminantes atmosféricos OMS vs norma nacional*

<b>Contaminante</b>	<b>Límite OMS</b>	<b>Límite norma nacional</b>
PM 10	50 µg/m <sup>3</sup> de media en 24h	100 µg/m <sup>3</sup> de media en 24h
PM 2.5	25 µg/m <sup>3</sup> de media en 24h	50 µg/m <sup>3</sup> de media en 24h
O <sub>3</sub>	100 µg/m <sup>3</sup> de media en 8h	80 µg/m <sup>3</sup> de media en 8h
NO <sub>2</sub>	200 µg/m <sup>3</sup> de media en 1h	200 µg/m <sup>3</sup> de media en 1h
SO <sub>2</sub>	20 µg/m <sup>3</sup> media en 24h	250 µg/m <sup>3</sup> media en 24h

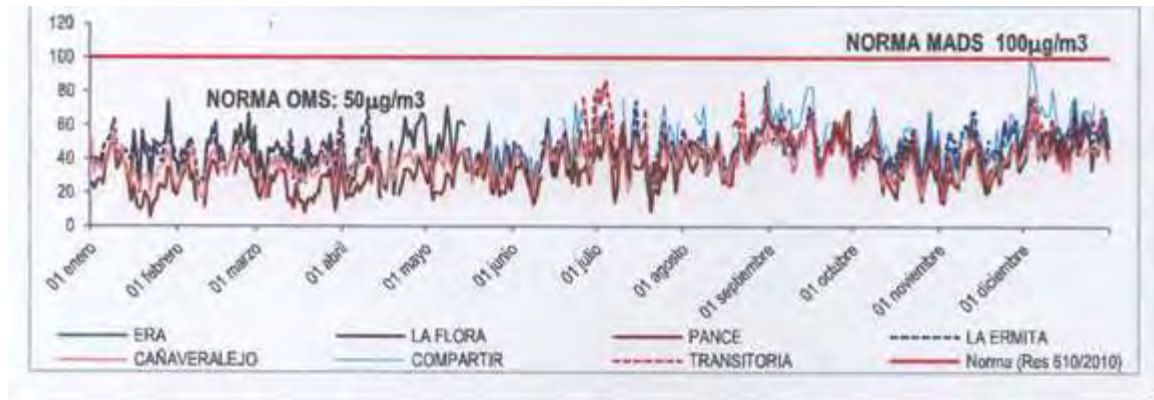
Nota. Elaborada con datos del DAGMA y la OMS Resolución 610- (MADS, 2010).

Una vez aclarada esta información, se incluye a continuación la concentración de estos contaminantes en el aire de la ciudad de Santiago de Cali durante el periodo considerado para esta investigación. Cabe anotar que no todas las estaciones de monitoreo de la ciudad miden la totalidad de concentración de los contaminantes en la calidad del aire.



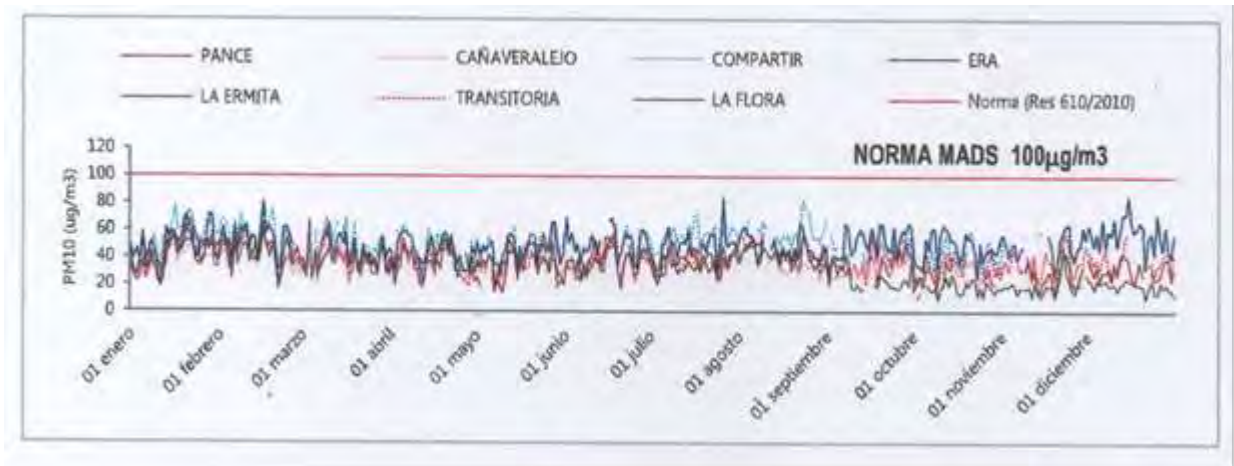
### 6.1.1 Material particulado con diámetro menor a 10 $\mu\text{m}$ (PM10)

**Figura 2.**  
PM10 año 2015



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2016, p. 8).

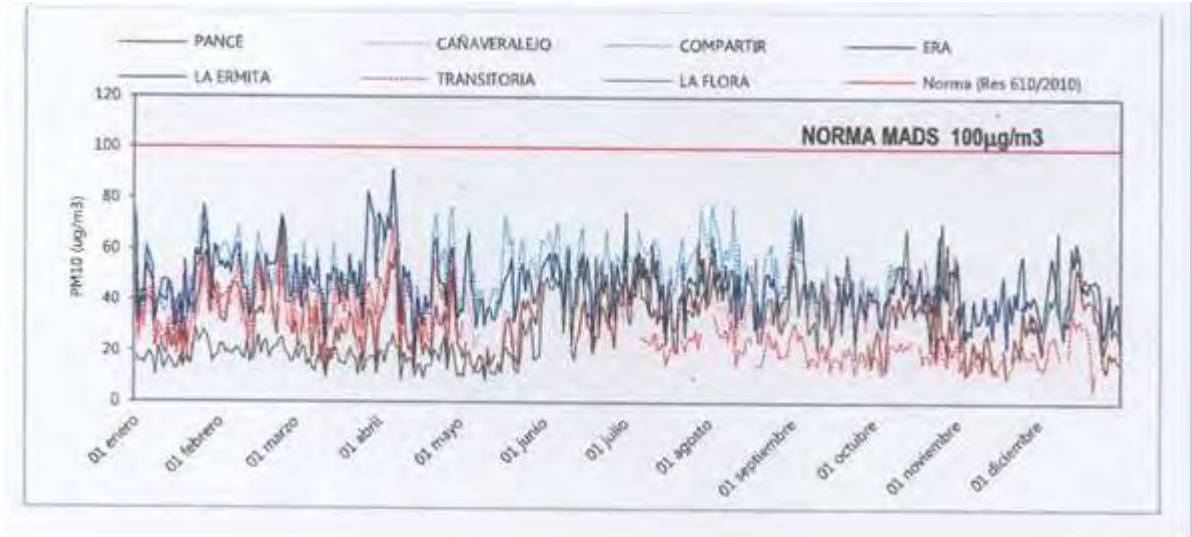
**Figura 3.**  
PM10 año 2016



Nota: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA- (2017, p. 7).

**Figura 4.**

*PM10 año 2017*



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2018, p. 9).

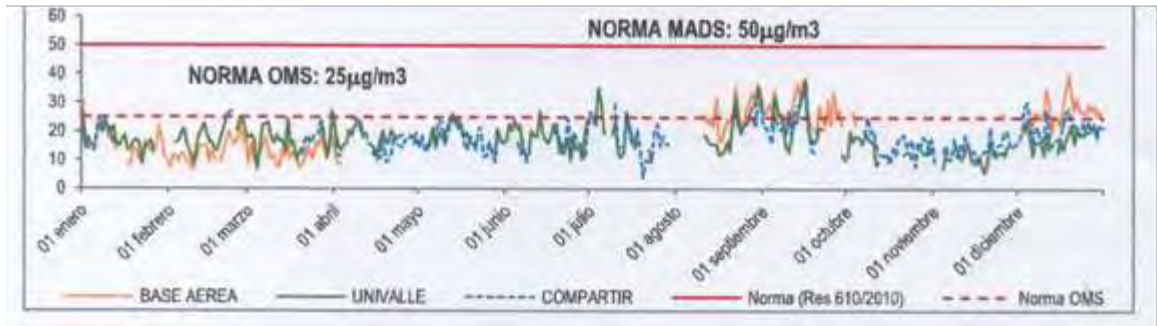
Puede observarse que, en los tres años considerados en esta investigación, el PM10 no sobrepasó la norma nacional; sin embargo, sí estuvo en algunos periodos de cada año sobre los límites sugeridos por la OMS y que las estaciones de monitoreo en las que se evidenciaron concentraciones más altas de este material particulado fueron Compartir, ERA, Obrero y Transitoria, mientras que las concentraciones menos altas se dieron en la estación La Flora.

Según el DAGMA (2018), las excedencias con respecto a la directriz de OMS se observaron en 2015 en los meses de febrero, mayo, julio y diciembre; en 2016 en febrero y abril, y en 2017 en enero y noviembre.

## 6.1.2 Material particulado con diámetro menor a 2.5 µm (PM2.5)

**Figura 5.**

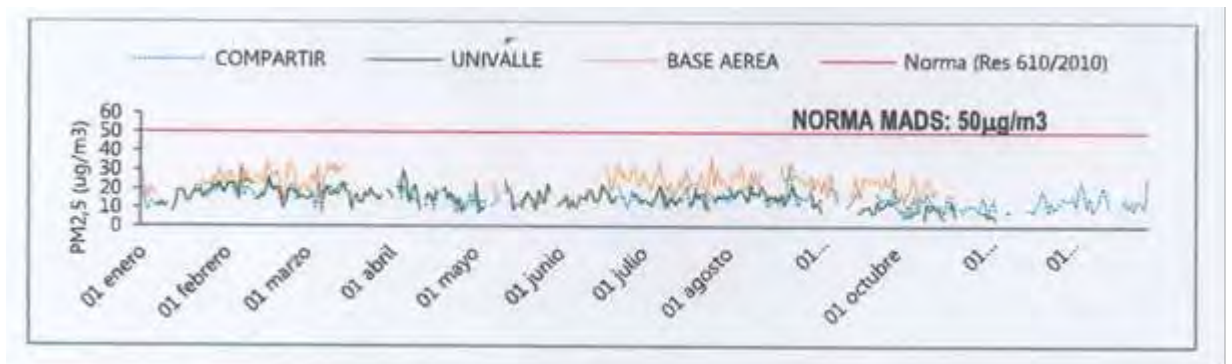
PM2.5 año 2015



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2016, p. 8).

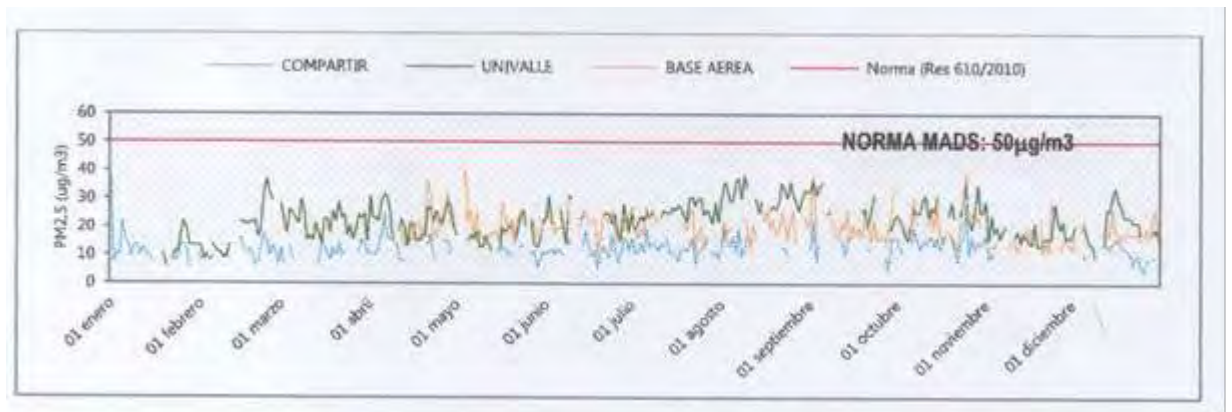
**Figura 6.**

PM2.5 año 2016



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2017, p. 7).

**Figura 7.**  
**PM2.5 año 2017**



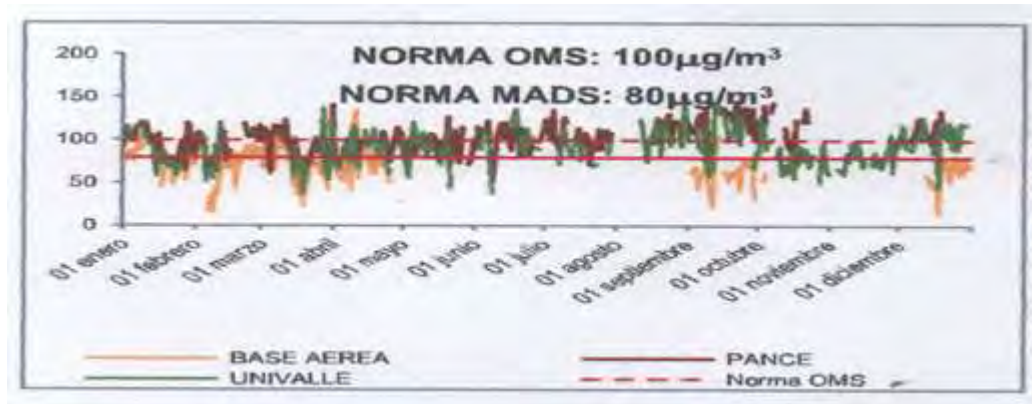
Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA- (2018, p. 9).

En el periodo de estudio (2015-2017), el PM2.5 se mantuvo por debajo de la norma nacional, pero en varios meses del año, estuvo sobre los límites recomendados por la OMS. La estación de monitoreo que reportó mayores concentraciones de PM2.5 en los años 2015 y 2016 fue la de la Base Aérea y en 2017 la de Univalle. El DAGMA (2018), detectó las excedencias con respecto a la directriz de OMS en 2015 en los meses de septiembre y diciembre; en 2016 en febrero y abril, y en 2017 en enero y noviembre.

### 6.1.3 Ozono troposférico (O3)

**Figura 8.**

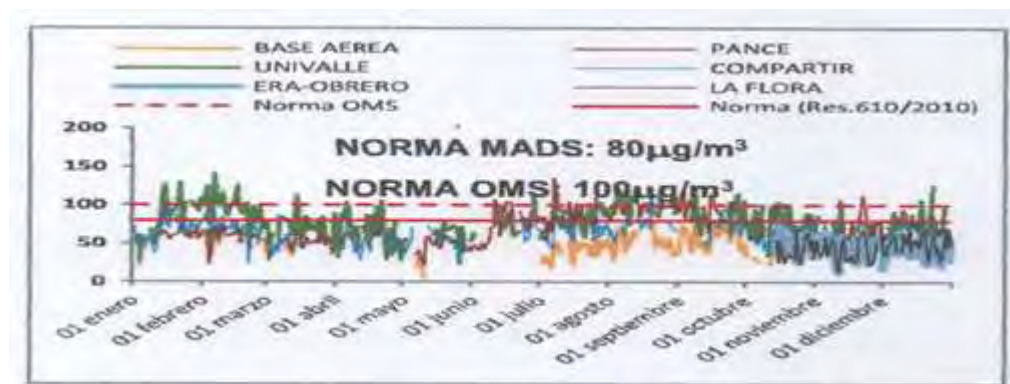
O3 año 2015



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2016, p. 9).

**Figura 9.**

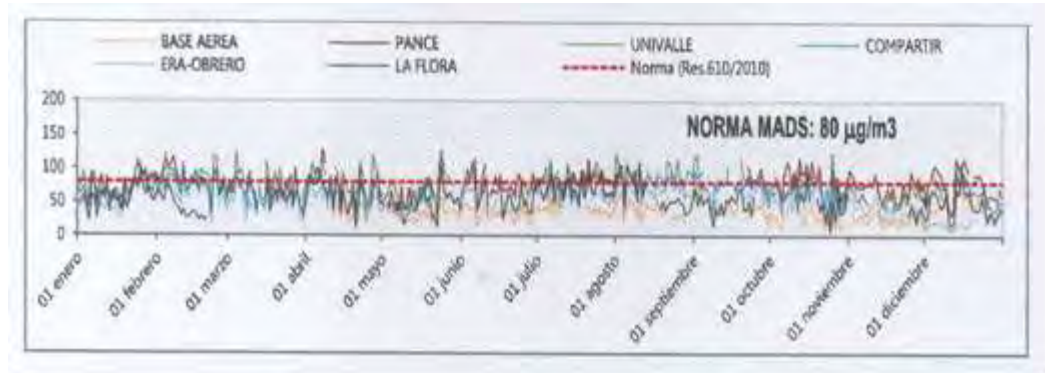
O3 año 2016



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2017, p. 8).

**Figura 10.**

O<sub>3</sub> año 2017



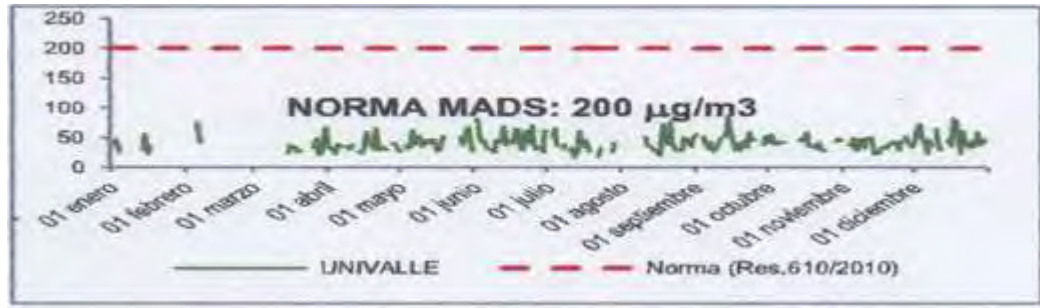
Nota: *Adaptado de:* Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2018, p. 10).

La concentración de O<sub>3</sub> en el aire de algunos sectores de la ciudad de Santiago de Cali, sobrepasó en los tres años que considera este estudio, los niveles establecidos tanto por la OMS como por la norma nacional. Especialmente, se detectó en las estaciones Base Aérea, Pance y Univalle, en las que se registraron mayores niveles de radiación solar.

#### 6.1.4 Dióxido de nitrógeno (NO2)

**Figura 11.**

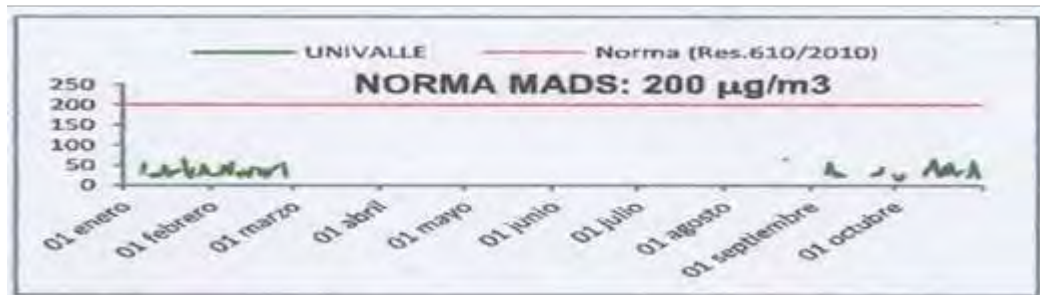
NO2 año 2015



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2016, p. 10).

**Figura 12.**

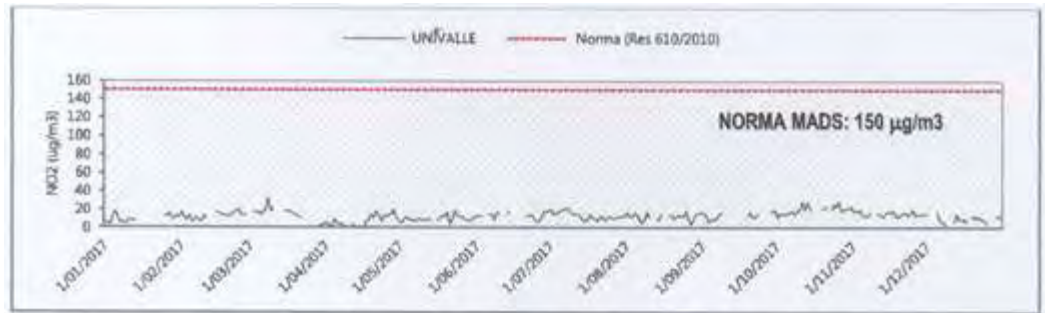
NO2 año 2016



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2017, p. 9).

**Figura 13.**

**NO<sub>2</sub> año 2017**



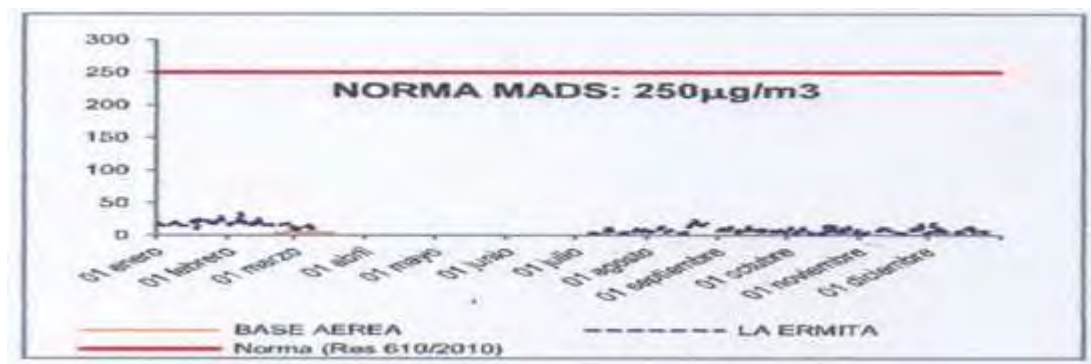
Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA- (2018, p. 11).

La información de los documentos del DAGMA, solo entrega datos de las concentraciones de NO<sub>2</sub> de la estación Univalle, y dan cuenta de que no se sobrepasaron los límites de OMS ni de la norma nacional, que en este caso son los mismos: 200 µg/m<sup>3</sup> de media en 1h.

### 6.1.5 Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

**Figura 14.**

**SO<sub>2</sub> año 2015**

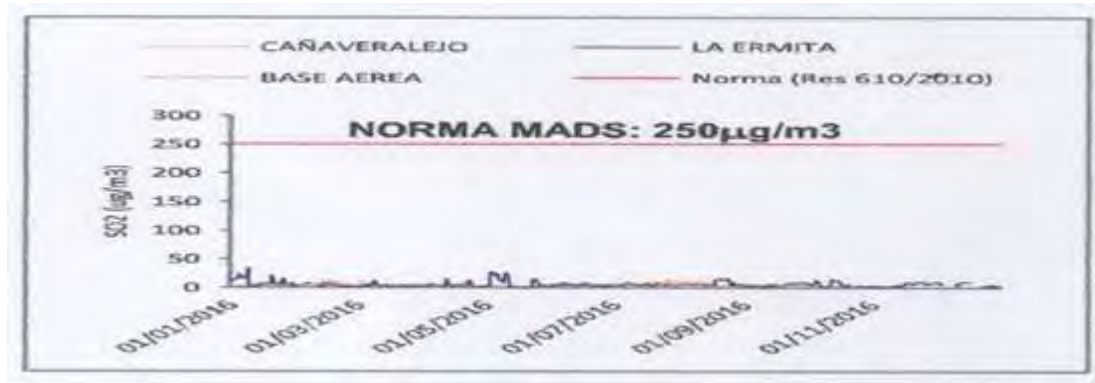


Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA- (2016, p. 10).



**Figura 15.**

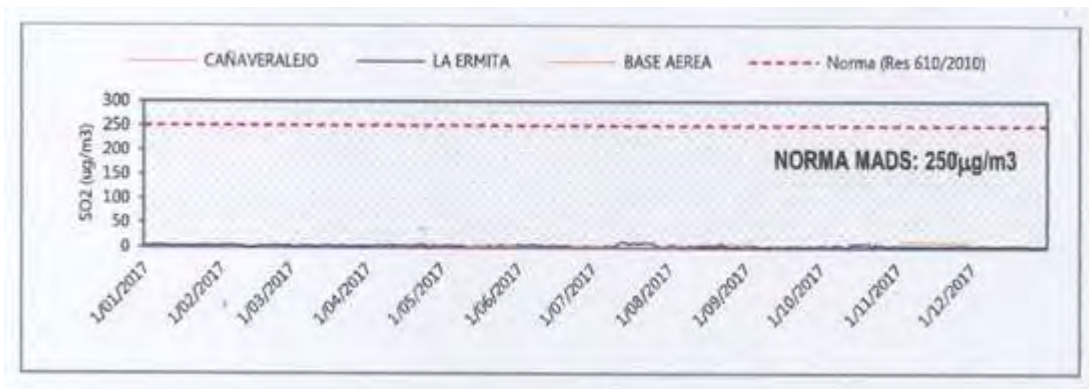
SO<sub>2</sub> año 2016



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2017, p. 8).

**Figura 16.**

SO<sub>2</sub> año 2017



Nota: Adaptado de: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA- (2018, p. 11).

Aunque los límites establecidos en la norma nacional para el SO<sub>2</sub> (250 µg/m<sup>3</sup> media en 24h) sobrepasan notablemente los indicados por la OMS (20 µg/m<sup>3</sup> media en 24h), se observa que en las estaciones en las que se midieron las concentraciones de este contaminante no se rebasó la norma nacional y se encuentra dentro de los límites de la OMS.

En cuanto a la calidad del aire para cada año en las nueve estaciones de monitoreo de la ciudad de Santiago de Cali, el DAGMA se basa en los criterios de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, y entrega la información que se observa en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Clasificación del índice de la calidad del aire en cada estación de monitoreo periodo 2015-2017*

<b>Calidad del aire</b>			
<b>Estación</b>	<b>Año 2015</b>	<b>Año 2016</b>	<b>Año 2017</b>
Escuela República de Argentina	Buena	Buena	Buena
La Flora	Buena	Buena	Buena
Pance	Buena	Buena	Buena
Univalle	Moderada	Moderada	Moderada
Base Aérea	Buena	Moderada	Moderada
La Ermita	Buena	Buena	Buena
Compartir	Buena	Buena	Buena
Cañaveralejo	Buena	Buena	Buena
Transitoria	Buena	Buena	Buena

Nota. Elaborada con base en datos del DAGMA (2016, 2017, 2018)

Puede verse que en la estación Univalle la calidad del aire fue considerada por el DAGMA como moderada en los tres años de estudio y, en la estación Base Aérea pasó de buena en 2015 a moderada en 2016 y 2017.

Estas estaciones se encuentran ubicadas en las comunas 17 y siete respectivamente, al sur y el nororiente de la ciudad.

Continuando con la exposición de los resultados de la investigación, se incluyen los datos obtenidos en cuanto a la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años durante el periodo de estudio.

## **6.2 MORBILIDAD POR ENFERMEDADES RESPIRATORIAS AGUDAS (ERA) EN MENORES DE CERO A CINCO AÑOS DURANTE EL PERIODO 2015-2017**

Se utilizó la base de datos del Grupo de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud Pública Municipal, que registra el número de hospitalizaciones por ERA en niños de cero a cinco años. La información se registra en tablas por año y comunas.

Para obtener el porcentaje de morbilidad se aplica la fórmula de prevalencia (cantidad de menores de cinco años afectados por ERA/cantidad total de menores de cinco años X 100), puesto que este estudio es retrospectivo. Los datos poblacionales se obtuvieron de los informes de la Alcaldía Municipal, Cali en Cifras.

Con la información mencionada, se determinan los sectores de la ciudad en los que se presentan con mayor frecuencia hospitalizaciones debidas a estas patologías, en ese grupo poblacional.

### **Tabla 3.**

*Hospitalizaciones por ERA en menores de cero a cinco años en 2015*

<b>Comuna</b>	<b>Número de hospitalizaciones</b>
1	216
2	83
3	102
4	191
5	189
6	315
7	250
8	209
9	136
10	299
11	231

**Tabla 3. (Continuación)**

<b>Comuna</b>	<b>Número de hospitalizaciones</b>
12	157
13	219
14	227
15	209
16	174
17	130
18	219
19	87
20	202
21	286
22	6
<b>Total</b>	<b>4.137</b>

Morbilidad por ERA año 2015:

4.137

-----x 100 = 1.95%

211.482

Casi dos de cada 100 menores de cero a cinco años, fueron hospitalizados en el año 2015 en la ciudad de Santiago de Cali, a causa de ERA y las comunas en las que se registraron más casos fueron la seis, la 10 y la 21.

**Tabla 4.**

*Hospitalizaciones por ERA en menores de cero a cinco años en 2016*

<b>Comuna</b>	<b>Número de hospitalizaciones</b>
1	186
2	115
3	136
4	178
5	196
6	332
7	244
8	214
9	157
10	299
11	233

**Tabla 4. (Continuación)**

<b>Comuna</b>	<b>Número de hospitalizaciones</b>
12	188
13	275
14	196
15	256
16	202
17	160
18	244
19	134
20	217
21	309
22	6
<b>Total</b>	<b>4.477</b>

Morbilidad por ERA año 2016:

$$\frac{4.477}{212.100} \times 100 = 2.11\%$$

Un poco más de dos, de cada 100 menores de cero a cinco años, fueron hospitalizados en el año 2016 en la ciudad de Santiago de Cali, a causa de ERA y las comunas en las que se registraron más casos fueron la seis, la 21 y la 10.

**Tabla 5.**

*Hospitalizaciones por ERA en menores de cero a cinco años en 2017*

<b>Comuna</b>	<b>Número de hospitalizaciones</b>
1	186
2	87
3	127
4	148
5	157
6	316
7	247
8	186
9	183
10	290
11	265

**Tabla 5. (Continuación)**

<b>Comuna</b>	<b>Número de hospitalizaciones</b>
12	178
13	296
14	276
15	361
16	269
17	154
18	269
19	145
20	234
21	247
22	11
<b>Total</b>	<b>4.632</b>

Morbilidad por ERA año 2016:

$$\frac{4.632}{212.422} \times 100 = 2.18\%$$

Al igual que en 2016, un poco más de dos, de cada 100 menores de cero a cinco años, fueron hospitalizados en el año 2017 en la ciudad de Santiago de Cali, a causa de ERA y las comunas en las que se registraron más casos fueron la 15, la seis, la 13 y la 10.

Puede verse que el número de hospitalizaciones por ERA en niños de cero a cinco años aumentó en 340 casos de 2015 a 2016 y en 155 de 2016 a 2017. Debe tenerse en cuenta que la población de este rango de edad creció de 2015 a 2016 en 618 y de 2016 a 2017 en 322.

Con base en estas cifras, puede decirse que las hospitalizaciones por ERA aumentaron un 7.5% de 2015 a 2016 y un 3.3% de 2016 a 2017. Por su parte, la población de menores de cinco años, creció de 2015 a 2016 un 0.29% y de 2016 a 2017 un 0.15%. Por tanto, las hospitalizaciones por ERA, rebasan el crecimiento de la población en este rango de edad, lo que permite afirmar que las afectaciones a la salud de los menores de cinco años por causa de las ERA, aumentaron en el periodo considerado.

Adicionalmente, comparando los tres años evaluados, las comunas 6, 10 y 21 presentaron el número más alto de hospitalizaciones por ERA en niños de cero a cinco años y en las comunas 13, 15, 16, 18, 19 y 20 se dio un aumento progresivo año a año.

### **6.3 RELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DE LAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS AGUDAS EN MENORES DE CINCO AÑOS CON LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

Para establecer la relación entre las dos variables de estudio, es necesario recordar que las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en las que ésta se consideró como moderada durante el periodo de estudio, fueron Univalle y Base Aérea.

La primera, Univalle, está ubicada al sur de la ciudad, en la comuna 17 y limita al norte con la comuna 10. Si se observa el número de hospitalizaciones de menores de cinco años por causa de ERA, se tiene que en el periodo de 2015 a 2017, el total fue de 13.426 y de éstas, 1.629 afectaron a menores de cinco años de las comunas 7 y 10, especialmente de ésta última, lo que significa un 12% del total de la ciudad.

Respecto a la estación Base Aérea, se encuentra ubicada en la comuna 7 al nororiente de la ciudad, que limita con las comunas 6, 21 y 13, en las que se registró gran número de hospitalizaciones de niños de cero a cinco años en 2015, 2016 y 2017. Fueron en total 2.595 internaciones que corresponden al 19.5% del total de menores hospitalizados.

Entonces, casi la tercera parte de hospitalizaciones de menores de cero a cinco años por causa de ERA de la ciudad de Cali, 4.224 que corresponden al 31.5% en el periodo 2015-2017, se dio en cinco de las 22 comunas de la ciudad: 7, 10, 6, 21 y 13.

Según un estudio realizado por la Universidad del Valle, como se citó en [elpais.com.co](http://elpais.com.co) (2020), la concentración de contaminantes en el sur de Cali (comuna 17 y aledañas, entre ellas la 10), es mayor durante la mañana por el masivo desplazamiento vehicular en las vías de este sector de la ciudad, debido a la afluencia de personas hacia colegios y universidades, a lo que se añade que en ese horario los vientos son bajos, por lo que el material particulado se concentra en mayor proporción.

En cuanto a la comuna siete, sector de la estación de monitoreo Base Aérea y aledañas (6, 21 y 13), la calidad del aire se ve afectada principalmente por el alto tránsito vehicular que se da en la Autopista Suroriental. Además, en esta parte de la ciudad funcionan industrias de productos químicos y plásticos.

De otro lado, en la comuna 10, que colinda con la siete, existen ocho botaderos de basura a cielo abierto, siendo el punto más crítico la Galería de Santa Elena (elpais.com.co, 2016).

La acumulación de basuras genera gases tóxicos, especialmente metano y dióxido de carbono, además del que se produce por los vehículos de transporte tanto públicos como privados y de carga. Este dióxido de carbono, junto con el gas metano, afectan a quienes residen cerca de los vertederos de basura, ya que desplazan el oxígeno y producen graves problemas respiratorios (zabalgabi.com., 2017).

Lo expuesto da cuenta de que, efectivamente, el comportamiento las enfermedades respiratorias agudas en los niños de cero a cinco años de la ciudad de Cali, se relaciona con los niveles de contaminación del aire durante el periodo de estudio.



## 7. CONCLUSIONES

La realización de esta investigación permitió determinar las concentraciones de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Santiago de Cali durante el periodo de estudio. Se pudo establecer que el PM10 no sobrepasó lo establecido en la norma nacional, pero sí se registró concentración de este material en el aire de la ciudad en algunos periodos de cada año, sobre los límites sugeridos por la OMS.

En cuanto al PM2.5 se mantuvo por debajo de la norma nacional, pero en varios meses del año, estuvo sobre los límites recomendados por la OMS. La concentración de ozono troposférico en el aire de algunos sectores, estuvo por encima de los niveles establecidos tanto por la OMS como por la norma nacional.

Respecto al óxido de nitrógeno, no se sobrepasaron los límites de OMS ni de la norma nacional y, para el dióxido de azufre no se rebasó la norma nacional y se encontró dentro de los límites de la OMS.

Sin embargo, es importante resaltar que, a excepción del ozono troposférico, para el cual la norma nacional establece límites menores que los recomendados por la OMS y el dióxido de nitrógeno en el que la concentración máxima establecida por la normatividad nacional es igual a la recomendada por la OMS, la norma nacional es mucho más permisiva en la cantidad de concentración de PM10, PM2.5 y dióxido de azufre, pues califica como aceptable el doble de presencia de contaminantes PM10 y PM2.5 y 12 veces más de concentración de dióxido de azufre. El material particulado se concentra mayormente en sur y nororiente, que son los dos sectores de la ciudad en los cuales la velocidad del viento menor, lo que no contribuye a la dispersión de los contaminantes y por consiguiente a la reducción de la polución.

Considerar aceptable el doble de concentración de material particulado menor de 10 y 2.5 micras a lo sugerido por la OMS, afecta notablemente la calidad del aire que se respira en la ciudad de Cali.

En cuanto a la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años durante el periodo de estudio, se logró identificar que el número de niños de este rango etario que fueron hospitalizados por ERA creció 7.5% de 2015 a 2016 y 3.3% de 2016 a 2017 (10.8% en total), aunque la población de estos menores aumentó 0.29% de 2015 a 2016 y 0.15% de 2016 a 2017 (0.44% en total), por lo cual, puede concluirse que las hospitalizaciones por ERA fueron mayores que el crecimiento de la población en este rango de edad durante el periodo considerado. Específicamente, las hospitalizaciones por ERA se mantuvieron en

cifras muy altas en las comunas 6, 10 y 21 y se incrementaron en las comunas 13, 15, 16, 18, 19 y 20.

Finalmente, se evidenció que el comportamiento de las enfermedades respiratorias agudas en los menores de cero a cinco años de la ciudad de Cali, se relaciona con los niveles de contaminación del aire durante el periodo de estudio, puesto que las hospitalizaciones por ERA se han ido incrementando anualmente y, en el aire se dan niveles de concentración de MP10 y MP2.5 por encima de lo recomendado por la OMS, siendo la norma nacional flexible en este aspecto, ya que permite el doble de concentración de lo que los estudios internacionales avalados por la OMS recomiendan.

Además, las concentraciones de ozono troposférico sobrepasaron la norma nacional y las recomendaciones de la OMS, lo que se relaciona directamente con el clima cálido de la ciudad, los periodos de baja humedad y la debilidad de los vientos en algunos periodos del año.

Estas concentraciones de material particulado y de ozono troposférico, contribuyen directamente con la morbilidad por ERA en los menores de cero a cinco años en la ciudad de Cali, ya que incrementan la consulta y hospitalización.

## 8. RECOMENDACIONES

Ante los resultados obtenidos con la investigación, que dan cuenta de que existe relación directa entre la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de cero a cinco años y los contaminantes atmosféricos en la ciudad de Santiago de Cali, es pertinente realizar las siguientes recomendaciones:

Teniendo en cuenta que la mayoría de los contaminantes atmosféricos provienen de fuentes móviles, específicamente del parque automotor, es muy importante que se sigan reemplazando los vehículos del masivo integrado de occidente (MIO) que funcionan a diésel y gasolina, por vehículos eléctricos.

Así mismo, que desde las instancias municipales se realice un control efectivo de los centros de diagnóstico automotriz con el fin de que se realicen a cabalidad las revisiones técnico-mecánicas de los automóviles y motocicletas, para evitar que en las calles de Cali siga circulando parque automotor que por sus malas condiciones contribuye considerablemente a la contaminación del aire de la ciudad.

También, incentivar a los caleños en el uso compartido de los vehículos particulares, así como en la utilización del transporte público o la bicicleta para desplazarse a sus lugares de trabajo o estudio.

Igualmente, que la empresa privada facilite la adquisición de vehículos y motocicletas eléctricas, para que poco a poco se vayan reemplazando en aras de mejorar la calidad del aire en toda la ciudad.

Respecto a las industrias, que se haga un seguimiento efectivo de las fuentes de energía que utilizan, para disminuir el uso de fuentes fósiles y brindándoles incentivos para que las reemplacen por energías amigables con el medio ambiente.

También, trabajar en el control efectivo de la disminución de disposición de basuras a cielo abierto, así como de la separación en la fuente para el aprovechamiento de material reciclable, mediante campañas educativas en todos los sectores de la sociedad: hogares, comerciantes, industrias, empresas, colegios, universidades y peatones en el espacio público.

## REFERENCIAS

- Alcaldía de Santiago de Cali (2019). El MIO pone en servicio la primera flota eléctrica de un Sistema Integrado de Transporte Masivo en Colombia. Obtenido de <https://bit.ly/2IFy2OB>
- Alcaldía de Santiago de Cali (2019). Libro Cali en Cifras. Obtenido de <http://bit.ly/2THTWPY>
- Amaiquema, E. y Narváez, A. (2019). *Factores de riesgo y su influencia en alergias respiratorias en niños de cero a cinco años, Centro de Salud Enrique Ponce Luque, Babahoyo, Los Ríos, octubre 2018-abril 2019* (trabajo de pregrado). Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. Obtenido de <https://bit.ly/2koBfSk>
- Barrios, S., Peña, F. y Osses, O. (2004). Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en las enfermedades respiratorias agudas en menores de cinco años. *Ciencia y Enfermería*, 10(2), 21-29. Obtenido de <https://bit.ly/2mobPF3>
- Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA- (2015). Informe anual de calidad del aire de Santiago de Cali <https://www.cali.gov.co/dagma/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=9183>
- Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA- (2016). Informe anual de la calidad del aire 2015. Obtenido de <http://bit.ly/332hEta>
- Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA- (2017). Informe anual de la calidad del aire 2016. Obtenido de <http://bit.ly/332hEta>
- Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA- (2018). Informe anual de la calidad del aire 2017. Obtenido de <http://bit.ly/332hEta>
- Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA- (2018). Resumen información de PM10 y PM2.5 comparada con límites de la OMS. Documento no publicado suministrado por la entidad.

- Departamento Nacional de Planeación -DPN- (2017). Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones. Obtenido de <https://bit.ly/2NnwHWu>
- Departamento Nacional de Estadística -DANE- (2005). Boletín Censo General 2005. Perfil Cali Valle del Cauca. Obtenido de <https://bit.ly/2SdyQVz>
- División de Sanidad de las Fuerzas Militares de Colombia (2015). Enfermedad respiratoria aguda ERA. Obtenido de <https://bit.ly/2IVWyet>
- Elpais.com.co (19 de enero de 2020). *Desmejora la calidad del aire en Cali, ¿qué lo está contaminando?* Obtenido de <http://bit.ly/3aUczG3>
- Elpais.com.co (20 de abril de 2018). *Calidad del aire, un problema ambiental que preocupa a los caleños.* Obtenido de <https://bit.ly/2kxmA7w>
- Elpais.com.co (18 de diciembre de 2016). *Los caleños han convertido 131 puntos de la ciudad en basureros crónicos.* Obtenido de <http://bit.ly/2QjUIQO>
- Eltiempo.com (05 de mayo de 2018). *Los más pobres todavía cargan 'el mayor peso' de la contaminación.* Obtenido de <https://bit.ly/2JyLkGm>
- Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales (2017). *El impacto global de la enfermedad respiratoria.* 2ª ed. México, D.F.: Asociación Latinoamericana de Tórax. Obtenido de <https://bit.ly/34dpn7O>
- Gutiérrez, A., Ferrero, A., Estarlich, M., Espugles, A., Iñiguez, C. y Ballester, F. (2018). Exposición ambiental a dióxido de nitrógeno y salud respiratoria a los dos años en la Cohorte *INMA-Valencia*. *Gaceta Sanitaria*, 32(6), 507-512. Obtenido de <https://bit.ly/2kSKr1B>
- Grupo de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud Pública Municipal (2018). Sistema de Vigilancia Centinela Hospitalizaciones Menores de Cinco Años. Documento no publicado suministrado por la entidad.
- Hernández, L., Aristizábal, G., Quiroz, L., Medina, K., Rodríguez, N., Sarmiento, R. y Osorio, S. (2013). Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en

menores de cinco años de Bogotá, 2007. *Revista Salud Pública*, 15(4), 503-516. Obtenido de <https://bit.ly/2mrFKfJ>

Instituto Nacional de Salud (2017). Informe del evento Infección Respiratoria Aguda Colombia 2017. Obtenido de <https://bit.ly/2TmZWvz>

Martín, R. y Sánchez, M. (2018). *Impacto de la contaminación ambiental en las consultas pediátricas de Atención Primaria: estudio ecológico. Anales de Pediatría*, 89(82), 80-85. Obtenido de <https://bit.ly/2kqXKpT>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- (2017). Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2017. Obtenido de <https://bit.ly/2TF13ds>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Obtenido de <https://bit.ly/2kMLBf3>

Molina, E., Brown, L., Prieto, V., Bonet, M. y Cuéllar, L. (2001). Crisis de asma y enfermedades respiratorias agudas. Contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en Centro Habana. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 17(1), 10-20. Obtenido de <https://bit.ly/2kJH9Oi>

Orellana, L. (2001). Estadística descriptiva. Obtenido de <https://bit.ly/2izQ9Qk>

Organización Mundial de la Salud (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Obtenido de <http://bit.ly/2wGSEvI>

Organización Mundial de la Salud -OMS- (2018). Más del 90% de los niños del mundo respiran aire tóxico a diario. Obtenido de <https://bit.ly/2DRo3v0>

Organización Mundial de la Salud (s.f.). ¿Qué consecuencias sanitarias acarrea la contaminación atmosférica urbana? Obtenido de <http://bit.ly/33ocyHK>

- Organización Panamericana de la Salud -OPS- (2016). Contaminación del aire ambiental. Obtenido de <https://bit.ly/2FEsThb>
- Pereira, A. (2017). Calidad del aire y enfermedades respiratorias: diagnóstico de estrategias públicas desarrolladas en el distrito. Trabajo de especialización (Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales). Bogotá, D.C. Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://bit.ly/2kMroWJ>
- Revista Dinero (27 de marzo de 2019). Así mata a los colombianos la contaminación del aire. Obtenido de <https://bit.ly/2LdheHW>
- Robles, E., Medina, A. y Medina, C. (2019). La contaminación del aire por el material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco (2010 y 2016). *Revista Industrial Data*, 22(1), 173-186. Obtenido de <https://bit.ly/2IZVQNg>
- Secretaría de Salud Pública de Cali (2018). Análisis de Situación Integrado de Salud (ASIS) Municipio Santiago de Cali año 2018. Obtenido de <https://bit.ly/2kT5xNI>
- Universidad de Los Andes y University College London (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia. Obtenido de <https://bit.ly/1WPcl27>
- zabargarbi.com. (2017). Efectos sobre la salud y el medio ambiente de los vertederos. Obtenido de <http://bit.ly/38NldVi>.