

**República de Colombia**  
**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible**



**DIAGNÓSTICO NACIONAL  
DE SALUD AMBIENTAL**



**MinAmbiente**  
Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sostenible

**PROSPERIDAD  
PARA TODOS**



**fcv**  
fundación  
cardiovascular de  
colombia

Colombia, Diciembre de 2012.



**MinAmbiente**  
Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sostenible

**PROSPERIDAD  
PARA TODOS**

**Presidente de la República**  
Juan Manuel Santos Calderón

**Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible**  
Juan Gabriel Uribe

**Viceministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible**  
Adriana Soto Carreño

Supervisora de consultoría

Marcela Bonilla Madriñán  
**Directora de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana**



**DIAGNÓSTICO NACIONAL  
DE SALUD AMBIENTAL**

El presente documento fue realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través del contrato de consultoría 543 de 2012 con recursos provenientes del crédito IDS.

### **Coordinador del equipo consultor**

Alvaro Javier Idrovo MD, EHSO, MSP, MSc, PhD

### **Equipo consultor**

Magali Hurtado Díaz, Lic Inf, MSc

Luis Camilo Blanco, Ing Amb Sanit, MSc

Julián D. Acuña Bermúdez, Ing Amb Sanit

Diana C. Jaimes Vega, MD, MSc(c)

Héctor F. Duarte Tagles, Ing Ecol, MSc, PhD

José Moreno Montoya, Est, MSc, PhD

Julián A. Fernández Niño, MD, MSP, MSc

Carlos E. Pinzón Flórez, MD, MSc, PhD(c)

### **Colaboradores**

Libia Romero Castellanos, Psic, EPyP

Claudia I. Amaya Castellanos, Psic, MSP.

Query J. Mora Albarracín, TS

Néstor F. Naranjo Estupiñán, Enf

John Fredi Arguello Duarte, Enf

Camilo A. Rojas Velandia, MD

Luis Arias Medellín



# CONTENIDO

<b>LISTA DE FIGURAS Y TABLAS</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA</b>	<b>29</b>
1.1. Colombia en el contexto mundial	30
1.2. El dilema de la enfermedad ocupacional y ambiental en Colombia	33
1.3. Poblaciones vulnerables y justicia ambiental	34
1.4. Objetivo del informe	36
1.5. Metodología	36
1.5.1. Revisión de literatura relevante	37
1.5.2. Búsqueda en universidades	37
1.5.3. Revisión de registros nacionales	38
1.5.3.1. Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ENCV) 2010 y 2011	38
1.5.3.2. Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA)	38
1.5.3.3. Redes de monitoreo de calidad del aire (SISAIRE)	39
1.5.3.4. Eventos centinela (consultas y mortalidad)	39
1.6. Limitaciones del informe	41
1.7. Reconocimientos	42
<b>2. RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS</b>	<b>44</b>
2.1. Colombia y los residuos sólidos	46
2.1.1. Residuos sólidos convencionales en Colombia	46
2.2. Residuos sólidos por departamento	50
2.3. Residuos peligrosos en Colombia	51
2.4. Colombia y los países de América Latina y el Caribe	55
2.5. Residuos y efectos en la salud	57
<b>3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA</b>	<b>68</b>
3.1. Distribución del agua en Colombia	69
3.2. Enfermedad diarreica	72
3.2.1. Carga de la enfermedad	74
3.2.2. Cólera	75
3.2.3. Fiebre tifoidea y paratifoidea y otras infecciones por <i>Salmonella</i>	76
3.2.4. Otras bacterias ( <i>Escherichia coli</i> )	78
3.2.5. Parásitos ( <i>Cryptosporidium</i> y <i>Giardia lamblia</i> )	78
3.2.6. Factores de riesgo	79
3.2.7. Parásitos intestinales ( <i>Ascaris lumbricoides</i> y <i>Trichuris trichiura</i> )	79
3.2.8. Hepatitis A	80
3.2.9. Tracoma	81

3.3.	Contaminantes en cuencas y vertientes	81
3.4.	Abastecimiento de agua y condiciones de saneamiento en Colombia	88
3.5.	Sistema de información de la vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SIVICAP)	90
<b>4.</b>	<b>CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA</b>	<b>93</b>
4.1.	Antecedentes de la calidad del aire y morbilidad en Colombia	94
4.2.	Calidad del aire en las principales ciudades del país (2007 - 2009)	95
4.3.	Comparación de la calidad del aire de Colombia con respecto a otros países	96
4.3.1.	Calidad del aire de Colombia comparado con América Latina y el Caribe	96
4.3.2.	Calidad del aire de Colombia comparado con países de Norte América y Europa	97
4.3.3.	Calidad del aire de Colombia con respecto a países de Asia y África	98
4.3.4.	Comparación de la calidad del aire en las tres ciudades más importantes de Colombia con respecto a otras ciudades y megaciudades del mundo	99
4.3.4.1.	Calidad del aire de ciudades Colombianas con respecto a metrópolis de ALC	99
4.3.4.2.	Calidad del aire en ciudades Colombianas con respecto a metrópolis de Norte América y Europa	101
4.3.4.3.	Calidad del aire en ciudades Colombianas con respecto a metrópolis de Asia y África	102
4.4.	Contaminación del aire intramuros por combustibles sólidos y otras sustancias	103
4.4.1.	Comparación de la calidad del aire en interiores en Colombia con respecto a otros países	104
4.4.1.1.	Calidad del aire en interiores en Colombia con respecto a países de América Latina y el Caribe (ALC)	104
4.4.1.2.	Calidad del aire en interiores en Colombia en interiores con respecto a países en Norte América y Europa	106
4.4.1.3.	Calidad del aire en interiores en Colombia con respecto a países en Asia y África	107
4.5.	Investigaciones relacionadas con contaminación del aire y salud en Colombia	109
4.5.1.	Investigaciones relacionadas con calidad del aire y salud, en diferentes regiones municipios y distritos del país	111
4.5.1.1.	Antioquia: Valle de Aburra	111
4.5.1.2.	Caldas y Risaralda: Manizales y Pereira	137
4.5.1.3.	Costa Atlántica: Cartagena y Santa Marta	142
4.5.1.4.	Cundinamarca: Bogotá	152

4.5.1.5.	Santander y Norte de Santander: Bucaramanga y Pamplona	185
4.5.1.6.	Valle del Cauca: Santiago de Cali	200
4.5.1.7.	Zona Minera: Cesar	223
<b>5.</b>	<b>SUSTANCIAS TÓXICAS</b>	<b>231</b>
5.1.	Exposición aguda a sustancias tóxicas	231
5.2.	Mercurio	234
5.2.1.	Fuentes naturales de mercurio en Colombia	235
5.2.2.	Minería aurífera	235
5.2.3.	Evaluación de exposición a mercurio	237
5.2.3.1.	Sedimento y agua	237
5.2.3.2.	Suelos	240
5.2.3.3.	Peces y fauna acuática	241
5.2.3.4.	Estudios en humanos	243
5.2.4.	Efectos de mercurio sobre la salud	245
5.2.4.1.	Efectos neurológicos	245
5.2.4.2.	Otros efectos	246
5.2.5.	Mercurio y odontología	247
5.2.6.	Disposición de residuos en instituciones de salud	248
5.3.	Plomo	248
5.3.1.	Exposición a plomo	249
5.3.2.	Plomo en agua, suelos y sedimentos	251
5.3.3.	Contaminación por plomo en aire	254
5.3.4.	Plomo en fauna y flora	255
5.3.5.	Plomo en humanos	257
5.3.5.1.	Plomo en sangre y zinc protoporfirina eritrocitaria (ZPP)	256
5.3.6.	Exposición paraocupacional	256
5.3.7.	Plomo y efectos sobre la salud	257
5.4.	Cadmio	259
5.4.1.	Exposición a cadmio	259
5.4.2.	Estudios de cadmio y efectos en la salud	263
5.5.	Cromo	264
5.5.1.	Estudios de cromo y efectos en la salud	266
5.6.	Arsénico	266
5.6.1.	Estudios de arsénico y efectos en la salud	268
5.7.	Flúor	268
5.7.1.	Flúor en sal de consumo humano	269
5.7.2.	Flúor en agua de consumo humano	269
5.7.3.	Flúor en cremas dentales	269
5.7.4.	Estudios de flúor y efectos en la salud	270
5.8.	Plaguicidas	271
5.8.1.	Organoclorados	271

5.8.1.1.    Cáncer y organoclorados	275
5.8.2.    Exposición a piretroides	275
5.8.3.    Exposición a organofosforados	276
5.8.3.1.    Niveles de colinesterasas	276
5.8.3.2.    Intoxicaciones agudas por organofosforados	278
5.8.3.3.    Exposición a glifosato	279
5.8.3.4.    Estudios citogenéticos del glifosato	280
5.8.3.5.    Glifosato y efectos reproductivos	280
5.8.3.6.    Estudios citogenéticos y mezclas de plaguicidas	281
5.8.3.7.    Floricultura y eventos reproductivos	283
5.8.3.8.    Floricultura y cáncer	285
5.9.    Asbesto	284
5.10.    Sustancias tóxicas en la minería	287
5.10.1.    Estudios en minas de carbón	288
5.10.2.    Estudios de minas de metales preciosos	289
5.10.3.    Níquel: el caso de Cerro Matoso	291
<b>6. RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS NO IONIZANTES (REM-NI)</b>	<b>292</b>
6.1.    Clasificación de la radiación electromagnética	295
6.2.    Características de la radiación electromagnética no ionizante (REM-NI)	296
6.2.1.    Frecuencias extremadamente bajas (ELF)	296
6.2.2.    Radiofrecuencias (Rf)	297
6.2.3.    Microondas (mW)	297
6.3.    Estudios de exposición a radiaciones no ionizantes	298
6.3.1.    Normatividad	299
6.4.    Estudios sobre REM - NI en Colombia	301
6.4.1.    Exposición a campos electromagnéticos (CEM) y a radio- frecuencias (Rf)	303
6.4.2.    Exposición a radiación ultravioleta (RUV)	306
6.5.    Estudios sobre efectos en la salud	309
6.5.1.    Efectos térmicos de REM-NI	310
6.5.2.    Efectos de la RUV en la piel y en los ojos	314
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>320</b>
7.1.    Perfiles regionales de salud ambiental	321
7.2.    Morbilidad y mortalidad asociada a factores ambientales	322
7.3.    Problemas de calidad de los registros	323
7.4.    Sub-registro de enfermedades de origen ambiental	324
7.5.    Recursos humanos en salud ambiental	325
7.6.    Algunas recomendaciones	326
<b>REFERENCIAS</b>	<b>332</b>

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

### TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Indicadores que permiten la construcción del Índice de Desempeño Ambiental (EPI) para Colombia en 2012.	30
<b>Tabla 1.2</b> Indicadores que permiten la construcción del Índice de Salud Oceánica (OHI) (EPI) para Colombia en 2012.	32
<b>Tabla 2.1</b> Estimaciones de generación mundial de residuos sólidos.	46
<b>Tabla 2.2.</b> Sistemas de disposición final 2010 y 2011.	49
<b>Tabla 2.3.</b> Cercanía de los hogares a reconocidos lugares generadores de gran cantidad de residuos sólidos.	50
<b>Tabla 2.4.</b> Producción de residuos diaria en los departamentos colombianos.	51
<b>Tabla 2.5.</b> Producción diaria de toneladas de basura en las principales ciudades de Latinoamérica.	56
<b>Tabla 2.6.</b> Condiciones de salud de la población de recicladores. Medellín, Colombia.	65
<b>Tabla 3.1.</b> Enfermedades transmitidas por agua en Colombia.	
<b>Tabla 3.2.</b> Estimación del impacto anual en la salud debido a la insuficiencia de agua, saneamiento e higiene	72
<b>Tabla 3.3.</b> Porcentaje de niños menores de 5 años con diarrea en las dos semanas previas por departamento en Colombia.	74
<b>Tabla 3.4.</b> Incidencia de salmonelosis en Colombia. 1997 - 2010	75
<b>Tabla 3.5.</b> Casos anuales de Hepatitis A. Colombia 2000 – 2003	77
<b>Tabla 3.6.</b> Mediciones de coliformes (totales y fecales) en la región del Caribe Colombiano	81
<b>Tabla 3.7.</b> Mediciones de bacterias en la región del Caribe Colombiano	84



<b>Tabla 3.8.</b> Carga de contaminantes (toneladas/año) vertidas a los sistemas hídricos por los distintos sectores en 2008.	85
<b>Tabla 3.9.</b> Mínimo y máximo del transporte total anual multianual de sedimentos por área geográfica.	87
<b>Tabla 3.10.</b> Porcentaje de hogares con abastecimiento de agua y saneamiento en Colombia	88
<b>Tabla 3.11.</b> Beneficios de la intervención alternativa en Colombia	89
<b>Tabla 4.1.</b> Concentración promedio anual de PM <sub>10</sub> , defunciones (Def.) respiratorias (Resp.) y AVAD, por año en países de América Latina y el Caribe.	89
<b>Tabla 4.2.</b> Concentración promedio anual de PM <sub>10</sub> , defunciones (Def.) respiratorias (Resp.) y AVAD por año en países de Norte América y Europa.	97
<b>Tabla 4.3.</b> Concentración promedio anual de PM <sub>10</sub> , defunciones (Def.) respiratorias (Resp.) y AVAD por año en países de Asia y África.	98
<b>Tabla 4.4.</b> Concentración promedio anual de PM <sub>10</sub> en ciudades de ALC	99
<b>Tabla 4.5.</b> Concentración promedio anual de PM <sub>10</sub> en ciudades de Norte América y Europa	100
<b>Tabla 4.6.</b> Concentración promedio anual de PM <sub>10</sub> en ciudades de África y Asia	101
<b>Tabla 4.7.</b> Porcentaje de hogares expuestos a contaminación del aire intramural, defunciones (Def.) respiratorias (Resp), AVAD y Prevalencia de consumo de tabaco entre adultos mayores de 15 años en países de ALC.	102
<b>Tabla 4.8.</b> Porcentaje de hogares expuestos a contaminación del aire intramural, defunciones (Def.) respiratorias (Resp), AVAD y Prevalencia de consumo de tabaco entre adultos mayores de 15 años en Europeos y Norte Americanos.	106
<b>Tabla 4.9.</b> Porcentaje de hogares expuestos a contaminación del aire intramural, defunciones (Def.) respiratorias (Resp), AVAD y Prevalencia de consumo de tabaco entre adultos mayores de 15 años en países de Asia y África.	107

<b>Tabla 4.10.</b> Casos de muerte por enfermedades respiratorias potencialmente relacionadas con la contaminación del aire (2010-2011).	108
<b>Tabla 4.11.</b> Casos de muerte por enfermedades cardiovasculares potencialmente relacionadas con la contaminación del aire (2010-2011).	109
<b>Tabla 4.12.</b> Resumen de la investigación Identificación de episodios de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá.	110
<b>Tabla 4.13.</b> Resumen de la investigación Concentración de monóxido de carbono presente en el aire y la intensidad de ruido en el centro de la ciudad de Medellín.	117
<b>Tabla 4.14.</b> Resumen de la investigación Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM <sub>10</sub> ) en la zona de guayabal, Medellín, Colombia.	117
<b>Tabla 4.15.</b> Resumen de la investigación Consultoría para la evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular de la ciudad de Medellín, Universidad de Medellín – Universidad de Antioquia.	118
<b>Tabla 4.16.</b> Resumen de la investigación Evaluación de la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista.	118
<b>Tabla 4.17.</b> Resumen de la investigación caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas.	119
<b>Tabla 4.18.</b> Resumen de la tesis Calidad del aire en la Vereda El Ajizal del Municipio de Itagüí.	119
<b>Tabla 4.19.</b> Resumen de la investigación Relación entre las partículas finas (PM <sub>2.5</sub> ) y respirables (PM <sub>10</sub> ) en la ciudad de Medellín.	120
<b>Tabla 4.20.</b> Resumen de la investigación Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia – Colombia.	120
<b>Tabla 4.21.</b> Resumen de la investigación Niveles de ruido y concentraciones de monóxido de carbono-CO- en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid de Medellín.	121

<b>Tabla 4.22.</b> Resumen de la investigación Análisis de calidad del aire en el área metropolitana del Valle de Aburrá durante el primer semestre del año 2009	121
<b>Tabla 4.23.</b> Resumen de la investigación Evaluación de los niveles de contaminación atmosférica en las zonas urbanas del Valle de Aburra. Caracterización y análisis de la contribución de fuentes de material particulado PM <sub>2.5</sub> en tres (3) zonas del Valle de Aburrá	122
<b>Tabla 4.24.</b> Resumen de la investigación Evaluar y monitorear la calidad del aire en el Valle de Aburrá con medidores pasivos.	123
<b>Tabla 4.25.</b> Resumen de la investigación Estudio de la formación de contaminantes fotoquímicos mediante la modelización matemática y sus efectos en la salud.	123
<b>Tabla 4.26.</b> Resumen de la investigación Modelación estadística de los aportes de las Vías como fuentes de emisión a las Partículas Totales en Suspensión según modelo MCF, zona Centro de Medellín-Antioquia-Colombia.	125
<b>Tabla 4.27.</b> Resumen de la investigación Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá, con georeferenciación de éstas.	126
<b>Tabla 4.28.</b> Resumen de la investigación Lineamientos Técnicos para el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá.	126
<b>Tabla 4.29.</b> Resumen de la investigación Comunidades liquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburra.	127
<b>Tabla 4.30.</b> Resumen de la investigación Exposición a material particulado de un grupo similar de exposición de amas de casa que utilizan leña como combustible para la cocción de alimentos en la vereda Palmitas del municipio de El Santuario, durante el primer semestre del año 2012 Colombia.	128
<b>Tabla 4.31.</b> Resumen de la investigación Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la función pulmonar de adultos.	128
<b>Tabla 4.32.</b> Resumen de la investigación Contaminación extra e intradomiciliaria por material particulado respirable y su relación con la función pulmonar La Sierra-Puerto Nare.	129

<b>Tabla 4.33.</b> Resumen de la investigación Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en adultos que laboran a diferentes niveles de exposición.	129
<b>Tabla 4.34.</b> Resumen de la investigación Contaminación Atmosférica y efectos en la Salud de la población de Medellín y su área metropolitana.	131
<b>Tabla 4.35.</b> Resumen de la investigación Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de mercurio medioambiental.	132
<b>Tabla 4.36.</b> Resumen de la investigación Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente.	134
<b>Tabla 4.37.</b> Resumen de la investigación Contaminación por material particulado (PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>10</sub> ) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín.	135
<b>Tabla 4.38.</b> Resumen de la investigación Niveles de material particulado y mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas Medellín.	136
<b>Tabla 4.39.</b> Resumen de la investigación Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí.	136
<b>Tabla 4.40.</b> Resumen de la investigación La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales.	137
<b>Tabla 4.41.</b> Resumen de la investigación Calidad del aire en la zona centro y oriente de la ciudad de Manizales: influencia del material particulado (PM <sub>10</sub> ) y lluvia ácida	139
<b>Tabla 4.42.</b> Summary Acid rain and particulate matter dynamics in a mid-sized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging	139
<b>Tabla 4.43.</b> Resumen de la investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas.	140

<b>Tabla 4.44.</b> Resumen de la investigación Modelo de valoración ambiental del impacto de la contaminación atmosférica por fuentes móviles en el municipio de Pereira.	141
<b>Tabla 4.45.</b> Resumen de la investigación Composición y concentración de material particulado en el aire de un sector del área urbana de Santa Marta.	142
<b>Tabla 4.46.</b> Resumen de la investigación Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta.	145
<b>Tabla 4.47.</b> Resumen de la investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas.	146
<b>Tabla 4.48.</b> Resumen de la investigación Costo Efectividad del Gas Natural Domiciliario como Tecnología Sanitaria en Localidades Rurales del Caribe Colombiano.	146
<b>Tabla 4.49.</b> Resumen del artículo Factores de riesgo asociados con asma alérgica en niños de 4 a 16 años de Santa Marta	147
<b>Tabla 4.50.</b> Resumen de la investigación Efectos sobre la salud por la contaminación del aire proveniente del sector portuario carbonífero (Drummond, Carbosan y Prodeco de Santa Marta). Convenio No. 85 Ministerio de Ambiente.	148
<b>Tabla 4.51.</b> Resumen de la investigación Los efectos del PM <sub>10</sub> y de las variables climatológicas en las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en niños en la ciudad de Santa Marta.	149
<b>Tabla 4.52.</b> Resumen de la investigación Cuantificación de micronúcleos en células de sangre periférica de moto-taxistas que trabajan en la ciudad de Cartagena de Indias.	150
<b>Tabla 4.53.</b> Resumen de la investigación Determinación de los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas en Cartagena.	151
<b>Tabla 4.54.</b> Resumen del artículo Comportamiento de la enfermedad respiratoria de niños entre 5 y 14 años en la ciudad de Santa Marta en el primer trimestre de 2008 y 2009.	151

<b>Tabla 4.55.</b> Resume de la investigación contribución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles con la calidad del aire en los corredores viales de la calle 170 entre carreras séptima y autopista, Carrera 11 entre calles cien y ochenta y cinco y avenida ciudad de cali entre calles veintiséis y trece de la ciudad de Bogotá D.C.	160
<b>Tabla 4.56.</b> Resumen del artículo Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida -húmeda y seca-en el norte de Bogotá, D.C	161
<b>Tabla 4.57.</b> Resumen de la tesis Sustancias peligrosas en las partículas suspendidas totales en un área de influencia vehicular de Bogotá.	162
<b>Tabla 4.58.</b> Resumen del artículo Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en muestras de partículas atmosféricas PM <sub>10</sub> en la zona metropolitana de la ciudad de Bogotá (Colombia).	162
<b>Tabla 4.59.</b> Resumen de la tesis Estudio de la calidad del aire al interior de los hogares en los sectores de Puente Aranda, Salazar Gómez y San Rafael en la localidad de Puente Aranda.	163
<b>Tabla 4.60.</b> Resumen de la tesis Concentración de sustancias peligrosas en material particulado recolectado en estaciones de monitoreo de la CAR-Cundinamarca	163
<b>Tabla 4.61.</b> Resumen del artículo Caracterización del material particulado en dos vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá	164
<b>Tabla 4.63.</b> Resumen del artículo Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá	166
<b>Tabla 4.64.</b> Resumen de la investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas.	167
<b>Tabla 4.65.</b> Resumen del artículo Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia.	168
<b>Tabla 4.66.</b> Resumen del artículo Niveles de material particulado en colegios distritales ubicados en vías con alto tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá: estudio piloto.	168

<b>Tabla 4.67.</b> Resumen del artículo Composición química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogotá.	169
<b>Tabla 4.68.</b> Abstract of article PM <sub>10</sub> characterization and source apportionment at two residential areas in Bogota.	169
<b>Tabla 4.69.</b> Resumen de la tesis Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos patógenos en los bioaerosoles, en una zona de alta actividad Industrial y flujo vehicular de la localidad de Puente Aranda	170
<b>Tabla 4.70.</b> Resumen del artículo Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda.	171
<b>Tabla 4.71.</b> Resumen de la tesis Determinación y correlación del material particulado y gases con los principales microorganismos patógenos existentes en los ambientes intramural y extramural presentes en tres jardines infantiles ubicados en las localidades de Fontibón, Puente Aranda y Kennedy.	171
<b>Tabla 4.72.</b> Resumen de la tesis Determinación de las posibles relaciones entre trazas de metales pesados (Pb, Ni, Fe, Cr) encontrados en el material particulado PM <sub>10</sub> –PM <sub>2.5</sub> y las especies bacterianas presentes en el aire en las localidades de Tunjuelito, Kennedy y Puente Aranda.	171
<b>Tabla 4.73.</b> Resumen del artículo Evaluación de la medición de emisiones con fines regulatorios en Colombia: dos estudios de caso.	173
<b>Tabla 4.74.</b> Resumen de la tesis Análisis preliminar de la relación entre el uso de la biogasolina y su impacto en las emisiones de los principales gases deteriorantes de la calidad del aire bogotano.	174
<b>Tabla 4.75.</b> Resumen del artículo Efecto del Nivel Socioeconómico (SES) sobre la asociación contaminación atmosférica y mortalidad en Bogotá.	174
<b>Tabla 4.76.</b> Resumen de la investigación Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda.	176

<b>Tabla 4.77.</b> Resumen de la investigación Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños en Bogotá	177
<b>Tabla 4.78.</b> Resumen de la investigación Análisis de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica en Bogotá	177
<b>Tabla 4.79.</b> Abstract of article Air Pollution in Bogotá, Colombia: A Concentration-Response Approach.	177
<b>Tabla 4.80.</b> Resumen del artículo Estudio de la morbilidad en niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá.	178
<b>Tabla 4.81.</b> Resumen de la investigación Evaluación de la contaminación por material particulado menor a 10 $\mu\text{m}$ a nivel extradomiciliario, intradomiciliario y la exposición personal al mismo contaminante, proyecto piloto en las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón.	181
<b>Tabla 4.82.</b> Resumen del artículo Correlación entre la enfermedad respiratoria aguda (ERA) en mujeres embarazadas y la calidad del aire.	181
<b>Tabla 4.83.</b> Resumen de la tesis Exposición laboral a contaminación atmosférica: material particulado y efectos respiratorios en la salud de policías de tránsito de Bogotá.	179
<b>Tabla 4.84.</b> Resumen de la tesis Diferencias significativas en el estado viso-motor y viso-perceptual en niños de 10 a 15 años expuestos o no expuestos a plomo y mercurio en aire en tres localidades de Bogotá.	182
<b>Tabla 4.85.</b> Resumen del artículo Efecto del material particulado menor a 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{PM}_{10}$ ) sobre la mortalidad en Bogotá, Colombia: un análisis de series de tiempo 1998 – 2006.	182
<b>Tabla 4.86.</b> Abstract of article Particulate matter exposure of bicycle path users in a high-altitude city.	183
<b>Tabla 4.87.</b> Resumen de investigación Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.	183



<b>Tabla 4.88.</b> Evaluación de la actualización de los estándares de emisión normativos para vehículos de carga pesada en Colombia.	184
<b>Tabla 4.89.</b> Resumen de la tesis Aislamiento e identificación de microorganismos en el aire como bioindicadores de la contaminación ambiental en zonas del área metropolitana del área de Bucaramanga.	192
<b>Tabla 4.90.</b> Resumen de la tesis Evaluación de factores de riesgo ambiental relacionados con la vivienda que inciden en la presencia de enfermedad diarreica aguda e infección respiratoria aguda en el municipio de San Gil, Santander.	192
<b>Tabla 4.91.</b> Resumen artículo Promedios geométricos de material particulado fracción respirable (PM <sub>10</sub> ) y detección de metales en el aire de Bucaramanga.	193
<b>Tabla 4.92.</b> Resumen de investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT.	193
<b>Tabla 4.93.</b> Resumen de proyecto de investigación de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de poblaciones sensibles con el propósito de determinar alertas epidemiológicas-ambientales y orientar los planes de mejoramiento de la calidad del aire a mediano y largo plazo en la ciudad de Bucaramanga.	194
<b>Tabla 4.94.</b> Resumen de artículo Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel.	197
<b>Tabla 4.95.</b> Resumen del artículo Prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma y asociación con contaminación atmosférica en preescolares de Bucaramanga, Colombia.	198
<b>Tabla 4.96.</b> Resumen de artículo Contaminación biológica intradomiciliaria y su relación con síntomas respiratorios indicativos de asma bronquial en preescolares de Bucaramanga, Colombia.	198
<b>Tabla 4.97.</b> Resumen del artículo Efectos de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de población susceptible: un estudio multinivel en Bucaramanga, Colombia.	199
<b>Tabla 4.98.</b> Monitoreo de Material Particulado fracción respirable (PM <sub>2.5</sub> ) en Pamplona, Colombia.	199
<b>Tabla 4.99.</b> Resumen del artículo Caracterización fisicoquímica del material particulado-fracción respirable PM <sub>2.5</sub> en Pamplona-Norte de Santander-Colombia.	200
<b>Tabla 4.100.</b> Resumen de artículo Actividad mutagénica y genotóxica en el material particulado fracción respirable MP <sub>2.5</sub> en Pamplona, Norte de Santander, Colombia.	200

<b>Tabla 4.101.</b> Resumen de tesis, compilación y análisis sobre contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar; <i>saccharum officinarum</i> L, en el valle geográfico del río Cauca.	208
<b>Tabla 4.102.</b> Resumen de artículo Estimación no-paramétrica de curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> en Santiago de Cali.	208
<b>Tabla 4.103.</b> Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes puntuales en la zona Cali-Yumbo (Colombia).	209
<b>Tabla 4.104.</b> Resumen de artículo Análisis de series de tiempo univariante aplicando metodología de Box-Jenkins para la predicción de ozono en la ciudad de Cali, Colombia.	209
<b>Tabla 4.105.</b> Resumen de investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT.	210
<b>Tabla 4.106.</b> Resumen del artículo Modelación matemática de la relación PM <sub>10</sub> -enfermedades pulmonares en la Ciudad de Cali.	210
<b>Tabla 4.107.</b> Resumen del artículo Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia	211
<b>Tabla 4.108.</b> Abstract of PM <sub>2.5</sub> and Heavy Metals Outdoor Concentrations at a School Near to an Industrial Zone in Cali, Colombia	212
<b>Tabla 4.109.</b> Resumen de la tesis Evaluación del incremento en carbono orgánico (OC) y carbono elemental (EC) en el material particulado generado por quema de biomasa en el valle geográfico del río Cauca	212
<b>Tabla 4.110.</b> Abstract of Source apportionment of air pollution in an urban area influenced by local industries in Cali, Colombia.	213
<b>Tabla 4.111.</b> Abstract of Sources of indoor airborne cd and pb in a cohort of pregnant women in Cali, Colombia	213
<b>Tabla 4.112.</b> Resumen investigación Contaminación atmosférica y salud: estimación de una función dosis-respuesta para Cali	216
<b>Tabla 4.113.</b> Resumen del artículo La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?	216
<b>Tabla 4.114.</b> Resumen de la investigación Evaluación de los efectos sobre la salud debido a la contaminación del aire proveniente del sector industrial de ACOPI – Yumbo. Proyecto piloto en el municipio de Cali	217

<b>Tabla 4.115.</b> Resumen artículo Impacto de un botadero a cielo abierto en el desarrollo de síntomas respiratorios y en costos familiares de atención en salud de niños entre 1 y 5 años en Cali, Colombia.	219
<b>Tabla 4.116.</b> Abstract Respiratory Effects in Schoolchildren Exposed to Industrial Sources of Particulate Material (PM)	219
<b>Tabla 4.117.</b> Resumen del artículo Impacto de un sitio de disposición final de residuos sólidos en la salud respiratoria de los adultos mayores	220
<b>Tabla 4.118.</b> Abstract of Lead and cadmium exposure among a cohort of pregnant women in Cali-Colombia: the GEMA study	220
<b>Tabla 4.119.</b> Resumen de artículo Percepción del riesgo por emisiones atmosféricas provenientes de la disposición final de residuos sólidos	221
<b>Tabla 4.120.</b> Abstract of Association between particulate matter (PM), O <sub>3</sub> and NO <sub>x</sub> and emergency room (ER) visits and hospital admission for respiratory and cardiovascular diseases in Cali-Colombia	221
<b>Tabla 4.121.</b> Resumen de la investigación Efectos de la quema de Caña de Azúcar sobre la salud respiratoria de la población del valle geográfico del Rio Cauca	222
<b>Tabla 4.122.</b> Resumen de la investigación Prevalencia de enfermedad respiratoria en niños menores de 10 años residentes en seis municipios mineros del Cesar, Colombia, 2012.	227
<b>Tabla 4.123.</b> Abstract of Assessment of DNA damage in coal open-cast mining workers using the cytokinesis-blocked micronucleus test and the comet assay	229
<b>Tabla 4.124.</b> Resumen de la tesis Determinación de la toxicidad aguda (CL50) del extracto de polvillo de carbón frente a larvas de <i>artemia franciscana</i> .	230
<b>Tabla 5.1.</b> Número de casos de intoxicaciones agudas descritos en la ciudad de Cartagena para los años 2009 y 2010	233
<b>Tabla 5.2.</b> Casos de intoxicación con sustancias tóxicas que ocasionaron la muerte en Colombia (2010)	233
<b>Tabla 5.3.</b> Valores de referencia para Hg de acuerdo a la WHO, EPA, OSHA y FDA	235
<b>Tabla 5.4.</b> Distritos de minería de oro en Colombia 2005	236

<b>Tabla 5.5.</b> Evaluación de mercurio (ng/ml) en aguas del río Cauca según punto de monitoreo 1995-2008.	239
<b>Tabla 5.6.</b> Análisis de Mercurio total en sedimentos del río Cauca.	239
<b>Tabla 5.7.</b> Concentraciones de Mercurio halladas en muestras del río Cauca.	240
<b>Tabla 5.8.</b> Concentración de mercurio en peces en Colombia.	242
<b>Tabla 5.9.</b> Valores de mercurio en muestras de cabello y sangre en Colombia	244
<b>Tabla 5.10.</b> Actividades de alto riesgo de exposición al plomo	249
<b>Tabla 5.11.</b> Valores permitidos para plomo en las diferentes matrices de análisis	251
<b>Tabla 5.12.</b> Concentraciones totales de plomo por cada punto de muestreo 1995-2008	252
<b>Tabla 5.13.</b> Análisis de Plomo total en sedimentos	253
<b>Tabla 5.14.</b> Niveles de plomo en sangre de la población del embalse de Muña de acuerdo a su zona de residencia respecto al embalse	257
<b>Tabla 5.15.</b> Prevalencia de síntomas detectados en poblaciones expuestas a plomo	257
<b>Tabla 5.16.</b> Límites aceptados para la exposición a cadmio	260
<b>Tabla 5.17.</b> Cadmio en aguas del río Cauca según punto de monitoreo 1995-2008	263
<b>Tabla 5.18.</b> Concentraciones totales de Cadmio por cada punto de muestreo 1995-2008	263
<b>Tabla 5.19.</b> Cromo (ppb) en aguas del río Cauca según punto de monitoreo 1995-2008	265
<b>Tabla 5.20.</b> Concentración de Cr <sup>VI</sup> en los sedimentos del río Cauca	265
<b>Tabla 5.21.</b> Organoclorados presentes en alimentos provenientes de expendios en Santiago de Cali, 1973	272
<b>Tabla 5.22.</b> Organoclorados en agua de Bucaramanga y Piedecuesta, 2001.	272

<b>Tabla 5.23.</b> Concentraciones de algunos organoclorados (ppb) en sangre de campesinos (n=42) del Calle del Cauca, 1980	273
<b>Tabla 5.24.</b> Concentraciones (ppb) de aldrin y DDT en sangre en seis grupos poblacionales colombianos, 1980	274
<b>Tabla 5.25.</b> Concentraciones (ng/l) de plaguicidas organoclorados en suero de individuos residentes en regiones con cultivos ilícitos	274
<b>Tabla 5.26.</b> Concentraciones de piretroides en leche materna de mujeres colombianas (n= 27)	275
<b>Tabla 5.27.</b> Resultados del Programa de vigilancia epidemiológica de plaguicidas organofosforados y carbamatos (VEO)	277
<b>Tabla 5.28.</b> Intoxicaciones masivas con alimentos contaminados con plaguicidas organofosforados ocurridas en Colombia	278
<b>Tabla 5.29.</b> Niveles de exposición a glifosato y ácido amino-metil-fosfónico en orina en individuos residentes en zonas con fumigación con glifosato	280
<b>Tabla 5.30.</b> Resultados de pruebas citogenéticas entre individuos expuestos y no expuestos a plaguicidas en cultivos de papa, en el departamento del Cauca	281
<b>Tabla 5.31.</b> Resultados de pruebas citogenéticas entre individuos expuestos y no expuestos a plaguicidas en cultivos de papa, en el departamento del Cauca	282
<b>Tabla 5.32.</b> Resultados de la prueba del cometa entre individuos expuestos y no expuestos a plaguicidas en la agricultura (cultivos de papa y cebolla) y floricultura	282
<b>Tabla 5.33.</b> Asociación (odds ratios) entre eventos reproductivos y exposiciones en la floricultura (embarazos antes vs después del ingreso al trabajo)	283
<b>Tabla 5.34.</b> Incidencia (por 1000 años/persona) de diagnósticos relacionados con la exposición al asbesto entre trabajadores de una empresa colombiana de cemento-asbesto.	285

<b>Tabla 5.35.</b> Consultas y mortalidad por mesotelioma en Colombia (2009-2011)	287
<b>Tabla 5.36.</b> Lugares donde se extrae carbón en Colombia (tercer trimestre, 2012)	288
<b>Tabla 5.37.</b> Resultados de pruebas citogenéticas entre individuos expuestos y no expuestos a residuos del carbón, el Cerrejón	289
<b>Tabla 5.38.</b> Lugares donde se extraen minerales preciosos (oro, plata o platino) en Colombia (tercer trimestre, 2012)	289
<b>Tabla 6.1.</b> Cobertura de red celular por departamento y municipios con antena	294
<b>Tabla 6.2.</b> Rangos de frecuencias y su clasificación por tipos de servicios	295
<b>Tabla 6.3.</b> Mediciones eléctricas, magnéticas y electromagnéticas y sus unidades correspondientes	296
<b>Tabla 6.4.</b> Límites máximos de exposición según frecuencia de operación	300
<b>Tabla 6.5.</b> Individuos que reportan que su vivienda se encuentra cerca de una línea de alta tensión (LAT)	302
<b>Tabla 6.6.</b> Tenencia de electrodomésticos generadores de REM-NI	302
<b>Tabla 6.7.</b> Tenencia de teléfonos celulares en Colombia	303
<b>Tabla 6.8.</b> Distribución de antenas de telefonía móvil por departamento y ciudad	305
<b>Tabla 6.9.</b> Clasificación de las radiaciones ultravioleta.	306
<b>Tabla 6.10.</b> Índice UV y su correspondiente riesgo de exposición	306
<b>Tabla 6.11.</b> Casos de muerte por leucemias en Colombia durante 2009 y 2010.	312
<b>Tabla 6.12.</b> Consultas por leucemias en Colombia durante 2009 y 2010.	313
<b>Tabla 6.13.</b> Casos de muerte por melanoma y otros tumores malignos de la piel en Colombia durante 2009 y 2010.	317
<b>Tabla 6.14.</b> Consultas por enfermedades asociadas con la exposición a RUV en Colombia durante 2010 y 2011	318

**Tabla 7.1.** Perfiles de salud ambiental en las diversas regiones del país. 321

**Tabla 7.2.** Mortalidad en Colombia por enfermedades asociadas con agentes ambientales (2010). 322

## FIGURAS

**Figura 1.1** Las enfermedades ambientales y ocupacionales en el contexto del sistema de salud colombiano 34

**Figura 2.1** Consolidado de cantidades de residuos (toneladas) dispuestos diariamente en Colombia 47

**Figura 2.2.** Sistemas de disposición final 2005 – 2010 49

**Figura 2.3** Generación de Residuos Peligrosos en Colombia en Toneladas 52

**Figura 2.4.** Principales corrientes de RESPEL generados en los años 2009 a 2011. 53

**Figura 2.5.** Principales actividades económicas generadora de RESPEL en Colombia. 54

**Figura 2.6.** Distribución sistemas de disposición final año 2011 58

**Figura 2.7.** Modo de eliminación de basuras en el hogar 2010 / 2011. 61

**Figura 2.8.** Los 10 diagnósticos más frecuentes en los 2.341 recicladores que acudieron durante 1993. 63

**Figura 2.9.** Los 10 diagnósticos más frecuentes de recicladores que acudieron durante 1993 64

**Figura 3.1.** Cuencas vertientes y cuencas hidrográficas. Colombia, 2002 70

**Figura 3.2.** Calidad del agua a nivel Nacional. 91

**Figura 4.1.** Concentración promedio de PM<sub>10</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA del AMVA 112

<b>Figura 4.2.</b> Concentración promedio Anual de $PM_{10}$ en las estaciones del SVCA del AMVA	113
<b>Figura 4.3.</b> Concentración promedio $O_3$ (horario) en las estaciones del SVCA del AMVA	114
<b>Figura 4.4.</b> Concentración promedio de $PM_{10}$ (24 horas) en las estaciones del SVCA de CORPOCALDAS	138
<b>Figura 4.5.</b> Concentración promedio de $PM_{10}$ (24 horas) en las estaciones del SVCA de CARDER	141
<b>Figura 4.6.</b> Concentración promedio Anual de PST en las estaciones del SVCA de CORPAMAG	144
<b>Figura 4.7.</b> Concentración promedio Anual de $PM_{10}$ en las estaciones del SVCA de CORPAMAG	144
<b>Figura 4.8.</b> Concentración promedio de $PM_{10}$ (24 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA	153
<b>Figura 4.9.</b> Concentración promedio anual de $PM_{10}$ en las estaciones del SVCA de la SDA	153
<b>Figura 4.10.</b> Concentración promedio de $NO_2$ (Horario) en las estaciones del SVCA de la SDA	154
<b>Figura 4.11.</b> Concentración promedio de $NO_2$ (24 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA	155
<b>Figura 4.12.</b> Concentración promedio anual de $NO_2$ en las estaciones del SVCA de la SDA	155
<b>Figura 4.13.</b> Concentración promedio de $SO_2$ (3 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA	156
<b>Figura 4.14.</b> Concentración promedio de $SO_2$ (24 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA	156
<b>Figura 4.15.</b> Concentración promedio anual de $SO_2$ en las estaciones del SVCA de la SDA	157



<b>Figura 4.16.</b> Concentración promedio de CO (8 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA	158
<b>Figuras 4.17.</b> Concentración promedio de O <sub>3</sub> (horario) en las estaciones del SVCA de la SDA	158
<b>Figura 4.18.</b> Concentración promedio de O <sub>3</sub> (8 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA	159
<b>Figura 4.19.</b> Concentración promedio de PM <sub>10</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB	186
<b>Figura 4.20.</b> Concentración promedio anual de PM <sub>10</sub> en las estaciones del SVCA de la CDMB	186
<b>Figura 4.21.</b> Concentración promedio de NO <sub>2</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB	187
<b>Figura 4.22.</b> Concentración promedio anual de NO <sub>2</sub> en las estaciones del SVCA de la CDMB	187
<b>Figura 4.23.</b> Concentración promedio de SO <sub>2</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB	188
<b>Figura 4.24.</b> Concentración promedio de SO <sub>2</sub> (3 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB	188
<b>Figura 4.25.</b> Concentración promedio anual de SO <sub>2</sub> en las estaciones del SVCA de la CDMB	189
<b>Figura 4.26.</b> Concentración promedio anual de CO (8 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB	189
<b>Figura 4.27.</b> Concentración promedio anual de CO (Horario) en las estaciones del SVCA de la CDMB	190
<b>Figura 4.28.</b> Concentración promedio de O <sub>3</sub> (horario) en las estaciones del SVCA de la CDMB	190
<b>Figura 4.29.</b> Concentración promedio de O <sub>3</sub> (8 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB	191

<b>Figura 4.30.</b> Concentración promedio de $PM_{10}$ (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC	201
<b>Figura 4.31.</b> Concentración promedio anual de $PM_{10}$ en las estaciones del SVCA de la CVC	201
<b>Figura 4.32.</b> Concentración promedio de $NO_2$ (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC	202
<b>Figura 4.33.</b> Concentración promedio de $NO_2$ (Horario) en las estaciones del SVCA de la CVC	202
<b>Figura 4.34.</b> Concentración promedio anual de $NO_2$ en las estaciones del SVCA de la CVC	203
<b>Figura 4.35.</b> Concentración promedio de $SO_2$ (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC	203
<b>Figura 4.36.</b> Concentración promedio de $SO_2$ (3 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC	204
<b>Figura 4.37.</b> Concentración promedio anual de $SO_2$ en las estaciones del SVCA de la CVC	204
<b>Figura 4.38.</b> Concentración promedio de CO (8 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC	205
<b>Figura 4.39.</b> Concentración promedio de $O_3$ (8 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC	205
<b>Figura 4.40.</b> Concentración promedio de $O_3$ (Horario) en las estaciones del SVCA de la CVC	206
<b>Figura 4.41.</b> Concentración promedio de PST (24 horas) en las estaciones del SVCA de CORPOCESAR	224
<b>Figura 4.42.</b> Concentración promedio anual de PST en las estaciones del SVCA de CORPOCESAR	224
<b>Figura 4.43.</b> Concentración promedio de $PM_{10}$ (24 horas) en las estaciones del SVCA de CORPOCESAR	225

<b>Figura 4.44.</b> Concentración promedio anual de PM <sub>10</sub> en las estaciones del SVCA de CORPOCESAR	225
<b>Figura 5.1.</b> Distribución de las intoxicaciones agudas según sustancia tóxica causal.	232
<b>Figura 5.2.</b> Distribución de las intoxicaciones agudas, 2011	232
<b>Figura 5.3.</b> Mapa de niveles de mercurio en sedimento, Colombia	238
<b>Figura 5.4.</b> Concentraciones de mercurio en suelos de parques del área metropolitana de Bucaramanga	240
<b>Figura 5.5.</b> Distribución de los trabajadores con riesgo de exposición al plomo afiliado a ARP en Colombia, según actividad laboral	250
<b>Figura 5.6.</b> Plomo en suelo y sedimento (mg/kg) de los ríos Tunjuelo y Chicú, 2011	251
<b>Figura 5.7.</b> Plomo en agua (mg/L) de los ríos Tunjuelo y Chicú, 2011	252
<b>Figura 5.8.</b> Niveles de movilización de plomo en los ríos colombianos	254
<b>Figura 5.9.</b> Niveles de plomo en aire (mg/m <sup>3</sup> ) en diferentes contextos de producción y reciclaje de baterías en Bogotá	255
<b>Figura 5.10.</b> Actividades relacionadas con la contaminación ambiental por cadmio	259
<b>Figura 5.11.</b> Cadmio en suelo y sedimento (mg/kg) de los ríos Tunjuelo y Chicú 2011	260

<b>Figura 5.12.</b> Niveles de movilización de cadmio en algunos ríos colombianos.	261
<b>Figura 5.13.</b> Regiones de Colombia con presencia de Arsenopirita	262
<b>Figura 5.14</b> prevalencia de fluorosis en Colombia durante los últimos años, la región y año de presentación	267
<b>Figura 5.15</b> prevalencia de fluorosis en Colombia durante los últimos años, la región y año de presentación.	270
<b>Figura 5.16.</b> Casos de intoxicación por plaguicidas reportados en el SIVIGILA (Colombia 2007-2011)	279
<b>Figura 6.1.</b> Espectro electromagnético.	292
<b>Figura 6.2.</b> Mapa de radiación ultravioleta en Colombia.	308
<b>Figura 6.3.</b> Mapa del Índice UV multianual promedio de Colombia.	309

## 1. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGIA

La estrecha relación entre el ambiente físico y la salud humana ha sido reconocida desde tiempos remotos, siendo los documentos antiguos más conocidos los escritos hipocráticos "Aires, aguas y lugares" escritos hace aproximadamente 23 siglos (Hipócrates, sf; citado en Buck et al., 1991). Sin embargo, en épocas más recientes el desarrollo agrícola y su relación con el proceso de urbanización y la Revolución Industrial, han sido algunos de los hechos que más han modificado las relaciones entre el ambiente y la salud (Barret R, Kuzawa C, McDade T, & Armelagos G, 1998). Actualmente las condiciones sociales, culturales, económicas y de productividad han hecho que la relación ambiente-salud sea más compleja, requiriendo abordajes que integren el ambiente físico y el social (Idrovo, 2011b). Uno de éstos, descrito por Donohoe (2003) sirvió de marco conceptual a este informe; éste indica que la acción conjunta de la degradación ambiental y la injusticia social son los determinantes más importantes de la salud humana, teniendo entre sus manifestaciones el crecimiento poblacional, la contaminación del agua y del aire, la deforestación, el calentamiento global, las prácticas agrícolas y de pesca no sostenibles, el exagerado consumo de bienes, la desigualdad en el ingreso, las crisis económicas, la militarización y las guerras (Donohoe, 2003). Algunas de estas manifestaciones tienen impacto generalizado en el país, y pueden ser exploradas mediante comparaciones internacionales, y otras tienen impacto específico en zonas más delimitadas; estas últimas serán las que mayoritariamente son descritas en este informe.

Si bien desde finales del siglo XIX se ha postulado, cada vez con mayor insistencia, que el deterioro de los ecosistemas tiene como resultado un detrimento del bienestar de la humanidad, esto aún no ha sido completamente esclarecido debido a que existe evidencia contraria (World Health Organization, 2005a; Raudsepp et al., 2010). Según algunas evaluaciones empíricas recientes, el bienestar depende en una alta proporción de la disponibilidad de alimentos, la cual puede ser aumentada con la tecnología disponible; por otro lado, el deterioro ambiental sólo tendrá impactos negativos sobre el bienestar largo plazo (Raudsepp et al, 2010). Por ello, tener evidencia sobre el deterioro ambiental que ocurre en el país y tiene impacto sobre la salud humana resulta una prioridad nacional para tomar adecuadas decisiones.

## 1.1. Colombia en el contexto mundial

Colombia es un país privilegiado en su ubicación geográfica, con diversos climas gracias a las diferentes altitudes en una región cercana al paralelo del Ecuador, rico en recursos hídricos, minerales y biodiversidad (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2012). Esta riqueza ha podido ser cuantificada con indicadores del desempeño ambiental, como el *Environmental Sustainability Index* (ESI) y el *Environmental Performance Index* (EPI) de la Universidad de Yale que, además, han ayudado a los tomadores de decisiones sobre las acciones prioritarias a seguir. El EPI es un indicador que tiene gran importancia para la salud ambiental, ya que por primera vez la incorpora con un peso porcentual (50% en el informe de 2010 y 30% en el informe de 2012) junto al componente de vitalidad del ecosistema (Emerson et al, 2012).

Según el último informe disponible de 2012 el indicador EPI global para el país es de 62.3, lo que lo ubica en la posición 27 a nivel mundial (132 países incluidos en el análisis), y segundo entre todos los países americanos, después de Costa Rica. Sin embargo, al evaluar los dos elementos principales se observa que su desempeño no es óptimo en salud ambiental, donde obtiene un puntaje de 55.5, lo que lo ubica en la posición 86 a nivel mundial. Esto contrasta con la riqueza ambiental, evidente en el indicador de vitalidad del ecosistema, donde obtiene un puntaje de 65.2 y ocupa la posición 11 entre todos los países (Emerson et al, 2012). En la siguiente tabla se resumen los indicadores que conforman cada uno de los dos elementos principales:

**Tabla 1.1.** Indicadores que permiten la construcción del Índice de Desempeño Ambiental (EPI) para Colombia en 2012.

<b>Salud ambiental</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Posición</b>
Efectos de la contaminación atmosférica	64.7	72
Efectos de la contaminación hídrica	39.2	87
Carga de la enfermedad asociada al ambiente	59.2	88
<b>Vitalidad del ecosistema</b>		
Recursos hídricos	53.4	12
Cambio climático	72.8	16
Efectos de la contaminación atmosférica	61.1	25
Biodiversidad y hábitat	84.4	28
Pesca	30.3	38
Agricultura	46.9	82
Bosques	62.2	96

**Nota:** Fuente: Emerson JW, Hsu A, Levy MA, De Sherbinin A, et al. Environmental Performance Index and pilot trend environmental performance index. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy;2012:1-98.

Este mismo indicador ha permitido evaluar la tendencia temporal en la última década, permitiendo concluir que Colombia ha mejorado en su desempeño ambiental. Solo cuatro países del continente americano, Nicaragua, México, Brasil y Guatemala, han tenido mejor desempeño que Colombia (Emerson et al, 2012).

De acuerdo con algunas estimaciones mundiales, para 1990 el ambiente era responsable de 25-33% del total de la carga de la enfermedad, afectando principalmente a los menores de cinco años de edad (WHO, 1997). También se sabe que los países más pobres tienden a tener enfermedades relacionadas con el ambiente del hogar, los países de ingresos medios tienden a tener más problemas ambientales relacionados con el ambiente de la comunidad, y que la contaminación ambiental de los países ricos son los que más impacto tienen sobre el ambiente global (Smith et al, 1999). Estudios posteriores han confirmado que el ambiente sigue siendo una causa prioritaria de la carga de la enfermedad (Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Vander S, & Murray CJ, 2002) y que su disminución es posible dado que, por definición, son enfermedades evitables (Prüss & Corvalán, 2007) que conllevan un costo económico y social innecesario.

Al respecto, en Colombia hay dos análisis que han estimado los costos sociales y económicos del daño ambiental, dados por contaminación del aire urbano, contaminación de agua, sanidad e higiene, contaminación atmosférica intramuros, degradación de las tierras para la agricultura, desastres naturales y accidentes viales. En el primero de estos estudios (Larsen, 2004) los hallazgos sugirieron que los mayores costos anuales promedio se encuentran para los accidentes viales, seguido por los relacionados con el agua, sanidad e higiene, desastres naturales, contaminación del aire urbano, degradación de las tierras agrícolas y, finalmente, la contaminación atmosférica intramuros. En todos estos casos, los costos más altos se deben a daños físicos, seguidos por la morbilidad generada y, con menor costo, la mortalidad asociada (Larsen, 2004).

El segundo análisis (Golub E & Sánchez G, 2012) se enfocó exclusivamente en los costos asociados con la contaminación atmosférica, intra y extramuros, y los problemas relacionados con el consumo de agua no potable y la inadecuada sanidad e higiene. Los resultados sugieren que los costos llegan al 2% de producto interno bruto nacional de 2009, siendo la mayor parte relacionada con la contaminación atmosférica, seguido de los costos por agua no potable e inadecuada sanidad e higiene; la contaminación intramuros, ocupó el último lugar, aunque incluye la mayor parte de costos asociados al uso de combustibles sólidos que generan humo (principalmente de leña). Estos hallazgos son debidos a que Colombia se caracteriza por ser altamente urbanizado, lo que conlleva a que un alto porcentaje de la población se encuentre expuesta a fuentes industriales y de vehículos automotores (Golub E & Sánchez, 2012).

De otro lado, se ha descrito que las enfermedades parasitarias e infecciosas tienen un gradiente latitudinal, caracterizado porque éstas se presentan más en la zona intertropical y su ocurrencia va disminuyendo cuando se aleja del Ecuador y se acerca a los polos. Esta tendencia tiene fuerte correlación con la biodiversidad observada entre seres de vida libre,

como mamíferos, herbívoros y angiospermas que también privilegia la zona intertropical. Estos interesantes hallazgos se observan para enfermedades por bacterias, virus, helmintos, protozoos, artrópodos, hongos, micro-parásitos y macro-parásitos (Guernier V, Hochberg ME, & Guégan JF, 2004). Sin embargo, la relación entre mayor biodiversidad en la región intertropical y salud humana no se limita a enfermedades infecciosas, sino que también se ha observado en otras, como la salud mental. Recientes hallazgos sugieren que la biodiversidad en regiones fuera de la región intertropical tiene un efecto positivo en enfermedades como la depresión, mientras que en la zona intertropical puede tener efectos contrarios debido a que no se tienen condiciones mínimas de calidad de vida (Idrovo, 2011b; Duarte & Idrovo, 2012), lo que conlleva nuevamente a la compleja interrelación entre el ambiente social y físico (Donohoe, 2003) y sus ambivalentes efectos sobre la salud humana.

Además de estos datos que privilegian el territorio en tierra firme, es importante recordar que el territorio colombiano incluye una importante superficie marítima, tanto en el océano Atlántico como en el Pacífico. Al respecto, el nuevo indicador *Ocean Health Index* (OHI) (Hallen et al, 2012) permitió calificar a Colombia con un puntaje de 52, lo que ubica al país en el puesto 94 entre 171 países y territorios de todo el mundo. Este indicador resume 10 objetivos públicos que representan un amplio rango de beneficios que un océano saludable provee a la gente, como se señala a continuación:

**Tabla 1.2** Indicadores que permiten la construcción del Índice de Salud Oceánica (OHI) (EPI) para Colombia en 2012.

<b>Objetivo</b>	<b>Puntaje de Colombia</b>	<b>Puntaje promedio Mundial</b>
Oportunidad de pesca artesanal	85	87
Medios de vida y economías costeras	69	75
Biodiversidad	68	83
Aguas limpias	67	78
Protección costera	66	73
Almacenamiento de carbono	51	75
Sentido de lugar	48	55
Productos naturales	47	40
Provisión de alimentos	16	24
Turismo y recreación	0	10

**Nota:**Fuente: Halpern BS, Longo C, Hardy D, et al. An index to assess the health and benefits of the global ocean. Nature; Recuperado de: <http://www.oceanhealthindex.org/Countries/Colombia/> :2012;488:615-622.

Como se puede apreciar, Colombia en todos los indicadores está por debajo del puntaje mundial, excepto para el caso de los productos naturales. Esto quiere decir que hay



extracción sostenible de recursos no alimentarios del océano (excluyendo petróleo, gas y otros productos mineros, así como medicinas o genes) (Halpern et al, 2012). El resto de objetivos son un área de oportunidad para mejorar el desempeño ambiental nacional.

## **1.2. El dilema de la enfermedad ocupacional y ambiental en Colombia**

Una de las evidencias más claras de los efectos negativos sobre la salud humana relacionados con el deterioro ambiental son las enfermedades ambientales. Caracterizar una enfermedad como asociada con el ambiente resulta crucial ya que visibiliza la posibilidad de prevenirla con acciones sobre el ambiente y no sobre los individuos o las poblaciones. Esto resulta fundamental dado el énfasis en cambios conductuales personales que guían gran parte de las políticas nacionales e internacionales en salud (Raphael et al, 2008).

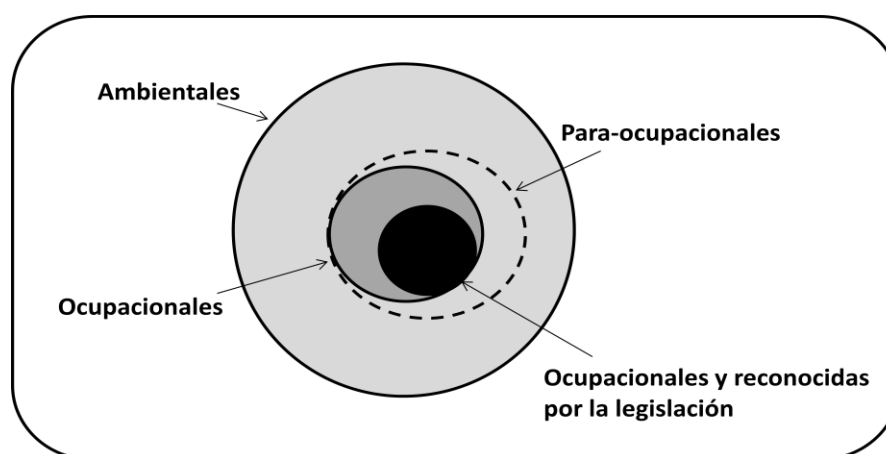
Desde la perspectiva de la salud ambiental es posible clasificar enfermedades de origen ocupacional y de origen extra-ocupacional (o del ambiente general), siendo las primeras caracterizadas por ocurrir luego de la exposición a agentes ambientales presentes en el trabajo. Si bien, este informe tuvo como objetivo caracterizar las enfermedades asociadas con el ambiente general, en muchos casos en Colombia no es claro cuándo una enfermedad es ocupacional o ambiental. Esto ha sido evidenciado al comparar la ocurrencia esperada de enfermedades ocupacionales (Idrovo, 2003) con los reportes oficiales de su ocurrencia (Ministerio de Salud y Protección Social, 2004), que sólo incluyen una mínima proporción del total esperado, incluso en estudios específicos sobre el tema (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007).

La definición de enfermedad de origen ocupacional en Colombia no depende exclusivamente de la relación con la actividad laboral, sino que debe cumplir unos requisitos explícitos en la Ley 1562 de 2012, que involucran la inclusión del trabajador en el Sistema General de Riesgos Laborales (SGRL). Dada la alta proporción de trabajo informal en el país, evidenciada en las mediciones del empleo informal y seguridad social que hace el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), que suele estar fuera del SGRL, resulta importante que estas enfermedades sean incluidas como ambientales para que se mantenga así su condición de prevenible mediante acciones en el ambiente y no se considere enfermedad general cuya prevención puede depender de modificaciones personales, como son los cambios conductuales.

En la figura 1.1 se encuentra resumida la aproximación asumida en este informe. Como se puede apreciar, las enfermedades ambientales intentan delimitar las enfermedades que privilegian los factores de riesgo ambientales sobre otro tipo de factores de riesgo; en algunos casos esta delimitación es relativamente simple, pero para la mayoría de las enfermedades el origen es multicausal. En estos casos deben entenderse como aquellas donde el ambiente físico tiene un papel preponderante sobre otros factores de riesgo. Un grupo especial de las enfermedades ambientales corresponde a las enfermedades ocupacionales, las cuales se relacionan con trabajos específicos y un grupo intermedio es el

de las enfermedades para-ocupacionales que son enfermedades de origen ocupacional que ocurren en individuos allegados a los trabajadores (v.gr. familiares) y que implican alguna forma de diseminación del agente ambiental más allá del contexto laboral (Méndez M, et al, 2010). Esto es algo relativamente frecuente en ambientes de trabajo informal. Este informe no hace énfasis en las enfermedades ocupacionales reconocidas por el SGRL colombiano, y sólo fueron incluidos algunos casos en los cuales se presentan en ambientes de trabajo informal.

**Figura 1.1.** Las enfermedades ambientales y ocupacionales en el contexto del sistema de salud colombiano.



**Fuente:** El autor.

Esta diferenciación entre las enfermedades según su origen resulta importante para el país dada su organización sectorial. Las enfermedades de origen ocupacional, y reconocidas legalmente como tales, son responsabilidad primaria del Ministerio del Trabajo, y todas las demás son responsabilidad del Ministerio de Salud y Protección Social. Sin embargo, dado que la característica más importante de las enfermedades ambientales y ocupacionales son su potencial prevención en la fuente que origina la contaminación, en ese sentido también son responsabilidad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Este tipo de división sectorial puede hacer que el sector informal de la economía se visibilice, por lo cual resulta en un reto muy importante para la salud ambiental y ocupacional en Colombia.

### 1.3. Poblaciones vulnerables y justicia ambiental

La estrecha relación entre la salud humana y el ambiente se manifiesta más frecuentemente en poblaciones que por características particulares, se encuentran en una situación de vulnerabilidad o susceptibilidad. Cuando fue posible, en este informe se presentan datos específicos para estas poblaciones. La vulnerabilidad, en el contexto de la

salud ambiental, puede entenderse como la característica de un sujeto de poder ser lesionado y de no tener la capacidad de defenderse. Algunas poblaciones han tenido especial atención en salud ambiental, y fueron tenidas en cuenta en este informe, como los menores de edad, las mujeres en edad reproductiva y los más pobres de las sociedades.

Los menores de edad han sido reconocidos como uno de los grupos que más se ven afectados por la contaminación ambiental (Landrigan et al, 2004). Ellos pueden exponerse desde la etapa prenatal por exposiciones de la madre, luego mediante la lactancia materna y, después a los agentes presentes en el suelo, aire, agua y alimentos (Mukerjee, 1999). La susceptibilidad de los menores es superior a la de los adultos; esto es debido al estadio de desarrollo en que se encuentran sus órganos y, en especial, al menor desarrollo del sistema inmunológico. Por ejemplo, suelen ser más susceptibles a los efectos de agentes neurotóxicos debido a que la barrera hemato-encefálica y la mielinización cerebral no ha llegado a su pleno desarrollo (Grandjean & Landrigan, 2006). En relación con su peso corporal, los menores de edad tienen una mayor tasa inhalatoria, y su ingesta de agua y leche, suelen ser superiores a las de los adultos (Mukerjee, 1999).

Las mujeres también son un grupo susceptible a las noxas ambientales (Wasserman, 1999; Gochfeld, 2007) tanto por condiciones biológicas (sexo) como por diferencias socioculturales con los hombres (género). Hay evidencias recientes que indican que existe una interrelación entre la genética, las relaciones de género y el ambiente que explican los diferenciales en exposición y efectos asociados con agentes ambientales (Ordovas, 2007). Por ejemplo, las manifestaciones tóxicas de los metales pesados diferenciales entre hombres y mujeres tienen explicaciones relacionadas al sexo y el género. Las mujeres presentan más alergias y eczemas por níquel; retienen más cadmio, por lo que presentan más severidad de enfermedad de itai-itai; movilizan plomo acumulado en hueso durante el embarazo y la menopausia incrementando los niveles séricos, y son más proclives a efectos inmunotóxicos del plomo. Los hombres tienden a tener mayores concentraciones de plomo y más susceptibles a evidenciar los efectos neurotóxicos (Vahter et al, 2007).

De otro lado, la población más pobre generalmente se expone a más factores ambientales (Rauh et al, 2008); este hecho puede explicarse desde las nociones de justicia ambiental. Por justicia ambiental se hace referencia a un conjunto de conocimientos interdisciplinarios procedentes de las ciencias sociales que enlazan de manera coherente marcos conceptuales del ambiente, ecología política, teorías de justicia, legislación ambiental, gobernanza, política y planeación ambiental, desarrollo, sustentabilidad, entre otras (Schlosberg, 2007). En diversos estudios alrededor del mundo, el marco de la justicia ambiental ha permitido entender mejor la intrincada relación entre contaminación ambiental y pobreza como determinante importante de la salud infantil (Cureton, 2011), la importancia que tienen las mujeres para promover la justicia ambiental y social (Gute et al, 2009), el adecuado manejo de la biodiversidad y la protección frente a la biopiratería (Mackey & Liang, 2012), así como sus interrelaciones con el cumplimiento de los Objetivos del Milenio promulgados por la Organización de Naciones Unidas (Mitra & Rodríguez, 2010). Este marco, como se verá más adelante, permitió comprender mejor, la forma en la cual el

deterioro ambiental junto a la vulnerabilidad social interactúan y se manifiestan con diferentes impactos en las diversas regiones del país.

#### **1.4. Objetivo del informe**

Elaborar un diagnóstico en salud ambiental con base en información secundaria disponible acerca de las condiciones ambientales que influyen en el perfil de morbimortalidad de la población colombiana, como base para la formulación de la Política Nacional de Salud Ambiental de acuerdo con en el documento Conpes 3550.

#### **1.5. Metodología**

Este primer diagnóstico nacional enfatiza en la contaminación hídrica, la contaminación atmosférica, las radiaciones no ionizantes, los residuos sólidos y peligrosos, y las sustancias tóxicas. Estas temáticas fueron seleccionadas conjuntamente entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y el equipo de la Fundación Cardiovascular de Colombia, con el objetivo de complementar la información que ya se encuentra de alguna manera disponible, para otros temas ambientales; al mismo tiempo se buscó cumplir con la solicitud del documento Conpes 3550 para la formulación de la Política Nacional de Salud Ambiental.

Este trabajo se realizó en el último bimestre de 2012, e incluyó las siguientes actividades:

1. Revisión de los artículos científicos publicados en revistas nacionales e internacionales sobre salud ambiental o niveles de contaminantes en Colombia.
2. Revisión de tesis de pregrado o posgrado sobre salud ambiental o niveles de contaminantes en Colombia.
3. Revisión de registros en Colombia de contaminantes y eventos en salud asociados con agentes ambientales.

Antes de explicar cada una de estas actividades, es necesario hacer explícitas algunas premisas que guiaron el informe, y que facilitan la comprensión del informe:

- La presencia de contaminantes ambientales no necesariamente se relaciona con una mayor ocurrencia de efectos adversos, como enfermedades. La multicausalidad es un atributo ubicuo de las enfermedades, y por tanto su ocurrencia requiere la presencia de un agente en dosis suficiente, susceptibilidad o vulnerabilidad de los individuos o poblaciones expuestas y, en algunos casos, contextos de desigualdad social que propician o facilitan la ocurrencia de la enfermedad.

- La importancia de las enfermedades ambientales radica en su potencial prevención mediante acciones en el ambiente; el hecho de ser o no frecuentes en los perfiles epidemiológicos no es una forma adecuada de valorar su importancia.
- El enfoque del informe es patogénico; es decir, hace énfasis en las enfermedades o daños a la salud humana. No fueron motivo de análisis los efectos benéficos (enfoque salutogénico) del ambiente sobre la salud humana (Antonovsky, 1979), ni tampoco se abordaron temáticas de psicología ambiental (Proshansky, 1987). Un diagnóstico más completo debería incorporar este componente complementario.
- La investigación científica, en general, pretende establecer asociaciones que sean generalizables a diferentes escenarios, y no solamente a la población que fue objeto directo del estudio. En este sentido, el hecho de que no se tengan estudios en todas las regiones del país no implica que no se pueda tener conocimiento (por lo menos limitado) de las problemáticas ambientales y de salud ambiental. Los estudios incluidos en el informe sirven, entonces, como ejemplos de situaciones que pueden estar ocurriendo en el lugar donde se hizo el estudio, pero también de otras regiones similares.

#### **1.5.1. Revisión de literatura relevante**

Las primeras tres actividades fueron realizadas en un mismo momento, usando para ello diversos buscadores en la red de internet y en las bibliotecas universitarias y de algunas instituciones especializadas. Es así como se buscaron estudios en las bases de datos de BioOne, CORE, Google Scholar, Lilacs, Medline, Open J-Gate, Scielo, Scirus o Web of Science. Los artículos así encontrados sirvieron para identificar otros estudios o documentos listados en sus referencias. Es importante aclarar que esta revisión no fue sistemática.

#### **1.5.2. Búsqueda en universidades**

La búsqueda de tesis en las universidades incluyó tres fases. En un primer momento se identificaron las universidades que cuentan con programas relacionados con salud ambiental; sobresalieron entre éstas los programas de pregrado en química, ingeniería ambiental y sanitaria, ingeniería química, ingeniería eléctrica, y posgrados en salud ambiental, toxicología, salud pública, salud ocupacional y epidemiología. Luego se realizó una búsqueda en la red de internet de la disponibilidad de consulta de trabajos de tesis, así como la posibilidad de acceso remoto.

Algunas universidades cuentan con acceso libre a través de bibliotecas virtuales y otras facilitaron el acceso, luego de solicitud explícita. En los casos en que fue posible el acceso remoto, éste se hizo directamente por el equipo consultor; en aquellos casos en que

no fue posible, pero que se pudo detectar que había tesis de interés para informe y estaban localizadas en Bogotá, Bucaramanga, Cali, Cartagena o Medellín se hicieron visitas presenciales; estas ciudades fueron seleccionadas por concentrar el mayor número de programas académicos que pueden abordar temáticas de salud ambiental. En todos los casos en que fue necesario se hicieron solicitudes explícitas de apoyo a la búsqueda a los bibliotecólogos encargados o funcionarios de las universidades, según fuese solicitado. Infortunadamente, un par de universidades donde se sabía hay investigación en salud ambiental no facilitaron el acceso a las tesis realizadas.

### **1.5.3. Revisión de registros nacionales**

Además de la revisión de estudios publicados se usó información descriptiva de algunos registros colombianos de contaminantes y eventos de salud asociados. A continuación se presenta una breve descripción de las fuentes de información y los análisis realizados, para cada tipo de registro:

#### **1.5.3.1. Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ENCV) 2010 y 2011.**

Las ENCV es una encuesta de carácter nacional realizada en Colombia con el fin de obtener información sobre las condiciones de vida, siguiendo las recomendaciones del Banco Mundial; su uso es libre después de registro ante el DANE. La representatividad de las encuestas de 2010 y 2011 son para el total nacional, para las regiones de Antioquia, Valle, Atlántico, Pacífica, Central y Oriental, para las cabecera municipales en Orinoquía-Amazonía, Bogotá D.C. y San Andrés. Adicionalmente para la ENCV de 2011 se tiene representatividad para los departamentos de Guajira, Córdoba, Boyacá, Cauca, Choco y Nariño. Los detalles metodológicos se encuentran disponibles en la página web del DANE.

Para los fines de este informe, las ENCV permitieron tener información sobre residuos sólidos, contaminación del agua para consumo humano, contaminación atmosférica intra-domiciliaria, uso de plaguicidas y cercanía de la vivienda a torres de alta tensión. Los métodos estadísticos incluyeron una descripción de las variables, mediante medidas de tendencia central y dispersión para las variables continuas y porcentajes para las variables categóricas. Se realizaron además múltiples tabulaciones cruzadas, algunas representadas gráficamente, con las variables edad, sexo, nivel socioeconómico y región geográfica; en los casos que fue posible se exploraron cambios entre los años 2010 y 2011.

#### **1.5.3.2. Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA)**

El SIVIGILA es un sistema de vigilancia creado para realizar la provisión en forma sistemática y oportuna, de información sobre la dinámica de los eventos que afectan o puedan afectar la salud de la población colombiana, sirviendo de insumo para diferentes

acciones en salud pública. El sistema cubre todo el territorio nacional, por lo cual se constituye en una fuente oficial confiable de los eventos bajo vigilancia. Uno de sus grupos de trabajo tiene a su cargo los factores de riesgo ambiental, donde se encuentran las intoxicaciones por sustancias químicas; de éstas fueron de interés en este informe las intoxicaciones por plaguicidas, metales pesados, solventes, monóxido de carbono y otros gases, y las producidas por otras sustancias químicas, que en total sumaron 39.127 casos de intoxicación.

Para los análisis aquí presentados, el Instituto Nacional de Salud facilitó los datos crudos de los años 2007 a 2011. Debe señalarse que entre los años 2007 a 2010 sólo se registraron casos de intoxicaciones con plaguicidas y en 2011 se amplió el registro de notificación en el sistema, para otras sustancias químicas. Para este análisis se describió el número de casos según año y departamento donde se presentaron. El uso de estos datos para este informe fue autorizado por el Comité de Propiedad Intelectual del Instituto Nacional de Salud.

#### **1.5.3.3. Redes de monitoreo de calidad del aire (SISAIRE)**

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) es la institución encargada de recopilar los datos de todas las redes de monitoreo atmosférico del país. Actualmente el IDEAM recopila los datos de las siguientes redes de monitoreo: AMBA, CAR, Carder, CDMB, Comare, Corpoboyacá, Corpomag, Corpocaldas, Corpoguajira - Cerrejón, Corponor, Cortolima, CRC, CRQ, CVC, DAGMA, Drummond, y SDA. Originalmente se consideró que el análisis estadístico de estos datos haría parte del diagnóstico, pero esto fue imposible de realizar dado que las bases de datos no tenían un formato estandarizado, estaban incompletas o no eran iguales a bases de datos obtenidas directamente de las redes de dos ciudades seleccionadas; dado el corto tiempo disponible no pudo realizarse esta importante actividad. Debido a ello, el reporte sobre las redes de monitoreo se basó en los informes publicados.

#### **1.5.3.4. Eventos centinela (consultas y mortalidad)**

Dada la relativa carencia de estudios en varios temas de salud ambiental y para brindar una panorámica más general de los que ya han sido explorados en el país, se determinó la ocurrencia de eventos centinela en salud ambiental en registros de mortalidad del DANE (2010 y 2011) y el Registro Individual de Prestación de Servicios de Salud (RIPs) del Ministerio de Salud y Protección Social (2009 y 2010). El concepto de evento centinela en salud ambiental parte de las definiciones de Rothwell y colaboradores (1991) en la que los eventos centinela tipo I son aquellos eventos que tienen clara especificidad, periodo de latencia corto y de fácil identificación; además, se caracterizan por tener, en general, baja ocurrencia. Los eventos centinela tipo II son los que presentan patrones inusuales de ocurrencia (v.gr. exceso de casos o patrones espacio-temporales).



En otras palabras, los eventos centinela tipo I son aquellos que tienden a tener una relación unicausal entre exposición y evento, mientras los tipo II son aquellos en los que los agentes ambientales son factores contribuyentes importantes (Rothman, 1976; Susser, 1991), todo esto dentro del marco de las causas suficientes y componentes, clásico dentro de la literatura epidemiológica (Parascandola & Weed, 2001). A continuación se encuentran los eventos seleccionados, que incorpora el listado inicial de dos artículos seminales sobre el tema (Rothwell et al., 1991; Shy, Greenberg & Winn, 1994) y al que se le incorporaron otros eventos, como se resume a continuación:

### **Eventos centinela tipo I**

- Intoxicaciones: (T51-T60, T65)
- Mesotelioma (C45, C45.0, C45.1, C45.2, C45.7, C45.9)
- Cáncer de células claras en vagina (C52)
- Angiosarcoma hepático (C22.3)
- Pubertad precoz (E30.1, E30.9)
- Metahemoglobinemia (D74.8, D74.9)
- Neuropatía tóxica (G62.2, G62.9)

### **Eventos centinela tipo II**

- Cáncer de vejiga (C23)
- Cáncer de bronquios y pulmón (C340, C341, C342, C343, C348, C349, D022)
- Cáncer hepático (D01.5) entre no bebedores
- Rabdiosarcoma (C49.9)
- Leucemia aguda (C91.0, C94.0, C94.2)
- Leucemia granulocítica aguda (C92.0)
- Asma infantil (J45, J46)
- Bronquitis (J40)
- Bronquitis crónica simple y mucopurulenta (J41)
- Bronquitis crónica no especificada (J42)
- Enfisema (J43)
- Otras enfermedades obstructivas crónicas (J44)
- Cólera (A00)
- Fiebre tifoidea o paratifoidea (A01)
- Otras infecciones por Salmonela (A02)
- Shigelosis (A03)
- Otras infecciones bacterianas intestinales (A06)
- Otras intoxicaciones alimentarias bacterianas (A05)
- Amebiasis (A06)
- Otras infecciones intestinales debidas a protozoarios (A07)
- Otras infecciones intestinales debidas a virus y otros organismos especificados (A08)
- Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso (A09)



- Hepatitis A (B15)
- Tracoma (A71)
- Esquistosomiasis (B65)
- Cataratas (H26.0, H26.8, H26.9)
- Melanoma (D03)
- Carcinoma basocelular (D04)
- Enfermedades respiratorias (J00-J06, J09-J18, J20-J22, J30-J39, J40-J47, J60-J70, J80-J84, J85-J86, J90-J94, J95-J99)
- Enfermedades cardiovasculares (I20-I25, I26-I28)
- Enfermedades cerebrovasculares (I60-I69)

Todas estas enfermedades fueron presentadas en cinco capítulos, correspondientes a manifestaciones diferentes de la contaminación ambiental: desechos sólidos y peligrosos, contaminación del agua, contaminación del aire, sustancias tóxicas y radiaciones no ionizantes. Si bien reconocemos el carácter multicausal de las enfermedades, con fines de no repetir en los capítulos mencionados se hizo énfasis en solo uno. De esta manera, por ejemplo, las enfermedades infecciosas en el capítulo de contaminación del agua, las enfermedades respiratorias y cardiovasculares en el capítulo de contaminación del aire, las intoxicaciones y mesoteliomas en el capítulo de sustancias tóxicas y las leucemias, neoplasias de la piel y cataratas en el capítulo de radiaciones no ionizantes.

## **1.6. Limitaciones del informe**

Algunas limitaciones son inherentes al presente trabajo de revisión documental, que es importante sean explícitas para los lectores. La principal limitación es el alcance; pese a tener la pretensión de ser un diagnóstico nacional de salud ambiental, el informe debe entenderse exclusivamente como una aproximación ya que no incluye todos los componentes ambientales que afectan la salud humana; entre estos temas de importancia, podemos mencionar el calentamiento global, el efecto invernadero, las radiaciones ionizantes y la biodiversidad, entre otros. Algunos de estos temas han sido objeto de estudio por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mientras otros aún son temas por desarrollar.

Otra de las limitaciones encontradas, fue el corto periodo de tiempo disponible, lo cual impidió revisar e incorporar algunos estudios realizados por investigadores de universidades ubicadas en ciudades que no fueron incluidas, no tienen acceso a sus trabajos a través de la red, o no se permitió el acceso al documento, para de esta manera ser analizadas. El tiempo reducido se vio adicionalmente afectado por el periodo de fin de año; algunas bibliotecas universitarias habían iniciado festividades que limitaron la atención al público. Incluso durante la visita a Medellín hubo protestas universitarias lo que dificultó la búsqueda de material bibliográfico relevante en la Universidad de Antioquia. En la

Universidad de Cartagena solo se permitió la extracción a mano de información, lo cual impidió la inclusión de algunas tesis dado la corta estancia disponible en la ciudad.

El informe, enfatizó en algunos de los contaminantes más conocidos a nivel nacional e internacional; de esta manera se excluyeron algunos contaminantes y agentes ambientales que no han sido de interés para los investigadores colombianos hasta el día de hoy. Por ejemplo, se detectó que la seleniosis (intoxicación por selenio) podría ser un problema en algunas regiones de Cundinamarca, Boyacá y Santander dada la evidencia de afección en animales, pero esta problemática no ha sido abordada en el caso de la salud humana. Para intentar solventar esta limitante, se analizaron registros del SIVIGILA y los RIPs, que permiten tener una panorámica de la ocurrencia de enfermedades potencialmente asociadas con problemas ambientales. En los casos en que fue posible se intentó explorar esta ocurrencia con la presencia de fuentes de contaminación en las mismas regiones o en las de su influencia; en estos casos debe entenderse esta exploración como un primer abordaje que requerirá estudios más específicos al respecto.

Si bien inicialmente se pretendió hacer una revisión sistemática, debido al breve tiempo disponible y a las limitaciones en algunas universidades para acceder a los documentos de tesis, se optó, entonces, por suponer que los estudios publicados en revistas revisadas por pares eran de mayor calidad y contenían información confiable y válida. Por ello el informe privilegia los artículos científicos sobre otras fuentes de información, aunque se reconoce que los libros, capítulos y tesis pueden tener también gran calidad científica. El uso complementario de datos provenientes de registros oficiales nacionales, tuvo como objeto tener una aproximación con datos oficiales de problemas que se vigilan dentro del sistema y de los cuales no se tienen estudios específicos con suficiente calidad metodológica, o cuyos datos permiten tener una visión más actualizada de la presentada en los estudios revisados.

En conclusión, este informe debe concebirse como una visión global y descriptiva de la salud ambiental en Colombia; no debe entenderse como un estudio profundo de temáticas específicas, sino más bien como la guía que permita compilar la información disponible, detectar las carencias de información y priorizar los problemas para la toma de decisiones políticas y el planteamiento de estrategias y acciones que posicionen el tema a nivel nacional, con la importancia e impacto que tiene sobre la carga de enfermedad en la población colombiana.

## **1.7. Reconocimientos**

Este Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental hubiese sido imposible sin los estudios realizados por diversos investigadores, profesores y estudiantes universitarios que han abordado diversas problemáticas. En especial, se reconoce el amplio apoyo recibido por el personal de las bibliotecas de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Universidad CES, Universidad de Antioquia, Universidad de La Salle, Universidad de Los Andes,

Universidad del Norte, Universidad del Rosario, Universidad del Valle, Universidad EAN, Universidad El Bosque, Universidad Industrial de Santander, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Pontificia Bolivariana, Universidad Santo Tomás y Universidad Tecnológica de Bolívar.

También colaboraron las siguientes instituciones gubernamentales:

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)  
Ministerio de Salud  
Instituto Nacional de Salud (INS)  
Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)  
Secretaría Distrital de Salud de Bogotá  
Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB)

Agradecemos igualmente a las dos instituciones mexicanas que facilitaron la participación de sus investigadores:

Instituto Nacional de Salud Pública (Mtra. Magali Hurtado)  
Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (Dr. Héctor Duarte Tagles)

Y a la doctora Brigith Yesenya Sierra Cano del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por su apoyo incondicional durante la ejecución de este informe.

Dado que el equipo consultor fue el que extrajo la información de los documentos consultados, la responsabilidad de lo que aquí se afirma es responsabilidad exclusiva del mismo equipo.

## 2. RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS

La urbanización, considerada como proceso de concentración de la población en un número reducido de núcleos es junto a la modernización de la sociedad y la industrialización, uno de los fenómenos sociales característicos del siglo XX; especialmente la urbanización a gran escala que, desde mediados de siglo, se expandió a todos los continentes a un ritmo desconocido hasta entonces. El vivo desarrollo urbano ocurrió primero en los países industrializados y luego se extendió por los países de menor desarrollo económico, impulsando la polarización de sus recursos en unos enclaves privilegiados y, al mismo tiempo, el desarrollo desigual y la diferenciación interna de sus territorios y sociedades (Panadero, 2001).

Un número creciente de personas están habitando las ciudades cada vez más grandes. Estas comunidades de alta densidad poblacional plantean un reto especial en cuanto a la generación de residuos sólidos (Gary, 1999), llegando actualmente a representar uno de los retos más sobresalientes para la sociedad en su relación con el ambiente. Se estima que en el planeta se generan alrededor de 1600 millones de toneladas anuales de residuos sólidos (Angulo et al., 2010), con repercusiones ambientales tales como emisiones de metano y dióxido de carbono (Qdais et al., 2010), olores ofensivos en los rellenos sanitarios, contaminación atmosférica y de recursos hídricos (UN, 2010).

Si bien es cierto que desde que el hombre ha existido como especie se han generado residuos, la dinámica social cambiante que nos ha acompañado a lo largo de los siglos ha ido de la mano con la creciente generación de todo tipo de residuos que debido a inapropiadas y/o inexistentes técnicas de tratamiento, reutilización, reciclaje y disposición final han repercutido en el deterioro del medio ambiente y por ende en la calidad de la salud del hombre (Acurio et al., 1998).

Según Tchobanoglous (1998), los residuos sólidos comprenden todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, de carácter sólido que son desechados como inútiles o superfluos. La tasa de producción de los residuos sólidos de los países desarrollados y de los países en desarrollo aumenta a un ritmo sin precedentes. Los desechos que produce una ciudad son directamente proporcionales a su riqueza; los desechos de poca densidad contienen grandes cantidades de envoltorios, plásticos y papel que producen las sociedades prósperas; los desechos de gran densidad, que contienen un gran porcentaje de humedad, los

producen sociedades menos prósperas, situación que es preponderante en la gestión de residuos sólidos urbanos. Debe recordarse que los distintos tipos de desechos requieren métodos de tratamiento y eliminación distintos (Winchester, 2006) para que tengan el menor impacto sobre el ambiente y la salud humana.

De esta manera, abordar el tema de la gestión de los residuos sólidos convencionales y peligrosos exige involucrar otros tópicos de la sociedad, para entender el problema que estos representan, identificando sus causas y consecuencias. Así, la gestión de los residuos sólidos debe entenderse como un conjunto articulado de acciones normativas, operativas, financieras y de planificación, basadas en criterios sanitarios, ambientales, sociales, políticos, técnicos, educativos, culturales, estéticos y económicos, para la generación, manejo, tratamiento y disposición final de esos residuos (Mandelli, 1997).

Las proporciones de la generación de residuos sólidos fueron adquiriendo una connotación mayúscula con el paso de los años, siendo la Revolución Industrial su principal detonante. Aumentó la cantidad y complejidad de los residuos sólidos que a diario se estaban generando, tendencia que se potencializó cada vez más con cada nación y/o región que se industrializaba, dentro del contexto social y económico que caracterizó el siglo pasado. Según Moreno & Salazar (2009) el capitalismo, como modelo de desarrollo económico que a pasos firmes colonizó el mapa geopolítico mundial, abraza el consumo para la dinamización de los mercados, bajo la premisa de la satisfacción de las necesidades, resultando esto en la rotación dinámica de gran variedad de productos perecederos, y por ende aumentando la cantidad de desperdicios que deben eliminarse.

Así lo entendieron comunidades científicas, ecologistas, mandatarios y un sinnúmero de organizaciones de toda índole, preocupación que se manifestó en la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo* celebrada en Rio de Janeiro en 1992, siendo los residuos sólidos el eje temático de un Capítulo completo del documento denominado PROGRAMA 21 que se ratificó en esta cumbre. Ya en la década de los noventa, se vislumbraba un panorama crítico en cuanto a la tendencia de generación de residuos sólidos, incluso afirmando que podría cuadruplicarse o quintuplicarse para el año 2025, (CNUMAD, 1997). La tabla 2.1 muestra un proyectado de la generación *per cápita* de residuos sólidos convencionales, según datos recopilados por el *United Nations Human Settlements Programme*.

**Tabla 2.1.** Estimaciones de generación mundial de residuos sólidos.

Residuos sólidos municipales	Generación cápita (Kg/persona/año)	Generación (miles de millones toneladas /año)	
		2006	2025
Estimación actual	310	2.0	2.4
Promedio*	580	3.8	4.6
Máxima rata de generación*	760	4.9	5.9

**Nota:** Fuente: [UN-HABITAT] United Nations Human Settlements Programme. Solid waste management in the world's cities. Water and sanitation in the world's cities 2010. London: UN HABITAT;2010.

\* Según Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

En el caso de las potencias mundiales, como los Estados Unidos de América, la producción de residuos sólidos ha aumentado más de 67% desde 1980, llegando a generarse un total de 254 millones de toneladas de residuos sólidos por año (EPA, 2008). Aumentos similares en la generación de residuos sólidos se reportaron en la India (Taylan et al., 2008), China (Chen et al., 2010), y Colombia (Nieves, 2009).

## 2.1. Colombia y los residuos sólidos

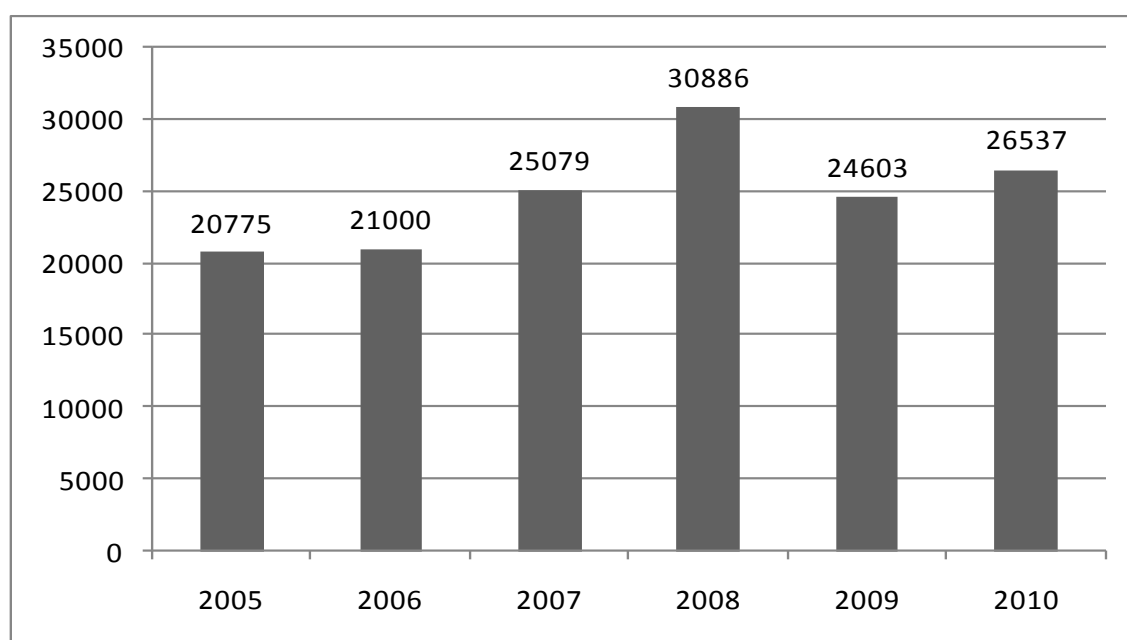
Si bien es cierto que actualmente el país cuenta con un marco legislativo amplio en todo lo que respecta a la gestión integral de residuos sólidos, esto representa el resultado de varias décadas de conocimiento en el tema, a través de actos legislativos, dinámicas sociales y situaciones que permitieron ver la realidad de la problemática que para entonces aquejaba al país en materia de residuos sólidos. Desde 1974, con la expedición del Decreto Ley 2811, denominado el Código de los Recursos Naturales, hasta el día de hoy, cuando se tiene un ordenamiento legislativo bastante complejo, fundamentado en una política de gestión de residuos sólidos a nivel nacional, Colombia ha logrado estructurar, por lo menos en el plano legal, todos y cada uno de los objetivos trazados en el Capítulo 21 del PROGRAMA 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992 (CNUMAD, 1997), en tópicos relevantes como la minimización de residuos, maximización del reuso y reciclaje bajo parámetros ambientales aceptables, promoción del tratamiento y disposición ambientalmente apropiado de los residuos y la expansión de la cobertura del servicio.

### 2.1.1. Residuos sólidos convencionales en Colombia

En lo que respecta a los residuos sólidos, convencionales o domésticos como se conocen comúnmente, ya en 2004 el Senado de la República de Colombia manifestó interés por la situación crítica que se vivía por ese tiempo, apoyado en cifras como las 14.000 toneladas diarias de residuos sólidos generados en el país en 1994, y su considerable aumento

a más de 22.000 toneladas en 2004, proyectando una generación mayor para los años subsecuentes (Senado de la República de Colombia, 2004). Para 2008, el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el marco de los lineamientos de la Política de Gestión de Residuos Sólidos, presentó una cifra de 28.800 toneladas diarias de residuos sólidos producidos en Colombia, con una participación mayoritaria de las cuatro grandes ciudades capitales: Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla. Puntualizó además, que cerca de un 17% de los residuos generados a diario en el país son recuperados (Mesa JL, 2008).

**Figura 2.1.** Consolidado de cantidades de residuos (toneladas) dispuestos diariamente en Colombia.



**Nota:** Fuente:[SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2011.

De acuerdo con los datos presentados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante información recolectada por el Sistema Único de Información-SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, para 2012 llegaron a los sitios de disposición final 26.537 toneladas diarias de residuos (Figura 2.1). De esta cantidad, solo 79% de los municipios del país realizaron una disposición de residuos en sitios adecuados, tales como rellenos sanitarios y plantas integrales. Este porcentaje corresponde a la disposición de 25.091 toneladas por día, mientras que el 21% restante de los municipios continúa disponiendo 1.446 toneladas diarias en sitios de disposición inadecuados, como botaderos a cielo abierto, enterramientos, cuerpos de agua y quemas (SSPD, 2011).

Si bien la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios informa que se han presentado logros significativos en relación con los sistemas de disposición de residuos sólidos 5 años después de expedida la Resolución 1390 de 2005 del MAVDT (tabla 2.2 y figura 2.2), aún se reporta la disposición de residuos en botaderos, áreas excavadas o rellenos sin ningún control. Esto ocasiona problemas ambientales y una carga contaminante al subsuelo, con alto riesgo de contaminación de aguas subterráneas especialmente donde el nivel freático es alto o está en contacto directo con el residuo (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2009).

La Resolución 1390 de 2005 ordenó el cierre, clausura y restauración o transformación técnica de los sitios de disposición final que se encontraban operando de manera inadecuada, y facilitó como alternativa de disposición a los municipios y prestadores la implementación de celdas temporales con condiciones de operación controladas, o el empleo de rellenos sanitarios ubicados dentro del mismo municipio o en otros municipios. Parece ser que las distintas normas para la actividad de disposición final han contribuido a generar conciencia social y ambiental a prestadores, usuarios y entidades involucradas en el tema, haciendo de su cumplimiento un aspecto prioritario en la agenda de los municipios, departamentos y mesas de trabajo de las entidades que vigilan y regulan la prestación de los servicios públicos.

**Tabla 2.2.** Sistemas de disposición final 2010 y 2011.

		Relleno sanitario	Celdas transitorias	Botadero a cielo abierto	Planta integral	Enterramiento	Cuerpo de agua	Quema
	Ton/día	21662,1	1006,5	1399,7	330	175,4	20,7	8,9
<b>2010</b>	Municipios	674	90	199	83	36	10	6
	Sitios	229	79	193	39	34	8	6
	Ton/día	24608,4	293	1334,6	189,7	83,3	19,4	8,7
<b>2011</b>	Municipios	762	38	190	67	27	9	5
	Sitios	206	27	176	35	24	7	5

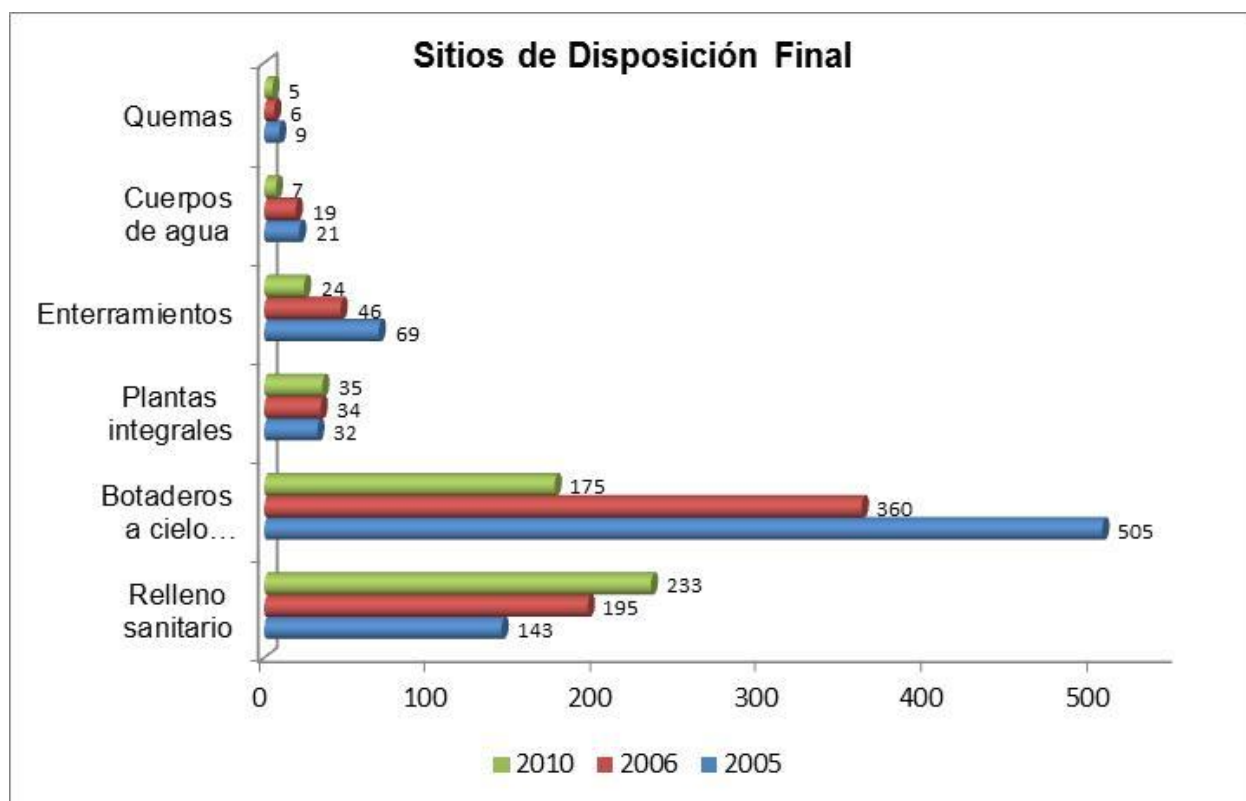
**Nota:** Fuente:[SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2011.

Sin embargo, y como se mencionó anteriormente, la problemática de los residuos sólidos no se delimita estrictamente a su disposición final, hecho que se confirmó en la formulación de la Política de Residuos Sólidos en Colombia, la cual incluyó además temas como la generación creciente de residuos sólidos en el país, la pérdida del potencial de utilización de los residuos, la gestión parcial de los residuos sin considerar el impacto ambiental



posterior a su recolección y transporte, la ausencia de conocimiento sobre la magnitud del problema, y la falta educación y participación ciudadana en el manejo ambiental de residuos. Del total de residuos sólidos generados en el país, tan solo un 2.4% de estos es destinado al aprovechamiento y valorización (MAVDT, 2008), hecho muy preocupante si se tiene en cuenta que un 28% de los residuos generados son reciclables, (MAVDT, 2008).

**Figura 2.2.** Sistemas de disposición final 2005 – 2010.



**Nota:** Fuente:[SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2011.

**Tabla 2.3.** Cercanía de los hogares a reconocidos lugares generadores de gran cantidad de residuos sólidos.

Región	Fábrica, industria, plaza de mercado o matadero Viviendas Cercanas)	Basureros (% Viviendas Cercanas)	Terminal bus Viviendas Cercanas)	Canal de aguas negras, plantas de tratamiento de aguas residuales (% Viviendas Cercanas)
Atlántica	5.86	5.7	3.43	10.77
Oriental	11.06	2.05	4.74	8.17
Central	7.71	2.47	3.36	9.99
Pacífica (sin Valle)	8.21	5.91	2.21	9.43
Bogotá	19.79	6.10	14.66	19.52
Antioquia	7.26	3.37	8.23	8.53
Valle del Cauca	9.97	2.18	1.97	17.67
San Andrés y Providencia	3.09	3.55	0.77	3.25
Orinoquía y Amazonía	13.28	2.62	9.84	6.39
Global	9.22	3.78	4.91	10.93

**Nota:** Fuente: [SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2011.

La Encuesta Nacional de Calidad de Vida realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Planeación (DANE, 2011) brinda información sobre la cercanía de los hogares a algunos lugares reconocidos, como generadores de gran cantidad de residuos sólidos. Como se puede apreciar en la tabla 2.3, los habitantes de Bogotá refirieron tener mayor cercanía a estos lugares. Resalta también el importante número de hogares en cercanía de basureros, canales de aguas negras o plantas de tratamiento de aguas residuales en las regiones costeras en el Atlántico y el Pacífico (excepto Valle del Cauca). De manera contraria, resalta San Andrés y Providencia por la menor cercanía a estas fuentes de residuos sólidos.

## 2.2. Residuos sólidos por departamento

De acuerdo a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD, 2011), la situación en materia de disposición final de residuos sólidos en Colombia es crítica en departamentos como Amazonas, Arauca, el Archipiélago de San Andrés y Providencia, Choco, Guainía, Guajira y Vaupés, en donde menos del 60% de las toneladas de residuos sólidos generados diariamente son dispuestos en botadores a cielo abierto, cuerpos de agua o simplemente enterrados o quemados. El resto de los departamentos de Colombia llevan más del 60 % de sus residuos a rellenos sanitarios, plantas de tratamiento de residuos o celdas transitorias. La tabla 2.4 muestra la generación diario por departamento de acuerdo a los datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD, 2011).

**Tabla 2.4.** Producción de residuos diaria en los departamentos colombianos.

Departamento	Número de Municipios	Generación de residuos (Toneladas/día)	Departamento	Número de Municipios	Generación de residuos (Toneladas/día)
Amazonas	2	27.06	Guaviare	4	24.26
Antioquia	125	3773	Huila	37	423.6
Arauca	7	70.6	Magdalena	23	478.9
Archip. San Andrés	2	77.25	Meta	29	455.9
Atlántico	23	966	Nariño	63	437.1
Bolívar	44	1011	N. de Santander	40	731.4
Boyacá	123	431.8	Putumayo	13	70.8
Caldas	267	572.8	Quindío	12	441
Caquetá	19	182.71	Risaralda	14	416
Cauca	39	322.8	Santander	87	1012
Cesar	25	414.89	Sucre	25	318.9
Choco	30	95.49	Tolima	628	628
Córdoba	28	630.42	Valle del Cauca	42	353.52
Cundinamarca	117	6986.8	Vaupés	5	1.7
Guainía	1	128.33	Vichada	4	6.6
Guajira	15	299.4			

**Nota:** Fuente: [SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2011.

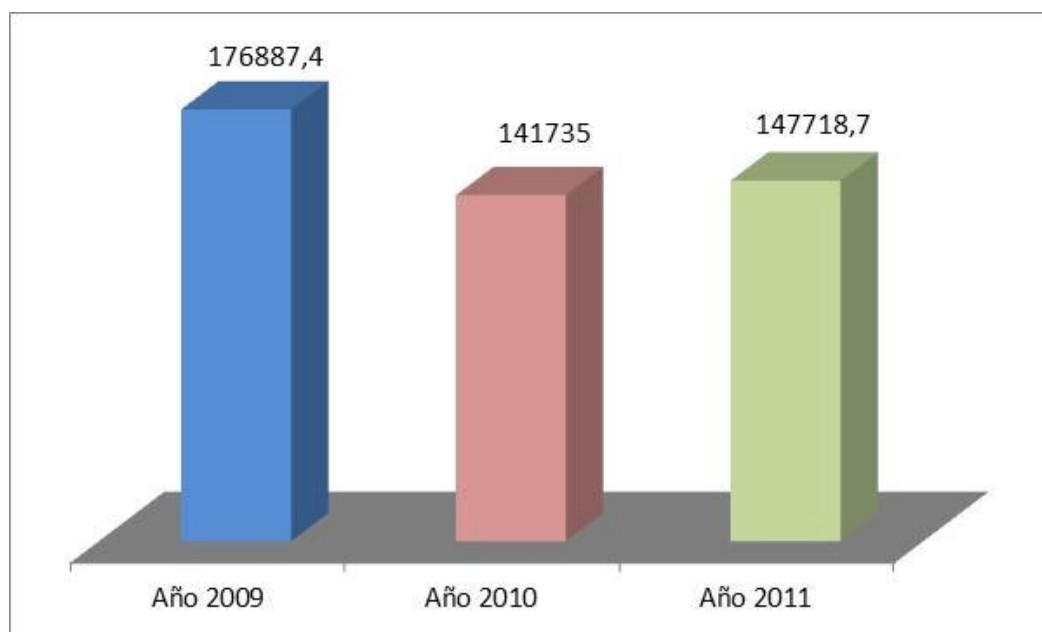
### 2.3. Residuos peligrosos en Colombia

De acuerdo con la legislación nacional, y más específicamente el Decreto 4741 de 2005 en su artículo 2, un residuo peligroso (RESPEL) es aquel que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas, puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se consideran residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

La generación de esta clase de residuos está dada por diferentes actividades de consumo y producción de bienes y servicios en la sociedad colombiana, desde el sector manufacturero, pasando por sectores agrícolas, el sector de bienes y servicios e incluso actividades domésticas. Diferentes factores se puede mencionar como determinantes o catalizadores en la producción de estos residuos en Colombia: el creciente nivel de industrialización, la diversificación de bienes y servicios, y factores de tipo social como el desplazamiento forzado y cambios culturales, entre otros (Suárez y Gómez, 2000).

Anterior a 2005, la normatividad en Colombia relacionada con los residuos peligrosos no estaba consolidada ni articulada por una directriz nacional; se manejaban reglamentaciones regionales o específicas para algunos sectores, principalmente para el industrial y para el hospitalario. Posterior a 2005 con la formulación de la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos y del Decreto 4741 de 2005, se abrió un escenario que ha permitido avanzar a nivel nacional hacia una gestión más organizada de los RESPEL (IDEAM, 2010b). La figura 2.3 muestra los principales tipos de RESPEL generados.

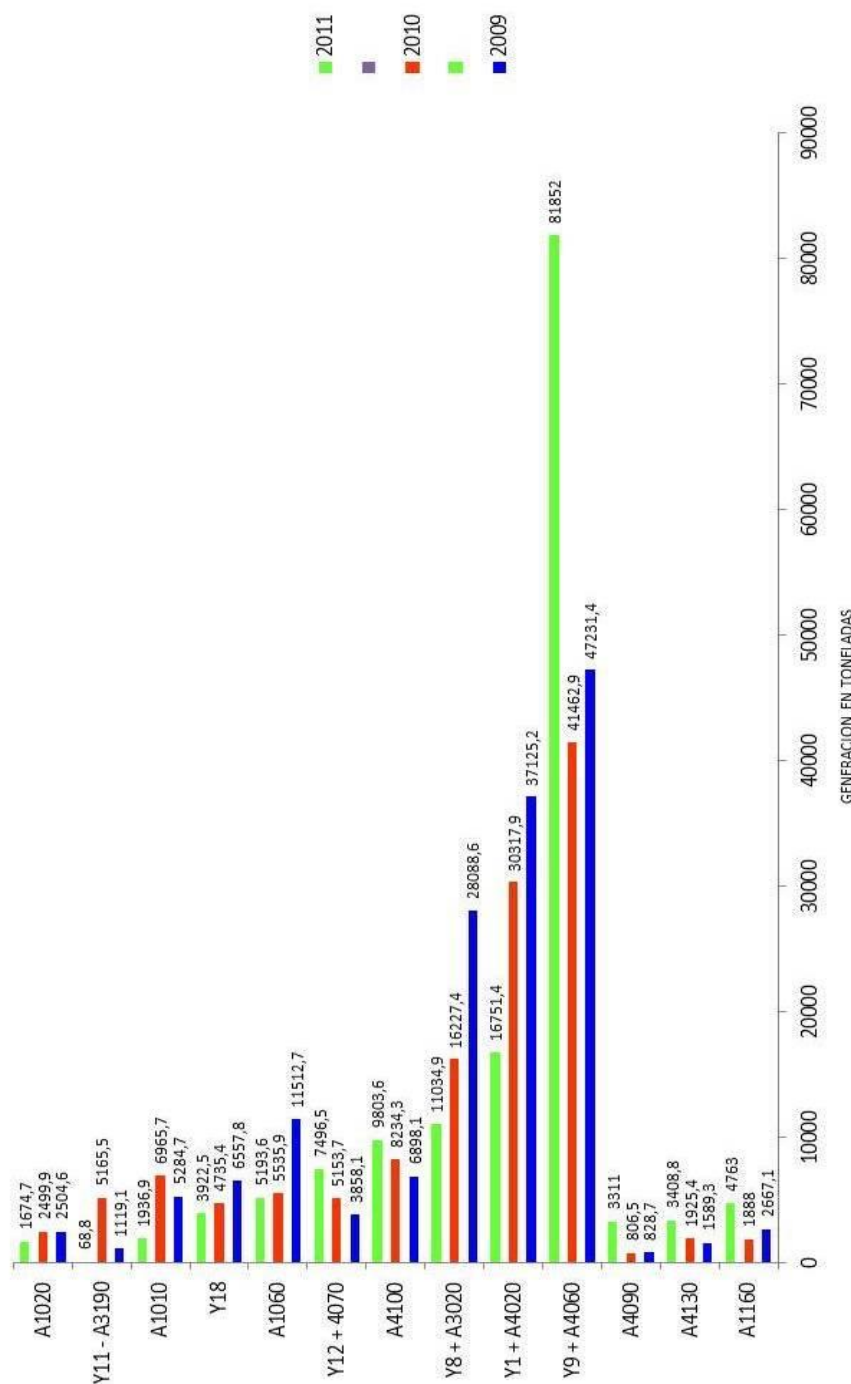
**Figura 2.3.** Generación de Residuos Peligrosos en Colombia en Toneladas.



**Nota:** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Informe. Bogotá DC: IDEAM; 2011.

Los residuos peligrosos tipo Y9 + A4060 (Mezclas y emulsiones de aceite y/o hidrocarburo y agua), los residuos peligrosos tipo Y9 + A4060 (Mezclas y emulsiones de agua e hidrocarburos o aceites y agua), y los residuos peligrosos tipo Y1+A4020 (referentes a residuos clínicos y afines) son destacados en cuanto a su cantidad de generación para los años 2009, 2010 y 2011 (figura 2.4). De esta manera, la actividad económica que más residuos peligrosos reportó en el periodo comprendido entre el 2009 al 2011 es la correspondiente a las industrias de los hidrocarburos, código CIIU 1110. Actividades económicas como la de industrias del hierro y acero (2719) y entidades hospitalarias (8511) también se destacan en la generación de residuos peligrosos (Véase Figura 2.5).

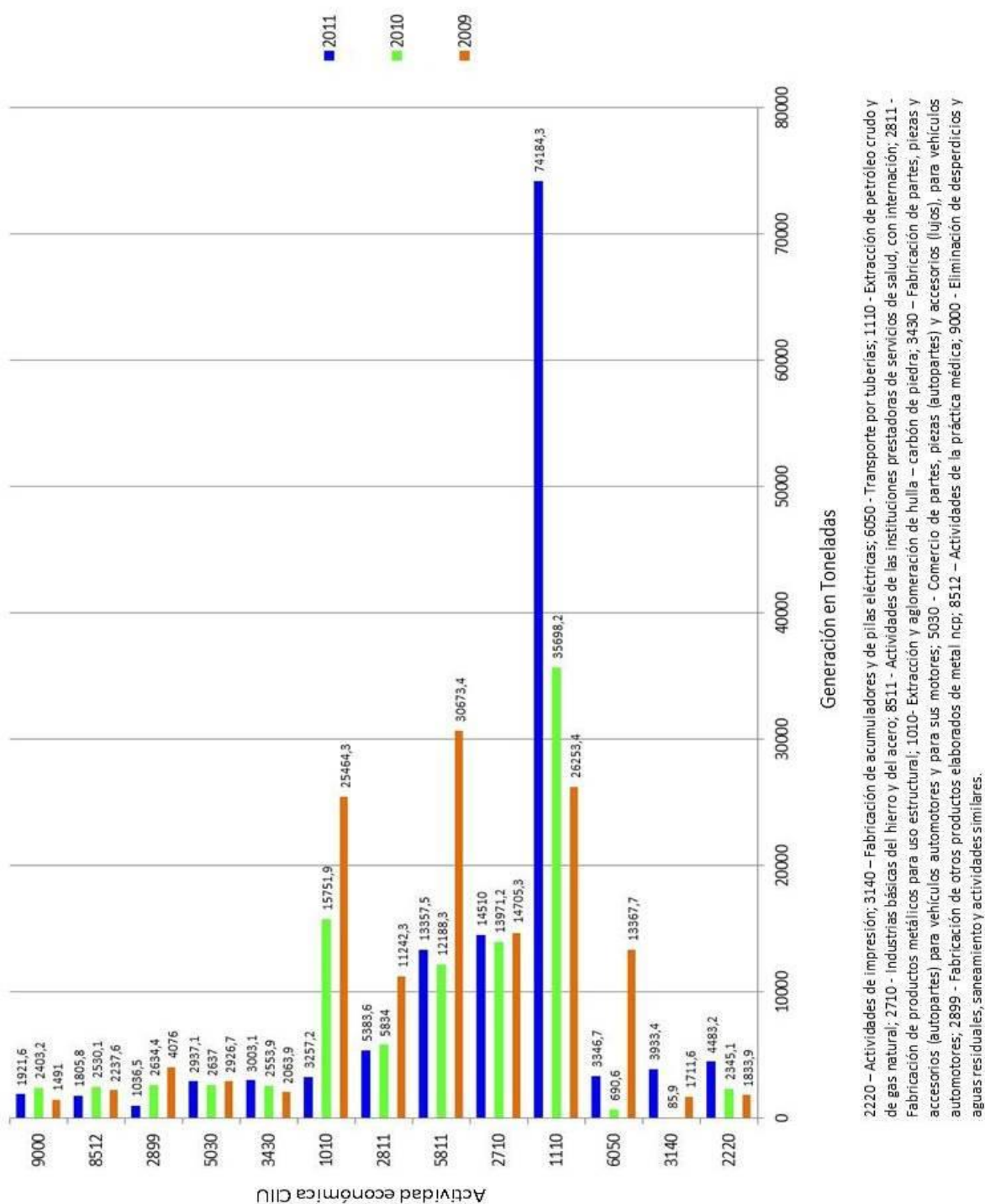
**Figura 2.4.** Principales corrientes de RESPEL generados en los años 2009 a 2011.



A1160 – Acumuladores de plomo de desecho, enteros o triturados; A4130 - Envases y contenedores de desechos que contienen sustancias incluidas en el Anexo I del Decreto 4741 de 2005, en concentraciones suficientes como para mostrar las características peligrosas del Anexo III del mismo decreto; A4090 - Desechos de soluciones ácidas o básicas; Y9 + A4060 - Mezclas y emulsiones de agua e hidrocarburos o aceites y agua; Y1 + A4020 - Desechos clínicos y afines; Y8 + A3020 - Aceites minerales no aptos para el uso al que estaban destinados; A4100 - Desechos resultantes de la utilización de dispositivos de control de la contaminación industrial para la depuración de los gases industriales; Y12 + A4070 - Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices; A1060 – Líquidos de desechos del decapaje de metales; Y18 - Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales; A1010 - Desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones de cualquiera de las sustancias siguientes: Antimonio, Berilio, Cadmio, Plomo, Mercurio, Selenio, Telurio; Y11 + A3190 - Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico; A1020 - Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes, excluidos los desechos de metal en forma masiva, cualquiera de las sustancias siguientes: Antimonio (compuestos de antimonio), Berilio (compuestos de berilio), Cadmio (compuestos de cadmio), Plomo (compuestos de plomo), Selenio (compuestos de selenio), Telurio (compuestos de telurio).

**Nota:** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Informe. Bogotá DC: IDEAM; 2011.

**Figura 2.5.** Principales actividades económicas generadora de RESPEL en Colombia.



**Nota:** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Informe. Bogotá DC: IDEAM; 2011.

Si se revisa el tema de generación de residuos peligrosos por regiones geográficas, es evidente que las corporaciones autónomas regionales con mayor cantidad de generación de esta clase de residuos reportadas son aquellas que corresponden a las zonas de extracción de hidrocarburos (IDEAM, 2011), como la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena - Cormacarena (27035.8 Toneladas), Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía - Corporinoquia (19615.0 Toneladas), Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia - Corantioquia (18393.9 Toneladas) al igual que las corporaciones que abarcan los corredores industriales del país, como la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá - SDA (20583.4 Toneladas) y la Corporación Autónoma regional de Cundinamarca - CAR (12787.2 Toneladas).

#### **2.4. Colombia y los países de América Latina y el Caribe**

Las problemáticas en cuanto a la gestión de residuos sólidos adquieren diferentes connotaciones en los países en vías de desarrollo con respecto a los países industrializados (Zerbock, 2003), debido a aspectos como los hábitos alimenticios, clima y geografía, nivel de industrialización, economía regional, infraestructura, políticas locales para la gestión de residuos y nivel de concientización ambiental (UN-HABITAT, 2010). Sin embargo, estas diferencias no impiden realizar una comparación entre los diferentes países, en indicadores como la producción per cápita y la generación de residuos sólidos y peligrosos.

A nivel mundial se han estimado cifras de producción per cápita que sobrepasan el kilogramo por persona por día (Muñoz y Bedoya, 2009). Sin embargo esta cifra varía de acuerdo a cada región, como se explicó anteriormente. En ciudades con economías de consumo como las de Estados Unidos de América, la producción per cápita diaria de residuos está entre los 1.5 y los 3 kilogramos diarios (Feuerman, 2002). Para América Latina, en donde la mayoría de economías de los países están desarrollándose, la producción per cápita se ha incrementado de manera notoria en las últimas décadas, llegando a alcanzar el kilogramo diario de producción por habitante. Situación muy crítica si se tiene en cuenta que esta cifra incluye la generación de todo tipo de residuos, incluso los considerados como peligrosos (Ripoll, 2003).

A nivel latinoamericano, Colombia está entre los países con mayor generación de residuos sólidos. Bogotá D.C. tiene uno de los mayores índices de generación de residuos sólidos, después de México D.F., Lima y Santiago de Chile (Noguera y Olivero, 2010) (tabla 2.5). Sin embargo, al incluir la variable de la población y a nivel de países de América Latina y del Caribe, Colombia tiene una producción per cápita diaria de 0.62 kilogramos de residuos sólidos urbanos, muy inferior al promedio del grupo que está en 0.93 kilogramos (Tello et al., 2010). Se destaca además el porcentaje de cobertura del servicio con un valor de 98.9%, siendo el tercer país, después de Venezuela y Argentina, con mejor cobertura en la recolección de aseo. Además, Colombia es el país con mayor recurso humano involucrado en la gestión de los residuos sólidos urbanos, con un total de 29.08 personas por cada 100.000 habitantes, y tiene además el mayor porcentaje de residuos con destino final un relleno sanitario, con 81.8% (Tello et al, 2010).



**Tabla 2.5.** Producción diaria de toneladas de basura en las principales ciudades de Latinoamérica.

País	Capital	Población (miles de habitantes)	Sitio de disposición Final	Toneladas diarias	Bibliografía
Argentina	Buenos Aires	2.768	Centro de disposición final No.3	5000	CLARIN, 2003 INDEC, 2003
Bolivia	La Paz	2.350	Relleno sanitario de Alpacoma	450	OPS, 2005 INE, 2008
Chile	Santiago de Chile	5.875	Rellenos Sanitarios: Loma Los Colorados, Santiago, Poniente y Santa Marta	7100	CEAMSE, 2005 INE CHILE, 2002
Colombia	Bogotá D.C.	6.778	Relleno Sanitario Doña Juana	5891.8	SSPD, 2008 a DANE, 2005
Cuba	La Habana	2.201	Vertedero Calle 100	1060	Gonzales, 2002 Gómez, 2007
Ecuador	Quito	1.839	Relleno Sanitario El Inga	1500	ARS, 2009 Vicepresidencia de Ecuador (Censo 2001)
El salvador	San Salvador	316	Relleno Sanitario de Nejapa	1609.62	EPA, 2007 Ministerios de Economía SV, 2008
Guatemala	Ciudad de Guatemala	3.762	Botadero a Cielo Abierto El Trebol de la Zona 3	1500	Girel, 2007 INE Guatemala, 2002
México	México D.F.	8.720	Relleno Sanitario del bordo poniente	12000	Secretaria de medio ambiente de México, 2008 INEGI, 2005
Perú	Lima	8.445	Cinco Rellenos Sanitarios autorizados: Casren, Zapallal, Portillo Grande, Huaycoloro y La Cucaracha	8938.5	Ministerio de Medio Ambiente Perú, 2008 INEI, 2008
Venezuela	Caracas	2.758	Relleno Sanitario La Bonanza	4000	Fitchrating, 2008 Ine Venezuela 2002

Fuente: Noguera KM, & Olivero JT. Los rellenos sanitarios en américa latina: caso colombiano. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; 2010; 132:347-356.

En comparación con otras regiones del planeta, la producción per cápita colombiana es muy baja (0.62 Kg/ día/ persona). Para los Estados Unidos de América se reporta un índice de generación per cápita de 2.98 kilogramos por cada persona en un día, y en los países europeos



se tiene índices desde el suizo con 2.95 kilogramos por habitante-día, hasta el de Francia que está en 1.48 kilogramos por persona/día (Tello et al, 2010).

## **2.5. Residuos y efectos en la salud**

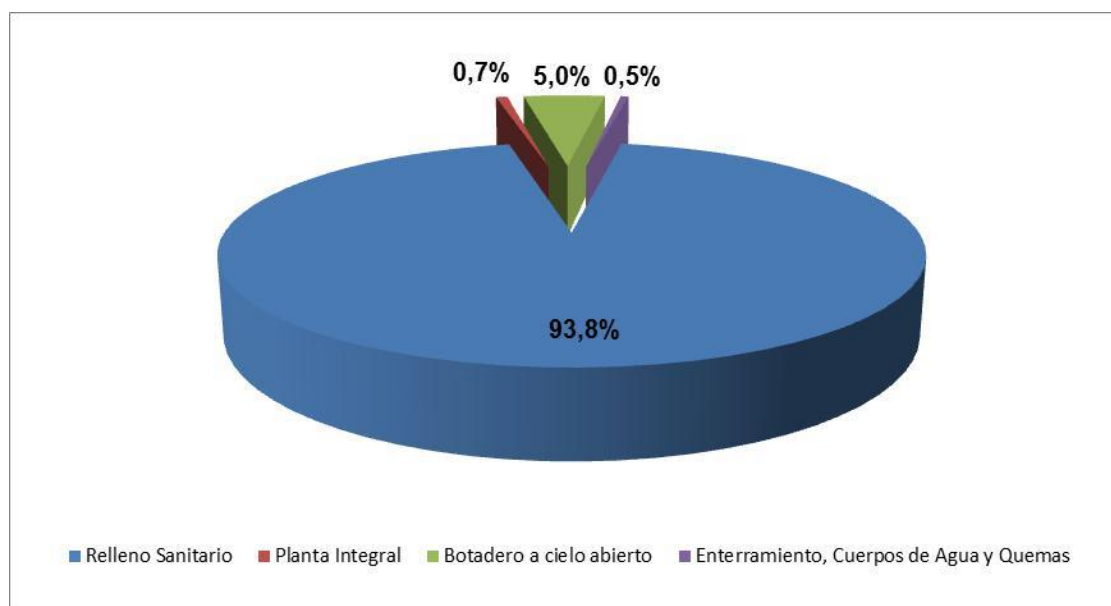
A partir de 1950 Colombia ha experimentado diferentes circunstancias sociales y políticas que desencadenaron hechos violentos en la gran mayoría del territorio y que repercutieron de manera decisiva en la migración de grandes cantidades de personas desde las zonas rurales hacia los núcleos de las principales ciudades del país, en lo que es llamado el fenómeno de “tugurización” de las ciudades (BIRF, 1996). Esta explosión demográfica en las ciudades sobrepasó su capacidad para atender los servicios de saneamiento básico e higiene de las mismas, diseñados para núcleos poblaciones mucho menores, y causó un serio impacto a los recursos naturales del sistemas, manifestándose estos hechos en la contaminación de aguas, contaminación atmosférica, contaminación de suelos, deterioro paisajístico y por ende en la calidad de vida de sus habitantes. Dentro de este marco, la generación de residuos sólidos aumento en cada ciudad, originando consecuencias en todas las fases de su gestión, desde su recolección hasta su tratamiento y/o disposición final (Sánchez et al., 2007).

No solamente se presentó un aumento en la generación de los residuos sólidos, sino que además se empezaron a generar y a gestionar otros tipos de residuos en el país como resultado del crecimiento e industrialización del mismo, lo cual añadió nuevos problemas en su gestión, y por supuesto, aumentó la complejidad en cuanto a salud pública en Colombia, originada por la inapropiada gestión de los residuos sólidos de todo tipo en el territorio nacional. Los problemas en salud pública ocasionados por la gestión inapropiada de los residuos sólidos convencionales y de los residuos sólidos peligrosos repercuten de manera directa y/o indirecta en la salud de las comunidades. El manejo y disposición de estos residuos se ha convertido en un problema ambiental que puede aumentar el riesgo de infecciones y enfermedades que amenazan la salud humana (López et al., 2004; Eriksson et al., 2005).

Como bien explica Cointreau (2006), la generación de residuos favorece el crecimiento de microorganismos que se alimentan de materia orgánica en descomposición (virus, bacterias, hongos y parásitos) que llegan al hombre mediante contacto directo con los residuos sólidos o por contacto indirecto debido a la acción mecánica de moscas, cucarachas, piojos, pulgas, roedores y animales domésticos (BIRF, 1996). Adicionalmente, y por acción indirecta, existen enfermedades generadas por la inapropiada gestión de los residuos sólidos y/o peligrosos en cualquier de sus fases, que repercuten en el deterioro de la salud del hombre, bien sea por contaminación de aguas por lixiviados, contaminación atmosférica por la quema, e incineración de residuos, generación de olores ofensivos y contaminación de suelos (Thomas, 1998). Como se puede apreciar, la relación entre residuos sólidos y salud humana no se explica mediante mecanismos directos, sino a través de manifestaciones indirectas favorecidas por la presencia de los residuos (Cointreau, 2006).

Se identifican tres grupos de personas, que según su papel en la gestión de los residuos sólidos pueden verse afectados de manera directa e indirecta: el personal que trabaja en los servicios de recolección, las personas que trabajan en las labores de reciclaje de los mismos, y la comunidad en general (BIRF, 1996). Los diagnósticos por contacto directo o indirecto con residuos sólidos se asocian a la aparición de vectores que pueden transmitir enfermedades como dengue, leptospirosis, trastornos gastrointestinales y alteraciones crónicas de la función respiratoria. La manipulación de los residuos sólidos, bajo condiciones deficientes de higiene personal y de saneamiento básico, ocasionan infecciones dérmicas, y potencialmente en niños, procesos diarreicos y parasitarios que resultan finalmente en desnutrición severa infantil (Tello et al., 2010). Como se puede apreciar, en este contexto se entrelazan complejamente condiciones del ambiente y conductas individuales y sociales, que pueden favorecer la ocurrencia de enfermedades. Frecuentemente no es adecuado culpabilizar a los individuos de las prácticas higiénicas inadecuadas dado que los contextos donde hay residuos sólidos se acompañan de pobreza y poca disponibilidad de agua, la cual es indispensable para tener buenas prácticas de higiene. En estos casos se entremezclan los problemas de residuos sólidos y contaminación hídrica o poca disponibilidad de agua potable, lo cual se observa en algunas regiones del país según datos de las ENCV.

**Figura 2.6.** Distribución sistemas de disposición final año 2011.



**Nota:** Fuente: [SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2009.

El panorama de diagnósticos se amplía considerablemente, si se tiene en cuenta los efectos de los variados residuos peligrosos que se están generando a nivel industrial, e incluso a nivel doméstico en los hogares colombianos (Gaviria y Monsalve, 2012), pudiéndose incluir enfermedades que según el tipo de residuos peligrosos, la dosis y la vía de exposición afectan

a diferentes órganos del cuerpo. Así, la ingestión accidental de residuos peligrosos que se da por la deficiente manipulación de los mismos o desconocimiento de los mismos puede implicar daños sistémicos a diferente nivel de órganos o sistemas; el contacto directo con estos residuos puede conllevar a efectos locales, rara vez efectos sistémicos, y la inhalación de los mismos puede traer repercusiones leves, moderadas o severas al sistema respiratorio (De Koning et al., 1994); en el caso de las dioxinas y furanos que se emiten por la incineración de algunos residuos peligrosos industriales y de residuos hospitalarios (Aristizabal et al, 2008), se pueden observar repercusiones a largo plazo en el sistema endocrino, afectando el desarrollo neurológico, reproductivo y conductual y el sistema inmunológico. Algunas de estas sustancias tóxicas serán abordadas en mayor detalle en el capítulo correspondiente. El 93.8%, de residuos sólidos en el país tiene como destino final el relleno sanitario (SSPD, 2011); sin embargo, esta forma de disposición final no garantiza totalmente una gestión apropiada de los residuos sólidos.

Para el Relleno Sanitario “Doña Juana” la Universidad del Valle, en trabajo realizado para el Hospital Local de Vista Hermosa, realizó interesantes hallazgos en las comunidades circundantes a este sitio (Méndez F et al., 2006). Al revisar los índices antropométricos peso-talla, peso-edad y talla-edad para los niños menores a 3 años que residen en cercanías al relleno sanitario Doña Juana, se encontró que los promedios para estos índices son menores en estos niños que los mismos índices para niños menores de tres años de una población de referencia que se localiza a más de 8 kilómetros de distancia del relleno, en barrios con gran similitud en cuanto a las condiciones sociales, económicas y, lo cual muestra una asociación entre la exposición al relleno sanitario y la velocidad de crecimiento. En lo que respecta al índice antropométrico *peso-edad* y *talla-edad* la asociación entre las actividades del relleno sanitario y estos índices es insignificante, una vez se ajustan estos índices a variables biológicas y sociodemográficas relevantes (talla, comorbilidad, ocupación de la madre, lactancia, nivel de ingresos, personas por familia y régimen de afiliación a la seguridad social (Méndez F et al., 2006). De igual manera, en cercanías al botadero de basuras Navarro en la ciudad de Cali, se encontró que la exposición a este lugar tiene un impacto negativo en el crecimiento infantil, con menores valores promedio de *peso-talla*. El efecto en la *talla-edad* parece ser a largo plazo (Ocampo CE et al, 2008).

Según Rego (2005) la enfermedad diarreica aguda tiene asociación con la gestión de los residuos sólidos urbanos; sin embargo, para el caso del estudio realizado en el Relleno Sanitario Doña Juana, la Universidad del Valle menciona que la exposición al relleno no se asoció con una mayor prevalencia de enfermedad diarreica aguda, pero se observó que los niños de 33 o menos meses de edad tienen mayor probabilidad de presentar enfermedad diarreica aguda sin importar si están o no expuestos al relleno sanitario (Méndez F et al., 2006). Esto sugiere que el efecto se debe más a las condiciones socioeconómicas de los participantes en el estudio. Para la población adulta con edad superior a 50 años que residen en cercanías a rellenos sanitarios se presenta una mayor frecuencia de síntomas respiratorios, que aquellas de la misma edad que no son influenciadas por las actividades de estos lugares; el nivel socioeconómico es una variable importante en la prevalencia de los síntomas respiratorios asociados con la exposición a residuos sólidos (Méndez F et al., 2006).

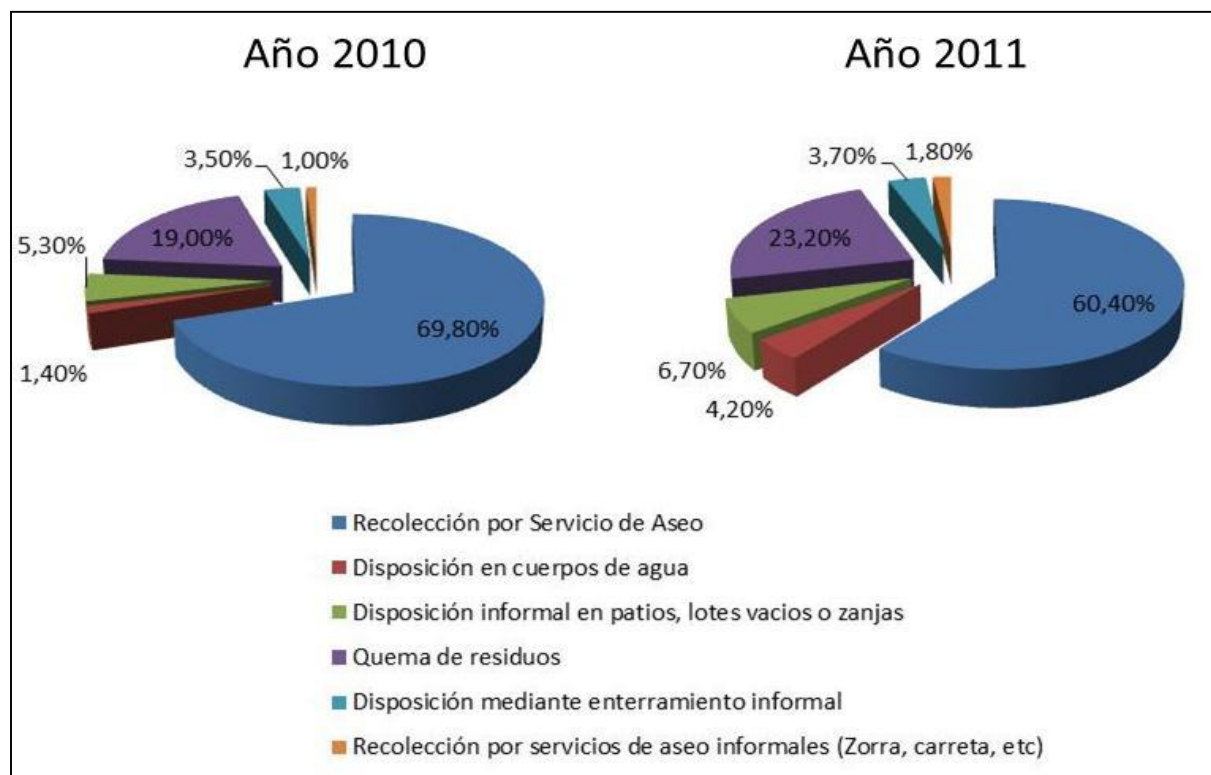
La situación de este relleno sanitario puede ser más crítica, si se tiene en cuenta la cantidad de residuos peligrosos que llegan a diario mezclados con los residuos convencionales y que no son tratados como tal, como se ha estudiado en otras capitales de Colombia (Gaviria y Monsalve, 2012). Se estima que a los rellenos sanitarios están llegando diferentes tipos de residuos peligrosos provenientes de actividades industriales y médicas, mezclados con residuos sólidos convencionales, hecho que aumenta el factor de riesgo en estos lugares. Situaciones similares pueden estar sucediendo en diversos botaderos y rellenos sanitarios del país.

Según datos de 2005 en Bogotá, un 88% de instituciones prestadoras de servicio de salud no realizan una adecuada gestión de los residuos generados, entre estos, residuos mercuriales (Vivas, 2005), los cuales tiene su destino en el relleno sanitario Doña Juana. En Santander, se reportó presencia de residuos peligrosos como plomo, cromo y mercurio dentro de la fracción de residuos sólidos convencionales (Cogan y Saavedra, 2000). Para el botadero Navarro en la ciudad de Cali se encontró evidencia de concentraciones elevadas de benceno y metano en una zona habitada ubicada a más de 3 km de la fuente con un gradiente de concentración, lo que sugiere que el origen de esos gases es el sitio de disposición de basuras (Gómez RM et al., 2008). Se sabe que altas concentraciones de benceno son tóxicas, afectan el sistema nervioso central, con genera efectos crónicos sobre la médula ósea (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004).

En el relleno sanitario de la ciudad de Cartagena se encontró presencia de metales pesados como cadmio, manganeso y níquel en los lixiviados, además de niveles inferiores de plomo, cobre y mercurio (Olivero et al, 2008b). Esto es importante porque varios metales pesados se han asociado, en poblaciones infantiles, con daños al sistema neurológico y deterioro en el desarrollo de la conducta y la cognición (*American Academy for Child and Adolescent Psychiatry*, 2012).

Además de la problemática por inadecuada disposición de residuos peligrosos en rellenos sanitarios y la asociación de las actividades inherentes a este tipo de lugares con los problemas en salud mencionados, existe además inconvenientes por la disposición de residuos sólidos en lugares no apropiados. Según datos el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, para el año 2011 un 39.7 % de los hogares en Colombia disponen sus residuos sólidos de manera informal, bien sea quemándolos, en cuerpos de ríos y quebradas, y/o en botaderos a cielo abierto (DANE, 2011).

**Figura 2.7.** Modo de eliminación de basuras en el hogar 2010 / 2011.



**Nota:** Fuente: [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas en Colombia. Encuesta Nacional de Calidad de Vida. Encuesta Nacional. Bogotá DC: DANE;2011.

Se han realizado estudios que muestran como la mala disposición de los residuos convencionales en las áreas rurales puede afectar la salud de las comunidades, ya que estos hábitos favorecen la aparición de diferentes vectores los cuales se constituyen en los vehículos de transporte de agentes etiológicos de enfermedades como el dengue; Cabezas et al (2011) encontró en la población de Apulo, en Cundinamarca, formas inmaduras del vector *Aedes aegypti*, en residuos como latas, llantas, plásticos y vidrio. El peso porcentual de los residuos sólidos como criaderos correspondió al 16% respecto a los demás tipos de criaderos. En las poblaciones en donde existe presencia del mosquito *Aedes Aegypti* (vector transmisor del dengue), la inapropiada disposición de residuos sólidos, así como su acumulación, por deficiencias en la cobertura del servicios de recolección de aseo domiciliarios, se constituye en un factor de riesgo para la enfermedad (Cabezas et al., 2011). En el municipio de Arauca, se ha testimoniado la presencia de malos olores y la proliferación de moscas por la mala gestión a los residuos sólidos urbanos generados (Salamanca, 2005).

Colombia es el país de América Latina y el Caribe con mayor número de personas por cada 10.000 habitantes dedicadas a las labores de reciclaje de los residuos sólidos: 29.98 personas (Tello et al., 2010). El reciclaje en Colombia lleva más de 80 años y ha adquirido

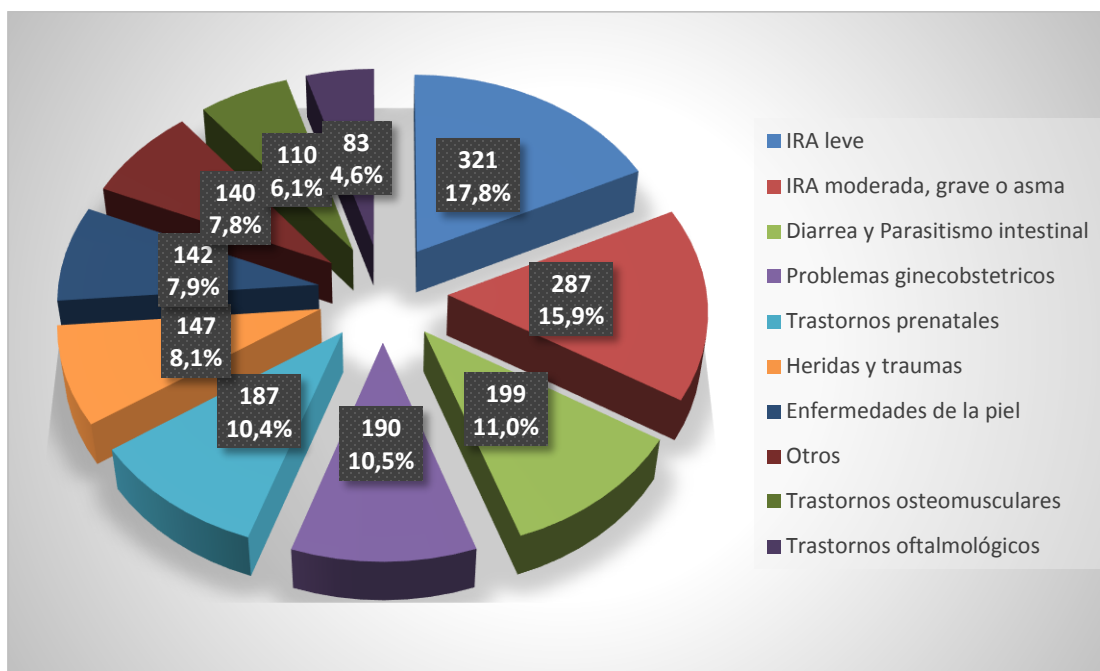
cierto nivel de organización. Esta actividad, considerada como una estrategia para la minimización de los impactos por los residuos sólidos, se ha dado en Colombia debido a las condiciones sociales del país (ALUNA, 2001). De esta manera, las condiciones sociales y económicas (higiene, saneamiento, autocuidado, hábitos alimenticios, consumos de sustancias psicoactivas, tipos de vivienda), de los recicladores aumentan considerablemente el factor de riesgo ante las diferentes enfermedades que los aquejan, tipos de vivienda, autocuidado. Existen algunos estudios sobre la salud de los recicladores, que podría estar relacionada con la exposición a los residuos sólidos y/o peligrosos, como se verá más adelante. Infortunadamente la ausencia de un grupo de referencia adecuado impide determinar si existe esta asociación.

En 1994, la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá investigó la morbilidad sentida a través de entrevistas con 108 recicladores que manifestaron haber padecido trastornos osteomusculares reflejados en dolor de cintura, de piernas y de cuello; gripe y tos, relacionadas con los cambios de clima y el polvo y vapores que se producen al remover la basura; síntomas gastrointestinales; problemas de órganos de los sentidos, principalmente los ojos; y dolores de cabeza, posiblemente por anemia, cambios de la tensión arterial o hipoglicemia. De los 108 recicladores entrevistados, 33 eran mujeres; de ellas, 11 habían tenido algún aborto, 3 de las cuales no recibieron atención médica oportunamente (BIRF et al., 1996).

Los niños de los recicladores, por información suministrada por sus padres, padecían principalmente de problemas respiratorios (gripe y tos), problemas gastrointestinales (diarreas, cólicos, vómito), dolor de muelas, problemas en los ojos y oídos, lesiones como quemaduras, cicatrices, cortadas, magulladuras, desaliento (desnutrición, anemia). Las compañeras de los recicladores (muchas de las cuales los acompañaban en sus recorridos) en opinión de sus compañeros tenían problemas de salud que resultaron similares a los de ellos mismos. Se obtuvieron datos de morbilidad atendida por parte de dos instituciones de salud.



**Figura 2.8.** Los 10 diagnósticos más frecuentes en los 2.341 recicladores que acudieron durante 1993.



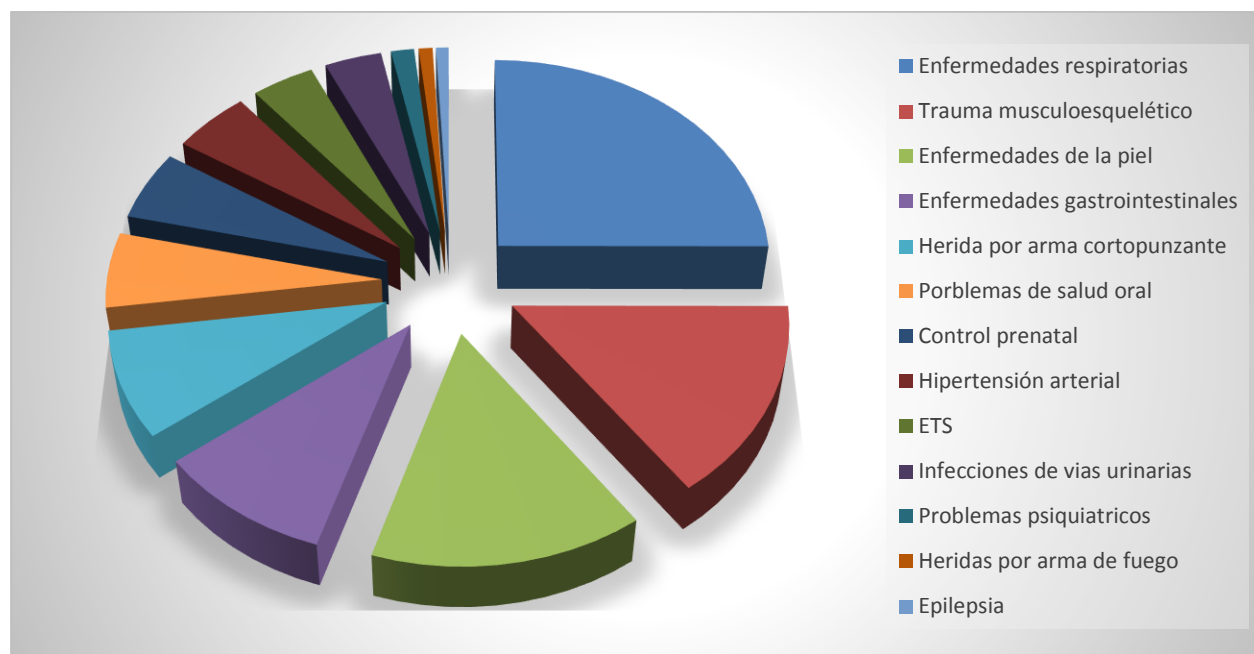
**Nota:** Fuente: [BIRF] Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Programa de Gestión Urbana, [MINSALUD] Ministerio de Salud de Colombia, [MINAMBIENTE] Ministerio de Ambiente de Colombia, & [OPS] Organización Panamericana de la Salud. Análisis sectorial de residuos sólidos en Colombia. Washington: BIRF, MINSALUD, MINAMBIENTE, 6 OPS;1996.

La estratificación de estos diagnósticos por edades mostró que las personas mayores de 60 años padecieron problemas cardiovasculares (12 casos), urológicos (3 casos), gastrointestinales (4 casos), infección respiratoria aguda (3 casos). Los recicladores entre 46 a 59 años: padecieron trastornos cardiovasculares (34 casos), heridas y trauma (15 casos), enfermedades respiratorias (15 casos), osteomusculares (10 casos). Las personas dedicadas a esta labor entre los 26 a 45 años: registraron consultas relacionadas con gineco-obstetricia (76 casos), control prenatal (52 casos), heridas y traumas (54 casos), dolencias osteomusculares (52 casos), infecciones respiratorias (55 casos), urología (20 casos), oftalmología (22 casos). Los jóvenes entre los 13 a 25 años dedicados al reciclaje: requirieron control prenatal (119 casos), asuntos relacionados con gineco-obstetricia (102 casos), planificación familiar (5 casos), infecciones respiratorias (75 casos), heridas y trauma (32 casos), trastornos osteomusculares (29 casos), gastrointestinales (39 casos).

Los niños de 5 a 12 años: se afectaron por infecciones respiratorias (60 casos leves y 51 moderados o graves), diarrea y parasitismo intestinal (42 casos), problemas de piel (29 casos), heridas y trauma (21 casos), problemas de ojos (28 casos). Los niños entre los 1 a 4 años padecieron problemas similares al grupo de edad de 5 a 12 años, con un porcentaje menor de traumas y heridas. Los casos de infección respiratoria aguda moderada o grave (102 casos),

son tan frecuentes como los de infección respiratoria aguda leve (103 casos); y en los infantes menores de 1 año la infección respiratoria aguda leve fue la patología más frecuente (90 casos), diarrea (26 casos), problemas de la piel (24 casos). En el Consultorio Comedor El Lago se reportaron los siguientes diagnósticos:

**Figura 2.9.** Los 10 diagnósticos más frecuentes de recicladores que acudieron durante 1993.



**Nota:** Fuente: [BIRF] Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Programa de Gestión Urbana, [MINSALUD] Ministerio de Salud de Colombia, [MINAMBIENTE] Ministerio de Ambiente de Colombia, & [OPS] Organización Panamericana de la Salud. Análisis sectorial de residuos sólidos en Colombia. Washington: BIRF, MINSALUD, MINAMBIENTE, 6 OPS;1996.

El Hospital El Guavio, que también atendió a recicladores en 1993, informó que la mayoría de los hijos de los recicladores ingresaron principalmente por infecciones respiratorias (igual que sus padres), con desnutrición subyacente asociada y muchos de ellos, con desarrollo psicomotor deficiente (BIRF et al., 1996). Según el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (1996) la infección respiratoria aguda es muy común en todos los grupos etarios de los recicladores, además de otras patologías como problemas gastrointestinales, las enfermedades de la piel, de los dientes y de los ojos. (BIRF et al., 1996).

En la ciudad de Medellín, se realizó un estudio con 97 personas dedicadas a la labor del reciclaje informal en los años 2003-2004. La mayoría de los recicladores encuestados reportó morbilidad autopercebida por infecciones respiratorias, que pueden relacionarse con la exposición a material particulado presente en el aire y en los residuos sólidos. Se les realizó



además una valoración médica en la cual prevalecieron los diagnósticos relacionados con patologías de los órganos de los sentidos y enfermedades circulatorias (Gómez JA et al., 2007).

**Tabla 2.6.** Condiciones de salud de la población de recicladores. Medellín, Colombia.

Característica	Hombres		Mujeres		Total	
	n	%	n	%	n	%
Enfermedad en los últimos 15 días (N=97)						
SI	17	26.2	18	56.2	35	36.1
NO	47	72.3	14	43.8	61	62.9
NS/NR	1	1.5	0	0	1	1
Enfermedad Percibida (n=35)						
Infección respiratoria	7	41.2	6	33.3	13	37.1
Enfermedad diarreica	1	5.9	2	11.1	3	8.6
Cardiovasculares	0	0	2	11.1	2	5.7
Lesiones dermatológicas	1	5.9	2	11.1	3	8.6
Otras infecciones	2	11.8	0	0	2	5.7
Enfermedad de los dientes	1	5.9	0	0	1	2.9
Otras no especificadas	5	29.4	6	33.3	11	31.4
Valoración Médica (n=49)						
Sano	3	10.0	0	0	3	6.1
Enfermedades de los órganos de los sentidos	9	30.0	3	15.8	12	24.5
Alteraciones sistema circulatorio	4	13.3	5	26.3	9	18.4
Enfermedades de los dientes	2	6.7	0	0.0	2	4.1
Alteraciones dermatológicas	0	0	2	10.5	2	4.1
Alteraciones respiratorias	5	16.7	1	5.3	6	12.2
Alteraciones osteomusculares	2	6.7	5	26.3	7	14.3
Infecciones	0	0	1	5.3	1	2.0
Otras	5	16.7	2	5.3	7	14.3

**Nota:** Fuente: Gómez JA, Agudelo AA, Sarmiento JI, & Ronda E. Condiciones de trabajo y salud de los recicladores urbanos de Medellín (Colombia). Archivos de Prevención de Riesgos Laborales;2007;4:181-187.

La falta de selección de residuos en la fuente, así como su mala gestión desde el generador, induce factores de riesgo para las personas que trabajan en la labor del reciclaje. El material en descomposición presente en los residuos sólidos puede ser una fuente que favorece la aparición de vectores portadores de diferentes microorganismos, tales como hongos, bacterias y parásitos. Todos estos patógenos pueden causar enfermedades infecciosas y transmisibles, como enfermedad diarreica aguda, parasitosis intestinales, enfermedades respiratorias, entre otras. Además, el proceso de descomposición genera aerosoles que pueden contener partículas de microorganismos nocivas para la salud humana (Ballesteros et al., 2008).

La presencia de residuos infecciosos en los residuos sólidos que manipulan los recicladores (toallas higiénicas, gasas, algodones, agujas, otros), favorece el contagio de infecciones intestinales, como bacterias enteropatógenas (*Escherichia coli*, *Salmonella sp*, *Shigella sp*, entre otras), parásitos intestinales como amebas y gusanos (*Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Trichuris trichiuria*, otros) y virus (rotavirus, enterovirus, adenovirus hepatitis A, otros). La falta de elementos de protección personal al ejercer la selección manual de residuos sólidos infecciosos por parte de los recicladores, aumenta el riesgo de transmisión de microorganismos al ocurrir accidentes con elementos cortopunzantes contaminados con sangre la cual es fuente de contaminación con patógenos de gran importancia como los virus de la hepatitis B, hepatitis C y de la inmunodeficiencia humana (vih), infecciones con *Clostridium tetani* (Ballesteros et al., 2008). Si bien se piensa que la capacidad de infección se pierde al estar los microorganismos al aire libre, estudios recientes evidencian mayor prevalencia de infecciones como hepatitis B (Rachiotis et al., 2012), sobre todo en quienes manipulan desechos hospitalarios o desechos que no son debidamente clasificados (Cussioli et al, 2006).

Para 2004, después de conocerse un caso de intoxicación severa de plomo en una niña del municipio de Soacha, se realizó un estudio con 32 niños menores de 12 años cuyos padres se desempeñaban en el reciclado informal de plomo proveniente de baterías para automóviles; todos los niños evidenciaron niveles altos de plomo y dos tercios de ellos resultaron con intoxicaciones severas por este metal pesado (Hurtado et al., 2008).

Si bien es cierto que el país, muestra significativos avances en la gestión de los residuos sólidos convencionales y peligrosos con respecto a otros países del continente, los estudios realizados por la SSPD y el DANE evidencian todavía las opciones de mejora respecto de la disposición final de los residuos sólidos en áreas rurales y municipios, en donde todavía se encuentran problemas por disposición inapropiada de residuos sólidos y falta de cobertura de los servicios de saneamiento básico. La inapropiada disposición de residuos sólidos afecta de manera directa o indirecta la calidad del recurso hídrico, litosférico y atmosférico, con relaciones sinérgicas para el deterioro del medio ambiente y por ende la salud de las comunidades.

Existen evidencias muy puntuales que permiten corroborar la literatura en lo correspondiente a las afectaciones a la salud de las personas por la inadecuada gestión de residuos sólidos o ausencia de la misma. Sin embargo, para el país no se tiene mayor información epidemiológica que permita vislumbrar claramente la situación actual en cuanto a salud pública. Los estudios que se han realizado se focalizan en las principales ciudades del país, más exactamente en Bogotá D.C., Medellín y Cali, creando una incertidumbre en lo que puede estar aconteciendo con esta temática en las demás regiones del país. La literatura en cuanto a los aspectos técnicos de los sitios de disposición final de residuos sólidos, así como las cifras oficiales de generación de residuos y cobertura de servicios de saneamiento básico son indicios claros de la situación que se está presentando en diferentes regiones del país, y de los impactos ambientales que se han generado en los ecosistemas por causa de la mala gestión de los residuos. Sin embargo, la asociación de estos impactos ambientales con la salud

de las comunidades se limita a la teoría, pues los datos disponibles de salud no poseen la especificidad necesaria para lograr una buena correlación de ambas variables.

Queda claro, de acuerdo a los estudios analizados en este capítulo, que los niños menores de 5 años, así como las mujeres, son grupos muy susceptibles dentro de la problemática de la gestión de residuos sólidos en el país, recayendo en ellos las mayores afectaciones de las patologías analizadas. En cuanto a estratos socioeconómicos, los mayores problemas en salud pública se dan en estratos bajos, bien sea por la cercanía de sus lugares de residencia a los lugares de disposición final o a sus roles como recicladores dentro de la gestión de los residuos. Los hábitos de los estratos más bajos también juegan un papel preponderante, pues la desinformación y la falta de conocimiento en el tema son precursores de diferentes situaciones sanitarias que aumentan los factores de riesgo para las enfermedades originadas por los residuos sólidos convencionales y peligrosos.

De cualquier manera, la falta de estudios en la mayor parte de las regiones del país, no es motivo para señalar la ausencia de efectos adversos en la salud asociados a los residuos sólidos. La literatura internacional es consistente para varias enfermedades, principalmente de origen infeccioso; la incertidumbre radica más sobre los efectos que puedan darse por los residuos tóxicos que dependerán de su presencia y niveles de concentración presentes. En muchos de estos casos, los efectos adversos no deben esperarse únicamente entre los pobladores que residen inmediatamente en los alrededores de los lugares de concentración de los residuos sólidos o peligrosos, sino que pueden extenderse a otras regiones por diferentes vías, entre las que sobresalen el transporte por aire, el suelo y el agua.

### 3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Las enfermedades transmitidas por el agua (ETA's) son aquellas que se adquieren como consecuencia de la exposición o ingesta de agua contaminada por microorganismos patógenos.

Estas enfermedades pueden ser producidas por bacterias, virus, protozoarios y helmintos, provocando diarrea, fiebre tifoidea, cólera, giardiasis, hepatitis, disentería amebiana, entre otras enfermedades (Cotruvo et al., 2004). Las ETA's siguen siendo una causa de morbilidad y mortalidad importante a nivel mundial, siendo el principal medio de transmisión aguas contaminadas para uso y consumo humano. Por ejemplo, en 2006 se estimó que el 13% de la población (alrededor de 884 millones de habitantes) utilizaban algún tipo de fuentes de agua contaminada (UNICEF/WHO, 2008).

Como consecuencia, las muertes por uso de aguas contaminadas, mala sanidad e higiene sigue siendo importante a nivel mundial, cobrando 1.6 millones de vidas en países en vías de desarrollo. Además, los años de vida potencialmente perdidos debido a este problema afectan a 64 millones de personas, ocupando el cuarto lugar a nivel mundial (WHO, 2009b). Muchas de estas enfermedades podrían evitarse; por ejemplo, se estima que el 94% de los casos de diarrea podrían evitarse mediante acceso al agua potable, mejor sanidad e higiene (WHO, 2007). Aunque entre 1990 y 2010 el porcentaje de personas que tiene acceso a servicios de agua potable y sanidad ha aumentado, todavía existe mucha gente que carece de estos servicios básicos (WHO, 2012b).

En América Latina y el Caribe, las condiciones de vida y calidad del agua son muy desfavorables, lo que ocasiona una alta incidencia de ETA's. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), entre 1980 y 1997 la población en pobreza y pobreza extrema ha aumentado un poco más de la mitad en zonas urbanas, mientras que para las zonas rurales se registró un aumento de entre cinco y siete millones de personas (CEPAL, 1999). Las regiones con mayores concentraciones de pobreza son Centroamérica, la región andina y el Nordeste brasileño, en donde hasta un 60% de la población vive por debajo del umbral de la pobreza (Echeverría, 2000).

En cuanto a servicios de agua potable, entre 1990 y 2006 la población con fuentes de abastecimientos inseguras de este vital líquido se redujo de 16 % a 8 %. Estas proporciones varían de acuerdo al nivel de urbanización de la población, ya que en zonas urbanas se observa una menor proporción de población con abastecimiento de agua no potable comparada con zonas rurales (3 % contra 27 %, respectivamente; (UNICEF/WHO, 2008). Esta situación

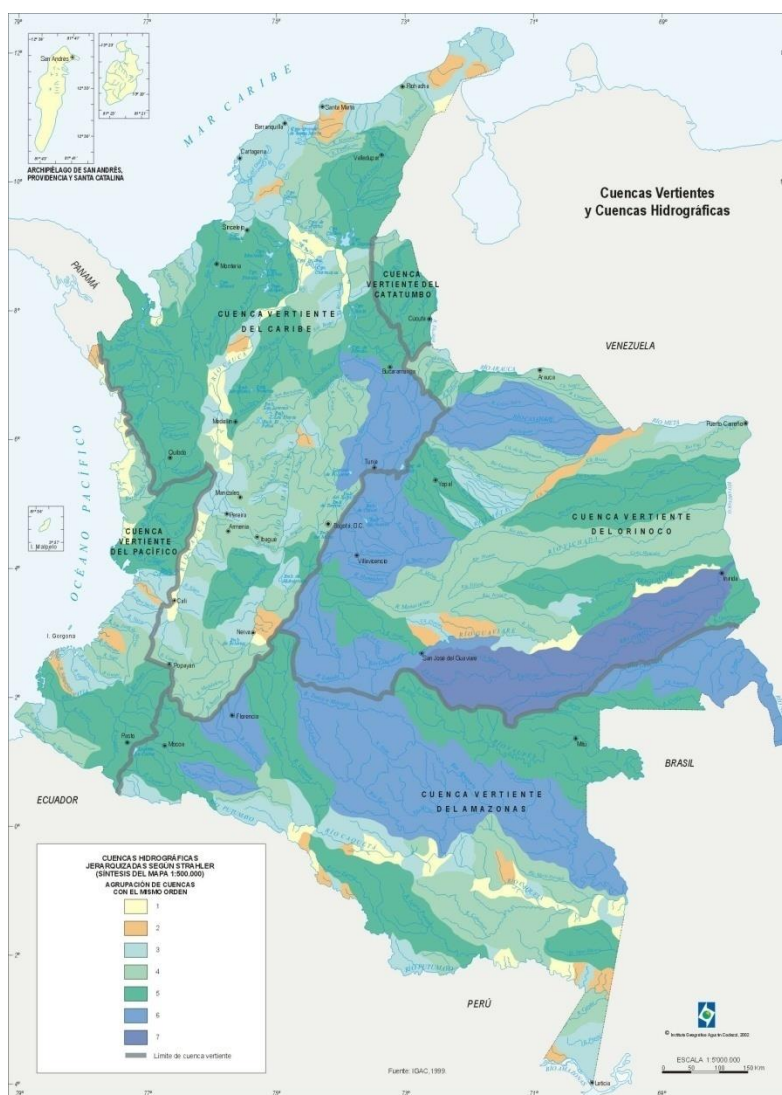
provoca que algunas ETA's sigan existiendo en Latino América y el Caribe. Por ejemplo, 1.1 millones de personas en esta región se encuentran infectadas por tracoma, mientras que para el caso de la esquistosomiasis, 1.8 millones de personas la padecen y 36 millones de personas están en riesgo de padecerla (Ault, 2007).

La situación de América Latina y el Caribe no difiere mucho de la de Colombia, y mucha de su población sigue padeciendo de ETA's debido a las condiciones de vida. En este país, 5.9 % de las viviendas son inadecuadas (v.gr. poseen piso de tierra), siendo este porcentaje mayor en zonas rurales que en urbanas (16.4 % y 2.6 %, respectivamente). Además, todavía existe una gran parte de su población rural que carece de servicios de alcantarillado (84 %) y de distribución de agua (46.5 %; (Castaño, 2007). Esto ocasiona que algunas ETA's sigan afectando a la población, como es el caso de las enfermedades infecciosas intestinales que es la quinta causa de mortalidad en niños menores de cinco años con una tasa de 4 por 100,000 habitantes, la diarrea en la población con el mismo rango de edad mencionado con una tasa de mortalidad de 7.34 por 100,000 habitantes (OPS, 2012a; WHO, 2012b).

### **3.1. Distribución del agua en Colombia**

Colombia tiene una superficie total de 1'141.748 km<sup>2</sup>; lo cual lo ubica como el tercer país más grande de América del Sur. A nivel mundial, Colombia es considerada uno de los países más ricos en cantidad de recursos hídricos, resultado de distintos factores geográficos, meteorológicos y biológicos (Mejía F et al., 1999; Poveda G, 2004). Al colindar con los océanos Pacífico y Atlántico, Colombia recibe una gran cantidad de humedad la cual penetra hacia el interior país. Fenómenos meteorológicos como los vientos alisios, la Niña, la zona de convergencia intertropical, la corriente de chorro de Chocó, los sistemas convectivos de meso-escala y las ondas tropicales del este aumentan la precipitación en el país. Por último, la vegetación tiene un efecto sobre la humedad atmosférica de la región, ya que gran parte de ésta proviene de la evapotranspiración de las plantas. En conjunto, estos factores hacen posible que a lo largo del año se registre precipitación en Colombia, existiendo dos temporadas con valores máximos en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre (Mejía F et al., 1999; Poveda, 2004).

**Figura 3.1.** Cuencas vertientes y cuencas hidrográficas. Colombia, 2002



**Nota Fuente:** IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Colombia cuenta con varios ríos que en conjunto llegan a tener caudales de hasta 60,000 m<sup>3</sup>/s. Estos ríos se encuentran distribuidos en cinco vertientes hidrográficas (Figura 3.1):

1. **Vertiente del Caribe:** esta vertiente es la más importante en Colombia desde el punto de vista económico, ya que es utilizada como una red de comunicación sur-norte y para generar energía eléctrica. Su extensión es de 362,000 km<sup>2</sup> y está compuesta por las cuencas de los ríos Magdalena-Cauca, Atrato, sierra Nevada de Santa Marta y la Guajira, Sinú, León, Catatumbo, y otras cuencas menores como las del César, Ranchería y San Jorge.
2. **Vertiente del Pacífico:** en esta zona se registran las mayores precipitaciones en el mundo. Cuenta con más de 200 ríos en los 88,000 km<sup>2</sup> que la conforman, siendo sus

principales cuencas la de los ríos Patía, San Juan, Mira, Baudó, y las cuencas menores del Micay y Guapi.

3. **Vertiente del Orinoco:** las cuencas de los ríos Guaviare, Meta, Vichada, Tomo, Arauca, Orinoco, conforman esta vertiente con un total de 382,000 km<sup>2</sup> de extensión.
4. **Vertiente del Amazonas:** en esta zona se encuentran los ríos más largos de Colombia. Posee un área de 345,000 km<sup>2</sup> y está formada por las cuencas de los ríos Amazonas, Caquetá, Guainía, Putumayo y Vaupés.
5. **Vertiente del Catatumbo:** sus 18,700 km<sup>2</sup> de extensión están conformados las cuencas del río Catatumbo, Zulia y Sardinata.

Los centros hidrográficos, es decir, las zonas montañosas que abastecen con agua dulce a Colombia se encuentran distribuidos en la cordillera de los Andes y de la Sierra Nevada de Santa Marta, siendo los principales el Macizo Colombiano, Nudo de los Pastos, Cerro de Caramanta, Nudo Paramillo, Páramo de Sumapaz, Páramo de Guachaneque, Nudo de Santurbán y Sierra Nevada de Santa Marta.

El uso de los recursos hidrológicos puede ser considerado como una medida de desarrollo, ya que está directamente relacionada con actividades agrícolas, la conservación del medio ambiente y la salud humana. De acuerdo a la OMS, el requerimiento diario de agua diaria de una persona, para cubrir sus procesos fisiológicos básicos es de 2 litros por día, por ello que la relación entre el agua y la salud pública está directa e indirectamente relacionadas con la disponibilidad de cantidad y calidad de agua y por el tamaño de las poblaciones.

De acuerdo al Estudio Nacional de Agua 2010 (Arévalo et al., 2011), la oferta hídrica de Colombia asciende a 2.300 km<sup>3</sup>/año y su demanda está asociada a la distribución de la población dentro de cada cuenca hidrográfica. De esta manera, el área hidrográfica que concentra los mayores asentamientos humanos de Colombia es la de cuenca vertiente del Caribe, misma que no cuenta con la mayor disponibilidad de agua; mientras que la región de la Amazonia y Orinoquia, donde se concentra la mayor disponibilidad de agua del país, cuenta con una población de apenas cerca del 10% de la población nacional (Arévalo et al., 2011).

Con el incremento de la población y el desarrollo, existe una creciente demanda de acceso a agua potable y saneamiento básico, sin embargo en las regiones rurales de Colombia existen dificultades para su acceso. De acuerdo a Profamilia, el acceso a agua potable y saneamiento básico es diferencial entre las poblaciones rurales y urbanas. En la zona rural el acueducto llega al 17 % de las viviendas frente al 91 % de las viviendas en la zona urbana, mientras que para la disposición final de excretas, en la zona rural el 22 % de las viviendas tiene conexión a alcantarillado frente al 92 % de las viviendas en la zona urbana (PROFAMILIA, 2010).



De acuerdo a la evidencia científica reportada entre 1998 y el 2012, las ETAs importantes en términos de salud pública son las siguientes:

**Tabla 3.1.** Enfermedades transmitidas por agua en Colombia.

<b>Enfermedades transmitidas por agua</b>	<b>Clave CIE 10</b>
<b>Enfermedades diarreicas</b>	
<b>Cólera</b>	A00
<b>Fiebre tifoidea – Fiebre paratifoidea</b>	A01
<b>Otras infecciones por <i>Salmonella</i></b>	A02
<b>Shigelosis</b>	A03
<b>Otras infecciones bacterianas intestinales</b>	A06
<b>Otras intoxicaciones alimentarias bacterianas</b>	A05
<b>Amebiasis</b>	A06
<b>Otras infecciones intestinales debidas a protozoarios</b>	A07
<b>Otras infecciones intestinales organismos especificados</b>	A08
<b>Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso</b>	A09
<b>Hepatitis A</b>	B15
<b>Tracoma</b>	A71
<b>Esquistosomiasis</b>	B65

Nota: Fuente: El autor.

Con el fin de tener una panorámica general de la problemática sanitaria asociada con la contaminación del agua, a continuación se revisará la evidencia publicada de los principales microorganismos, en diferentes regiones del país.

### **3.2. Enfermedad diarreica**

La diarrea es definida por la Organización Mundial de la Salud como tres o más deposiciones líquidas en un periodo de 24 horas. Se considera diarrea aguda si presenta una duración de 14 días o menos, y persistente si el episodio dura más de este tiempo. Las enfermedades diarreicas representan cerca de dos millones de muertes al año entre niños menores de 5 años, siendo la segunda causa de muerte en niños en todo el mundo y es más común en países en desarrollo (WHO, 2007). Desde hace más de 30 años la etiología de las



diarreas se ha venido estudiando ampliamente, por lo que se conoce que los agentes etiológicos más comunes son los virus, principalmente el rotavirus; le siguen las bacterias, entre las que destacan la *Escherichia coli*, *Shigella*, *Salmonella* y *Vibrio cholerae* y en tercer lugar destacan los parásitos dentro de los cuales el *Cryptosporidium* y la *Giardia lamblia* ocupan un importante lugar (Angel et al., 1985).

La vigilancia centinela de la enfermedad diarreica aguda (EDA) llevada a cabo en el Laboratorio Nacional de Referencia del Instituto Nacional de Salud (INS) (2011), ha venido mostrando este comportamiento en Colombia. Por ejemplo, durante el 2003, datos obtenidos de 1,335 muestras mostraron que el 17.5% fueron positivos para los siguientes microorganismos: rotavirus (7%), *Giardia duodenalis* (6%), *Cryptosporidium* sp. (3%), *Shigella* sp. (0.8%), y *Salmonella* sp. (0.7%) (OPS, 2007). Durante 2011 el INS recibió 198 aislamientos entre muestras biológicas y de agua, para identificación o confirmación de *V. cholerae*, los cuales fueron descartados. De las muestras procesadas el 57 % correspondía a *Vibrio spp* y el 19% negativos para el *Vibrio cholerae* y enterobacterias; adicionalmente se aislaron otros tipos de agentes en las muestras procesadas. Además se notificaron 13961 casos con 899 brotes de ETA. Con respecto a la morbilidad por EDA, durante 2011 se reportaron un total de 2,335,665 casos en todos los grupos de edad, y de muertes en población menor de 5 años por EDA se notificaron 149 casos (López y Espinosa, 2011).

Estudios para determinar la prevalencia y tipo de agentes infecciosos que causan la diarrea en Colombia encontraron en una muestra de 129 niños menores de 5 años atendidos en Tunja, Boyacá, los siguientes agentes causales: rotavirus en 48.1% de las muestras, *Shigella* 0.8%, *Escherichia coli* 13.9%; *Campylobacter* 2.3%; *Giardia lamblia* 12.4%; *Entamoeba histolytica* 7%; en 15.5% de casos no se identificó agente causal. La asociación fue creciente con la edad para *Rotavirus* ( $p < 0.01$ ), *E. coli* ( $p < 0.05$ ) y *Campylobacter* ( $p < 0.001$ ) (Manrique et al., 2006).

En otro estudio en población infantil (2006) en Chia, Colombia, con un tamaño de muestra de 100 niños (66 con EDA y 34 sanos), encontró *E. coli* en el 75 %, *Enterobacter spp* en el 9%, *Citrobacter spp* en el 1%, *Salmonella spp* en el 1%, *Proteus spp* 1% y *Norovirus* en el 5% respecto a las 100 muestras. En cuanto a la coinfección entre virus y bacterias solo el 3% fueron casos positivos (*Norovirus* y *E. coli*); (Forero, 2009). Gutiérrez y colaboradores (2006) estudiaron 300 niños menores de 5 años de edad durante un periodo de un año para identificar los tipos de agentes microbianos y agentes virales asociados a las EDAs, encontrando que el 40% se asociaban con virus, el 20.6% con bacterias, 9% con parásitos.

En Cartagena y Sincelejo, Colombia también existe un estudio que determinó la etiología de la diarrea aguda en 253 niños entre los cuales rotavirus y el patógeno entérico *E. coli* se presentaron con frecuencia. En 253 muestras de heces, los siguientes patógenos entéricos se identificaron: rotavirus tipo A (36.6%) como el mayor agente, *Salmonella spp* (9%), *Shigella spp* (8%), el patógeno entérico *Escherichia coli* (6%), hemorrágico entérico *E. coli* (2.8%), *Giardia lamblia* (4%), *Ascaris lumbricoides* (2.8%), etc., entre las cuales, las infecciones con más de un patógeno ocurrieron en 96 (37.9%) de los pacientes. (Urbina et al., 2003).

De igual manera, en una muestra de 153 niños, enteropatógenos en 33 (21.57%), *Shigella spp.* (18.3%), *Salmonella typhi* (1.31%), *Salmonella no typhi* (1.96%), adenovirus (0.65%) y rotavirus (3.27) (Briceño et al., 2010; Bernal et al., 2011) y otra muestra de 180 menores de cinco años con una mediana de edad de 12 meses, encontró que el 44.4% (IC 95% 37.1-52) de los episodios de diarrea fue causada por rotavirus y solo un 7.8% por *Giardia duodenalis*, (IC 95% 4.3-12.8) y *Salmonella spp* (IC 95% 4.3-12.8) (Yepes et al., 2010).

Es importante en el estudio de la diarrea es su estacionalidad, y así lo muestra un estudio desarrollado en la provincia de Sabana Occidente, en el cuál se encontró una mayor cantidad de virus asociados a las EDAs durante los meses de noviembre a abril ( $p < 0.007$ ), mientras que las bacterias ( $p < 0.03$ ) o parásitos ( $p < 0.00014$ ) relacionados con las EDAs prevalecieron entre los meses de mayo a octubre (Gutiérrez et al., 2006).

### 3.2.1. Carga de la enfermedad.

Colombia ha logrado reducir sustancialmente la mortalidad infantil y la mortalidad infantil por diarrea. La mortalidad infantil es ahora alrededor de un tercio más bajo que en la región de América Latina y el Caribe, y casi un 50 por ciento inferior a la media de los países de bajos ingresos medios. De acuerdo al DANE, en Colombia aproximadamente el 7.3 por ciento de la mortalidad infantil se atribuye a enfermedades diarreicas (1,450 a 1,820 muertes por año). Se estima del 90% de los casos y de las hospitalizaciones de esta causa, se puede atribuir al agua, al saneamiento y la higiene (Tabla 3.2) y es más frecuente en las zonas rurales habitadas por los segmentos más pobres de la población (Tabla 3.3), como es el caso de la población que habita en los departamentos de Chocó, Cauca, Valle del Cauca y Nariño (Larsen, 2004).

**Tabla 3.2.** Estimación del impacto anual en la salud debido a la insuficiencia de agua, saneamiento e higiene

Parámetros	Estimaciones anuales	
	Bajas	Altas
<b>Casos de enfermedad diarreica</b>		
Niños (menores de 5) – incremento de la mortalidad	1,305	1,635
Niños (menores de 5) – incremento de la morbilidad	12.4 millones	12.4 millones
Población de 5 años y más - incremento de la morbilidad	14.5 millones	20.0 millones
<b>Casos de hospitalización por diarrea</b>		
Niños (menores de 5)	90,000	95,000
Población de 5 años y más	75,000	100,000
<b>Años de Vida Ajustados por Discapacidad Totales - mortalidad y la morbilidad</b>	64,000	91,000

**Nota** Fuente: Larsen B. Cost of environmental damage: A socio-economic and environmental health risk assessment, Colombia. Final report. Cairo: Ministry of Environment, Housing and Land Development Republic of Colombia;2004.

En Colombia, la proporción de Años de Vida ajustados por Discapacidad (AVAD) atribuibles al agua insalubre oscila entre 1.0 – 1.9%, similar al resto de América Latina, con la excepción de Bolivia, Ecuador, Guatemala, Perú y Nicaragua, donde la proporción es más alta (Larsen, 2004).

**Tabla 3.3.** Porcentaje de niños menores de 5 años con diarrea en las dos semanas previas por departamento en Colombia.

Departamento	%
Cali	10.8
Bogotá	10.9
Bolívar, Sucre, Córdoba	11.3
Altántico, Bolívar Norte	11.6
La Guajira, Cesar, Magdalena	11.9
Valle del Cauca	12.5
Tolima, Huila, Caquetá	13.5
Boyacá, Cundinamarca, Meta	14.9
Santanderes	15.2
Medellín	15.8
Antioquía	16.2
Caldas, Risaraldo, Quindío	17.6
Cauca, Nariño	18.8
Chocó	22.0

**Nota:** Fuente: Sánchez E, Kulsum A, & Yewinda A. Environmental Priorities and Poverty Reduction: A Country Environmental Analysis for Colombia. Recuperado de: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6700> ;2007

\*Con datos de la Encuesta Nacional de Demografía y Salud 2000.

### 3.2.2. Cólera

El cólera es un padecimiento producido por el *Vibrio Cholerae*, que puede vivir en el agua, los alimentos y los humanos por largos períodos, produciendo síntomas como fiebre, deposiciones diarreicas abundantes, vómito, deshidratación severa y falla circulatoria (choque hipovolémico). En Colombia los primeros registros de cólera datan de 1849 en Cartagena de Indias, causando la muerte de la cuarta parte de su población (Valera et al., 2004). Sin embargo, el número de casos se ha reducido drásticamente desde finales de 1992, cuando las pastillas de cloro desinfectantes fueron distribuidos para el tratamiento de agua en los hogares; además desde de que en Colombia se cuenta ya con un Plan de Prevención, Control y Respuesta al Cólera desde octubre de 2010.

El último brote importante de cólera en Colombia fue en 1992 y se ha planteado la hipótesis de que debido a un evento de El Niño durante ese año, se presentó un brote de cólera en las costas del Perú debido al rápido crecimiento de las bacterias del medio ambiente (Poirier et al., 2012; Quevedo, 1992). Este se diseminó a Colombia, presentándose el primer caso de

cólera de 1991 en el puerto de Tumaco y extendiendo hasta marzo de 1992, fecha en la que se informaron 17.673 casos de cólera, de los cuales el 95 % estaban en los 12 departamentos costeros incluyendo la isla de San Andrés, los cuales tienen el 49 % de la población colombiana. En total, de 1991 a 1995 se registraron 33,614 y 521 muertes (Ackers et al., 1998). Posteriormente la enfermedad se controló y sólo entre 1995 y 1997 aparecieron algunos brotes epidémicos focales en la Costa Atlántica y tres casos aislados en Tumaco (Urbina et al., 1997). Los casos presentes se produjeron por el biotipo El Tor, serotipo Inaba, el cual tiene entre sus principales características una mayor supervivencia en el ambiente, ya que persiste durante un mayor tiempo en aguas superficiales, aguas de desagüe y heces, lo cual explica su mayor diseminación (Tauxe et al., 1995).

Durante los últimos años se notificaron al sistema de vigilancia en salud pública (SIGIVIGILA) 13 casos sospechosos de cólera en el 2010, pero el 100% fueron negativos para agentes patógenos incluido *Vibrio cholerae* (López y Martínez, 2011); 57 casos sospechosos de cólera para el 2011, pero se descartaron por pruebas de laboratorio (López y Espinosa, 2011).

### **3.2.3. Fiebre tifoidea y paratifoidea y otras infecciones por *Salmonella***

La salmonelosis se presenta en términos generales dentro de dos espectros clínicos: la fiebre entérica más conocida como fiebre tifoidea y salmonelosis, cuya principal manifestación es la gastroenteritis (Méndez IA et al., 2010). La fiebre tifoidea es una enfermedad bacteriana producida por *Salmonella typhi* o *Salmonella paratyphi* que se adquiere a través alimentos y aguas contaminadas, Su reservorio natural es el hombre, que contamina el ambiente por la excreción intermitente de las bacterias (Chin, 2001). Se caracteriza por la presencia de fiebre continua, cefalea, anorexia, manchas rosadas en el tronco en enfermos de piel blanca y malestar general. La letalidad está asociada principalmente al desarrollo de complicaciones gastrointestinales como la perforación y hemorragias intestinales. La fiebre paratifoidea presenta un cuadro clínico inicial semejante aunque menos intenso, y la tasa de letalidad es mucho menor (Heymann, 2005).

Se presentan formas leves y asintomáticas, especialmente en las zonas endémicas y el incremento de sus casos se debe a las siguientes condiciones (Edelman y Levine, 1986):

- a) rápido incremento de la población,
- b) aumento de la urbanización,
- c) inadecuado desecho de los residuos sólidos,
- d) inadecuada calidad del agua,
- e) disminución del abastecimiento de agua y
- f) consumo de alimentos elaborados con aguas contaminadas

En Colombia, hasta el 2007 la incidencia de la enfermedad era muy baja de acuerdo al protocolo de Vigilancia de Fiebre Tifoidea y Paratifoidea del Instituto Nacional de Salud. A partir

del 2007 se inició la notificación obligatoria y para el 2008 el Sistema de Vigilancia de Colombia notificó 88 casos confirmados, de los cuales el departamento Norte de Santander aportó el 30% de los casos, Meta (19%), Cauca (17%) y Antioquia (16%). Para el año 2009 se confirmaron por laboratorio 102 casos de fiebre tifoidea, presentándose 33% de los casos en Meta, 21% en Antioquia y 18% en Norte de Santander (INS, 2007).

Durante el 2010 se notificaron 100 casos y los departamentos con mayor número de casos fueron Norte de Santander (46%), Bogotá (16%), Antioquia (14%) y Meta (8%); del total de los casos de este último año, 27 de se debieron a un brote por consumo de agua no tratada en el departamento de Chocó (Muñoz, 2010). En el año 2011 se presentaron 104 casos, volviendo a repetir en número de casos el Norte de Santander. Para el 2011, se notificaron 4 brotes con 35 casos de fiebre tifoidea y paratifoidea en las entidades territoriales de Valle del Cauca (Argelia y Tuluá), Sucre (Sincedejo) y Huila (Garzón) (INS, 2012).

En un estudio que caracterizó dos brotes por fiebre tifoidea en Antioquia, a pesar de que confirmó positivo para *Salmonella typhi*, en el estudio de aguas fue negativo para *Salmonella* spp en las muestras de agua recolectadas tanto a nivel superficial como a profundidad agua del canal de aguas negras, de aguas servidas provenientes de lavaderos de la zona, de aguas del tubo de distribución y de aguas del pozo en tierra (Cardona et al., 2007). En cuanto salmonelosis, esta se asocia frecuentemente con la enfermedad diarreica aguda debido a que la bacteria se propaga principalmente por la ingestión de alimentos o de aguas contaminadas o por personas infectadas que manipulan los alimentos (Méndez et al., 2010) y su incidencia es más alta que la Fiebre tifoidea (Tabla 3.4).

En Colombia existen estudios que establecen la presencia de *Salmonella* en alimentos. Por ejemplo, Durango y cols. analizaron 636 muestras de alimentos obtenidas en ventas de comidas rápidas callejeras y en plazas de mercados de Barranquilla (n=245), Montería (n=222), Sincedejo (n=87) y Cartagena (n=82), todas ellas en el Caribe Colombiano; aislaron 47 casos (7,4%) de *Salmonella* spp en carne de res (9.3%), chorizo (12.6%), queso (7.9%), carne de cerdo (5.2%), pollo (1.6%) y arepa de huevo (10.5%), observando que 97% de los establecimientos en donde se aisló *Salmonella* spp. tenía malas condiciones sanitarias (Durango et al., 2004).

**Tabla 3.4.** Incidencia de salmonelosis en Colombia. 1997 – 2010

<b>AÑO</b>	<b>Casos</b>	<b>Tasa casos/100.000 hab.</b>
<b>1997</b>	99	0.2387
<b>1998</b>	112	0.2701
<b>1999</b>	127	0.3063
<b>2000</b>	145	0.3497
<b>2001</b>	171	0.4124
<b>2002</b>	252	0.6077
<b>2003</b>	254	0.6125

<b>2004</b>	281	0.6776
<b>2005</b>	338	0.8151
<b>2006</b>	331	0.7982
<b>2007</b>	417	1.0056
<b>2008</b>	400	0.9646
<b>2009</b>	647	1.5602
<b>2010</b>	759	1.7697

**Nota:** Fuente: INS en base a datos emitidos por el Grupo de Microbiología y Censo del 2005.

\* No se incluyeron los datos de *S. Typhi*.

De igual forma, en la región Caribe Colombiana se analizaron 1 300 muestras de alimentos provenientes de mercados y ventas callejeras, de las cuales se recuperaron 74 aislamientos de *Salmonella spp.* en mayor frecuencia, en carne de res 30 (40.5 %), seguido por alimentos embutidos 13 (17.6 %) y en pollo 12 (16.2 %). Solamente se aisló un caso de en agua en la ciudad de Barranquilla (Espinal et al., 2006).

También en Bogotá se recolectaron 42 muestras de alimentos en ventas callejeras para el aislamiento y caracterización de *Salmonella spp.* Y se detectó crecimiento microbiano en un total de 18 muestras (42,9%), de las cuales solo dos fueron positivas por serotipificación para *Salmonella* entérica (11.1%) (Méndez et al., 2010). Existen otros estudios que han evaluado la presencia de *Salmonella spp.* en guantes y las manos de los operarios de bovinos y porcinos de una planta de sacrificio, sin encontrar tal presencia (Corrales et al., 2008)

### **3.2.4. Otras bacterias (*Escherichia coli*)**

La *Escherichia coli*, también conocida *E. coli*, es una enterobacteria que puede causar diarreas y se puede adquirir al consumir agua y alimentos que contienen la bacteria (DuPont et al., 1971). Estudios desarrollados en Colombia han encontrado la presencia de la bacteria en niños menores de 5 años de edad admitidos en hospitales infantiles en Bogotá con diarrea infecciosa (Mattar y Vásquez, 1998). Otro estudio encontró entre 139 cepas de *Echeriquia coli* analizadas, que el 20 (14.4%) correspondieron a tipos diarreogénicos de *E. coli*. Los cuales son productores de toxinas conocidas por estar asociadas con patógenos intestinales (Gómez et al., 2010). La infección por *E. coli* se ha asociado a un pobre estatus nutricional (Boeke et al., 2010).

### **3.2.5. Parásitos (*Cryptosporidium* y *Giardia lamblia*)**

Las principales formas de transmisión directa de parásitos de las ETAs son los la vía fecal-oral y el consumo de agua contaminada, y de forma indirecta, el consumo de alimentos regados con agua sin tratar. Los parásitos *Giardia spp.* y *Cryptosporidium spp.* tienen la característica de permanecer en el ambiente por largos periodos de tiempo y son resistentes a



la mayoría de procesos de desinfección química y tratamiento de agua (Nash, 1993). Para contribuir al conocimiento de la criptosporidiosis en la población preescolar, Bayona y cols. obtuvieron 260 muestras de heces de niños menores de cinco años, en la región Sabana Centro (Cundinamarca-Colombia) y encontraron una prevalencia de *Cryptosporidium spp.*, del 7%. En los niños de este estudio no se registró relación con ningún tipo de diarrea, por lo que los autores ubicando la infección, por este parásito como asintomática. Los autores determinaron que el *Cryptosporidium spp.* puede afectar en cualquier momento a los niños menores de cinco años (Bayona et al., 2011). En otro estudio realizado en un Servicio de Urgencias de Pediatría de Arauca, Colombia con 173 niños menores de 13 se encontró una frecuencia de *Cryptosporidium spp.* de 46.8% (Arango et al., 2006).

En cuanto a *Giardia lamblia*, esta se ha asociado con una menor altura por edad (Boeke et al., 2010), el uso comunal de baños y la provisión de agua por ductos municipales (Lora et al., 2002) y se ha mostrado en estudios que afecta principalmente a los niños menores de 5 años. P.ej.: En un hogar infantil en el municipio de Circasia, Quindío, se encontró que de una muestra de 79 niños de entre los 2 y 5 años, el 16.5% de ellos presentaron *Giardia lamblia* (Arias et al., 2010).

### **3.2.6. Factores de riesgo.**

Entre los factores de riesgo de las enfermedades diarreicas más conocidos se encuentran la edad - la mayoría de estos episodios acontecen la población infantil – índices elevados de hacinamiento, malas condiciones higiénico-sanitarias de la vivienda y padres con nivel escolar medio materna, así como niños con bajo peso al nacer (Cáceres et al., 2005). En un estudio en Colombia para determinar los factores de riesgo de la diarrea con deshidratación, se encontró una asociación estadística entre la diarrea con deshidratación y el peso al nacer < 2600 g (RP=7.79; IC95%: 3.47 a 18.01) así como con el tiempo de lactancia materna inferior a 3 meses (RP=3.17; IC95%: 1.66 a 6.13). El riesgo de presentar deshidratación se asoció con las condiciones socioeconómicas desfavorables, los hábitos higiénicos inadecuados de la familia del niño y una menor escolaridad materna (Cáceres et al., 2005). También, en pacientes menores de dos años con diarrea persistente atendidos en servicios de urgencias, se identificaron como posibles factores de riesgo asociados el tener menos de un año de edad así como los niños que vivían en área urbana en estrato socioeconómico uno y presentaban desnutrición. (Gutierrez et al., 2008).

### **3.2.7. Parásitos intestinales (*Ascaris lumbricoides* y *Trichuris trichiura*)**

Los parásitos intestinales se desarrollan cuando encuentran en el huésped las condiciones favorables para su anidamiento, desarrollo y multiplicación. Entre los parásitos intestinales más comunes se encuentran *Ascaris lumbricoides*, y *Trichuris trichiura*, la cuales tienen entre sus principales factores de riesgo el consumo de aguas o alimentos contaminados y a la inadecuada infraestructura higiénico-sanitaria (Medina et al., 2000). También la

desnutrición aguda ha sido frecuente en niños infectados con *T. trichiura* y con varios parásitos ( $p < 0,05$ ) (Alvarado y Vásquez, 2006).

En Colombia la investigación de la parasitosis data de hace varias décadas. De acuerdo a la Investigación Nacional de Morbilidad realizada entre 1965 y 1980, se reportó el comportamiento de los parásitos patógenos de la siguiente manera: *Ascaris lumbricoides*, el cual se encontraba en 1965 en un 54% y disminuyó en 1980 a un 34% y *Trichuris trichiura* que en 1965 se reportó en un 50% y para 1980 disminuyó a un 37%. (Sanchez, 2006). La prevalencia encontrada en estudios

En el país existen diversos estudios que han evaluado la presencia de parásitos en diferentes grupos poblacionales. Por ejemplo en Guapi, Cauca, en 136 muestras en niños de 7 a 18 meses de edad, se encontró que el 26.2% presentaba helmintiasis (*Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Strongyloides stercoralis*) y 14.9% tenía protozoos (*Giardia lamblia*), y 11,8% poliparasitismo intestinal. La prevalencia de desnutrición aguda y crónica fue de 2,9% y 12,5%, respectivamente, siendo la desnutrición aguda más frecuente en niños infectados con *T. trichiura* y con varios parásitos ( $p < 0,05$ ). La ausencia de sanitario y una baja escolaridad de la madre se asociaron a una mayor presencia de helmintiasis ( $p < 0,05$ ). (Alvarado y Vásquez, 2006).

Por otro lado, en la costa atlántica de Colombia, se encontró que el 92% de las personas estaban parasitadas con al menos un patógeno. En este estudio se observó una asociación significativa entre sintomatología y presencia de parásitos ( $p < 0,05$ ) no así, entre síntomas y parásitos potencialmente patógenos a excepción de *Trichuris trichura* y dolor abdominal. El análisis estadístico no mostró asociación entre las parasitosis y los niveles educativos o hábitos higiénicos sanitarios (Agudelo et al., 2008). Mientras que en las zonas palúdicas de Antioquia, entre profesores saludables y estudiantes de enfermería entre 18-44 años de edad, se observaron parásitos intestinales en 97% de ellos (Carmona, 2004).

### 3.2.8. Hepatitis A

La hepatitis A es una enfermedad hepática causada por el virus de la hepatitis A (VHA). Éste enfermedad está asociada a la falta de agua salubre, un saneamiento deficiente y una mala higiene personal (OMS, 2012b). En Colombia, en el 2000 se notificaron 4438 casos de hepatitis A y esta cifra se ha incrementado con los años (Tabla 3.5). En el 2006 se notificaron 4.212 casos de ictericia ligados a infección reciente por hepatitis A, para una incidencia media estimada de entre 8.0 y 11.5 casos por 100.000 habitantes (Alvis et al., 2010).

Durante el 2012, hasta la semana epidemiológica No. 32 se han notificado 3408 casos de hepatitis A, siendo los departamentos con mayor incidencia: Sucre con 448 casos (13.1%), Antioquia con 380 casos (11.1%), meta con 247 casos (7.24%), Bolívar (6.45%) y el departamento del Valle del Cauca (5.07%); estos 5 departamentos reúnen el 42.96% de la notificación total de hepatitis A. Además se registró un caso de mortalidad asociada al virus de



hepatitis A en el departamento de Chocó. La mortalidad nacional por hepatitis A es muy baja, pues se calcula en 0.0021 por 100,000 (López y Espinosa, 2011).

De acuerdo a un estudio de carga de enfermedad por hepatitis A en Colombia, entre 1998 y el año 2004 se estimaron para todo el país 34 muertes anuales (IC del 95%: 23 – 45 muertes) por virus de hepatitis A, entre 25.000 y 70.000 casos de ictericia y 36,148 y 54,730 consultas por hepatitis A en menores de 15 años por año (Alvis et al., 2010).

**Tabla 3.5.** Casos anuales de Hepatitis A. Colombia 2000 – 2003

<b>Año</b>	<b>Casos de hepatitis A</b>
<b>2000</b>	4,438
<b>2001</b>	6,405
<b>2002</b>	11,236
<b>2003</b>	6,513

**Nota** Fuente: Instituto Nacional de Salud. Colombia, 2004

### 3.2.9. Tracoma

El tracoma es una enfermedad infecciosa causada por la bacteria *Chlamydia trachomatis* que provoca que alrededor del 3% de la ceguera a nivel mundial y que alrededor de 8 millones de personas queden con discapacidad visual irreversible (OPS, 2012b). La vivienda precaria, la carencia de agua potable y de sistemas adecuados de disposición de excrementos, así como la abundancia de moscas domésticas del género *Hippelates*, constituyen factores de riesgo para la transmisión de esta enfermedad. Son casi nulos los estudios que han examinado esta enfermedad en Colombia, entre los que destacan el realizado por Miller y cols. en 114 personas en San Joaquín y Santa Catalina de las cuales se diagnosticó clínicamente tracoma en 21 (18.4%), siendo 15 de ellas (13.2%) menores de 15 años. En este estudio se detectaron todas las fases de la enfermedad. (Miller et al., 2010).

### 3.3. Contaminantes en cuencas y vertientes

Durante los últimos años, se han venido desarrollando una serie de estudios que evalúan la calidad microbiológica de las cuencas y sus afluentes en Colombia. Así por ejemplo, en un estudio desarrollado en la **cuenca alta del río Bogotá**, que atraviesa la Sabana de Bogotá y es uno de los más contaminados del país, se encontró que la presencia y concentración de indicadores bacterianos (coliformes fecales), virales (fagos somáticos y específicos) y parasitarios (*Giardia* y *Cryptosporidium*) tanto en aguas superficiales del río

Bogotá como en aguas subterráneas de los acuíferos de Tilatá y Guadalupe tenían concentraciones elevadas en la mayoría de los indicadores evaluados. La concentración de estos indicadores de origen fecal indica el riesgo sanitario al que está expuesta la población por el consumo directo o indirecto del agua. Los resultados encontrados en sistema de tratamiento de aguas potables del municipio de Facatativá muestran que si bien son eficientes para eliminar bacterias no ocurre lo mismo cuando se pretende eliminar virus y que probablemente son resistentes a los sistemas de desinfección por cloro. En cuanto a los sistemas de depuración, muestran una disminución de los indicadores de contaminación fecal que en la mayoría de los casos cumplen con las normas sugeridas por la OMS para el uso de aguas para riego en agricultura (Campos et al., 2008).

De la misma forma, en un estudio en el que se evaluó la calidad microbiológica del agua del municipio de Bojacá situado al occidente de la **sabana de Bogotá** se encontró que la mayoría de las muestras no cumplió con el valor mínimo permisible de cloro residual libre, por lo que de acuerdo al índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, no son aguas aptas para consumo humano (Estupiñán y Avila, 2010).

Por otro lado en Quibdó, capital del **departamento del Chocó**, se analizaron 60 muestras de agua no tratada y a 20 muestras de agua tratada por el acueducto de la ciudad, de las cuales seis resultaron positivas para rotavirus y dos más para virus de la hepatitis A de origen humano. Éstos aparecieron tanto en aguas tratadas como no tratadas. (Moreno S et al., 2009). En **Bogotá**, específicamente en trece estaciones de muestreo, se encontró que las aguas del **Humedal de Jaboque** contienen un alto número de coliformes totales, por lo tanto, no deben ser usadas para fines de consumo humano y doméstico, agrícola o recreativa; además los recuentos de los indicadores de contaminación fecal mostraron que el agua no es apta para el consumo humano ni para uso recreativo (Ávila de Navia y Estupiñán, 2006).

Esto muestra que a pesar de que en algunas ciudades como Medellín y Bucaramanga se han construido plantas de tratamiento de aguas residuales para disminuir el impacto de la contaminación del agua, este sigue siendo un problema importante que afecta a los recursos hídricos de Colombia y limita su uso para el abastecimiento de agua a la población. Importantes ríos tales como Bogotá, Cali, Combeima, Otún, Pamplonita y Pasto, están altamente contaminados como resultado de las descargas directas de aguas residuales sin tratar, provenientes principalmente de centros industriales (Sánchez et al., 2007). En **la Ciénaga de la Quinta**, que es uno de los cuerpos de agua que conforma el sistema hídrico marino lagunar de **Cartagena**, se encontraron valores elevados de coliformes totales y fecales (considerando los criterios de calidad de agua para fines recreativos) en cuatro estaciones de muestreo (Tirado et al., 2011).

En el Plan de Acción Trienal 2007 – 2009 de la Corporación ambiental en la Reserva de Biosfera Sea Flower ubicada en el Archipiélago de San Andrés, se argumenta que el mar y las aguas subterráneas (por infiltración en el suelo), son los principales receptores de los residuos líquidos, que reciben aguas negras y grises poco tratadas, con alta carga contaminante de origen orgánico. Además, en la **zona rural de la isla de San Andrés** se observó un alto porcentaje de carencia de servicio de alcantarillado sanitario y pocas opciones para el

adecuado manejo de sus aguas residuales, utilizando en San Luis, La Loma, El Cove, South End y otras zonas, letrinas y pozos sépticos, mal diseñados y mal construidos, para la disposición de aguas residuales. De acuerdo a Arboleda Garzón (Arboleda, 2010), el 80% de los habitantes de la isla realiza vertimientos sin tratar, lo cual se convierte en uno de los problemas sanitarios más difíciles de la zona rural de la isla. Otro estudio realizado en la **isla de San Andrés**, mostró que en algunos sitios la concentración de bacterias patogénicas está arriba de los límites impuestos por la ley para el contacto primario y secundario (Gavio et al., 2010).

Estudios que han evaluado la presencia y la concentración de *Giardia spp.* y *Cryptosporidium spp.* tanto en estaciones de muestreo como en potabilizadoras de la **cuenca alta del río Bogotá**, Colombia, han confirmado la presencia de *Cryptosporidium spp.* en dos de las estaciones del río Bogotá y en dos potabilizadoras, y *Giardia spp.* en dos potabilizadoras pero no en el río Bogotá. La viabilidad fue positiva para *Cryptosporidium spp.* en una muestra proveniente del río, y negativa para las muestras de agua potable (Alarcón et al., 2005).

En siete municipios de la región **Caribe Colombiana**, se recolectaron 554 muestras para analizar coliformes totales, *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* en agua destinada para consumo humano. De acuerdo a los resultados de este estudio, el 98.3% de las muestras de aguas, no es apta para consumo humano y actividades domésticas (Franco PA et al., 2012).

En el municipio de San Luis, departamento de **Antioquia**, Colombia, se elaboró un mapa de calidad de agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, mediante el número más probable (NMP) de coliformes totales y fecales y *E. Coli*, encontrando que las estaciones donde capta el agua para el acueducto municipal de San Luis es de buena calidad pero en las demás estaciones excede los límites de calidad apropiados para producción de agua potable, recreación, uso pecuario y uso agrícola, si no reciben tratamiento intensivo previo. (Arango et al., 2008).

Pese a esto, algunos estudios evidencian un mejoramiento en la calidad del agua. Por ejemplo, en un estudio para evaluar el estado del recurso hídrico de la parte alta de las **cuencas hídricas Juan Cojo y El Salado** (ambas conforman el mayor afluente oriental del **río Medellín**) se distribuyeron treinta estaciones de muestreo y se observó que con la excepción de un punto, en el resto se observaba contaminación microbiológica con coliformes totales y fecales. Sin embargo, con el cálculo del índice de calidad del agua no se detectó un grado de contaminación alarmante (Gómez et al., 2007). También Velásquez y colaboradores determinaron la presencia de coliformes totales y coliformes fecales en las aguas del **Golfo de Urabá, Colombia** (noroccidente de la costa Caribe colombiana) encontrando en la mayoría de las muestras colectadas concentraciones menores o iguales a la norma en los dos indicadores (Gómez FA et al., 2008). Durante un estudio que analizó la calidad del agua en cuatro puntos de la **Ciénaga de la Virgen**, en **Cartagena**, los coliformes totales se mantuvieron en niveles bajos en dos puntos (Maldonado et al., 2011).

Para este diagnóstico se encontraron 18 documentos sobre el tema de cuencas y contaminantes de agua (Tablas 3.6 y 3.7), siendo 16 de ellos artículos científicos (89%) y el restante trabajos de tesis. De igual forma, 16 estudios analizaron ríos localizados en la vertiente del Caribe y solamente dos lo hicieron en la región Insular. Los departamentos en donde se han realizado la mayor cantidad de estudios el de Antioquia con cuatro estudios, seguido por Bolívar con tres estudios, Chocó, Cundinamarca, Magdalena y la isla de San Andrés con dos estudios y Atlántico, Córdoba y Cesar con un estudio (v.gr. algunos estudios incluyen dos o más departamentos, por lo que la suma de los estudios no es igual a 18). La mayor parte de las investigaciones cuantifica la concentración de coliformes totales, fecales y algunos parámetros fisicoquímicos del agua, excepto dos estudios que realizan una descripción de la red y acceso de agua potable y uno estudia la presencia del rotavirus y virus de la hepatitis A. El tipo de recurso hídrico que se analiza en los estudios es variado e incluye aguas residuales, potables, subterráneas, marinas, pozos, ciénagas y tanques de almacenamiento. En general, la mayor parte de los estudios registra altas concentraciones de coliformes totales y fecales y microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Cryptosporidium spp.*, *Giardia spp.*, *Enterococcus* y *Clostridium*. Con relación a la hepatitis A, el 10 % de las muestras (N = 80) fueron positivas a rotavirus y virus de la hepatitis A (Moreno S et al., 2009).

**Tabla 3.6.** Mediciones de coliformes (totales y fecales) en la región del Caribe Colombiano

Ciudad	Cuerpo de agua	Coliformes totales	Coliformes fecales
Valores de referencia		*20.000 NMP/100 ml **0 UFC/ 100 ml	*2.000 NMP/100 ml **0 UFC/ 100 ml
San Luis (Arango et al., 2008)	Quebradas	240-11,000,000 NMP	
Bogotá (Ávila de Navia y Estupiñán, 2006)	Humedal	47,660-343, 162 UFC/100 ml	
Bogotá (Campos et al., 2008)	Aguas superficiales	4.22 UFC/100 ml	
	Aguas subterráneas	1.74 UFC/100 ml	
	Potabilizadora	0.81 UFC/100 ml	
Bojacá (Estupiñán y Avila de Navia, 2010)	Pozo y nacedero	0	
	Tanque almacenamiento	0	
	Grifo	0	
Girardota (Gómez AM et al., 2007)	Cuencas	En todas*	En todas*
Mata de Palma (Avila de Navia y Estupiñán, 2009)	Aguas superficiales	56,000-3,220,000 UFC/100 ml	
Puerto Badel, Buenavista, Bocachica, Carmen de Bolívar, Manatí, San Jacinto, Villanueva (Franco et al., 2012)	Pozo	1,203-13,062 NMP/100ml	575-8,146 NMP/100 ml
	Tanque almacenamiento	210 UFC/100 ml	120 UFC/100 ml
	Viviendas	912 UFC/100 ml	241 UFC/100 ml
Golfo de Urabá (Gómez et al., 2008)	Marino	0-23,000 NMP/100 ml	0-9,000 NMP/100 ml
Cartagena	Ciénega	1.8-584,280 NMP/100 ml	

Ciudad	Cuerpo de agua	Coliformes totales	Coliformes fecales
Valores de referencia		*20.000 NMP/100 ml **0 UFC/ 100 ml	*2.000 NMP/100 ml **0 UFC/ 100 ml
(Maldonado et al., 2011)			
Cartagena de Indias (Tirado et al., 2011)	Ciénega	3.61 NMP/ml	1,315 NMP/ml

**Nota:** Fuente: El autor

\*Parámetros establecidos por el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud

\*\*Parámetros establecidos por la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social

\*\*\*Todos los valores son los mínimos y máximos encontrados en el estudio excepto para (Campos et al., 2008) en donde se presentan promedios.

**Tabla 3.7.** Mediciones de bacterias en la región del Caribe Colombiano

Ciudad	Cuerpo de agua	<i>Cryptosporidium</i> spp.	<i>Giardia</i> spp	<i>Escherichia coli</i>
Valores de referencia				*0 UFC/ 100 ml
Villapinzón y Chocotá (Alarcón et al., 2005)	Aguas residuales	266.6-233.3 ooquistes/L		
	Aguas potables	13.3 ooquistes/L	10-13.33 ooquistes/L	
San Luis (Arango et al., 2008)	Quebradas			4-11,000,000 NMP
Bogotá (Campos et al., 2008)	Aguas superficiales	0.88 ooquistes/L	1.33 quistes/L	
Bojacá (Estupiñán y Avila de Navia, 2010)	Aguas subterráneas			
	Potabilizadora			
Girardota (Gómez et al., 2007)	Pozo y nacedero			0
	Tanque			0
	almacenamiento			0
Mata de Palma (Avila de Navia y Estupiñán, 2009)	Grifo			0
	Cuencas			1- >1,600 NMP
				0-3, 220,000 UFC/100 ml

**Nota:** Fuente: El autor.

\*Parámetros establecidos por la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social.

Todos los valores son los mínimos y máximos encontrados en el estudio excepto para (Campos et al., 2008) en donde se presentan promedios.

\*El estudio no presentó datos

En el Estudio Nacional del Agua 2010 se analizaron varios contaminantes en las distintas cuencas que conforman Colombia. Algunos de los contaminantes que se tomaron en cuenta fueron los siguientes:

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** es la cantidad de oxígeno (expresado en mg/l) que se necesitan los microorganismos presentes en el agua para degradar la materia orgánica. Entre mayor sea la cantidad de materia orgánica en el agua, los microorganismos necesitarán más oxígeno para degradar la misma (Sánchez LE, 2013). Esto puede tener un impacto negativo en algunas especies de interés comercial, ya que se reduce la cantidad de oxígeno disponible en el agua. Además, también puede afectar a la salud humana ya que propicia una mayor cantidad de microorganismos que pueden ser ingeridos por el hombre de manera directa (mediante el consumo de agua contaminada) o indirecta (mediante el consumo de alimentos regados con agua contaminada). En Colombia se estima que la carga total de DBO en el 2008 fue de 729,383 toneladas, siendo el sector doméstico el que tuvo una mayor aportación (65%), seguido por el sector industrial (29%) y el cafetero (6%; Tabla 3.8, IDEAM, 2010).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** es la cantidad necesaria de oxígeno (medida en mg/l) para poder oxidar la materia orgánica e inorgánica susceptible de oxidación contenida en una muestra. Debido a que involucra materia orgánica e inorgánica, generalmente se obtienen valores mayores que los de la DBO (Sánchez, 2013; Blanco *et al.*, 2013). Durante el año 2008 en Colombia, la DQO en sus afluentes fue de 1,618,204 toneladas y el sector doméstico fue el que mayor aporte tuvo (58% del total), seguido por la industria (8%) y el sector cafetero (3%; Tabla 3.8, IDEAM, 2010).
- **Sólidos suspendidos totales (SST):** son aquellas partículas orgánicas o inorgánicas que pueden separarse del líquido en el que se encuentran diluidos por sedimentación, filtración o centrifugación (Rojas, 2002). Los SST pueden provenir de fuentes naturales (arrastre de suelo debido a la precipitación) o antropogénicas (por erosión de suelos agrícolas, disminución de cobertura vegetal para fines urbanos). Un incremento de los SST puede tener consecuencias negativas en el agua como aumento de la DQO, mayor absorción de nutrientes, contaminantes persistentes, bioacumulables y tóxicos, lo cual puede disminuir la calidad del agua para uso humano. Se estima que en el año 2008 en los ríos de Colombia se vertieron 1,114,829 toneladas, siendo los principales contribuyentes el sector doméstico (89%) y en menor proporción el sector industrial y cafetero (8 y 3%, respectivamente; Tabla 3.8, IDEAM, 2010).
- **Nitrógeno total (NT):** las formas iónicas (reactivas) de nitrógeno inorgánico más comunes en los ecosistemas acuáticos son el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), el nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Estos iones se encuentran de forma natural en el agua debido a la deposición atmosférica, escorrentía superficial y subterránea, disolución de depósitos geológicos ricos en nitrógeno, descomposición biológica de la materia orgánica y la fijación de nitrógeno por ciertos organismos procariontes. De igual forma, las formas iónicas pueden provenir de fuentes antrópicas como de residuos y vertidos de granjas de animales, vertidos industriales y municipales sin un tratamiento adecuado, procesos de escorrentía e infiltración en basureros, campos de cultivo, de praderas y bosques quemados, entre otros. Estos aumentos en el NT en el agua pueden causar

consecuencias negativas en el ecosistema, flora, fauna y en la salud humana (Camargo y Alonso, 2007). La carga vertida de NT para el año 2008 en Colombia fue de 116,720 toneladas (Tabla 3.8, IDEAM, 2010).

- Fósforo: este elemento puede llegar a los cuerpos acuáticos por agua contaminada de la industria y los hogares, estiércol, erosión de suelo, aplicación excesiva de fertilizantes, entre otros. Su aumento puede producir eutrofización (crecimiento masivo de algas las cuales pueden disminuir la cantidad de oxígeno disuelto en el agua) provocando la muerte de los animales que habitan en las aguas (Iidia y Shock, 2009). Para Colombia, en 2008 se estimó una carga total de 29,361 toneladas, siendo el sector industrial el que mayor aportación tuvo (Tabla 3.8, IDEAM, 2010).

**Tabla 3.8.** Carga de contaminantes (toneladas/año) vertidas a los sistemas hídricos por los distintos sectores en 2008.

Sector	DBO	DQO	SST	NT	PT
<b>Cafetero</b>	41,253	53,926	33,290		
<b>Industrial</b>	213,273	625,906	84,714	19,868	2,209
<b>Doméstico</b>	474,857	938,372	996,825	96,852	27,152

**Nota:** Fuente:[IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Estudio Nacional del Agua 2010. Documento final. Bogotá DC: IDEAM;2010a.

\*DBO = Demanda Biológica de Oxígeno, DQO = Demanda Química de Oxígeno, SST = Sólidos Suspendidos Totales, NT = Nitrógeno Total, PT = Fósforo Total.

- Cromo: la principal vía de contaminación es por el desecho de aguas residuales provenientes de la industria del cuero y cromado. Este metal pesado disuelto en el agua puede disminuir su cantidad de oxígeno y provocar daños a la salud al ser cancerígeno y generar mutaciones en las células (Sala *et al.*, 1995; Esparza y Gamboa, 2001). El cromo presenta valores por arriba de los 37.3 mg/kg en el río Bogotá debido a que con anterioridad se realizaban actividades de la industria del cuero en Villapinzón y Chocontá (IDEAM, 2010).
- Mercurio: aunque este metal pesado puede provenir de manera natural, la mayor parte proviene de fuentes antrópicas debido a la contaminación de aguas por jales de minería de mercurio, cinabrio, oro, plata menas metálicas sulfurosas, la industria de la pulpa, papel y pintura (Mitra, 1986). Los municipios con mayor utilización de mercurio son Segovia, Remedios, Maceo, Marmato y Tarazá, los cuales representan el 75% de los vertimientos nacionales estimados. Para el caso de Colombia, se encontraron valores alarmantes de mercurio por arriba de 0.17 mg/kg en sitios con actividad industrial y minera, principalmente de extracción de oro (IDEAM, 2010).
- Sedimentos: la gran mayoría de los contaminantes persistente, bioacumulables y tóxicos se depositan en los sedimentos los cuales sirven de alimento para los organismos



acuáticos y así se introducen en la cadena alimenticia afectando a organismos de varios niveles tróficos (FAO, 1997). Se estima que a través de todos los cuerpos acuáticos en Colombia circulan aproximadamente 300 millones de toneladas de sedimentos, siendo el principal contribuyente el río Magdalena con 140 millones de toneladas. En cuanto a áreas hidrográficas, la Magdalena es la que mayor cantidad de sedimentos transporta seguido del Orinoco, Caribe, Amazonas y Pacífico (Tabla 3.9).

**Tabla 3.9.** Mínimo y máximo del transporte total anual multianual de sedimentos por área geográfica.

Área hidrográfica	Estaciones	Transporte total anual multianual (Kton/año)	
		Mínimo	Máximo
Magdalena	23	116.80	133,984.20
Orinoco	11	2,120.65	50,643.75
Caribe	5	29.20	5,690.35
Amazonas	4	511.00	1,963.70
Pacífico	2	2,255.70	24,265.20

**Nota:** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Estudio Nacional del Agua 2010. Documento final. Bogotá DC: IDEAM;2010a.

### 3.4. Abastecimiento de agua y condiciones de saneamiento en Colombia

Uno de los mayores costos de la degradación ambiental en Colombia está asociada con una morbilidad y mortalidad por enfermedades transmitidas por el agua (Sánchez et al., 2007). Estimaciones realizadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en su Estudio Nacional del Agua 2010 (IDEAM, 2010), dan como resultado que 10 millones de habitantes en Colombia presentan índices altos de escasez de agua lo cual impacta en los hábitos de higiene y estos a su vez en la incidencia de diarreas.

De acuerdo a un metanálisis de alrededor de 60 artículos, las intervenciones de agua, saneamiento e higiene aunado a las mejoras en los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento reducen hasta en un 30 % los casos esperados por enfermedad diarreica (Fewtrell et al., 2005). Sin embargo, en áreas rurales de Colombia un gran porcentaje de la población no tiene carece de servicios de saneamiento y abastecimiento de agua (Tabla 3.10).



**Tabla 3.10.** Porcentaje de hogares con abastecimiento de agua y saneamiento en Colombia

<b>Situación en saneamiento y abastecimiento de agua</b>	<b>Urbano</b>	<b>Rural</b>
<b>Saneamiento</b>		
Sin instalaciones sanitarias	1.4	28.7
Letrina	2.4	13
Con inodoro	96.2	58.2
<b>Agua</b>		
Abastecimiento de agua por tubería	98	50.3
Agua de pozos	1.3	18.7
Agua superficial	0	24.6
Agua de lluvia	0.4	4.1
Pipa de agua	0.1	1.2
Otro	0.2	1

**Nota:** Fuente: Encuesta de Demografía y Salud 2000.

Estudios puntuales como es el de Arboleda Garzón (2010) han mostrado que en la región insular de Colombia la vigilancia sanitaria y la certificación de la calidad para los sistemas de aguas y saneamiento básico son casi inexistentes, encerrando un peligro para los usuarios; la población servida por sistemas ineficientes es objeto de constantes intervenciones por parte de los servicios de atención médica, en materia de combate a enfermedades diarreicas y otras enfermedades de origen hídrico (Hayes, 2006). Esto refleja la falta de planeación y manejo de proyectos de agua potable y saneamiento a largo plazo, lo cual puede impactar de manera positiva en la morbi/mortalidad de enfermedades diarreicas, principalmente en las poblaciones menores de cinco años (Tabla 3.11).

**Tabla 3.11.** Beneficios de la intervención alternativa en Colombia.

			<b>Efectividad</b>			
			<b>Mortalidad en menores de cinco años</b>		<b>Morbilidad en mayores de cinco años</b>	
			Escenario bajo	Escenario alto	Escenario bajo	Escenario alto
Enfermedades diarreicas						
Casos	basales	anuales	1,634	1,634	30	30
(millones de casos por año)						
Casos anuales evitados						
Mejoramiento		en	65	90	1.2	1.7
abastecimiento de agua y saneamiento (áreas rurales)						
Programa de higiene (lavado de manos)			74	147	1	2
Programa de desinfección de agua para consumo (hervir el agua en hogares)			28	56	0.5	1

Casos totales evitados por año	167	293	2.7	4.7
Casos totales evitados (% de casos base)	10	18	9	16

**Nota:** Fuente: Larsen B. Cost of environmental damage: A socio-economic and environmental health risk assessment, Colombia. Final report. Cairo: Ministry of Environment, Housing and Land Development Republic of Colombia;2004.

### 3.5. Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SIVICAP)

Recientemente, el Instituto Nacional de Salud publicó el informe "Estado de la vigilancia de la calidad de agua para consumo humano en Colombia 2007 - 2011" (Instituto Nacional de Salud, 2012), el cual se constituye en la principal fuente de información de la temática en el país. El sistema usa el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) como medida resumen que brinda información sencilla de interpretar por los tomadores de decisiones, ya que se traduce en el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

Los parámetros incorporados en su construcción se clasifican en características básicas (color aparente, turbiedad, pH, cloro residual libre, olor y sabor) con un aporte del 22.5%; características químicas complementarias (aluminio, alcalinidad total, dureza total, sulfatos, calcio, cloruros, magnesio, fosfatos, manganeso, molibdeno, zinc, hierro total, nitratos, nitritos, fluoruros y carbono orgánico total), que aporta 37.5% del total; características microbiológicas (coliformes totales y *Escherichia coli*) con el restante 40% del puntaje. Los puntajes pueden variar entre cero y 100, siendo este último el de mayor riesgo para la salud (Instituto Nacional de Salud, 2012); en el informe se asume que los valores hasta 5 indican que no hay riesgo, entre 5.1 y 14 riesgo bajo, de 14.1 a 35 riesgo medio, de 35.1 a 80 riesgo alto, y de 80.1 a 100 riesgo muy alto, inviable desde el punto de vista sanitario. Si bien, los resultados detallados se encuentran en la publicación original, los principales hallazgos se resumen a continuación (Resolución 2115 de 2007).

En la figura 3.2 se resumen la situación nacional. Como se puede apreciar, no se reportaron datos para Chocó, aunque la situación se considera crítica en la calidad del agua. De los departamentos que brindaron información, Vichada fue catalogado como el departamento con mayor riesgo (inviable desde el punto de vista sanitario), seguido de Caldas, Guainía, Guaviare, Nariño y Putumayo (riesgo alto).

**Figura 3.2.** Calidad del agua a nivel Nacional.



**Nota:** fuente: Tomado de Instituto Nacional de Salud, 2012

La categoría riesgo medio es la que concentra la mayor parte de los departamentos del país; en ella se incluyen Amazonas, Bolívar, Boyacá, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Córdoba, La Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca y Vichada. Los departamentos de Antioquia, Arauca, Atlántico, Cundinamarca, Norte de Santander, San Andrés y Providencia, y el Distrito Capital se consideraron con riesgo bajo. Ningún departamento pudo ser catalogado como sin riesgo.

Si bien esta es una visión global, con IRCAs globales entre 20.83 y 23.86 como valores extremos entre 2007 y 2011, y sin cambios notorios en los parámetros, el informe permite identificar sub-regiones con diferencias importantes del resto del departamento al cual

pertenece. La primera diferencia notoria es que los IRCA son mayores en las zonas rurales, pasando de 41.3 en 2007 a 48.9 en 2011 (siempre en riesgo alto); esta tendencia indica empeoramiento de la calidad del agua potable en estas regiones. Esto contrasta con las zonas urbanas que en 1997 tenía un IRCA de 18.3 y en 2011 llegó a 11.5, lo cual indica que se pasó de un riesgo medio a un riesgo bajo.

Un análisis interesante resulta al ver que del total de la población colombiana, estimada en algo más de 46 millones de habitantes, se considera que 36.45% está sin riesgo, 29.87% con riesgo bajo, 17.27% con riesgo medio, 12.54% en riesgo alto y 0.68% en riesgo muy alto de problemas relacionados con la contaminación del agua usada para consumo humano. Esto al parecer es evidencia de una injusticia ambiental, donde el marcador determinante es el vivir en una región rural, especialmente en la región Pacífica, o en los departamentos de Antioquia, Caldas, César, Guainía, Huila, Putumayo o Vaupés, (Instituto Nacional de Salud, 2012). Una hipótesis que surge es la relación directa entre contaminación hídrica y raza, en este caso afrodescendientes o indígenas, de manera similar a como se ha descrito en otros lugares del mundo (Wing et al, 2000; McKey et al, 2012).

## 4. CONTAMINACION ATMOSFERICA

Con el descubrimiento del fuego, el hombre dio inicio a la contaminación del aire, tanto en los espacios donde residía, como en aquellos donde se desarrollaban actividades que dieron sustento a la Revolución Industrial. Con el posterior desarrollo de las áreas urbanas, las fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera (por combustión y por proceso industrial), fueron creando escenarios en los cuales la contaminación del aire se visualizó por la presencia de "smog" ("niebla tóxica") en la parte baja de la troposfera; en principio estos eventos fueron exclusivos de países industrializados como Bélgica (Valle de Mesue, 1930), Estados Unidos de América (Donora, Pensilvania, 1948) e Inglaterra (Londres, 1952). Los países en vías de desarrollo, como Colombia, han vivido un crecimiento acelerado de sus principales ciudades, creando grandes ciudades con habitantes en constante exposición a concentraciones de contaminantes del aire, a menudo superiores a los experimentados en los países industrializados en la primera mitad del siglo XX (Magglora y Lopez, 2006).

La mala calidad del aire en América Latina y el Caribe (ALC) es la causa de muertes prematuras, afecta la salud de millones de habitantes y genera la pérdida de millones de dólares en gastos por atención médica (Romieu et al., 2010).

Estimaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) indican que más de 100 millones de personas viven expuestas a concentraciones de contaminantes en el aire, que sobrepasan los niveles máximos permisibles establecidos en las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Para América Latina se calcula que cada año mueren alrededor de 35.000 personas por la contaminación del aire intraurbano y 276.000 años de vida se pierden por la misma causa (World Health Organization, 2002).

La causa principal de contaminación del aire urbano en ALC es el uso intensivo de combustibles fósiles en los sectores industriales y de transporte; en general, la calidad de los combustibles ha mejorado poco a poco en la región de las Américas, donde la gasolina sin plomo y el diesel con bajos niveles de azufre se utilizan cada vez más (Romieu et al., 2010). De todos los contaminantes del aire, el material particulado, en especial las partículas finas tienen el mayor efecto en la salud humana; la gran mayoría estas partículas provienen de la quema de combustible, tanto de fuentes móviles como los vehículos y de fuentes fijas o estacionarias como las centrales eléctricas (Ostro, 2004). Las partículas finas se asocian con un amplio espectro de enfermedades agudas y crónicas, tales como cáncer de pulmón y enfermedad cardiopulmonar; a nivel mundial, se estima que causan alrededor del 8% de las muertes por

cáncer de pulmón, el 5% de las muertes por causas cardiopulmonares y un 3% de muertes por infecciones respiratorias. La contaminación del aire por material particulado es un problema de salud ambiental que afecta a personas de todo el mundo, siendo los países de medianos ingresos los que tienen una mayor y desproporcionada carga de enfermedad (WHO, 2009a).

Otros contaminantes derivados de los combustibles fósiles y que se emiten a la atmósfera incluyen al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO). Los contaminantes secundarios como el ozono y los aerosoles ácidos son también muy comunes en las áreas urbanas (Organización Panamericana de la Salud, 2005b).

La exposición a otros contaminantes del aire puede desencadenar otros tipos de patologías. La exposición a plomo, que se acumula en órganos y tejidos, conlleva a problemas de aprendizaje, daño al sistema nervioso y cáncer; la inhalación de monóxido de carbono interfiere con la entrega de oxígeno, causando mareos, dolor de cabeza, daño neurológico y en el peor de los casos la muerte; el ozono disminuye la función pulmonar, genera irritación de los ojos y bronco-constricción; la exposición a asbesto, mercurio, dioxinas, algunos compuestos orgánicos volátiles (COV) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) pueden causar cáncer, efectos reproductivos, daño neurológico y efectos respiratorios; por último contaminantes biológicos como el polen y mohos generan reacciones alérgicas, asma, fatiga y síntomas respiratorios (Frumkin, 2010). Infortunadamente, como se verá más adelante, es poca la información disponible de estos contaminantes y la evidencia se fundamenta en el monitoreo y mediciones puntuales de material particulado.

#### **4.1. Antecedentes de la calidad del aire y morbilidad en Colombia**

En Colombia existe un interés creciente relacionado con la problemática y degradación ambiental que genera la contaminación atmosférica; esta preocupación ha tomado fuerza en los últimos años debido al incremento de los efectos que se han causado a la salud de las personas y al ambiente, más aún cuando es conocido que las pérdidas causadas anualmente en el país por la contaminación local del aire ascienden a 5,700 billones de pesos. Cerca de 5,000 muertes prematuras y casi 65,000 años de vida ajustados según discapacidad (AVAD) son atribuibles a la contaminación del aire en las ciudades Colombianas. Bogotá y el Área Metropolitana del Valle de Aburra (AMVA), representan más del 75 por ciento de la mortalidad atribuible. Cada año, cerca de 4,700 nuevos casos de bronquitis crónica son atribuibles a la contaminación del aire urbano en Colombia. La mortalidad representa cerca de la mitad de la carga de morbilidad atribuible a la contaminación atmosférica y la morbilidad constituye la otra mitad (Golub, 2012).

El documento CONPES 3344 “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire” (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2005) informa que la contaminación del aire en el país es causada principalmente por el uso de combustibles fósiles, de acuerdo con este informe el 41% del total de las emisiones se generaba en ocho ciudades; las mayores emisiones de material particulado menor a 10 micras

(PM<sub>10</sub>), NO<sub>x</sub> y CO están asociadas a las fuentes móviles, mientras que las de partículas suspendidas totales (PST) y óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) están relacionadas con las generadas por las fuentes fijas; el contaminante monitoreado de mayor interés, es el material particulado (PST y PM<sub>10</sub>), el cual frecuentemente supera los niveles máximos permisibles de la regulación vigente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010a).

Durante 2007 se realizó un diagnóstico de ocho redes de calidad del aire ubicadas en los centros urbanos de Bogotá, Sabana de Bogotá, Barranquilla, Cali, Medellín y su área metropolitana, Bucaramanga, Pereira y el corredor industrial del Valle del Sogamoso. El estudio incluyó la caracterización de más de 200 muestras de material particulado recolectadas en estas zonas, encontrando por una parte falencias en la información relacionada con los inventarios de fuentes de emisión y por otro lado, la importancia que tiene el tipo y la calidad de los combustibles utilizados en los centros urbanos, así como el estado de las vías en la generación y resuspensión de material particulado (MAVDT, 2010a).

Teniendo en cuenta esta evidencia y los estudios realizados en otros países, es importante evaluar en el territorio colombiano como la contaminación del aire afecta la salud de la población, ya que las condiciones meteorológicas, topográficas y de ubicación con respecto al eje ecuatorial, suministran escenarios que no se presentan en otras regiones del planeta (ausencia de estaciones o poblaciones localizadas a grandes altitudes), lo que impide que la información de estudios realizados en otros países, pueda ser utilizada o adaptada en nuestro país en su totalidad.

#### **4.2 Calidad del aire en las principales regiones y ciudades del país (2007 - 2010)**

De acuerdo con la información presentada por el IDEAM en el Informe “Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007–2010” (2012a), obtenido de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA), el contaminante de mayor preocupación dadas sus altas concentraciones y su comprobada afectación a la salud de la población es el PM<sub>10</sub>.

De acuerdo con la información de los SVCA, se estableció que la concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> disminuyó en el año 2010 en relación con el 2007, en el 43% de un total de 14 SVCA analizados, mientras que su tendencia fue al aumento en la concentración promedio en el 57% de ellos (CORPOCESAR, SDA de Bogotá, CAR, CORPONOR, CVC, CORPOBOYACA y CORANTIOQUIA). Durante todo el periodo de estudio las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones del SVCA del AMVA en el año 2007 con 67,89 µg/m<sup>3</sup>, seguido del SVCA de CORPONOR con un valor para el año 2009 de 66 µg/m<sup>3</sup>. Así mismo, en los SVCA de CORANTIOQUIA y la CAR se presentaron valores de 62 µg/m<sup>3</sup> para los años 2008 y 2009 respectivamente.

Finalmente en CORPOBOYACA se superó la norma en el año 2010 con 61 µg/m<sup>3</sup> aproximadamente. El segundo contaminante de importancia en Colombia, debido al aumento de las excedencias durante el periodo de estudio es el ozono (O<sub>3</sub>). Los SVCA de las ciudades



de Bogotá y Bucaramanga reportaron promedios anuales por debajo de 15 ppb, mientras en las jurisdicciones de AMVA y CORANTIOQUIA las concentraciones aumentaron en algunos años. La mayor concentración se presentó en el SVCA de la CVC para el año 2009, superando 20 ppb (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 2012).

Los parámetros de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) y Partículas Suspendidas Totales (PST) presentaron concentraciones que disminuyeron a través del tiempo, mientras que las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$ , Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y  $\text{O}_3$  no presentaron una tendencia marcada a nivel nacional, sino un comportamiento particular en cada zona donde fueron monitoreados (IDEAM, 2012a). El comportamiento de los diferentes contaminantes del aire, por regiones y ciudades específicas, se presenta más adelante en el numeral 4.5.

### **4.3. Comparación de la calidad del aire de Colombia con respecto a otros países**

#### **4.3.1. Calidad del aire de Colombia comparado con América Latina y el Caribe**

En la tabla 4.1 se presentan los valores de concentración promedio anual de  $\text{PM}_{10}$ , defunciones totales y años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) relacionados con la contaminación del aire extramural en países de América Latina y el Caribe (ALC). Se evidencia que todos los países, excepto Venezuela, exceden el valor guía de la OMS para  $\text{PM}_{10}$  en su media anual de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Organización Mundial de la Salud, 2004), mientras que países como Uruguay, Paraguay, Argentina, Bolivia, Honduras, Chile, Perú y Guatemala exceden más de tres veces el valor guía definido por la OMS. Comparado con el resto de países, Colombia presenta una menor concentración anual del contaminante; sin embargo aunque su valor es menor a  $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO, 2009a), excede el objetivo intermedio tres de la OMS de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (OMS, 2004), el cual al cumplirse reduce el riesgo de mortalidad en un 6% aproximadamente, con respecto al objetivo intermedio dos ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En cuanto al número de defunciones al año relacionados con la contaminación del aire exterior, Argentina, Brasil y México presentan el mayor número de defunciones, seguido de Perú, Colombia y Chile. Los países con mayores AVAD por año son Uruguay, Argentina, Bolivia, Chile y Perú, los cuales presentan concentraciones promedio anuales que exceden el valor guía de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por la OMS y además presentan más de 1.000 defunciones al año relacionadas con la contaminación del aire exterior.

En general, aunque Colombia presenta un valor de AVAD bajo (0.4), las muertes anuales y el promedio anual de  $\text{PM}_{10}$  que excede el valor guía de la OMS, muestra que la problemática de contaminación del aire exterior es relevante y debe ser abordada, para con ello disminuir la carga de enfermedad relacionada.

**Tabla 4.1.** Concentración promedio anual de  $\text{PM}_{10}$ , defunciones (Def.) respiratorias (Resp.) y AVAD, por año en países de América Latina y el Caribe.



País	Población (Millones)	% de personas que viven en ciudades con más de 100.000 hab.	Media anual de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Def. Resp./año	AVAD/1.000 hab./año
Uruguay	3,5	44	154	1.400	2
Paraguay	6,2	25	103	500	0.6
Argentina	38,7	74	78	13.100	2
Bolivia	9,2	45	72	1.000	1.2
Honduras	7,2	31	69	600	0.6
Chile	16,3	57	62	2.400	0.8
Perú	28	53	62	3.200	0.8
Guatemala	12,6	23	60	500	0.3
Panamá	3,2	29	58	200	0.4
México	107	56	49	9.300	0.6
El Salvador	6,9	27	48	300	0.3
Jamaica	2,7	27	43	200	0.4
<b>Colombia</b>	<b>45,6</b>	<b>59*</b>	<b>42</b>	<b>5.000*</b>	<b>0.4</b>
Costa Rica	4,3	46	40	200	0.3
Cuba	11,3	39	38	1.800	0.9
Republica Dominicana	8,9	43	36	800	0.7
Brasil	186,4	45	35	13.600	0.6
Ecuador	13,2	48	34	500	0.3
Trinidad y Tobago	1,3	4	22	< 10	-
Venezuela	26,7	62	16	-	-

**Nota.** Fuente: World Health Organization. Country profiles of environmental burden of disease. [On line] Retrieved from: [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/national/countryprofile/en/index.html](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/en/index.html);2009a

\* Valor ajustado para Colombia (World Bank, 2012).

#### 4.3.2. Calidad del aire de Colombia comparado con países de Norte América y Europa

En general se puede observar que comparado con estos países, Colombia presenta la mayor concentración promedio anual de PM<sub>10</sub>, lo cual se explica por la tecnología y calidad de combustibles utilizados en estos países desarrollados; sin embargo al igual que en ALC, los países europeos y norteamericanos exceden el valor guía promedio anual establecido por la OMS. En cuanto a los AVAD relacionados con la contaminación del aire exterior, Colombia presenta valores similares a muchos países europeos y norteamericanos, sin embargo las defunciones difieren debido a la población que reside en cada país (tabla 4.2).

**Tabla 4.2.** Concentración promedio anual de PM<sub>10</sub>, defunciones (Def.) respiratorias (Resp.) y AVAD por año en países de Norte América y Europa.

País	Población (Millones)	% de personas que viven en ciudades con más de 100.000 hab.	Media anual PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Def. Resp. /año	AVAD/ 1.000 hab./año
<b>Colombia</b>	<b>45,6</b>	<b>59*</b>	<b>42</b>	<b>5.000*</b>	<b>0.4</b>
Holanda	16,3	52	38	3.300	1.1
Italia	58,1	27	37	8.000	0.6
Grecia	11,1	46	34	2.500	1.2
España	43,1	42	30	5.800	0.7
Alemania	82,7	32	29	10.200	0.6
Suiza	7,3	42	27	800	0.5
Reino Unido	59,7	53	26	11.300	0.9
Francia	60,5	42	25	4.900	0.4
Federación Rusa	143,2	48	25	33.300	1.8
Estados Unidos	298	72	24	40.600	0.7
Canadá	32,3	79	21	2.700	0.4
Suecia	9	30	19	500	0.2

**Nota.** Fuente: World Health Organization. Country profiles of environmental burden of disease. [On line] Retrieved from: [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/national/countryprofile/en/index.html](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/en/index.html);2009a

\* Valor ajustado para Colombia (World Bank, 2012).

#### 4.3.3. Calidad del aire de Colombia con respecto a países de Asia y África

Con respecto a estos países se observa que al igual que en el resto del mundo, no se cumple el valor guía establecido por la OMS; cabe resaltar que las concentraciones anuales de PM<sub>10</sub> en Egipto, Indonesia, India, China y Tailandia exceden más de 3 veces el valor guía de la OMS, situación que se evidencia también en algunos países de ALC. Los AVAD en estos países son similares a los presentes en Colombia, sin embargo se observa que Israel y Singapur presentan valores mayores de AVAD con poblaciones menores a la presente en Colombia, lo que puede estar relacionado con mayores concentraciones anuales de PM<sub>10</sub> comparado con el valor de 42 µg/m<sup>3</sup> reportado para Colombia (tabla 4.3).

**Tabla 4.3.** Concentración promedio anual de PM<sub>10</sub>, defunciones (Def.) respiratorias (Resp.) y AVAD por año en países de Asia y África.

País	Población (Millones)	% de personas que viven en ciudades con más de 100.000 hab.	Media anual PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Def. resp. /año	AVAD/ 1.000 hab./año
Egipto	74	32	136	15.500	2
Indonesia	222,8	22	114	32.300	1.3
India	1103	19	84	119.900	1.0
China	1315,8	37	80	299.400	1.5
Tailandia	64,2	16	77	4.000	0.5
Turquía	73,2	61	56	20.100	2
Israel	6,7	80	53	1.400	1.1
Cambodia	14	8	51	300	0.3
Singapur	4,3	79	48	1.100	1.6
Republica de Corea	47,8	74	43	7.100	0.9
<b>Colombia</b>	<b>45,6</b>	<b>59*</b>	<b>42</b>	<b>5.000*</b>	<b>0.4</b>
Filipinas	83	41	34	4.500	0.5
Japón	128,1	64	33	24.700	0.9
Malasia	25,3	28	28	600	0.2

**Nota.** Fuente: World Health Organization. Country profiles of environmental burden of disease. [On line] Retrieved from: [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/national/countryprofile/en/index.html](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/en/index.html);2009a

\* Valor ajustado para Colombia (World Bank, 2012).

Se observa que aunque Colombia no presenta una concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> que exceda más de tres veces el valor guía recomendado por la OMS (20 µg/m<sup>3</sup>) comparado con otros países, si existe un alto número de defunciones que se relacionan con la calidad del aire, razón por la cual la carga de enfermedad asociada a este recurso es de vital importancia para ser abordada dentro de las política de salud ambiental que se desarrolla en el país.

#### 4.3.4. Comparación de la calidad del aire en las tres ciudades más importantes de Colombia con respecto a otras ciudades y megaciudades del mundo

##### 4.3.4.1. Calidad del aire de ciudades Colombianas con respecto a metrópolis de ALC

En la tabla 4.4 se presentan los valores de concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> extramural en ciudades de ALC. Es importante resaltar que ALC cuenta con cuatro megaciudades (Buenos Aires, Rio de Janeiro, Sao Paulo y Ciudad de México), que albergan más de 10 millones de habitantes cada una y registran concentraciones anuales de PM<sub>10</sub> que

exceden el valor guía de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (OMS, 2005). En general ninguna de las ciudades de ALC que cuentan con SVCA reportan valores por debajo de los  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , donde las ciudades colombianas exceden más de dos veces el valor guía de la OMS. Un estudio de indicadores ambientales de ciudades latinoamericanas (Bell et al., 2011) evidenció que Bogotá es la séptima ciudad con mayores concentraciones promedio anual de  $\text{PM}_{10}$  anual, estando por encima de Ciudad de México, Santiago de Chile y Buenos Aires.

**Tabla 4.4.** Concentración promedio anual de  $\text{PM}_{10}$  en ciudades de ALC

País	Ciudad	Media Anual $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Población (Millones)
Bolivia	Santa Cruz de la Sierra	83	1,756
Bolivia	Cochabamba	80	0,608
Perú	Lima	78	9,130
México	Zona Metropolitana de Monterrey	76	3,725
Chile	Santiago	71	6,034
México	Zona Metropolitana de Juárez	70	1,394
México	Zona Metropolitana del Valle de Toluca	66	1,582
Brasil	Región Metropolitana Rio Janeiro	64	10,185
Nicaragua	Managua	61	0,944
México	Tijuana	57	1,664
México	Puebla	57	2,045
<b>Colombia</b>	<b>Bogotá</b>	<b>53*</b>	<b>8,744</b>
México	León	52	1,571
México	Zona Metropolitana del Valle de México	52	20,446
<b>Colombia</b>	<b>Medellín</b>	<b>49**</b>	<b>3,557</b>
El Salvador	San Salvador	48	1,605
Venezuela	Maracaibo	44	2,500
México	Zona Metropolitana de Guadalajara	42	4,170
Uruguay	Montevideo	39	1,672
Brasil	Región Metropolitana Sao Paulo	38	19,505
Argentina	Buenos Aires	38	13,528
<b>Colombia</b>	<b>Cali</b>	<b>34***</b>	<b>2,940</b>
Venezuela	Caracas	37	3,242
Ecuador	Quito	34	1,622
Brasil	Región Metropolitana Curitiba	29	2,995
Panamá	Panamá	29	1,426
Costa Rica	San José	28	1,515
Brasil	Belo Horizonte	20	2,350

**Nota.** Fuente: [WHO] World Health Organization. Database: outdoor air pollution in cities. [On line] Retrieved from: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/); 2012a.

\* Promedio anual año 2011 (SDA); \*\* Promedio anual 2011 (AMVA); \*\*\* Promedio anual 2012 (DAGMA)

#### 4.3.4.2. Calidad del aire en ciudades Colombianas con respecto a metrópolis de Norte América y Europa

En Norte América y Europa encontramos cinco megaciudades (París, Moscú, Londres, Los Ángeles y Nueva York) con más de 10 millones de habitantes cada una, en donde las concentraciones anuales de PM<sub>10</sub> presentan menores valores que las registradas en las ciudades colombianas. Esta situación se apoya en los combustibles y tecnologías utilizados en países desarrollados, que brindan condiciones para una menor emisión de contaminantes atmosféricos (tabla 4.5).

**Tabla 4.5.** Concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> en ciudades de Norte América y Europa

País	Ciudad	Media Anual PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Población (Millones)
<b>Colombia</b>	<b>Bogotá</b>	<b>53*</b>	<b>8,744</b>
<b>Colombia</b>	<b>Medellín</b>	<b>49**</b>	<b>3,557</b>
España	Sevilla	45	2,000
Italia	Nápoles	44	3,020
Grecia	Atenas	41	3,414
Uruguay	Montevideo	39	1,672
Francia	Paris	38	10,400
Italia	Roma	35	3,298
<b>Colombia</b>	<b>Cali</b>	<b>34***</b>	<b>2,940</b>
Canadá	Montreal	34	3,385
Francia	Lyon	33	1,468
Federación Rusa	Moscú	33	11,621
Portugal	Lisboa	30	2,375
Reino Unido	Londres	29	9,050
Alemania	Berlín	26	3,462
España	Madrid	26	6,574
Estados Unidos	San Diego	25	2,950
Estados Unidos	Los Ángeles	25	14,940
Holanda	Ámsterdam	24	1,056
Estados Unidos	New York	21	22,000
Canadá	Ottawa	16	1,208

**Nota.** Fuente: [WHO] World Health Organization. Database: outdoor air pollution in cities. [On line] Retrieved from: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/) ;2012a.

\* Promedio anual año 2011 (SDA); \*\* Promedio anual 2011 (AMVA); \*\*\* Promedio anual 2012 (DAGMA)

#### 4.3.4.3. Calidad del aire en ciudades Colombianas con respecto a metropolis de Asia y África

Asia y África albergan doce megaciudades, donde la ciudad más grande del mundo se ubica en Japón (Tokio) con una concentración anual de PM<sub>10</sub> de 23 µg/m<sup>3</sup>, cercana al valor guía de la OMS; sin embargo en estas ciudades se registran concentraciones que exceden más de cuatro veces el valor guía de la OMS y que a su vez alojan poblaciones de más de un millón de habitantes. Al comparar las ciudades colombianas con estas metrópolis, se establece que nuestras ciudades cuentan con mejores estándares de calidad del aire, sin embargo los valores registrados a nivel nacional deben tender con el tiempo a los niveles registrados en las urbes europeas y norteamericanas (tabla 4.6).

**Tabla 4.6.** Concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> en ciudades de África y Asia

<b>País</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Media Anual PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Población (Millones)</b>
Pakistán	Lahore	200	7,005
India	Delhi	198	22,160
Pakistán	Karachi	193	13,050
Arabia Saudita	Riyadh	157	5,451
India	Calcuta	148	15,550
Senegal	Dakar	145	3,035
Egipto	El Cairo	138	15,500
Bangladesh	Dhaka	134	14,650
India	Mumbai	132	20,040
Nigeria	Lagos	122	9,185
China	Beijing	121	12,390
China	Xi'an	113	3,965
Irán	Tehran	96	7,304
India	Bhopal	93	1,843
China	Shanghái	81	16,580
República de Corea	Seúl	64	9,770
Israel	Tel Aviv	60	2,655
Turquía	Estambul	59	11,330
Tailandia	Bangkok	54	8,426
<b>Colombia</b>	<b>Bogotá</b>	<b>53*</b>	<b>8,744</b>
China	Hong Kong	50	7,000
<b>Colombia</b>	<b>Medellín</b>	<b>49**</b>	<b>3,557</b>
Malaysia	Kuala Lumpur	49	1,556
Filipinas	Metro Manila	47	11,630
<b>Colombia</b>	<b>Cali</b>	<b>34***</b>	<b>2,940</b>
Sur África	Durban	33	3,195

Singapur	Singapur	29	5,188
Japón	Osaka	27	11,340
Japón	Tokio	23	36,670

**Nota.** Fuente: [WHO] World Health Organization. Database: outdoor air pollution in cities. [On line] Retrieved from: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/) ;2012a.

\* Promedio anual año 2011 (SDA)

\*\* Promedio anual 2011 (AMVA)

\*\*\* Promedio anual 2012 (DAGMA)

Después de analizar la información se concluye que las tres principales ciudades de Colombia aunque exceden el valor guía recomendado por la OMS ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), presentan mejores condiciones de calidad del aire comparada con otras ciudades ubicadas en ALC, Asia y África. Sin embargo la política de prevención y control de la contaminación del aire debe tender a la disminución de las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  y otros contaminantes, con el fin de alcanzar los estándares fijados por la normatividad colombiana (MAVDT, 2010b) que conlleven a mejores condiciones de salud para la población que reside en estas ciudades.

#### 4.4. Contaminación del aire intramuros por combustibles sólidos y otras sustancias

En las dos últimas décadas, los peligros asociados a la contaminación del aire en interiores, particularmente aquellos asociados con el uso de combustibles sólidos en los países en desarrollo, han sido documentados ampliamente en la literatura (Bruce et al., 2000). Más de la mitad de la población mundial aun cocina con leña, estiércol, carbón o residuos agrícolas en estufas simples o fogones abiertos, especialmente bajo condiciones de limitada ventilación; el uso de combustible sólidos conlleva a grandes exposiciones al humo en interiores, asociados con riesgos en la salud, especialmente para mujeres y niños.

El humo derivado de los combustibles sólidos contiene una amplia gama de sustancias potencialmente nocivas, desde material particulado respirable, monóxido de carbono, hidrocarburos aromáticos policíclicos como el benzo-a-pireno y compuestos orgánicos volátiles como el formaldehído y el benceno (Smith, 1987). Estas emisiones son causantes de cerca del 21% de las muertes por infecciones respiratorias bajas en todo el mundo, el 35% de las muertes por enfermedad obstructiva crónica y casi un 3% de las muertes por cáncer de pulmón, de estas muertes, el 64% se producen en países de bajos ingresos, especialmente en el sudeste de Asia y África, mientras otro 28% se producen en China (WHO, 2009a). Las infecciones respiratorias agudas (IRA) en niños, son la causa principal de morbilidad en el mundo.

En África, diferentes investigadores han encontrado asociación entre la IRA y el uso en interiores de combustibles sólidos para cocinar; en Nigeria se estimó un Odds Ratio (OR) de 4.8 (IC95%:1.7-13.6) (Kossove, 1982), en Gambia se calculó un OR de 2.5 (IC95%:1.0-6.6) (O'Dempsey, 1996). En Asia también se han estimado asociaciones que van desde un OR de 1.2 (IC95%:0.7-2.3), en la India (Shah N, 1994), hasta un OR de 2.3 (IC95%:1.8-2.9), en Nepal

(Pandey, 1989). En cuanto a la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), estudios realizados en América Latina, Sudáfrica y Arabia Saudita han demostrado que la EPOC está estrechamente asociada con el uso de combustibles sólidos en mujeres no fumadoras con OR de 2.5 (IC95%:1.3-5.0) en Bolivia (Albalak, 1999), OR de 3.9 (IC95%:1.7-9.1) en Colombia (Dennis et al., 1996), OR de 14.4 (IC95%:5.5-37.5) en Arabia Saudita (Døssing, 1994) y OR de 7.9 (IC95%:2.8-21.8) en la India (Gupta, 1997). Finalmente, estudios realizados en China han demostrado que el cáncer de pulmón está estadísticamente asociado con el uso de carbón para la cocina y la calefacción y no con los combustibles de biomasa, con OR de 4.7 (IC95%:1.28-17.18) (Dai et al., 1996) y 1.3 (IC95%:1.0-1.7) (Wu et al., 1990).

Se dispone de poca información sobre las tasas de ventilación de los diferentes tipos de viviendas que hay en los países en desarrollo o en transición. Dado que en la mitad de las viviendas del mundo se usan combustibles sólidos diariamente y las actividades como la cocina generan la mayoría de las emisiones en interiores, hay una confluencia de emisiones, personas y tiempo en lugares que pueden tener poca ventilación. Por consiguiente, existen altos niveles de exposición en interiores a emisiones provenientes de combustibles sólidos (Smith, 1993).

Otras fuentes de exposición en interiores se relacionan con actividades económicas que se llevan a cabo dentro de la vivienda, vías de alto flujo vehicular o vías en mal estado anexas a la vivienda, humo de tabaco y el uso de sustancias químicas en el hogar; algunas de las sustancias a las que se encuentra expuesta la población incluyen el radón (desde el suelo debajo de los edificios), humo de incienso, pesticidas, los productos naturales de la combustión de gas y compuestos orgánicos volátiles (Samet, 1987; OMS, 2004); contaminantes del aire en interiores derivados de procesos artesanales de extracción de oro y recuperación de plomo en baterías, son algunos ejemplos que evidencian esta problemática en países latinoamericanos (Hurtado, 2008; Cordy, 2011). Además pueden encontrarse contaminantes biológicos tales como la polen, esporas, bacterias y polvo, que pueden ser de origen orgánico o inorgánico y también puede ser generados dentro de la vivienda (OMS, 2004).

#### **4.4.1 Comparación de la calidad del aire en interiores en Colombia con respecto a otros países**

##### **4.4.1.1. Calidad del aire en interiores en Colombia con respecto a países de América Latina y el Caribe (ALC)**

En cuanto a la calidad del aire en interiores se observa que Colombia, según información de la OMS, presenta un 20% de hogares unifamiliares expuestos a contaminación del aire intramural, valor bajo comparado con gran parte de centro América y algunos países suramericanos. Según información obtenida de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida realizada en 2011 (DANE, 2011), el 23% de la población utiliza leña como combustible para cocinar, 1% utiliza carbón mineral, 41% gas propano, 31% gas natural conectado a la red pública y 4% electricidad, lo cual muestra una exposición a diferentes tipos de sustancias contaminantes del aire. Al clasificar por estrato socioeconómico (ESE), se observa que en los



ESE bajo a desconocido (recibos sin estrato, servicio pirata, no se conoce el estrato o no cuenta con recibo de pago de la categoría original) predomina el uso de gas propano para la preparación de los alimentos, mientras en los estratos Medio-bajo a alto predomina el Gas natural conectado a red pública. En el ESE desconocido, en al menos la mitad de los hogares encuestados se usa leña, madera o carbón de leña. Por otra parte, la eliminación de basuras mediante quema se realiza en el 20% de los hogares encuestados y el acceso a las viviendas por calles sin pavimentar, caminos o senderos predomina en el ESE bajo-bajo a desconocido; todas estas fuentes aportan contaminantes del aire que trascienden a ambientes intramuros, que sumado a factores sanitarios y nutricionales, hacen más susceptibles a las poblaciones de menores recursos económicos, las cuales reciben mayores efectos en salud.

Para 2009, el costo medio anual estimado de los impactos en la salud por la contaminación del aire asociada con el uso de combustibles tradicionales (principalmente leña) en las zonas rurales de Colombia fue de 1,129 billones de pesos. La mortalidad de los menores de cinco años y las mujeres mayores de 30 años, representó el 6% y 78% del costo total, respectivamente. La Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) en niños y la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en mujeres adultas, representan el 16% del costo total. Cada año en Colombia, alrededor de 1,000 muertes prematuras y casi 12,000 AVAD son atribuibles a la contaminación del aire causada por el uso de combustibles sólidos. Esta carga de la enfermedad está casi totalmente restringida a las zonas rurales, donde casi el 50% de la población utiliza combustibles sólidos para las tareas del hogar (World Bank, 2012).

El número de defunciones al año en Colombia, relacionadas con la contaminación del aire intramural, es uno de los más altos de ALC, mientras que los AVAD son similares a los registrados en países de mayor población y desarrollados, tales como Brasil y México. La prevalencia de consumo de productos de tabaco fumado entre adultos mayores de 15 años es mayor en los países suramericanos comparado con lo registrado en países centroamericanos; Colombia no reportó datos en este aspecto, sin embargo la prevalencia de consumo actual de tabaco entre adolescentes entre 13 y 15 años es del 27% en hombres y 28% en mujeres (OMS, 2012), valor similar al registrado en los países con alta prevalencia de consumo de productos del tabaco en mayores de 15 años. En general dentro de ALC, Bolivia presenta valores altos en todas las variables analizadas, lo cual es relevante teniendo en cuenta que no es uno de los países de mayor población, pero si en donde el uso de biomasa y donde costumbres ancestrales contribuyen a los valores registrados (tabla 4.7).

**Tabla 4.7.** Porcentaje de hogares expuestos a contaminación del aire intramural, defunciones (Def.) respiratorias (Resp), AVAD y Prevalencia de consumo de tabaco entre adultos mayores de 15 años en países de ALC.

País	Población Millones	% de Hogares unifamiliares expuestos contaminación aire intramural	Def aResp. del/año	AVAD/ 1.000 hab./año	Prevalencia de consumo de cualquier producto de tabaco fumado entre adultos de 15 o más años (%)	
					Hombres	Mujeres
Guatemala	12,6	62	1.400	4	22	4
Honduras	7,2	57	800	4	-	3
Paraguay	6,2	53	300	1.4	30	14
Jamaica	2,7	45	500	2.3	-	-
Bolivia	9,2	34	1.500	5	42	18
Perú	28	33	1.000	1	-	9
El Salvador	6,9	33	300	1.4	-	-
Panamá	3,2	33	200	1.2	17	4
Costa Rica	4,3	23	200	0.4	24	8
Cuba	11,3	21	600	0.9	-	-
<b>Colombia</b>	<b>45,6</b>	<b>20</b>	<b>2.400</b>	<b>0.9</b>	-	-
Republica Dominicana	8,9	15	300	0.9	17	13
México	107	14	4.300	0.7	24	8
Brasil	186,4	13	10.700	1.4	22	13
Trinidad y Tobago	1,3	8		0.1	27	11
Venezuela	26,7	5	200	0.2	-	-
Argentina	38,7	< 5	-	-	32	22
Chile	16,3	< 5	-	-	38	33
Ecuador	13,2	< 5	< 100	0.1	-	-
Uruguay	3,5	< 5	-	-	31	22

**Nota.** Fuente: [WHO] World Health Organization. Database: outdoor air pollution in cities. [On line] Retrieved from: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/) ;2012a.

#### 4.4.1.2. Calidad del aire intramural en Colombia con respecto a países en Norte América y Europa

Debido a su nivel de desarrollo, los países europeos y norteamericanos exhiben porcentajes de hogares unifamiliares expuestos a contaminación del aire intramural muy bajos (< 5%), lo cual se refleja en las defunciones y AVAD al año registradas; sin embargo la prevalencia de consumo de cualquier producto de tabaco fumado entre adultos de 15 o más años es mayor que lo observado en ALC, lo cual permite establecer que la problemática de

contaminación del aire en estas zonas radica básicamente en el consumo de productos de tabaco; además de este aspecto, en Colombia, el uso de biomasa como combustible para la cocción de alimentos, la humedad y pisos en tierra presente en las viviendas, al igual que la convivencia con mascotas y otros animales, son fuente generadoras de emisiones de contaminantes intramurales del aire (tabla 4.8).

**Tabla 4.8.** Porcentaje de hogares expuestos a contaminación del aire intramural, defunciones (Def.) respiratorias (Resp), AVAD y Prevalencia de consumo de tabaco entre adultos mayores de 15 años en Europeos y Norte Americanos.

País	Población Millones	% de Hogares unifamiliares		AVAD/ 1.000 hab./año	Prevalencia de consumo de cualquier producto de tabaco fumado entre adultos de 15 o más años (%)	
		expuestos contaminación del/año aire intramural	Def. aResp.		Hombres	Mujeres
<b>Colombia</b>	<b>45,6</b>	<b>20</b>	<b>2.400</b>	<b>0.9</b>	-	-
Federación Rusa	143,2	9	600	0.1	59	24
Canadá	32,3	< 5	-	-	24	17
Estados Unidos	298	< 5	-	-	33	25
Francia	60,5	< 5	-	-	36	27
Alemania	82,7	< 5	-	-	33	25
Grecia	11,1	< 5	-	-	63	41
Italia	58,1	< 5	-	-	33	19
Holanda	16,3	< 5	-	-	31	26
España	43,1	< 5	-	0.1	36	27
Suecia	9	< 5	-	-	-	-
Suiza	7,3	< 5	-	-	31	21
Reino Unido	59,7	< 5	-	-	25	23

**Nota.** Fuente: [WHO] World Health Organization. Database: outdoor air pollution in cities. [On line] Retrieved from: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/) ;2012a.

#### 4.4.1.3. Calidad del aire intramural en Colombia con respecto a países en Asia y África

El porcentaje de hogares unifamiliares expuestos a contaminación del aire intramural en Asia es mayor al registrado en ALC, lo cual se ratifica en el número de defunciones y AVAD al año en estos países, confirmando lo establecido en la literatura (OMS, 2004). La prevalencia de consumo de cualquier producto de tabaco fumado entre adultos de 15 o más años en Asia es similar a la encontrada en países europeos y norteamericanos. Al comparar los valores registrados en Colombia con estos países, se establece que a pesar de contar con una población menor y bajo porcentaje de hogares expuestos a contaminación del aire intramural, las defunciones y AVAD son relevantes en comparación con el continente asiático y deben ser

abordadas con estrategias que minimicen los efectos de la exposición en la salud de la población.

**Tabla 4.9.** Porcentaje de hogares expuestos a contaminación del aire intramural, defunciones (Def.) respiratorias (Resp), AVAD y Prevalencia de consumo de tabaco entre adultos mayores de 15 años en países de Asia y África.

País	Población Millones	% de Hogares unifamiliares expuestos a contaminación del aire intramural	Def. Resp. /año	AVAD/ 1.000 hab./año	Prevalencia de consumo de cualquier producto de tabaco fumado entre adultos de 15 o más años (%)	
					Hombres	Mujeres
Cambodia	14	> 95	6.600	16	42	3
Bangladesh	141,8	89	49.400	8	9	5
India	1103	82	488.200	8	26	4
China	1315,8	80	548.900	3.2	51	2
Indonesia	222,8	72	45.300	4	61	5
Tailandia	64,2	72	10.500	1.9	45	3
Filipinas	83	45	7.200	2	28	22
<b>Colombia</b>	<b>45,6</b>	<b>20</b>	<b>2.400</b>	<b>0.9</b>	-	-
Turquía	73,2	11	3.400	0.7	47	15
Republica de Corea	47,8	< 5	-	-	49	7
Egipto	74	< 5	600	0.2	40	-
Israel	6,7	< 5	-	-	29	13
Japón	128,1	< 5	-	-	42	12
Malasia	25,3	< 5	< 100	-	50	2
Singapur	4,3	< 5	-	-	35	6

**Nota.** Fuente: [WHO] World Health Organization. Database: outdoor air pollution in cities. [On line] Retrieved from: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/); 2012a.

Se puede concluir que en Colombia la contaminación del aire intramuros aunque no presenta los mayores porcentajes de exposición comparado con otros países, si exhibe un impacto en las defunciones y AVAD, con valores relevantes al ser comparados con otros países de mayor población; de otra manera la prevalencia en el consumo de productos de tabaco fumados, es otra rama que alimenta las defunciones y AVAD, razón por la cual los programas ejecutados por las entidades de salud y ambiente, deben encaminarse a la promoción y prevención de ambientes libres de contaminantes del aire intramural, que se apoyen en políticas publicas, dando soporte a estas acciones.

#### 4.5. Investigaciones relacionadas con contaminación del aire y salud en Colombia

Los registros de mortalidad del DANE (2011) permiten tener una panorámica de los diagnósticos potencialmente asociados con la contaminación atmosférica; en las siguientes tablas se presentarán algunas de estas casuísticas.

**Tabla 4.10.** Casos de muerte por enfermedades respiratorias potencialmente relacionadas con la contaminación del aire (2010-2011).

Departamento	Cáncer de tráquea, bronquios o pulmón	Cáncer de otros sitios	Neumonía	Crónicas de las vías respiratorias	Pulmonares por agentes externos
Amazonas	3	0	12	3	0
Antioquia	996	15	1.008	1.997	59
Arauca	18	1	31	43	4
Atlántico	183	3	393	355	8
Bogotá	491	28	944	1.831	107
Bolívar	134	6	256	226	22
Boyacá	69	5	192	529	21
Caldas	145	7	164	372	12
Caquetá	36	1	46	83	1
Casanare	7	2	22	47	1
Cauca	54	1	124	150	12
Cesar	83	3	109	206	5
Chocó	20	0	38	37	1
Córdoba	74	4	131	203	3
Cundinamarca	124	14	380	779	45
Guainía	1	0	7	5	0
Guaviare	5	0	5	11	1
Huila	58	5	136	280	15
La Guajira	24	1	66	48	2
Magdalena	104	1	139	196	3
Meta	69	4	109	202	16
Nariño	69	4	172	314	12
Norte de Santander	127	2	196	341	14
Putumayo	11	0	40	44	1
Quindío	86	1	127	292	4
Risaralda	130	5	160	375	8

San Andrés y Providencia	4	0	5	12	0
Santander	184	12	339	519	33
Sucre	50	1	80	141	3
Tolima	123	5	232	445	25
Valle del Cauca	486	13	740	1.061	72
Vaupés	1	0	5	3	0
Vichada	1	0	6	0	0

**Nota.** Fuente: [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas en Colombia. Encuesta Nacional de Calidad de Vida. Encuesta Nacional. Bogotá DC: DANE;2011.

**Tabla 4.11.** Casos de muerte por enfermedades cardiovasculares potencialmente relacionadas con la contaminación del aire (2010-2011).

Departamento	Enfermedades isquémicas del corazón			Enfermedades cerebrovasculares		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Amazonas	9	7	2	9	5	4
Antioquia	4.412	2.383	2.029	1.711	752	959
Arauca	114	73	41	72	32	40
Atlántico	1.301	703	598	636	303	333
Bogotá	3.811	2.065	1.746	1.916	782	1.134
Bolívar	701	395	306	465	217	248
Boyacá	945	519	426	507	255	252
Caldas	1.140	644	496	378	178	200
Caquetá	196	115	81	95	42	53
Casanare	125	86	39	61	28	33
Cauca	673	367	306	362	166	196
Cesar	415	244	171	194	94	100
Chocó	111	56	55	110	52	58
Córdoba	708	435	273	434	221	213
Cundinamarca	1.976	1.104	872	691	319	372
Guainía	5	3	2	8	4	4
Guaviare	30	22	8	17	11	6
Huila	743	385	358	305	154	151
La Guajira	202	108	94	84	29	55
Magdalena	636	355	281	327	138	189
Meta	553	336	217	246	132	114
Nariño	695	344	351	455	209	246
Norte de Santander	886	485	401	449	211	238

Putumayo	64	33	31	58	34	24
Quindío	577	318	259	188	94	94
Risaralda	938	532	406	381	165	216
San Andrés y Providencia	23	8	15	18	3	15
Santander	1.610	887	723	714	354	360
Sucre	486	262	224	288	133	155
Tolima	1.801	990	811	535	241	294
Valle del Cauca	3.243	1.845	1.398	1.828	820	1.008
Vaupés	3	1	2	6	4	2
Vichada	16	9	7	6	2	4

**Nota.** Fuente: [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas en Colombia. Encuesta Nacional de Calidad de Vida. Encuesta Nacional. Bogotá DC: DANE;2011.

Para los artículos que abordan la temática de contaminación del aire en Colombia y los efectos en salud, fueron revisadas las bases de datos Medline, Lilacs y Science Direct limitando la búsqueda a estudios publicados en los últimos 15 años en inglés y español usando palabras clave (en español e inglés) como: “air pollution”, “*health effects*”; “*particulate matter*”. Otra fuente de información utilizada fueron los repositorios de tesis de diferentes universidades de programas académicos en el área de ciencias de la salud o ingeniería ambiental, las Corporaciones Autónomas Regionales y Autoridades Ambientales Urbanas.

#### **4.5.1. Investigaciones relacionadas con calidad del aire y salud, en diferentes regiones, municipios y distritos del país**

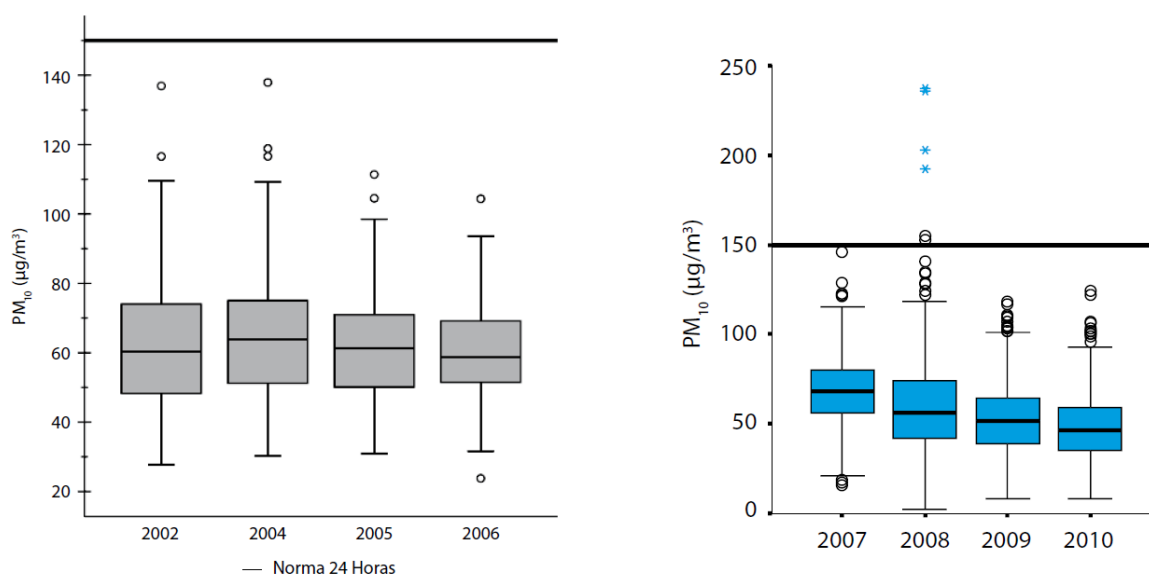
Con el fin de abordar los diferentes escenarios donde la contaminación del aire puede tener como fuentes procesos naturales y antropogénicos, se identificaron Departamentos en cuyos distritos o municipios se presentan problemáticas de calidad del aire específicas y en las cuales se han desarrollado investigaciones de diversa índole con respecto al tema.

**4.5.1.1. Antioquia: Valle de Aburra.** El Valle de Aburra tiene una extensión de 1.152 km<sup>2</sup>, que hacen parte de la cuenca del Río Medellín, principal arteria fluvial que cruza la región de sur a norte. De estos 1.152 km<sup>2</sup>, 340 km<sup>2</sup> son suelo urbano y 812 km<sup>2</sup> son suelo rural. Las cordilleras que lo encierran dan lugar a la formación de diversos microclimas y ejercen una influencia determinante sobre la calidad del aire, haciendo que los contaminantes permanezcan por más tiempo en la atmósfera en comparación con otras regiones. Dentro del Valle se ubica la Región Metropolitana del Valle de Aburrá, conformada por 10 municipios (Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas) y una población que según el censo de 2005, representa el 59,4% del departamento de Antioquía. Los procesos de urbanización, el desarrollo industrial y el crecimiento del parque automotor en la región, han traído como consecuencia el deterioro de los niveles de calidad del aire, la afectación de la salud pública, el daño del paisaje y edificaciones y efectos en la vegetación (Toro, 2010).

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) es la autoridad ambiental encargada de monitorear y evaluar los contaminantes atmosféricos generados tanto en la zona urbana del Valle de Aburrá, como en los municipios de Medellín e Itagüí. Los datos de calidad del aire indican que las zonas urbanas del Valle de Aburrá presentan altas concentraciones de  $PM_{2.5}$ ; además los altos niveles de radiación solar y la emisión de gases precursores generan las condiciones propias para la formación de ozono troposférico, el cual excede el valor de la norma horaria y octohoraria nacional. El inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá 2009 indica un aporte mayoritario de las fuentes móviles de gases y partículas. Las fuentes fijas contribuyen a las emisiones de material particulado y óxidos de azufre, gases precursores de la formación de material particulado en la atmósfera. Las fuentes móviles emiten el 58% de  $PM_{10}$  y el 78% de  $PM_{2.5}$ , además aportan el 94% de los  $NO_x$  y el 62% de las emisiones de COV, mientras que las fuentes fijas son las responsables del 77% de las emisiones de  $SO_x$  (Toro, 2010).

Según análisis realizados por el IDEAM, durante los años 2002 - 2006 las medianas diarias de  $PM_{10}$  se mantuvieron por debajo de los  $70 \mu g/m^3$ , mientras en el periodo 2007 - 2010 los valores de las medianas presentaron una reducción progresiva alcanzando una disminución de  $21,5 \mu g/m^3$ . Al comparar contra la norma aplicable para el periodo analizado, durante el año 2008 se superó el límite máximo permisible, con una concentración diaria máxima de  $237 \mu g/m^3$  (Figura 4.1) (IDEAM, 2012a).

**Figura 4.1.** Concentración promedio de  $PM_{10}$  (24 horas) en las estaciones del SVCA del AMVA

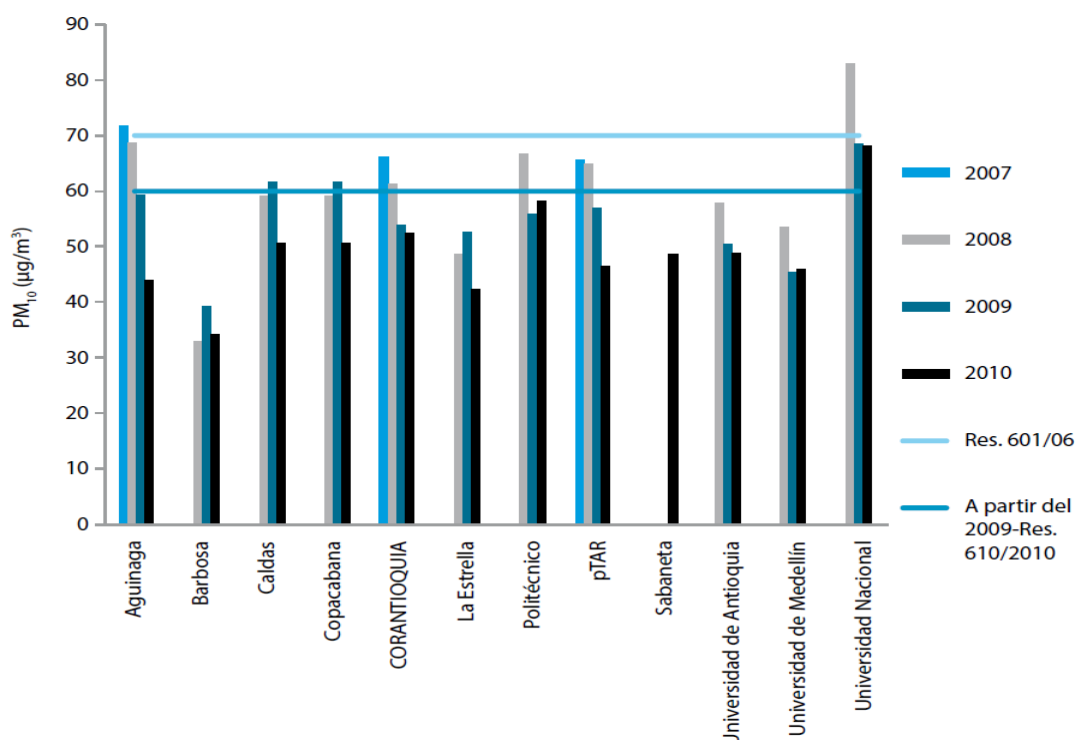


**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007 - 2010. Informe. Bogotá DC: IDEAM;2012a.



En cuanto a la concentración promedio anual, en las estaciones Aguinaga y Universidad Nacional se superó el límite establecido en la legislación aplicable. Los años 2009 y 2010 presentaron una reducción general de la concentración en todas las estaciones, comparado con los años 2007 y 2008. En el año 2009, las concentraciones fueron mayores al año anterior en las estaciones Barbosa, Caldas, Copacabana y la Estrella. Las estaciones Barbosa, Copacabana, La Estrella, Sabaneta, Universidad de Antioquia y Universidad de Medellín presentaron concentraciones anuales entre 30 y 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 4.2) (IDEAM, 2012a).

**Figura 4.2.** Concentración promedio Anual de  $\text{PM}_{10}$  en las estaciones del SVCA del AMVA



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007 – 2010. Informe. Bogotá DC: IDEAM;2012a.

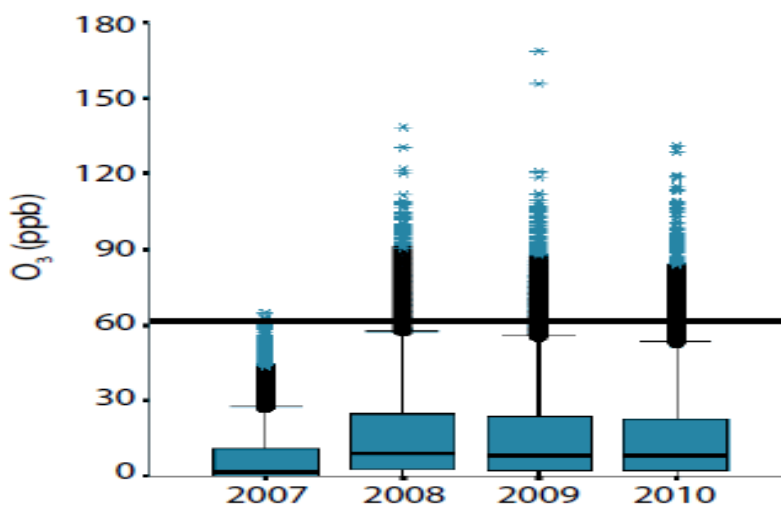
Para el Dióxido de Nitrógeno, en el periodo de 2001- 2006 no se sobrepasó la norma diaria (80 ppb) y la mediana se mantuvo en un valor de cercano a 20 ppb. Durante los años 2007 a 2010 las concentraciones se mantuvieron muy por debajo del límite establecido por la norma, con medianas relativamente estables alrededor de 20 ppb; sin embargo, en el año 2007 se superó la norma alcanzando un valor de 93 ppb. Para el periodo anual las concentraciones se encontraron por debajo de la norma (53 ppb) y los mayores valores representaron el 50% del valor anual permisible, por lo que se puede inferir que estos niveles no generaron riesgos para la salud de la población en el área de influencia de las estaciones (IDEAM, 2012a).

Durante el periodo de 2001 a 2006, el Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) no sobrepasó la norma diaria (96 ppb) y las medianas se mantuvieron por debajo de los 10 ppb. Para los años 2007 a 2010 las medianas se ubicaron por debajo de los 3 ppb. En el año 2007 se registraron las mayores concentraciones del periodo con un valor máximo de 29 ppb. Por otro lado, los promedios anuales de SO<sub>2</sub> presentaron valores que no excedieron los 3 ppb en todas las estaciones; este valor representa el 9,7% de la norma anual establecida (31 ppb). En general las concentraciones se han reducido progresivamente, siendo el año 2010 el que presentó los menores valores (IDEAM, 2012a).

Con respecto al Monóxido de Carbono (CO) entre los años 2007 a 2009, los valores oscilan entre las 2 y 7 ppm, sin superar la norma horaria y octohoraria (35 ppm y 8.8 ppm, respectivamente), aunque se presentan picos diarios superiores a la norma, principalmente en los sitios donde el flujo vehicular es denso, en especial en el centro de la ciudad (Toro, 2010).

Finalmente para el Ozono (O<sub>3</sub>), en el periodo 2007 a 2010, todos los años se superó la norma horaria establecida (61 ppb), con una mayor intensidad en los años 2008 a 2010. En cuanto a los últimos tres años, las medianas de los datos horarios se mantuvieron en concentraciones por debajo de 10 ppb, sin embargo en el año 2009 se presentó la máxima concentración con un valor de 168,5 ppb (Figura 4.3) (IDEAM, 2012a).

**Figura 4.3.** Concentración promedio O<sub>3</sub> (horario) en las estaciones del SVCA del AMVA



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007 – 2010. Informe. Bogotá DC: IDEAM;2012a.

Para el año 2012 (Abril 2011 – Mayo 2012), la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín reporto la siguiente información relacionada con el SVCA del AMVA (UNAL-MED, 2012a):

- Las concentraciones diarias de PST medidas en las estaciones, Girardota Colegio Colombia (GIR-IECO), e Itagüí Colegio el Rosario (ITA-CRSV), son inferiores a la norma diaria definida en la Resolución 610 del MAVDT ( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- Las máximas concentraciones promedio anual de  $\text{PM}_{10}$  se presentaron en las estaciones ubicadas en la Universidad Nacional (MED-UNFM), la plaza de mercado del municipio de Caldas (CAL-PMER), y en el Parque de San Antonio de Medellín (MED-EXSA), donde se registraron  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Las estaciones que registraron las menores concentraciones promedio de  $\text{PM}_{10}$  fueron Hospital San Vicente de Paúl de Barbosa (BAR-HSV), Itagüí Plata de Tratamiento EPM (ITA-PTAR), y La Estrella (EST-CAM), con promedios de  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. En la estaciones Miguel de Aguinaga, (MED-AGUI), MED-EXSA, MED-UNFM, Politécnico JIC (MED-PJIC) y EST-CAM, se presentaron 4, 1, 3, 1 y 1, respectivamente, excedencias de la norma diaria colombiana ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- Las máximas concentraciones promedio anuales de  $\text{PM}_{2.5}$  se presentaron en la estación Belén Las Mercedes del municipio de Medellín (MED-BEME), con  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y MED-AGUI, con  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La estación Universidad Pontificia Bolivariana (MED-UPB), con la estación móvil del AMVA, registró un promedio aritmético de  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 25 días de mediciones. La estación que registró la menor concentración promedio fue la estación MED-PJIC, con  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En las estaciones MED-BEME, MED-AGUI, MED-UPB, Casa de Justicia y Jardín Botánico se presentaron excedencias de la norma diaria colombiana ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- Los resultados de las concentraciones de Ozono muestran que en las estaciones Ditaires, en el municipio de Itagüí, y Jardín Botánico de Medellín, se presentaron más excedencias de la norma horaria y octohoraria de ozono que en las demás estaciones. En Ditaires se presentaron 117 episodios horarios y 239 episodios octohorarios. En Jardín Botánico se presentaron 45 episodios horarios y 122 episodios octohorarios de ozono.
- Las concentraciones promedio de Benceno registradas principalmente en la zona centro del Valle de Aburrá, para el período comprendido entre el 01 septiembre/11 y el 24 noviembre/11 superan la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las concentraciones más altas se registran en las estaciones Éxito de San Antonio, Facultad de Minas y PracoDidacol Av. 33, donde el valor permisible anual es superado en un 78% ( $8.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 76% ( $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y 60% ( $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) respectivamente.
- No se reporta problema de contaminación del aire por tolueno, etilbenceno y xilenos en las 18 estaciones de monitoreo distribuidas en el Área Metropolitana. Las concentraciones son inferiores a la Norma Colombiana Semanal para tolueno de  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en el caso del etilbenceno y los xilenos, los valores están por debajo de la Guía Anual de la OMS de  $22.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $870 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

- De los tres tipos de xilenos (o -xileno, m -xileno y p - xileno) en el AMVA, se presenta mayor concentración de m-xileno en el aire, pues durante este período de monitoreo el rango de concentración de este contaminante osciló entre 4 y 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para las otras dos formas de xileno el límite superior oscila alrededor de 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En el Valle de Aburra se han llevado a cabo diferentes investigaciones que corroboran la información citada anteriormente y que además han explorado la relación entre la contaminación del aire y los efectos en salud, en ambientes intra y extramurales, dentro de las cuales podemos encontrar:

- Se ha establecido que el material particulado es el principal problema en el Área Metropolitana del Valle de Aburra, donde las concentraciones anuales de PST,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  exceden el valor guía anual recomendado por la OMS y en ocasiones exceden la norma diaria para estos contaminantes (UPB, 2002; Gómez A, 2003; Gaviria et al., 2007; Bedoya, 2008; Echeverri, 2008; Betancur, 2009; AMVA et al., 2010).
- Se excede la norma horaria y octohoraria de Ozono en el Área Metropolitana del Valle de Aburra (UPB, 2002, 2005a, 2006; UDEM/UDEA, 2006).
- Se han registrado concentraciones de Benceno que exceden la norma colombiana de calidad del aire (UNAL-MED, 2012a), además se ha caracterizado el  $\text{PM}_{10}$  identificando elementos y metales como Sílice ( $12,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Calcio ( $3,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Hierro ( $0,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Plomo ( $0,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Vanadio ( $0,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Cromo ( $0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Zinc ( $0,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); para los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) se destacan las concentraciones de Pireno ( $83,46 \text{ ng}/\text{m}^3$ ), Naftaleno ( $247,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e Indeno (1,2,3 cd) ( $82,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), con demostrado efecto cancerígeno. La concentración reportada de Carbono Orgánico (CO) registró un valor de  $39,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras el Carbono Elemental (CE) presentó un valor de  $2,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ULS, 2008).
- No se observa excedencia de las normas nacionales e internacionales para  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y CO en gran parte de las estaciones (UPB, 2002; AMVA /UNAL, 2004; UPB, 2005b; UDEM/UDEA 2006; UPB, 2006; Yepes DL, 2008; Bedoya, 2008), sin embargo en algunas ocasiones se establece que las concentraciones de CO exceden la norma horaria y octohoraria (UDEM/UDEA, 2006), además de encontrar una relación entre las emisiones de ruido y las concentraciones de CO (Bedoya J, 2003).

Los resúmenes de las investigaciones citadas anteriormente se presentan a continuación:

**Tabla 4.12.** Resumen de la investigación Identificación de episodios de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá.

<b>Nombre documento:</b> Identificación de episodios de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá (Contrato 1787 de 2002)	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Universidad Pontificia Bolivariana, 2002
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> Óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, PM <sub>10</sub> , CO, Ozono.
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante el periodo de medición para las dos estaciones no se presentaron eventos de concentraciones promedio diarias que excedieran las normas de calidad de aire para óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y monóxido de carbono.</li> <li>• Durante el periodo de medición se presentaron 46 episodios de incumplimiento de la norma horaria (170 µg/m<sup>3</sup>) de O<sub>3</sub>, distribuidos entre las 10:00 am y las 13:00 horas.</li> <li>• La norma Colombiana máxima para PM<sub>10</sub> era de 50 µg/m<sup>3</sup> anual y 150 µg/m<sup>3</sup> diaria. Para la estación Sumicol se presentó un episodio de violación a la norma diaria para este contaminante, con un valor de 158.6 µg/m<sup>3</sup>. Para la estación Holasa no se presentaron violaciones a esta norma. La concentración promedio del periodo de muestreo en la estación Sumicol fue de 99.2 µg/m<sup>3</sup> (en un mes) y en la estación Holasa fue 63.5 µg/m<sup>3</sup>, ambos valores excedieron la norma anual propuesta.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** [UPB] Universidad Pontificia Bolivariana. Identificación de episodios de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá (Contrato 1787 de 2002). Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2002.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.13.** Resumen de la investigación Concentración de monóxido de carbono presente en el aire y la intensidad de ruido en el centro de la ciudad de Medellín.

<b>Nombre documento:</b> Concentración de monóxido de carbono presente en el aire y la intensidad de ruido en el centro de la ciudad de Medellín. Convenio 4800000064 de 2003.	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Universidad Nacional, Julián Bedoya. 2003
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> Monóxido de Carbono (CO)
<b>Objetivo:</b> Evaluar los niveles de concentración de monóxido de carbono y de intensidad de niveles sonoros existentes en el centro de la ciudad de Medellín, área comprendida entre la Av. Ferrocarril, Cll. San Juan y Av. Oriental.	
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los niveles de concentración de monóxido de carbono en el área estudio, permiten identificar sectores críticos como la Plaza Minorista, El Palo con El Huevo y la Av. Ferrocarril, donde se obtuvieron valores cercanos a la norma colombiana, y en particular para el sector de El Palo con El Huevo se superaron los límites permisibles establecidos tanto para norma horaria como octohoraria.</li> <li>• Se diferencia el sector de la Alpujarra por presentar los niveles de concentración de CO más bajos del estudio.</li> <li>• Se observa que los sitios afectados por los mayores niveles de ruido, también presentan niveles de concentración de CO importantes. De igual forma estos sitios están asociados a vías de alto flujo vehicular que permite correlacionar éstos fenómenos de contaminación con las fuentes móviles.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** Bedoya J. Concentración de monóxido de carbono presente en el aire y la intensidad de ruido en el centro de la ciudad de Medellín. (Convenio 4800000064 de 2003). Informe Final. Medellín: Universidad Nacional Sede Medellín;2003.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.14.** Resumen de la investigación Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM<sub>10</sub>) en la zona de guayabal, Medellín, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM <sub>10</sub> ) en la zona de guayabal, Medellín, Colombia.	
<b>Lugar:</b> Guayabal, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Alfredo Gómez, Enrique Henao, Eliana Molina y Francisco Molina. 2003
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PST y PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar los niveles de concentración PST y PM <sub>10</sub> en la zona de guayabal, Medellín, durante un período de cinco meses en el año 2000.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración diaria de PST registrada fue de 113 µg/m<sup>3</sup> valor inferior a la norma diaria para Colombia (400 µg/m<sup>3</sup>), sin embargo las concentraciones presentaron una tendencia a superar la norma anual de 100 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub>, con promedio de 74 µg/m<sup>3</sup>, no superaron ninguna vez la norma diaria de 150 µg/m<sup>3</sup> (US EPA), sin embargo existe la tendencia a superar la norma diaria y anual de la OMS.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Gómez A, Henao E, Molina E, & Molina F. Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM<sub>10</sub>) en la zona de guayabal, Medellín, Colombia. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia;2003;30:24-33.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.15.** Resumen de la investigación Consultoría para la evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular de la ciudad de Medellín, Universidad de Medellín – Universidad de Antioquia.

<b>Nombre documento:</b> Consultoría para la evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular de la ciudad de Medellín, Universidad de Medellín – Universidad de Antioquia. Informe n° 1, contrato n° 470018171 - 470018172 de 2005.	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Universidad de Medellín – Universidad de Antioquia. 2005
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub>
<b>Objetivo:</b> Evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular de la ciudad de Medellín.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se concluyó que los 25 puntos de medición seleccionados no se presentan problemas de contaminación del aire por PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>. Por lo tanto las concentraciones de estos contaminantes no explicarían los hallazgos de salud encontrados.</li> <li>• Mediante la utilización del índice de calidad del aire (ICA), se determinó que los 25 puntos evaluados presentan una calidad ambiental que se encuentra en la categoría “Aceptable”, a pesar de que en algunos puntos se encuentran concentraciones de CO que sobrepasan la norma horaria y octohoraria durante el periodo de muestreo.</li> <li>• Los niveles de CO medidos permiten identificar sectores críticos como El Poblado, Universidad de Antioquia, Colombia Carrera 65, Parque de Cristo Rey y El Palo con el Huevo, donde se obtuvieron valores por encima de la norma de calidad del aire para un periodo de 8 horas (8.8 ppm).</li> <li>• En cuanto a ozono, la Universidad de Medellín, Robledo, Villa de Aburrá y Palos Verdes fueron los sitios de muestreo en los que se incumplió la norma horaria de calidad del aire para ozono (0.061 ppm), con 5, 3, 2 y 1 ocasiones respectivamente.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: [UDEM] Universidad de Medellín, & [UDEA] Universidad de Antioquia. Consultoría para la evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular de la ciudad de Medellín. Informe I. contrato n° 470018171 - 470018172 de 2005. Medellín: UDEM/UDEA;2006.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.16.** Resumen de la investigación Evaluación de la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista.	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Universidad Pontificia Bolivariana. Grupo de investigaciones ambientales, GIA. 2006.
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> Óxidos de Nitrógeno (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ), SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> .
<b>Objetivo:</b> Evaluar la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista.	
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los resultados del monitoreo muestran que las horas de mayor concentración ocurren entre las 7 y las 10 de la mañana, mostrando como el flujo vehicular influye en la emisión de estos contaminantes en las horas de la mañana.</li> <li>• Las concentraciones horarias del CO no superan la norma horaria nacional (35 ppm). Los máximos valores medidos se observan a las 9 a.m. de 2.59 ppm y en la tarde aumenta hasta 2.7 ppm.</li> <li>• Las concentraciones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> no superan la norma diaria nacional (96 y 80 ppm, respectivamente).</li> <li>• El PM<sub>10</sub> registro una concentración alrededor de 40 µg/m<sup>3</sup>, valor que no supera la norma máxima nacional (150 µg/m<sup>3</sup>).</li> <li>• Analizando el comportamiento del ozono se puede observar que ocurren concentraciones que sobrepasan la norma nacional (61 ppb a condiciones de referencia) en los 11 primeros días. El número de veces que se sobrepasa la norma local, es 33 episodios la mayoría en las horas del mediodía.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** [UPB] Universidad Pontificia Bolivariana, [GIA] Grupo de investigaciones ambientales. Evaluación de la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista. Medellín:GIA;2006.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.17.** Resumen de la investigación caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas.

<b>Nombre documento:</b> Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Universidad de la Salle, 2008
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se presenta la mayor concentración en Sílice (12,38 µg/m<sup>3</sup>) y Calcio (3,61 µg/m<sup>3</sup>), lo que refleja el aporte de material geológico a estas fuentes, el cual puede estar asociado con obras realizadas en los alrededores del punto de monitoreo o vías cercanas en mal estado. También se destacan las emisiones regulares de Hierro (0,58 µg/m<sup>3</sup>), Plomo (0,54 µg/m<sup>3</sup>), Vanadio (0,42 µg/m<sup>3</sup>) existentes a lo largo del monitoreo, al igual que las emisiones de Cromo (0,22 µg/m<sup>3</sup>) y Zinc (0,38 µg/m<sup>3</sup>).</li> <li>• La concentración reportada de Carbono Orgánico (CO) registró un valor de 39,03 µg/m<sup>3</sup>, mientras el Carbono Elemental (CE) presentó un valor de 2,55 µg/m<sup>3</sup>. Se puede establecer que la ubicación de la estación de monitoreo (PTAR San Fernando), influyó en la composición del PM<sub>10</sub> debido a que se encontraron emisiones de abundante cantidad de materia orgánica, lo que se vio reflejado en el contenido de CO.</li> <li>• Los resultados obtenidos para iones en PM<sub>10</sub> muestran una gran relación entre el contenido de Nitratos (3,04 µg/m<sup>3</sup>) y Sulfatos (4,68 µg/m<sup>3</sup>), lo que refleja que las fuentes generadoras de estos iones se mantienen constantes en cuanto a su emisión. Las concentraciones presentadas de Fluoruros son muy bajas (0,27 µg/m<sup>3</sup>) y en algunos casos prácticamente nulas.</li> </ul> <p>Las concentraciones de Amonio (2,60 µg/m<sup>3</sup>)son relativamente mayores a las concentraciones de Nitratos y Sulfatos, lo que implica que su origen no se debe a una única fuente sino al aporte combinado de diversas fuentes. La mayor concentración de Sulfatos refleja el aporte de contaminantes cuyo origen es el Azufre presente en los</p>	



combustibles empleados en el Valle de Aburrá.
<ul style="list-style-type: none"> <li>De los resultados obtenidos para los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos se destacan las concentraciones de Pireno (83,46 ng/m<sup>3</sup>), Naftaleno (247,38 µg/m<sup>3</sup>) e Indeno (1,2,3 cd) (82,77 µg/m<sup>3</sup>), con demostrado efecto cancerígeno.</li> <li>De los resultados obtenidos por el modelo receptor se destaca que el aporte por fuentes móviles durante el periodo de septiembre a noviembre de 2007 es de tan solo un 20%. El elevado resultado obtenido en la ciudad de Medellín para las fuentes de origen geológico muestra la existencia de terrenos destapados aledaños al punto de monitoreo o vías en mal estado que aportan gran cantidad de PM<sub>10</sub>, producto de la re-suspensión provocada por el flujo vehicular, que a su vez remueve material simplemente por circulación.</li> </ul>

**Nota** Fuente: Grupo de Investigación en Aerosoles. Caracterización del Material Particulado Menor a 10 Micras MP10, Procesamiento y Análisis de la Información de Algunas Ciudades del País. Informe. Contrato 2062394. Bogotá: Universidad de la Salle Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria/ MAVT;2007.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.18.** Resumen de la tesis Calidad del aire en la Vereda El Ajizal del Municipio de Itagüí.

<b>Nombre documento:</b> Calidad del aire en la Vereda El Ajizal del Municipio de Itagüí	
<b>Lugar:</b> Itagüí, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Gaviria Cuartas Cristina Isabel, Velásquez Bolívar Víctor Raúl, Zuluaga Pérez Eliana Patricia; 2007
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> CO, PST y PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar la calidad del aire en la vereda El Ajizal del municipio de Itagüí	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Del inventario de emisiones se encontró que el contaminante con mayor representatividad fue el Monóxido de Carbono, tanto para fuentes fijas como para fuentes móviles.</li> <li>En relación con los monitoreos se encontró que el nivel más alto (24 horas) para las concentración de PST fue de 213 µg/m<sup>3</sup> y para PM<sub>10</sub> fue de 115,88 µg/m<sup>3</sup>, valores que no excedieron las normas para una exposición de 24 horas vigentes (300 y 150 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente).</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Gaviria CI, Velásquez VR, & Zuluaga EP. Calidad del aire en la Vereda El Ajizal del Municipio de Itagüí [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2007.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.19.** Resumen de la investigación Relación entre las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) y respirables (PM<sub>10</sub>) en la ciudad de Medellín.

<b>Nombre documento:</b> Relación entre las partículas finas (PM <sub>2.5</sub> ) y respirables (PM <sub>10</sub> ) en la ciudad de Medellín	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Carlos Alberto Echeverri Londoño, Gabriel Jaime Maya Vasco; 2008
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Establecer la relación PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> en la ciudad de Medellín	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aunque la mayoría de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> encontradas durante el periodo de medición en los diferentes puntos de muestreo cumplen con la norma diaria de calidad del aire (65 µg/m<sup>3</sup>), las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) se presentan como el principal problema de contaminación en la ciudad de Medellín.</li> <li>En todos los sitios de muestreo, las partículas PM<sub>2.5</sub> tienen la tendencia a superar la norma anual de calidad del aire (25 µg/m<sup>3</sup>).</li> <li>A pesar de que en todos los sitios de muestreo las partículas PM<sub>10</sub> tienen la tendencia a permanecer por</li> </ul>	



debajo de la norma anual de calidad del aire ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), se puede concluir que la situación es preocupante, ya que si comparamos los resultados con la norma que regirá en el año 2011 para Colombia, un alto porcentaje (50%) de los puntos evaluados no cumpliría dicha norma ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

- Un parámetro que ayuda a visualizar el problema de las partículas finas ( $\text{PM}_{2.5}$ ) en Medellín es la relación ( $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ). Todos los sitios de muestreo tienen una relación ( $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ) muy alta, que hace pensar que probablemente se puede cumplir con la norma anual para  $\text{PM}_{10}$  pero no para  $\text{PM}_{2.5}$ .
- La relación ( $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ) promedio para los sitios o zonas bajo consideración en este estudio fue de aproximadamente 0.67. Si las mediciones de  $\text{PM}_{10}$  están por debajo de la norma anual ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en un 36% ( $44.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), las partículas respirables estarían sobrepasando su norma anual ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en un 100%, es decir,  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Nota** Fuente: Echeverri CA, & Maya GJ. Relación entre las partículas finas ( $\text{PM}_{2.5}$ ) y Respirables ( $\text{PM}_{10}$ ) en la ciudad de Medellín. Revista ingenierias universidad de Medellin;2008;7:23-42.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.20.** Resumen de la investigación Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia – Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia – Colombia.	
<b>Lugar:</b> Valle de Aburra, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Bedoya Julián; Martínez Elkin, 2008
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Contaminantes criterio del aire
<b>Objetivo:</b> Explorar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos en Medellín y su área metropolitana.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los promedios anuales de material particulado en las diversas estaciones de Medellín y del área metropolitana varían desde 50 hasta <math>140 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</li> <li>• Para <math>\text{PM}_{10}</math> los valores promedios registrados varían entre 28 y <math>124 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> con promedio general de 65.3. La tendencia de los valores de concentración es hacia un aumento gradual con gradiente de aumento por año de <math>2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> (IC 95% 1,0 – 4,2).</li> <li>• Las concentraciones de <math>\text{NO}_x</math> en el área Metropolitana varían desde 2 hasta <math>90 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, con un promedio de 39.2. Las concentraciones promedio de <math>\text{SO}_x</math> varían desde 0.1 hasta <math>50.6 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, con un promedio de 10.3. Los niveles promedio de Monóxido de Carbono en el área metropolitana varían desde valores mínimos muy cercanos a cero hasta valores de 6–7 ppm, con promedios cercanos a 2 ppm. Los promedios de Ozono varían desde cero hasta 47 ppb, con promedio de 17 ppb. Los valores de promedios para periodos en 8 horas en la estación de Guayabal se sitúan por debajo de los niveles de guía que propone la OMS en un valor de 50 ppb equivalentes a <math>100 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Bedoya J, & Martínez E. Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia – Colombia. Dyna;2008;76:7-15.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.21.** Resumen de la investigación Niveles de ruido y concentraciones de monóxido de carbono-CO- en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid de Medellín.

<b>Nombre documento:</b> Niveles de ruido y concentraciones de monóxido de carbono-CO- en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid de Medellín.	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Dora Luz Yepes Palacio, Miryam Gómez Marín, Carlos Zárate Yepes, Sandra Liliana Echeverry Orozco, 2008
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> CO
<b>Objetivo:</b> Generar lineamientos de un plan de mejoramiento de la calidad del aire en la institución, partiendo de la evaluación de los niveles de ruido y las concentraciones de monóxido de carbono.	

**Resultados:** Durante las horas pico o de alto flujo vehicular, el 90.5% de las mediciones arrojaron valores de cero y las restantes promedian 0.4 ppm; en las jornadas en bajo flujo, el comportamiento fue similar.

**Nota Fuente:** Yepes DL, Gómez M, Zárate C, et al. Niveles de ruido y concentraciones de monóxido de carbono-CO- en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid de Medellín. *POLITÉCNICA*;2008;72:19–32.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.22.** Resumen de la investigación Análisis de calidad del aire en el área metropolitana del Valle de Aburrá durante el primer semestre del año 2009

<b>Nombre documento:</b> Análisis de calidad del aire en el área metropolitana del Valle de Aburrá durante el primer semestre del año 2009	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Hermes Yesid Betancur Quintero. 2009
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Contaminantes criterio
<b>Objetivo:</b> Analizar los datos recolectados en los monitoreos de REDAIRE durante el primer semestre del año 2009 y compararlos con la legislación ambiental vigente para la determinación de la calidad del aire.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En las estaciones donde evalúan el PM<sub>2.5</sub> se sobrepasan los límites anuales permisibles para la salud de 10 µg/m<sup>3</sup> estipulados por la OMS.</li> <li>• El mayor problema de contaminación atmosférica que se presenta en el Valle de Aburrá es de material particulado. Esto se observó en estaciones como las ubicadas en el centro de Medellín, con concentraciones que superan los estándares máximos permisibles estipulados por la OMS y en el techo de los estipulados en la resolución 601 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** Betancur HY. Análisis de calidad del aire en el área metropolitana del Valle de Aburrá durante el primer semestre del año 2009 [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2009.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.23.** Resumen de la investigación Evaluación de los niveles de contaminación atmosférica en las zonas urbanas del Valle de Aburra. Caracterización y análisis de la contribución de fuentes de material particulado PM<sub>2.5</sub> en tres (3) zonas del Valle de Aburrá

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de los niveles de contaminación atmosférica en las zonas urbanas del Valle de Aburra. Caracterización y análisis de la contribución de fuentes de material particulado PM <sub>2.5</sub> en tres (3) zonas del Valle de Aburrá (Convenio 5434 de 2008).	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Área Metropolitana del Valle de Aburra. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Universidad de Antioquia. 2010
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2.5</sub>
<b>Objetivo:</b> Contribuir a la gestión de Calidad del Aire mediante el análisis fisicoquímico de las muestras ambientales de material particulado PM <sub>2.5</sub> en tres zonas del Valle de Aburrá	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Estación Monitoreo Zona Centro Medellín-Antioquia:</b> Se observó la tendencia a la reducción del PM<sub>2.5</sub> con un factor de correlación de 0.4. y una concentración promedio diaria de 36.2 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• <b>Estación Monitoreo Municipio Itagüí-Antioquia:</b> Se presentó un evento que sobrepasa la norma diaria de 50 µg/m<sup>3</sup>, condición directamente asociada a las actividades de quema de pólvora típica (22 de diciembre). En cuanto a la caracterización del PM<sub>2.5</sub> se identificó en las muestras de aire azufre, potasio, calcio, hierro, sodio, aluminio y silicio.</li> </ul>	

- **Estación Monitoreo Municipio Bello-Antioquia:** Se registraron seis eventos que sobrepasan la norma diaria de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto a la caracterización del  $\text{PM}_{2.5}$ , se detectaron los siguientes elementos: Azufre (S) expresado como sulfito, Silicio como  $\text{SiO}_2$ , Sodio (Na), como  $\text{Na}_2\text{O}$ , Calcio como  $\text{CaCO}_3$  y Potasio como  $\text{K}_2\text{O}$ . Se resalta que el Óxido de Azufre es el compuesto en mayor proporción en el  $\text{PM}_{2.5}$  suspendido en el aire, alcanzando niveles hasta del 21% del  $\text{PM}_{2.5}$ , es decir una concentración máxima en el aire de 4.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Para los elementos minoritarios se detectaron en mayor concentración en trazas en esta Zona Plomo, Aluminio, y Zinc y en algunos días el Cobre estuvo en concentraciones traza relativo a la masa  $\text{PM}_{2.5}$  de 0.011 %. La variabilidad de las emisiones puede observarse en la presencia de algunos elementos como el Cobre, Cesio, Estaño y Antimonio solo en algunos de los días de monitoreo.

En cuanto a las concentraciones mayores de los aniones se registraron de manera continua los sulfatos, y amonio, contaminantes secundarios asociados a las emisiones vehiculares primarias, que harán parte de los aerosoles en el  $\text{PM}_{2.5}$ . Los sulfatos durante todo el periodo de mediciones tuvieron un comportamiento consistente con valores de concentración en P/P entre 20% y 3% con una desviación de 4% alrededor de la media de 11.5 % que comparado con el valor medio 4 % del amonio, muestra la mayor presencia de los sulfatos en el  $\text{PM}_{2.5}$ . Los nitratos, también son importantes en su concentración y conformación de los aerosoles secundarios en esta zona de estudio. Los cloruros típicos aerosoles marinos son altamente variables en las muestras en concentraciones muy bajas de 0.022 % en promedio y con frecuencia no fue detectado en el  $\text{PM}_{2.5}$ . En cuanto a los cationes se encuentran en mayor proporción el sodio y el calcio y se encuentran asociados a iones sulfatos y al amonio en su carácter anfótero. Los iones Litio y Potasio se encuentran en concentraciones traza y alta variabilidad.

**Nota** Fuente: [AMVA] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, [UDEA] Universidad de Antioquia. Evaluación de los niveles de contaminación atmosférica en las zonas urbanas del Valle de Aburrá. Caracterización y análisis de la contribución de fuentes de material particulado  $\text{PM}_{2.5}$  en tres (3) zonas del Valle de Aburrá (Convenio 5434 de 2008). Investigación. Medellín;2010.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.24.** Resumen de la investigación Evaluar y monitorear la calidad del aire en el Valle de Aburrá con medidores pasivos.

<b>Nombre documento:</b> Evaluar y monitorear la calidad del aire en el Valle de Aburrá con medidores pasivos. Contrato interadministrativo No. Cd 185 de 2011	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Subdirección Ambiental, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín 2012
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> Benceno, etilbenceno, tolueno y los xilenos.
<b>Objetivo:</b> Evaluar y monitorear la calidad del aire en las zonas urbanas del Valle de Aburrá, mediante la evaluación con medidores pasivos, de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (BTX), durante Septiembre de 2011 a Abril de 2012.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En 10 de las 18 estaciones se sobrepasa la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire para Benceno (5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) y todas las estaciones superan la Guía Anual de la OMS. La población que vive o transita por los sitios evaluados, se encuentra en riesgo, ya que el benceno puede ser cancerígeno a niveles bajos por largos periodos de exposición.</li> <li>• En la ciudad de Medellín las concentraciones de Benceno oscilan entre 5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> y 8.9 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>, lo que puede generar enfermedades respiratorias crónicas, irritación, náuseas, dolor de cabeza, entre otros síntomas.</li> <li>• No se reporta problema de contaminación del aire por tolueno, etilbenceno y xilenos en las 15 estaciones de monitoreo distribuidas en el Área. Las concentraciones son inferiores a la Norma Colombiana Semanal para tolueno de 260 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> y en el caso del etilbenceno y los xilenos, los valores están por debajo de la Guía Anual de la OMS de 22.000 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> y 870 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> respectivamente.</li> </ul>	

- Las concentraciones de BTX tienen una relación directa con las emisiones de los vehículos que funcionan a gasolina, debido a la adición de compuestos aromáticos con el fin de mejorar el octanaje del combustible, particularmente en Colombia, se aumenta el índice de octano de 60 hasta 94 para el caso de la gasolina extra.
- Aunque la reducción de Benceno y Aromáticos en la producción de combustibles para Medellín y el AMVA genere un impacto positivo frente a las emisiones que se generan en esta área, se sigue excediendo la norma en algunos sectores, debido al alto tráfico vehicular y a la antigüedad de los vehículos de servicio público. Para superar estos obstáculos en la reducción de emisiones, se hace necesario implementar medidas como los convertidores catalíticos, para aumentar la eficiencia y disminuir la concentración de los gases nocivos expulsados por los motores de combustión interna.

**Nota** Fuente: [UNAL-MED] Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Evaluar y monitorear la calidad del aire en el Valle de Aburrá con medidores pasivos (Contrato interadministrativo No. Cd 185 de 2011). Medellín: Subdirección Ambiental, Área Metropolitana del Valle de Aburrá;2012b.

\*Adaptado por el autor.

Por otra parte en el Valle de Aburra se han desarrollado inventarios de emisiones que han cuantificado las concentraciones de CO, NO<sub>x</sub>, COV y otros contaminantes, además de señalar a las fuentes móviles, como las de mayor importancia (UPB, 2001, 2005); además se ha identificado el aporte de las vías en las emisiones de partículas suspendidas al ambiente (Gómez M et al., 2004), así como alternativas para el monitoreo de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores, como una alternativa cuando no se cuenta con un sistema de vigilancia de calidad del aire (Jaramillo y Boter, 2010). Por último se elaboró el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá (PDVA), el cual contemplan dos escenarios a 2020, con y sin medidas del PDVA implementadas, donde se establece (Toro, 2010):

- **Escenario 2020 sin medidas:** Para evaluar este escenario se utilizó el inventario de emisiones proyectado al año 2020, sin considerar las medidas definidas en el PDVA, pero teniendo en cuenta las medidas en curso a nivel nacional y local, que están dirigidas principalmente al mejoramiento de combustibles (Diésel con un contenido de azufre de 50 ppm y gasolina de 300 ppm a partir del 2011) y la entrada de vehículos con tecnología más limpia.

Se establece que para la concentración horaria máxima de Ozono en la estación Medellín – Universidad CES (MED-UCES), en la cual ocurre el mayor episodio de contaminación, se incrementaría un 30% la concentración para el año 2020. Sin la implementación de las medidas de reducción de emisiones del PDVA, aunque exista un mejoramiento de combustible (Diesel: 50 ppm y gasolina: 300 ppm) y el ingreso de vehículos de tecnología Euro III, la calidad del aire no cumple con la norma nacional para ozono (61 ppb). Es importante anotar que el aumento de ozono en el escenario 2020 ocurre debido a que las medidas implementadas a nivel nacional y local no tienen como objetivo o finalidad la reducción de compuestos orgánicos volátiles ni de óxidos de nitrógeno, por lo cual es de esperarse que las reacciones en la atmosfera incrementen el ozono.

Para el PM<sub>2.5</sub> el modelo pronostica para el 2020 un incremento significativo en todas las estaciones de monitoreo. En la estación MED-UCES este aumento equivale a 102%. En el

escenario proyectado sin medidas, no se cumpliría con la norma nacional de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y se presenta un deterioro de la calidad del aire, que hace prioritario la implementación de medidas adicionales más exigentes que permitan minimizar el impacto en la salud que ocasiona este contaminante.

- **Escenario 2020 con medidas:** Para este escenario se hace énfasis en el mejoramiento de combustibles con el fin de contar para ese año con diésel cuyo contenido de azufre sea 15 ppm - gasolina de 15 ppm a partir del 2015 y la entrada de vehículos exige que los vehículos a gasolina y Diésel tengan tecnología Euro III en 2011 y Euro V en el 2015. Se observa que la calidad del aire por ozono disminuye significativamente en todas las estaciones, presentando el mayor valor de reducción de concentración en la estación MED-CES, con un 57%. En todas las estaciones se cumpliría la norma horaria para ozono de 61 ppb. Lo anterior se explica en el hecho de que las medidas del plan se enfocan a reducir las emisiones de los precursores de ozono que corresponde a los NOx y los COVs.

Para el  $\text{PM}_{2.5}$  el modelo pronostica para el 2020 una disminución de la concentración en todas las estaciones de monitoreo. En la estación Medellín Aguinaga (MED-AGUI) esta reducción equivale a 6%. En este escenario, se observa que las medidas del PDVA se convierten en una solución para mejorar la calidad del aire del Valle de Aburrá. En todas las estaciones se obtuvo un menor nivel de concentración de  $\text{PM}_{2.5}$ , siendo la más relevante la estación MED-AGUI, pasando de 24.94 a  $23.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 4.25.** Resumen de la investigación Estudio de la formación de contaminantes fotoquímicos mediante la modelización matemática y sus efectos en la salud.

<b>Nombre documento:</b> Estudio de la formación de contaminantes fotoquímicos mediante la modelización matemática y sus efectos en la salud (Contrato 340 de 2001)	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Universidad Pontificia Bolivariana, 2001
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> Contaminantes fotoquímicos
<b>Objetivo:</b> Conocer la formación y el transporte de contaminantes fotoquímicos mediante un modelo de pronóstico a mesoescala y un modelo de dispersión fotoquímico Euleriano en el Valle de Aburrá (Medellín, Colombia).	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Del análisis de los datos de inmisión de Monóxido de Carbono (CO), NO, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> en la estación situada en Caldas, se concluye que las máximas concentraciones de ozono se presentan el medio día, cuando la radiación solar es mayor y las reacciones fotoquímicas tienen lugar.</li> <li>• La concentración de las inmisiones ocurre en la zona central del Valle en el centro de Medellín y en la zona residencial localizada al occidente por los barrios de conquistadores y Belén.</li> <li>• El CO es el contaminante con mayor emisión en el Valle. Las emisiones son básicamente debidas a los vehículos que son causadas por la deficiente combustión vehicular en las horas de alta congestión (7-8 h y 18-19 h).</li> <li>• Se observó como en las horas diurnas se incrementa la liberación de gases por parte de la vegetación, debido a su relación con la temperatura y la radiación solar. Las emisiones de las industrias se mantienen constante, ya que se suponen continuas durante un proceso de producción.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: [UPB] Universidad Pontificia Bolivariana. Estudio de la formación de contaminantes fotoquímicos mediante la modelización matemática y sus efectos en la salud (Contrato 340 de 2001). Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá;2001.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.26.** Resumen de la investigación Modelación estadística de los aportes de las Vías como fuentes de emisión a las Partículas Totales en Suspensión según modelo MCF, zona Centro de Medellín-Antioquia-Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Modelación estadística de los aportes de las Vías como fuentes de emisión a las Partículas Totales en Suspensión según modelo MCF, zona Centro de Medellín-Antioquia-Colombia, 2004	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Gómez Miryam; Saldarriaga Julio; Correa Mauricio; Posada Enrique; Castrillón M. Francisco Javier; 2004
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PST
<b>Objetivo:</b> Establecer mediante modelación estadística los aportes de las vías como fuentes de emisión de partículas en suspensión en la zona centro de Medellín, Antioquia.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Según los parámetros estimados, la media y la desviación estándar de los aportes de las vías como fuentes de emisión a las partículas totales en suspensión son 10.5% y 12.4%, respectivamente; lo que indica que desde un punto de vista práctico, las vías aportan significativamente en términos porcentuales a la emisión de partículas totales en suspensión.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Gómez M, Saldarriaga J, Correa M, Posada E, & Castrillon FJ. Modelación estadística de los aportes de las Vías como fuentes de emisión a las Partículas Totales en Suspensión según modelo MCF, zona Centro de Medellín, Antioquia, Colombia. Dyna;2004;74:35-40.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.27.** Resumen de la investigación Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá, con georeferenciación de éstas.

<b>Nombre documento:</b> Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá, con georeferenciación de éstas (convenio 323/2005)	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Universidad Pontificia Bolivariana. María Victoria Toro Gómez. 2005
<b>Tipo documento:</b> Informe	<b>Contaminante estudiado:</b> CO, NOx, SO2, MP y COV
<b>Objetivo:</b> Elaborar y montar el Modelo de Inventario de Emisiones Atmosféricas MODEAM para la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>En el Valle de Aburrá se emiten 224.774 t/año de diferentes sustancias, distribuidas en 3 principales fuentes de emisión. El aporte corresponde a 148.433 ton/año para fuentes móviles, 70.001 t/año para fuentes fijas y 6.340 t/año para las fuentes biogénicas.</li> <li>La aplicación del modelo de emisiones atmosféricas MODEAM, permitió obtener el cálculo de los contaminantes analizados en cada una de las celdas, con lo que se pudo identificar que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el contaminante más emitido a la atmósfera, con un total de 1.656.581 ton/año, seguido por el monóxido de carbono, cuyo aporte se estimó en 106.625 ton/año. Los siguientes contaminantes en orden de importancia son los COV's y el material particulado, con totales de 38.627 t/año y 32.479 t/año respectivamente. Para el NOx se obtuvo un valor de 18.471 ton/año. De los COV's, los de mayor emisión son los aromáticos, seguidos por los alcanos y los alquenos.</li> <li>En general, el centro de la ciudad de Medellín representa el área más afectada por el tránsito vehicular y las industrias, siguiendo en importancia, la región centro-oriental y el municipio de Itagüí. Así mismo, las mayores emisiones se presentan durante las horas de mayor tráfico automotor correspondientes a las ocho de la mañana y a las seis de la tarde. La mayor emisión de contaminantes provenientes de las fuentes biogénicas se presenta en el norte del Valle de Aburrá y la región de Santa Elena. Con el fin de conocer la tendencia de las emisiones en el Valle de Aburrá, se realizó un análisis que permitió establecer que el actual inventario presenta un incremento significativo de los óxidos de nitrógeno (62%) y de compuestos orgánicos volátiles (95%), respecto de los valores obtenidos en el 2003.</li> </ul>	



**Nota Fuente:** [AMVA] Área Metropolitana del Valle de Aburrá; [UPB] Universidad Pontificia Bolivariana. Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá, con georeferenciación de estas (convenio 323/2005). Medellín: AMVA;2005a.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.28.** Resumen de la investigación Lineamientos Técnicos para el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá.

<b>Nombre documento:</b> Lineamientos Técnicos para el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá (Convenio 543 de 2008)	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Pontificia Universidad Bolivariana, 2010
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> COV, Material Particulado, Ozono, NO <sub>2</sub> , CO y SO <sub>2</sub>
<p><b>Resultados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Según las mediciones realizadas en las estaciones Aguinaga (Medellín), Politécnico (Medellín), Ditaires (Itagüí) y Universidad CES (Medellín), las concentraciones anuales de PM<sub>2.5</sub> superan los 30 µg/m<sup>3</sup>, excediendo el valor de 10 µg/m<sup>3</sup> establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS).</li> <li>La meta de calidad del aire para PM<sub>2.5</sub> en 2015 es 25 µg/m<sup>3</sup> y para 2020 es 20 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>La norma horaria y octohoraria de ozono se superó a lo largo de todo el año 2009. Los episodios horarios se incrementaron de 289 en el 2008 a 600 en el 2009 y los episodios octohorarios de 471 en el 2008 a 964 en el 2009.</li> <li>Los compuestos orgánicos volátiles (COV) fueron evaluados utilizando medidores pasivos. En la campaña de monitoreo realizada por el AMVA entre el 01 agosto de 2006 y el 06 agosto de 2007, fueron monitoreados los BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos. Las concentraciones promedio anuales de Benceno, superan la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire (5 µg/m<sup>3</sup>), especialmente en la zona centro del valle, registrando valores de 8.2 µg/m<sup>3</sup> en el Municipio de Itagüí. Las concentraciones de Tolueno, Etilbenceno y Xilenos, fueron inferiores a la Norma Colombiana Semanal para Tolueno de 260 µg/m<sup>3</sup> y en el caso del etilbenceno y los xilenos, estuvieron por debajo de los valores Guía Anuales de la OMS de 22.000 µg/m<sup>3</sup> y 870 µg/m<sup>3</sup> respectivamente.</li> <li>Otros gases como NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> no registran superación de la norma Colombiana.</li> <li>El inventario de emisiones en el Valle de Aburra (2009), muestra el gran aporte de las fuentes móviles en gases y partículas. Las fuentes fijas tienen un aporte mayoritario en óxidos de azufre. Las fuentes biogénicas y las fuentes de área contribuyen con las emisiones de VOC, con una participación del 21% y el 13% respectivamente.</li> <li>Las fuentes móviles emiten el 58% de PM<sub>10</sub> y el 78% de PM<sub>2.5</sub>. Las fuentes móviles aportan el 94% de los NO<sub>x</sub> y las fuentes fijas son responsables del 77% de los SO<sub>x</sub>. Las fuentes móviles contribuyen con el 62% de las emisiones de VOC.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** [UPB] Pontificia Universidad Bolivariana Sede Medellín. Lineamientos Técnicos para el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Informe. (Convenio 543 de 2008). Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá;2010.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.29.** Resumen de la investigación Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburra.

<b>Nombre documento:</b> Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburra	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia.	<b>Autor/año:</b> Margarita María Jaramillo Ciro, Liliana Rocío Botero Botero, 2010.

<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Bioindicadores
<p><b>Objetivo:</b> Profundizar en la diversidad, morfología y desarrollo de la comunidad líquénica asociada a cuatro especies arbóreas <i>Terminalia catappa</i> Linneaus (almendro), <i>Eritrina fusca</i> Loureiro (búcaro), <i>Mangifera indica</i> Linneaus (mango) y <i>Fraxinus chinensis</i> Roxb. (urapán) como alternativa para evaluar la potencialidad de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.</p>	
<p><b>Resultados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La información obtenida al implementar los líquenes como bioindicadores de calidad del aire para comparar las estaciones UdeM y MA está en concordancia con los datos reportados por RedAire para PST.</li> <li>• Las especies <i>Canoparmelia</i> sp. y <i>P. austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale. podrían ser usadas como bioindicadores de buena calidad del aire en el Valle de Aburrá.</li> <li>• El urapan (<i>F. chinensis</i> Roxb.) es la especie arbórea portante más adecuada para estudios de calidad del aire que incluyan los líquenes como bioindicadores en el Valle de Aburrá.</li> <li>• Los caracteres morfológicos como tamaño, vigor, presencia de estructuras reproductivas, color y presencia de fracturas en los talos líquénicos son de gran valor para evidenciar las alteraciones en la calidad del aire del Valle de Aburrá.</li> <li>• El IPA y el factor Q mostraron ser parámetros importantes para estudios de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en el Valle de Aburrá.</li> </ul> <p>Factor Q: Determina el grado de sensibilidad de las especies encontradas, asumiendo que la contaminación reduce la diversidad de las especies y que una especie es tanto más sensible cuanto más representativa sea en una estación donde hay mayor diversidad.</p> <p>Índice de Pureza Atmosférica (IPA): Asocia la riqueza de especies encontradas con los niveles de contaminación de las estaciones de estudio.</p>	

**Nota** Fuente: Jaramillo MM, & Boter LR. Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburra. *Gestión y ambiente*;2010;13:97-110.

\*Adaptado por el autor.

En lo relacionado con la exposición a contaminantes intramurales, se han llevado a cabo investigaciones donde se ha evidenciado que el cambio tecnológico en estufas que utilizan leña, disminuye los niveles de exposición de las amas de casa en un 88% (Cárdenas, 2012), así como establecer que la exposición a humo de tabaco y la contaminación extramuros aumentan el riesgo de enfermedad pulmonar hasta en un 127% (Díaz, 2010). También se evidenció una correlación positiva entre PM<sub>10</sub> interior y exterior, siendo factores que aumentan el riesgo de afectación de la función pulmonar (Montoya y Zapata, 2010).

**Tabla 4.30.** Resumen de la investigación Exposición a material particulado de un grupo similar de exposición de amas de casa que utilizan leña como combustible para la cocción de alimentos en la vereda Palmitas del municipio de El Santuario, durante el primer semestre del año 2012 Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Exposición a material particulado de un grupo similar de exposición de amas de casa que utilizan leña como combustible para la cocción de alimentos en la vereda Palmitas del municipio de El Santuario, durante el primer semestre del año 2012 Colombia, 2012,	
<b>Lugar:</b> Palmitas, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Cárdenas Jhon Jaime, Lenis Juan Fernando, Amaya Luis Fernando; 2012
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Material Particulado
<b>Objetivo:</b> Determinar la exposición a material particulado respirable para un grupo similar de exposición de amas de	



<p>casa seleccionadas que utilizan fogón tradicional de leña o estufas eficientes en la zona de la vereda palmitas</p> <p><b>Resultados:</b> El cambio tecnológico de estufas tradicionales a estufas eficientes disminuye los niveles de exposición de material particulado respirable en las amas de casa en un porcentaje mayor igual a 88.8%.</p>
---

**Nota** Fuente: Cárdenas JJ, Lenis JF, & Amaya LF. Exposición a material particulado de un grupo similar de exposición de amas de casa que utilizan leña como combustible para la cocción de alimentos en la vereda Palmitas del municipio de El Santuario, durante el primer semestre del año 2012 Colombia [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2012.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.31.**Resumen de la investigación Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la función pulmonar de adultos.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la función pulmonar de adultos	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Paula Andrea Díaz Valencia; 2010
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Analizar el efecto de la contaminación atmosférica y el tabaquismo sobre la función pulmonar de una población adulta.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La función pulmonar disminuye en los fumadores (VEF1/CVF&lt;80%) en mayor proporción que en los no fumadores, observándose un exceso de riesgo de 54% (RR. 1,54 IC 95% 1,13-2,11) relación que permanece significativa al ajustar por contaminación (RRMH 1,44 IC 95% 1,05-17,97).</li> <li>• Las personas expuestas a un mayor nivel de contaminación ambiental (PM<sub>10</sub> 60 µg/m<sup>3</sup>) presentan una mayor proporción de disfunción pulmonar que los que se exponen a ambientes menos contaminados (PM<sub>10</sub> 30 µg/m<sup>3</sup>); esta relación mostró un exceso de riesgo de 61% en las personas expuestas en relación a los que se exponen de manera regular a niveles más bajos de PM<sub>10</sub> (RR. 1,61 IC95% 1,17-2,21), además la relación permanece estable cuando se ajusta por el riesgo de fumar con el método de análisis estratificado de Mantel y Hanzel (RRMH 1,52 IC 95% 1,11-2,08).</li> <li>• Cuando los sujetos se exponen a ambos riesgos, el exceso de riesgo es del 127% (RR 2,27 IC 95% [1,44-3,59]. <math>\chi^2</math> 14,2 p. 0,00).</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Díaz PA. Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la función pulmonar de adultos [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2010.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.32.**Resumen de la investigación Contaminación extra e intradomiciliaria por material particulado respirable y su relación con la función pulmonar La Sierra-Puerto Nare.

<b>Nombre documento:</b> Contaminación extra e intradomiciliaria por material particulado respirable y su relación con la función pulmonar La Sierra-Puerto Nare, Antioquia 2010	
<b>Lugar:</b> Puerto Nare, Antioquia 2010	<b>Autor/año:</b> Montoya Rendón María Luisa, Zapata Saldarriaga Patricia; 2010
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Material Particulado
<b>Objetivo:</b> Explorar la relación entre niveles de PM <sub>10</sub> intra y extradomiciliarios y función pulmonar	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración de PM<sub>10</sub> promedio al interior de las viviendas fue de 0,096 mg/m<sup>3</sup>, y exterior 0,083 mg/m<sup>3</sup>. En el 25% de las espirometrías el VEF1 fue de 74% o menos. La correlación entre PM<sub>10</sub> interior y exterior fue positiva, 0,197 (p=0,029) y entre PM<sub>10</sub> interior y velocidad del viento negativa -0,215 (p=0,017). No se encontró relación entre VEF1 y PM<sub>10</sub>.</li> <li>• Se encontró que aunque débilmente, el PM<sub>10</sub> interior se correlacionó significativamente con PM<sub>10</sub> exterior.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Montoya ML, & Zapata P. Contaminación extra e intradomiciliaria por material particulado respirable y su relación con la función pulmonar La Sierra-Puerto Nare, Antioquia. I Congreso Internacional y del Caribe en Salud Ambiental y Ocupacional: Salud, Trabajo y Ambiente. Medellín: Universidad de Antioquia;2010.

\*Adaptado por el autor.

Finalmente, se han adelantado estudios que cuantifican los efectos de la contaminación del aire en la salud de la población que reside en el Área Metropolitana del Valle de Aburra, donde podemos destacar los siguientes resultados:

- La calidad del aire en Medellín y su área metropolitana, desde el punto de vista del material particulado respirable, no es buena y debe estar generando consecuencias indeseables en la salud de sus habitantes. Las concentraciones de partículas en suspensión total ubicadas a las distancias habituales que utiliza la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, efectivamente registran valores cercanos a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (80-160 m y encima de edificaciones) tal y como se observa en la mayoría de los promedios que se reportan para el área central de Medellín y a lo largo de la vía de la autopista en la región central de Medellín, Itagüí, Envigado, Sabaneta y Bello. Las concentraciones de material particulado son más altas a medida que se ubican más cerca de la calle, es decir, más próximas a las fuentes móviles. Los valores ascienden con la proximidad de los vehículos a niveles de 150, 200 y hasta 400 y 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la ubicación más cercana, es decir en las aceras a la altura de los transeúntes.

Para otros contaminantes primarios y secundarios las concentraciones son más bajas, aunque también implican un riesgo para la salud de las personas que viven o trabajan en sitios de alta densidad vehicular e industrial. Desde hace 27 años se ha observado en Medellín un aumento de la mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas y cáncer de pulmón; se ha estimado que un aumento de la mortalidad del 80% se asocia a un gradiente de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  (Martínez et al., 2007b), también se calculó que por cada incremento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PST por año, se aumenta la tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en 0,26 muertes por cada 100.000 habitantes (Bolívar y Jaramillo, 2012).

- Se ha evidenciado un exceso de riesgo de sufrir fenómenos obstructivos pulmonares entre trabajadores expuestos a contaminación atmosférica frente a los no expuestos del 68% [RR 1.68 IC (1.19-2.36)] (Muñoz AM, 2006). Las personas que habitan en el área urbana del Valle de Aburra tienen un exceso de síntomas respiratorios con respecto a las personas del grupo menos expuesto (Martínez E, 2011); esto se ha corroborado mediante la existencia de una correlación positiva entre contaminación por material particulado ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$ ) y consultas por enfermedades respiratorias (Gaviria, 2011).
- Durante el año 2009, en los municipios de Remedios, Segovia, Zaragoza, El Bagre, y Nechí del Departamento de Antioquia, se realizaron mediciones de las concentraciones de Mercurio (Hg) en el aire intra y extramural, resultado de los procesos de obtención de oro mediante amalgamación, donde en frente de los “entables” o en las tiendas de oro, las concentraciones de Hg presentaron rangos de 2000 a 10000 ng de  $\text{Hg}/\text{m}^3$ , mientras niveles

de 10000 ng/m<sup>3</sup> fueron medidos frente a un colegio en un lugar llamado La Cruzada. Dentro de los “entables”, cuando los “cocos” están moliendo mineral de oro con Hg, el aire puede alcanzar niveles de 1 millón de ng/m<sup>3</sup>. Dentro de las tiendas de compra de oro, cuando las amalgamas no están siendo quemadas, los niveles en el aire pueden alcanzar concentraciones de 200000 ng/m<sup>3</sup> o cuando se midió en la nariz de un operador en una fundición, la concentración fue de 60000 ng/m<sup>3</sup>. Es importante resaltar que la OMS establece un límite máximo permisible de 1000 ng/m<sup>3</sup>, valor que fue excedido constantemente en las mediciones realizadas. La universidad de Antioquia dirigió una investigación toxicológica en los niños de Segovia y concluyo que más del 70% de los niños muestran señales de alteración psicológica causada probablemente por exposición a largo término a vapores de mercurio (Veiga, 2010).

- Se ha observado un aumento en las alteraciones neuropsicológicas en niños que cursan primaria y bachillerato en el municipio de Segovia, donde la exposición a vapores de mercurio es la causa del evento (Vargas, 2011).
- Zonas donde se presenta una alta densidad de vías y un alto tráfico vehicular presentan una alta incidencia de enfermedad cardiorespiratoria (Franco, 2012).

Los resúmenes de las investigaciones citadas anteriormente se presentan a continuación:

**Tabla 4.33.** Resumen de la investigación Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en adultos que laboran a diferentes niveles de exposición.

<b>Nombre documento:</b> Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en adultos que laboran a diferentes niveles de exposición	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Muñoz Ana María; Quiroz Palacio Carlos Mario; Paz John Jairo, 2006
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Contaminantes criterio del aire
<b>Objetivo:</b> Evaluar las diferencias en salud entre grupos de trabajadores expuestos y no expuestos o menos expuestos a contaminación ambiental.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las concentraciones de PST y PM<sub>10</sub> se encuentran por encima de los 100 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Los más expuestos a contaminantes ambientales manifestaron sufrir con más frecuencia ardor en los ojos, congestión nasal, dificultad respiratoria, garganta irritada, tos, estornudos y dolor de cabeza que los menos expuestos, encontrándose diferencias significativas en estos signos y síntomas.</li> <li>• Los no expuestos tienen una mejor relación VEF1/CVF, en un 3,1%.</li> <li>• Se evidencio un exceso de riesgo de sufrir fenómenos obstructivos pulmonares entre los expuestos frente a los no expuestos del 68%. RR 1.68 IC (1.19-2.36).</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Muñoz AM, Quiroz CM, & Paz JJ. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en adultos que laboran a diferentes niveles de exposición. Revista Facultad Nacional de Salud Pública;2006;25:85-94.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.34.** Resumen de la investigación Contaminación Atmosférica y efectos en la Salud de la población de Medellín y su área metropolitana.

<b>Nombre documento:</b> Contaminación Atmosférica y efectos en la Salud de la población de Medellín y su área metropolitana.	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Elkin Martínez López, Carlos Mario Quiroz, Fernando Daniels Cardozo, Alexandra Montoya Espinosa. 2007
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , CO, PM <sub>10</sub>
<p><b>Resultados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el periodo de 2001 a 2006 se analizaron diferentes contaminantes del aire, los cuales presentaron el siguiente comportamiento:</li> </ul> <p><b>PST:</b> Las concentraciones de PST son, en general, más altas en los municipios centrales del Valle de Aburrá los cuales son también más populosos (Medellín, Envigado, Itagüí y Bello) y son gradualmente más bajas a medida que los municipios se ubican más periféricamente, en áreas con menor densidad poblacional y urbanística (La Estrella, Caldas, Barbosa). Los promedios diarios varían desde 50 µg/m<sup>3</sup> en localidades periféricas, hasta 140 µg/m<sup>3</sup> en áreas urbanas de Medellín.</p> <p>Comportamiento semanal: Presentan niveles promedio de 80 µg/m<sup>3</sup> para días “limpios” los domingos y festivos, los valores en sábado alcanzan 90 - 100 µg/m<sup>3</sup> y en días laborales de semana ascienden a promedios por encima de 110 µg/m<sup>3</sup>.</p> <p>Comportamiento Anual: Se observa que la concentración viene aumentando en los últimos años a razón de 3-5 µg/m<sup>3</sup> por año.</p> <p><b>PM<sub>10</sub>:</b> Se tienen variaciones similares a PST con el valor más bajo en la localidad más alejada hacia el Norte (35 µg/m<sup>3</sup>) hasta valores cercanos a 100 µg/m<sup>3</sup> en los municipios más urbanizados ubicados en el centro del Valle de Aburrá.</p> <p>Los niveles de PM<sub>10</sub> medidos a la altura de las personas y en lugares públicos a los cuales ellas acceden regularmente muestran niveles promedios que varían entre 35 y 94 µg/m<sup>3</sup> para los diferentes municipios del área metropolitana.</p> <p>Los valores promedios registrados varían entre 28 y 124 µg/m<sup>3</sup>, con promedio de 65,3 µg/m<sup>3</sup>. La tendencia de los valores de concentración es hacia un aumento gradual con gradiente para 3 años de 6 - 8 µg/m<sup>3</sup>. Mediciones actualizadas (2007) permiten registrar valores promedios diarios de 80 - 100 µg/m<sup>3</sup> y variaciones diarias que no descienden por debajo de 30 - 40 µg/m<sup>3</sup> y que alcanzan a subir hasta 200 - 300 µg/m<sup>3</sup> en los momentos de alta densidad vehicular.</p> <p>Comportamiento diario: Los valores basales en la mañana están alrededor de 40 µg/m<sup>3</sup> y ascienden durante los momentos más críticos a valores tan altos como 170 - 180 µg/m<sup>3</sup> en la mañana y hasta 200 - 210 µg/m<sup>3</sup> en la tarde.</p> <p>Comportamiento semanal: Presentan un ciclo semanal idéntico en su perfil al ciclo de las PST. Los valores más bajos (30 - 50 µg/m<sup>3</sup>) se registran domingos y festivos, y los valores más altos 60 – 80 µg/m<sup>3</sup> en los días laborales de la semana, con un discreto incremento para los días jueves y viernes.</p> <p>Comportamiento Anual: Exhiben una tendencia al aumento en las series estudiadas para las estaciones de la región central del valle. El aumento ocurre a razón de 2 - 3 µg/m<sup>3</sup> por cada año.</p> <p><b>Monóxido de Carbono:</b> Los niveles promedio octohorarios en el área metropolitana varían desde valores mínimos muy cercanos a cero hasta valores de 6 – 7 ppm, con promedios cercanos a 2 ppm. Para el año 2007, los valores siguen oscilando entre 2 y 7 ppm, pero ocasionalmente presentan picos por encima del límite de precaución</p>	

establecido por las normas octohorarias, lo cual ocurre principalmente en sitios de alta densidad vehicular dentro del entorno urbano, tales como el centro de la ciudad y algunos cruces de tránsito vehicular periféricos.

**Comportamiento diario:** Se evidencia una variación cíclica bimodal con mínimos alrededor de 5 ppm (partes por millón) y máximos de 15 - 18 ppm. Se observa una serie que comienza a mostrar un descenso muy discreto a razón de 1 – 2 ppm por año.

**Ozono:** Los niveles en el área metropolitana varían desde cero hasta 47 ppb, con promedio de 17 ppb. Los datos más recientes obtenidos con las estaciones móviles automáticas (2007) permiten evidenciar que en diversos sitios de la ciudad y cada vez con mayor frecuencia se presentan episodios de elevación del Ozono que superan la norma horaria (60 ppb) y la norma octoraria (40 ppb). Los valores basales están durante las horas de la mañana, en la tarde y la noche en concentraciones bajas entre 3 – 5 ppb y alcanza su valor más alto de 80 – 100 ppb entre las 12 m y las 2 pm con la máxima luminosidad del día.

**Óxidos de Nitrógeno:** Las concentraciones en el área metropolitana varían desde 2 hasta 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un promedio de 39.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para el tiempo más reciente (2007), una leve tendencia al ascenso con valores que se inician en 35 - 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y que avanzan en el transcurso de 3 años hasta 42 - 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se observa una tendencia al aumento a razón de 4 – 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por año.

**Óxidos de Azufre:** Las concentraciones promedio en el área metropolitana varían desde 0.1 hasta 50.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un promedio de 10.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La tendencia de este contaminante es a la estabilidad o bien al descenso moderado, al menos en el transcurso de los últimos años los valores varían desde concentraciones iniciales de 10-15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta valores más bajos de 5-8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se insinúa en algunas estaciones una leve tendencia al descenso a razón de 1 – 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por año.

- En relación con la mortalidad, los datos de los últimos 25 años revelan un aumento del número de muertes por enfermedades respiratorias crónicas y por cáncer de pulmón. Los datos revelan un aumento de la mortalidad del 80% asociado a un gradiente de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$ , así que para Medellín también se cumple la relación causa - efecto reportada en la literatura científica mundial.
- Todos los indicadores espirométricos fueron significativamente más bajos en las personas que viven y trabajan expuestas a mayores niveles de contaminación atmosférica (60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en comparación con quienes respiran un aire más limpio (30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El flujo espiratorio promedio (MMEF) y el flujo espiratorio al 50% de la capacidad vital (MEF50) presentan diferencias a favor de las personas que respiran aire más limpio cercano al 12%.

Los flujos espiratorios al 25 y 75 % de la capacidad vital, igual que el flujo espiratorio forzado al tiempo .5 segundos, revelan diferencias cercanas al 10% que se asumen atribuibles a una exposición crónica al material particulado respirable con un gradiente de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (60-30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El volumen espiratorio forzado el primer segundo (VEP1) y la capacidad vital (CV) difieren entre los grupos en proporciones muy próximas al 8%. Las variables más clásicas de la capacidad ventilatoria del individuo muestran diferencias entre los grupos comparados. La capacidad vital (CV) tiene un promedio de 3,50 litros en la población del área metropolitana, en tanto que el promedio es de 3,73 litros para los habitantes del oriente antioqueño. El volumen espiratorio forzado muestra un contraste similar en los promedios, 2.88 y 3.13 respectivamente. La prueba más indicativa de alteraciones funcionales, es decir, la prueba de Tiffeneau o proporción de volumen espiratorio forzado de un segundo, muestra una clara diferencia en perjuicio de quienes respiran un aire contaminado cuyo promedio de 81.8 es significativamente menor que el promedio de 84.2 correspondiente al grupo control.

- Cuando se compara la proporción de personas que tiene un % VEF < 80 con un indicador temprano de riesgo para enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en relación con el nivel de exposición al material particulado en el aire, se hace evidente el exceso de riesgo para quienes están más expuestos RR 1.64 IC 95% (1.19-2.45).
- Las personas del grupo expuesto ( $\text{PM}_{10}$  60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y que viven y trabajan en las áreas urbanas del Valle de Aburrá tienen un exceso de signos y síntomas respiratorios con respecto a las personas del grupo menos expuesto ( $\text{PM}_{10}$  30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), es decir, quienes viven y trabajan en el altiplano del oriente antioqueño. La congestión nasal, la dificultad respiratoria y la tos son los síntomas que se presentan en un mayor contraste con riesgos relativos de 2.60 IC95% (1.93, 3.62); 2.22 IC95% (1.56, 3.15) y 2.14 IC95% (1.63, 2.81)

- respectivamente. Los estornudos, el ardor en los ojos y la garganta irritada son síntomas que aparecen con excesos cercanos al 80%, en todos los casos con riesgos relativos altamente significativos.
- Los episodios de asma también revelan un exceso para los residentes de áreas más contaminadas en un 45%, lo cual resulta de importancia clínica, así como la frecuencia de resfriados que se reportan con un exceso del 30%, RR 1.45 IC95% (0.87, 2.43) y RR 1.30 IC95% (0.89, 1.92).
  - Los habitantes del valle del río Medellín o población expuesta presentan excesos de síntomas neurosicológicos en comparación con sus paisanos residentes en el oriente antioqueño y quienes respiran un aire más limpio. La angustia, el agotamiento y la depresión aparecen como los síntomas que demuestran un mayor contraste, con excesos de 80 - 90% en la población expuesta. Los riesgos relativos y sus correspondientes intervalos de confianza al 95% son: 1.90 (1.48, 2.45); 1.88 (1.55, 2.29) y 1.81 (1.26, 2.60).
  - Las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín ascienden desde 11.8 por 100 mil habitantes en 1980 hasta 20.3 en el año 2004 (aumenta un 90 % en 25 años). También la mortalidad por cáncer de pulmón en el oriente muestra un leve ascenso durante el mismo período. Las cifras van desde 5.9 hasta 13.1. Los 7260 casos de muerte en Medellín por cáncer de pulmón, en un seguimiento de 44'534.450 años - persona, contrastan con los 513 de la región de oriente en un seguimiento de 5'656.717 años - persona. Las tasas de mortalidad global por esta causa representan 16.3 y 9.1 por 100.000 hab respectivamente. El Riesgo Relativo RR alcanzó el valor de 1.80 IC 95 % (1.65, 1.96).
  - La mortalidad por cáncer de pulmón está claramente asociada con una mayor exposición al material particulado. Un incremento en 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  estaría asociado con un incremento hasta del 20 % en las muertes por esta enfermedad. La tendencia señala un crecimiento en los últimos años a razón de 16 % por cada 5 años. La pendiente encontrada sugiere que por cada incremento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se aumenta la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón en 1.26 muertes por cada 100 mil habitantes.

**Nota** Fuente: Martínez E, Quiroz CM, Daniels F, & Montoya A. Contaminación Atmosférica y efectos en la salud de la población de Medellín y su área metropolitana. Medellín: Universidad de Antioquia, Alcaldía de Medellín, Alcaldía de Itagui, & Área Metropolitana del Valle de Aburra;2007b.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.35.** Resumen de la investigación Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de mercurio medioambiental.

<b>Nombre documento:</b> Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de mercurio medioambiental, Colombia, 2008-2009	
<b>Lugar:</b> Segovia, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Mónica L. Vargas; Carlos M. Quiroz. 2011
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Vapor de Mercurio
<b>Objetivo:</b> Establecer la prevalencia de alteraciones neuropsicológicas en lenguaje, memoria, funciones ejecutivas y atención de los escolares entre segundo grado de primaria y noveno grado de bachillerato del municipio de Segovia, Antioquia.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El 98,5% de los escolares de segundo de primaria a noveno grado de bachillerato en Segovia presentó alteración en alguna de las funciones cognitivas evaluadas. Se encontró que porcentajes superiores al 50% de los escolares de Segovia presentaron alteraciones relacionadas con la comprensión del lenguaje, alteraciones en las funciones ejecutivas de búsqueda, clasificación de la información y de inhibición de la respuesta automática y atención. Se observó también que entre el 31,1 y el 43,9% de los escolares presentaron alteraciones en la fluidez verbal semántica y en la memoria verbal a corto y largo plazo. La memoria visual y la atención auditiva son las funciones cognitivas en las cuales se encontró un menor porcentaje de escolares con alteración de ellas.</li> <li>• El 81,7% de los escolares (hombres) presentó alteraciones en la comprensión del lenguaje en relación con 78,1% de mujeres. Según edades, aunque en los escolares de 7 a 8 años se observó una prevalencia del 65%, esta es baja si se compara con los escolares entre 9 y 18 años, en los cuales el rango de prevalencia de problemas en la comprensión se encontró entre 80 y 82,5%. Con respecto a los grados escolares, en todos se observaron prevalencias superiores al 69%, con quinto de primaria como el curso donde un porcentaje mayor de</li> </ul>	



estudiantes (94,1%) tuvo problemas en la ejecución adecuada del *token test*.

- **Lenguaje: fluidez verbal semántica.** Según edades, los escolares entre 15 y 18 años fueron los que obtuvieron el mayor porcentaje de puntuaciones inferiores a lo esperado (55%) y los escolares entre 7 y 8 años, los que presentaron el menor porcentaje (40%). Con respecto a los grados, los escolares de segundo de primaria presentan el mayor porcentaje de personas con alteración en su fluidez verbal (55,6%). En los grados entre tercero y octavo se observaron prevalencias entre el 40 y el 43%, y noveno fue el grado escolar donde se obtuvo el menor porcentaje: 30%.
- **Funciones ejecutivas: estrategias de búsqueda y clasificación de la información.** El 78,1% de las escolares presentó alteración en esta función frente al 76,8% de los escolares. El 91,2% de los escolares de quinto de primaria obtuvieron puntajes inferiores a los esperados, y en todos los grados la prevalencia de alteraciones en esta función es superior al 60%, a excepción de los escolares de noveno grado, con un porcentaje del 30%. En relación con la edad, se destacó el grupo de escolares entre 9 y 10 años, que alcanzó una prevalencia del 88.9%. Es importante resaltar que en todos los grupos de edad, la prevalencia fue igual o mayor al 50%.
- **Funciones ejecutivas: procesos inhibitorios de respuestas automáticas y atención visual.** La prevalencia de alteraciones es mayor en las mujeres (53,5%) que en los hombres (51,2%). Quinto de primaria es el grado escolar donde se encontró un mayor porcentaje de estudiantes con problemas en esta función (67,6%) y noveno, el de menor porcentaje (30%). En relación con la edad, los escolares entre 11 y 12 años presentan la mayor proporción: 61,4%.
- **Memoria verbal a corto plazo.** Según sexo, la prevalencia fue mayor en los escolares hombres (40,2%) que en las escolares (37,7%); según grupos de edad, es mayor en los escolares entre 7 y 8 años (50%) y, según grado de escolaridad, el 55,6% de los escolares de segundo de primaria y el 52,2% de los de cuarto de primaria presentaron alteración en esta función.
- **Memoria verbal a largo plazo.** Según sexo, la prevalencia fue mayor en los escolares hombres (36,6%) que en las escolares (27,2%). Según grupos de edad y grados de escolaridad, la prevalencia fue mayor al 20% en todos. Cabe resaltar que el 45% de escolares entre 7 y 8 años y el 44,4% de los escolares de segundo de primaria fueron los que presentaron la mayor prevalencia de alteración en esta función.

**Observaciones:** Se realizó un estudio transversal analítico. La muestra estuvo conformada por 196 estudiantes de una población escolarizada de 4.180, de los grados segundo de primaria a noveno de bachillerato del municipio de Segovia, Antioquia en el período 2008-2009.

**Nota Fuente:** Vargas ML, & Quiroz CA. Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de mercurio medioambiental, Colombia, 2008-2009. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 2011;29:461-468.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.36.** Resumen de la investigación Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente.

<b>Nombre documento:</b> Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente.	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Elkin Martínez, Carlos M. Quiroz, Jessica A. Rúa. 2011
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Material particulado
<b>Objetivo:</b> Explorar la morbilidad por causas respiratorias en dos poblaciones similares en sus variables sociodemográficas que viven y trabajan en ambientes en los que están expuestos a diferentes niveles de contaminación.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las personas del grupo más expuesto (PM<sub>10</sub> 60 µg/m<sup>3</sup>) que habitan las áreas urbanas del Valle de Aburrá tienen un exceso de síntomas respiratorios con respecto a las personas del grupo menos expuesto (PM<sub>10</sub> 30 µg/m<sup>3</sup>), quienes habitan en el altiplano del oriente antioqueño.</li> <li>• En las zonas urbanas de Medellín se registra un mayor riesgo de signos y síntomas respiratorios con respecto al grupo control. La congestión nasal, la dificultad respiratoria y la tos son los síntomas que se presentan en un mayor contraste con riesgos relativos de 2,60 IC 95% (1,93-3,62); 2,22 IC 95% (1,56-3,15) y 2,14 IC95% (1,63-</li> </ul>	

2,81), respectivamente.

**Nota Fuente:** Martínez E. Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente. Revista Facultad Nacional de Salud Pública;2011;29:454-460.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.37.** Resumen de la investigación Contaminación por material particulado (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín.

<b>Nombre documento:</b> Contaminación por material particulado (PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>10</sub> ) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009)	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Gaviria G Carlos F; Benavides C Paula C; Tangarife Carolina A.; 2011
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Presentar evidencia estadística de la relación positiva entre contaminación por PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> y las consultas externas y por urgencia debidas a enfermedades respiratorias (asma, bronquitis, infecciones, rinitis).	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los modelos estimados por grupo de enfermedades y total de enfermedades confirman que existe una correlación positiva entre contaminación por material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>) y consultas por enfermedades respiratorias. Los coeficientes en cada uno de los modelos estimados evidencian un efecto superior de PM<sub>10</sub> que por PM<sub>2,5</sub>.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** Gaviria CF, Benavides PC, & Tangarife C. Contaminación por material particulado (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). Revista Facultad Nacional de Salud Pública;2011;29:241-250.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.38.** Resumen de la investigación Niveles de material particulado y mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas Medellín.

<b>Nombre documento:</b> Niveles de material particulado y mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas Medellín 1980 – 2006	
<b>Lugar:</b> Medellín, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Bolívar Mejía Natalia, Jaramillo Deossa Leidy Johanna; 2012
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Material Particulado
<b>Objetivo:</b> identificar la posible relación entre los niveles de material particulado y la mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en Medellín 1980 - 2006.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>En Medellín, las muertes por enfermedades respiratorias crónicas vienen aumentando en el transcurso de los últimos 27 años, a razón de un incremento de 28 casos por cada año (IC 95% 25 – 31), la tasa aumenta a razón de 1,14 por año por cada 100.000 habitantes (IC 95%0,98–1,30). La mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en Medellín excede a los municipios del Oriente Antioqueño en un 27% RR 1,27 (IC 95 1.21 – 1,34). Además, por cada incremento de 1 µg/m<sup>3</sup> de PST por año, se aumenta la tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en 0,26 muertes por cada 100.000 habitantes.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Estudio analítico, ecológico y longitudinal. Se compararon dos poblaciones con distintos niveles de exposición a la contaminación atmosférica por material particulado. Medellín (PM <sub>10</sub> 60 µg/m <sup>3</sup> ) y Oriente antioqueño (PM <sub>10</sub> 30 µg/m <sup>3</sup> ).	

**Nota Fuente:** Bolívar N, & Jaramillo LJ. Niveles de material particulado y mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas Medellín 1980 – 2006 [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2012.

\*Adaptado por el autor.



**Tabla 4.39.** Resumen de la investigación Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí.

<b>Nombre documento:</b> Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí.	
<b>Lugar:</b> Itagüí, Antioquia	<b>Autor/año:</b> Franco Piedradita María Cristina; 2012
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Definir las áreas con prioridad de intervención desde las políticas públicas en el municipio de Itagüí.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El análisis espacial evidencia que el municipio de Itagüí presenta áreas con gran incidencia de Enfermedad Cardiorespiratoria (ECR), donde se requiere atención tanto en el mejoramiento de sus condiciones socio-económicas como en el mejoramiento de la calidad ambiental.</li> <li>• La concentración del sector industrial en el oriente del municipio y la predominancia de los vientos en sentido noroccidente hacen que se genere una incidencia mayor de la morbilidad hacia el occidente del municipio. Las zonas donde se presenta una alta densidad de vías y un alto tráfico vehicular presentan alta incidencia de ECR.</li> </ul>	

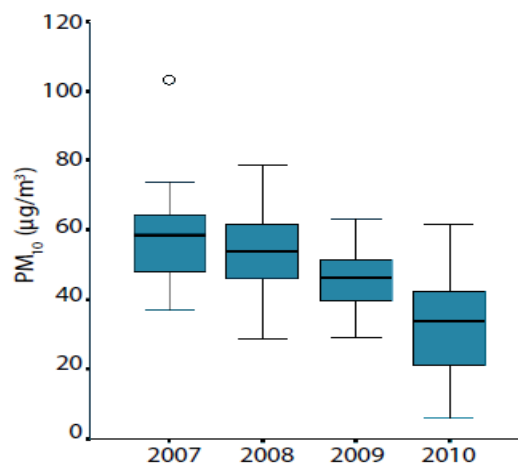
**Nota** Fuente: Franco MC. Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí [Tesis]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia; 2012.

\*Adaptado por el autor.

#### 4.5.1.2. Caldas y Risaralda: Manizales y Pereira

CORPOCALDAS es la Autoridad Ambiental que opera el SVCA en la ciudad de Manizales. Según información del IDEAM, durante el periodo de 2007 a 2010, las medianas 24 horas de PM<sub>10</sub> se encontraron por debajo de los 60 µg/m<sup>3</sup>. Se observó una tendencia a la disminución de la concentración a partir de 2007, año en el cual el promedio fue de 57 µg/m<sup>3</sup> hasta un valor promedio de 32,5 µg/m<sup>3</sup> en el año 2010 (Figura 4.4) (IDEAM, 2012a).

**Figura 4.4.** Concentración promedio de PM<sub>10</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de CORPOCALDAS



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007 – 2010. Informe. Bogotá DC: IDEAM; 2012

En la ciudad de Manizales se han realizado investigaciones tendientes a diagnosticar la calidad del aire intra y extramural, además de la presencia de lluvia acida, como de metales pesados en el material particulado; las conclusiones más relevantes se citan a continuación:

- En la ciudad de Manizales se identificaron concentraciones de Mercurio, Níquel, Cromo, Plomo y Cadmio, que no exceden los valores guía de la OMS y la Agencia de Protección Ambiental (USEPA) de Estados Unidos (Velasco, 2005).
- Durante los meses de noviembre de 2009 a marzo de 2010, se llevaron a cabo en la ciudad de Manizales mediciones intramurales de Monóxido de Carbono (CO) y PM<sub>2.5</sub>, en diferentes microambientes (vivienda, oficina e institución educativa). Para CO se registraron concentraciones horarias que oscilaron entre 1 a 3 ppm en una oficina y un colegio, con máximos horarios de 2 ppm, los cuales tenían como fuente la presencia de personas en estos recintos; cuando la medición fue realizada en hogares, se registraron valores horarios entre 0 a 55 ppm, con máximos horarios de 10, 15 y 55 ppm, que se presentaban cuando se encendía el calentador de agua y las ventanas del cuarto de ropas y cocina se encontraban cerradas; cabe resaltar que estas últimas mediciones excedían los límites recomendados por la OMS (8 horas = 10 ppm, 1 hora = 25 ppm). En cuanto a las concentraciones horarias de PM<sub>2.5</sub>, se encontró que en una vivienda y un colegio, los niveles horarios se ubicaron entre 0 a 160 µg/m<sup>3</sup>, con valores máximos horarios en la vivienda de 45, 55, 70, 95, 110 y 160 µg/m<sup>3</sup>, que tenían como fuente la cocción de alimentos y en el colegio concentraciones de 35 y 100 µg/m<sup>3</sup>, que tenían como origen la presencia de personas en el recinto y actividades de aseo en el salón de clase, respectivamente; estos valores exceden los límites recomendados por la OMS (24 horas = 25 µg/m<sup>3</sup>, anual = 15 µg/m<sup>3</sup>) (UNIANDES, 2010).
- Las concentraciones anuales de PM<sub>10</sub> registradas en los puntos de monitoreo de Manizales cumplen la norma anual de la Resolución 610 de 2010, pero exceden el valor guía establecido por la OMS; se midieron concentraciones de dioxinas y furanos, las cuales registraron valores similares a los encontrados en zonas rurales y urbanas con influencia de actividades antropogénicas (González CM, 2012a); la lluvia acida en Manizales tiene un valor promedio de 4,9 unidades de pH (González CM, 2012b).

**Tabla 4.40.** Resumen de la investigación La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales.

<b>Nombre documento:</b> La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales	
<b>Lugar:</b> Manizales, Caldas	<b>Autor/año:</b> Velasco García Mauricio, 2005
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> PST, PM <sub>10</sub> y Metales pesados
<b>Objetivo:</b> Realizar el análisis de la calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales	
<b>Resultados:</b>	

- Las concentraciones diarias de partículas suspendidas totales en Manizales se ubicaron entre los 28-123  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que las de  $\text{PM}_{10}$  se localizaron entre los 41 a 103  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Las concentraciones de metales pesados en el material particulado fueron las siguientes: Mercurio (0,241 a 0,577  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Niquel (0,008 a 0,031  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Cromo (0,008 a 0,086  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Plomo (0,06 a 0,25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Cadmio (0,006 a 0,008  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Los valores registrados no superan los valores guía de la OMS y la EPA.

**Nota** Fuente: Velasco M. La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales [Tesis]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales;2005.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.41.** Resumen de la investigación Calidad del aire en la zona centro y oriente de la ciudad de Manizales: influencia del material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ) y lluvia ácida

<b>Nombre documento:</b> Calidad del aire en la zona centro y oriente de la ciudad de Manizales: influencia del material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ) y lluvia ácida	
<b>Lugar:</b> Manizales, Caldas	<b>Autor/año:</b> Gonzales Duque Carlos Mario, 2012
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> $\text{PM}_{10}$ , dioxinas y furanos
<b>Objetivo:</b> Evaluar la calidad del aire y el efecto de las variables meteorológicas en la zona centro y oriente de Manizales, determinando los niveles de contaminación atmosférica por $\text{PM}_{10}$ y los contenidos de dioxinas, furanos y dl-PCBs en el material particulado.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los mayores niveles de <math>\text{PM}_{10}</math> fueron obtenidos en la zona centro de la ciudad con valores entre 22 y 67 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> y una concentración media de 43 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>, los cuales se asociaron principalmente al alto tráfico vehicular. En zonas de menor influencia de flujo vehicular se obtuvieron valores de <math>\text{PM}_{10}</math> entre 7 y 47 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</li> <li>Todas la estaciones registraron concentraciones promedio de <math>\text{PM}_{10}</math> por debajo de la norma Colombiana (50 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), pero exceden el valor guía de la OMS (20 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>).</li> <li>Los valores de PCDD/Fs (dioxinas y furanos) en <math>\text{PM}_{10}</math> estuvieron en un rango de 1 fg WHO-TEQ/<math>\text{m}^3</math> a 52 fg WHO-TEQ (equivalente tóxico total)/<math>\text{m}^3</math>. Teniendo en cuenta la influencia de la composición hipotética de PCDD/Fs en la fracción gaseosa del aire, la ciudad presentó valores similares a los reportados en zonas rurales y zonas urbanas con influencia de actividades antropogénicas. Los mayores valores de PCDD/Fs fueron obtenidos en la zona centro de la ciudad, siendo este patrón equivalente para los niveles.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: González CM. Calidad del aire en la zona centro y oriente de la ciudad de Manizales: influencia del material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ) y lluvia ácida [Tesis]. Manizales: Universidad Nacional Sede Manizales;2012a.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.42.** Summary Acid rain and particulate matter dynamics in a mid-sized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging

<b>Nombre documento:</b> Acid rain and particulate matter dynamics in a mid-sized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging	
<b>Lugar:</b> Manizales, Caldas	<b>Autor/año:</b> C.M. González, B.H. Aristizábal
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Material Particulado
<b>Objetivo:</b> Analizar la lluvia acida en cuatro puntos diferentes dela ciudad de Manizales a lo largo de octubre de 2010 y abril de 2011.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se observó el fenómeno de lluvia ácida en Manizales, durante la campaña de muestreo con un valor promedio de 4,9 unidades de pH. Se encontraron valores altos de sulfatos en el agua de lluvia, comparado con la presencia de otros iones; los sulfatos tienen una influencia significativa de fuentes antropogénicas tales como las emisiones vehiculares, así como de fuentes naturales como la actividad volcánica.</li> <li>La química de las lluvias y el <math>\text{PM}_{10}</math> fueron bastante consistentes en los cuatro sitios de muestreo, que representandiversos escenarios de la densidad y topografía urbana. Todas las estaciones mostraron diferencias en el contenido de sulfato dentro del <math>\text{PM}_{10}</math> entre los periodos secos y húmedos, ilustrando la dinámica de la deposición de sulfatos.</li> </ul>	

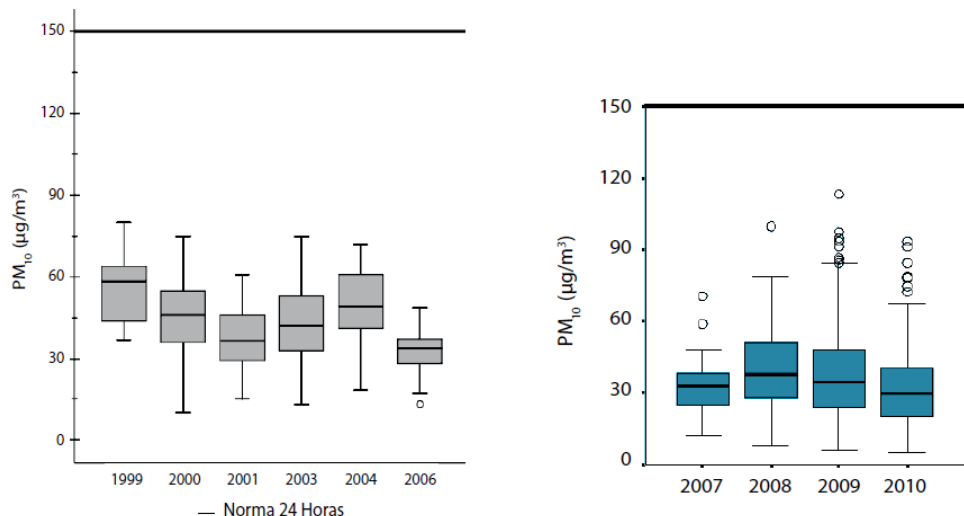
- La concentración de los iones evaluados en la lluvia fue la siguiente según orden de importancia: sulfatos (35.2-53.5  $\mu\text{eq/L}$ ) > calcio (14.6-17.3  $\mu\text{eq/L}$ ) > cloruros (3.5-5.1  $\mu\text{eq/L}$ ) > nitratos (2.1-3.1  $\mu\text{eq/L}$ ).
- Los principales componentes químicos del  $\text{PM}_{10}$  se relacionaron con la composición iónica del agua de lluvia a través de relaciones de deposición (RD). Una alta RD de sulfatos se asoció con la intensidad de lluvia, reflejando una mayor solubilidad de iones sulfato.
- Se encontró una contribución significativa de sulfatos (mayor del 50%) con respecto al total de iones en todas las estaciones, lo que sugiere contribuciones importantes de  $\text{SO}_2$ , que podrían provenir de tres fuentes principales: las emisiones vehiculares, debido a los combustibles colombianos con elevado contenido de azufre, las emisiones industriales en el sureste de la ciudad, y las emisiones de gases de azufre de un volcán activo (Nevado del Ruiz), situado a 27 km al sureste de la ciudad.

**Nota** Fuente: González CM, Aristizábal BH. Acid rain and particulate matter dynamics in a mid-sized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging. Atmospheric Environment 2012b;60:164-171.

\*Adaptado por el autor.

En el Departamento de Risaralda la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), es la encargada de operar el SVCA dentro de su jurisdicción, que abarca los municipios de Dosquebradas, La Virginia, Santa Rosa y la ciudad de Pereira. Para el periodo de 1999 a 2010, las concentraciones promedio 24 horas de  $\text{PM}_{10}$ , no superaron el límite permisible establecido dentro de la normatividad vigente para estos años. Así mismo, las medianas de los primeros seis años presentaron valores entre 60 y 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; por otro lado, las medianas en los últimos cuatro años disminuyeron progresivamente manteniéndose entre 30 y 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 4.5) (IDEAM, 2012a).

**Figura 4.5.** Concentración promedio de  $\text{PM}_{10}$  (24 horas) en las estaciones del SVCA de CARDER



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007 – 2010. Informe. Bogotá DC: IDEAM;2012a.

Para  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  durante los meses de septiembre de 2008 y abril y mayo de 2009, se realizaron monitoreos diarios, de los cuales se obtuvieron concentraciones que no superaron el 20% de lo establecido en la norma, para un tiempo de exposición de 24 horas (IDEAM, 2012a).

En cuanto a contaminación del aire y sus efectos en salud, en la ciudad se caracterizó el PM<sub>10</sub>, evidenciando la presencia de Silicio (15,86 µg/m<sup>3</sup>), Calcio (3,79 µg/m<sup>3</sup>), Hierro (0,37 µg/m<sup>3</sup>) y Vanadio (0,79 µg/m<sup>3</sup>), además de Plomo (0,28 µg/m<sup>3</sup>). En cuanto a los HAP's se encontró Antraceno (8,48 ng/m<sup>3</sup>), Dibenzo (a,h) Antraceno y Benzo (a) Pireno (1,92 ng/m<sup>3</sup>), este último excede el valor promedio anual establecido por la OMS (0,12 ng/m<sup>3</sup>) (ULS, 2008). Además se valoró el impacto de las fuentes móviles en la contaminación atmosférica; se estimó que por cada 1 µg/m<sup>3</sup> de exposición anual a PM<sub>10</sub>, se producen 1.974 casos de IRA al año, aumentando la tasa de morbilidad por IRA en un 0.52%. A partir de 23,17 µg/m<sup>3</sup> se generan enfermos por IRA, siendo este valor un umbral de exposición para PM<sub>10</sub> (Martínez, 2012).

**Tabla 4.43.** Resumen de la investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas.

<b>Nombre documento:</b> Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT	
<b>Lugar:</b> Pereira, Risaralda.	<b>Autor/año:</b> Universidad de la Salle, 2008
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se registraron concentraciones de Silicio de 15,86 µg/m<sup>3</sup>, Calcio (3,79 µg/m<sup>3</sup>), Hierro (0,37 µg/m<sup>3</sup>) y Vanadio (0,79 µg/m<sup>3</sup>), además de Plomo (0,28 µg/m<sup>3</sup>).</li> <li>Las concentraciones de Carbono Orgánico (CO) fueron de 11,68 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>Las concentraciones de iones en la ciudad muestran ser regulares en cuanto a las concentraciones de Sulfatos (1,36 µg/m<sup>3</sup>) que resultan superiores a las de Nitratos (1,15 µg/m<sup>3</sup>); este comportamiento es típico y permite identificar la influencia del consumo de combustibles tanto en fuentes fijas, como en fuentes móviles.</li> <li>Las concentraciones de HAP's más elevadas fueron obtenidas para los componentes Antraceno (8,48 ng/m<sup>3</sup>), Dibenzo (a,h) Antraceno y Benzo (a) Pireno (1,92 ng/m<sup>3</sup>), este último excede el valor promedio anual establecido por la OMS (0,12 ng/m<sup>3</sup>).</li> <li>El resultado obtenido para CO muestra que existe un aporte significativo de fuentes biogénicas y material de re-suspensión. Así mismo, aporte de Nitratos, Sulfatos y Amonio reflejan la presencia de procesos de combustión generados por las actividades industriales y el tráfico automotor y el Calcio, por aportes de material geológico.</li> <li>Es importante resaltar que la ciudad de Pereira representa un bajo aporte por fuentes móviles al Material Particulado, lo que es probablemente consecuencia del menor flujo vehicular o una mejor calidad en el combustible, y en este sentido es necesario mencionar que el punto de monitoreo estaba cerca al sistema masivo de transporte "MEGABUS", que emplea una mejor calidad de combustible en su buses articulados.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** [ULS] Universidad de la Salle. Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas (Contrato 2062394). Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT);2008.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.44.** Resumen de la investigación Modelo de valoración ambiental del impacto de la contaminación atmosférica por fuentes móviles en el municipio de Pereira.

<b>Nombre documento:</b> Modelo de valoración ambiental del impacto de la contaminación atmosférica por fuentes móviles en el municipio de Pereira	
<b>Lugar:</b> Pereira, Risaralda	<b>Autor/año:</b> Martínez Cardona Jorge Andrés; Varela Montoya Sara Marcela; 2012
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>

**Objetivo:** Proponer un modelo de valoración de costos ambientales de la contaminación del aire ocasionada por el crecimiento del parque automotor en el municipio de Pereira.

**Resultados:**

- Los resultados sugieren que gran parte de la morbilidad por IRA en personas mayores de 5 años son producto del deterioro ambiental (aire) ocasionado por el tráfico vehicular, especialmente del automóvil privado. Los costos ambientales derivados de esta problemática para el año 2010 ascienden a 956 millones de pesos.
- Se estimó que por cada 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de exposición anual a  $\text{PM}_{10}$ , se producen 1.974 casos de IRA al año, aumentando la tasa de morbilidad por IRA en un 0.52%. A partir de 23,17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se producen enfermos por IRA, siendo este valor un umbral de exposición para  $\text{PM}_{10}$ .
- Un incremento de 1.000 vehículos circulando por año, incrementa en 0,34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  la concentración media anual de  $\text{PM}_{10}$ , generando 667 casos de IRA. Se estimó que un aumento de 1% en la contaminación por  $\text{PM}_{10}$ , produce un incremento de 2,32% en la tasa de morbilidad por IRA en población mayor de cinco años.
- De seguir la tendencia actual, en el año 2015 los costos derivados de hospitalización derivados de IRA atribuibles al PM estarían alrededor de 1200 millones de pesos.

**Observaciones:** Se utilizó el método de simulación de Monte Carlo y la metodología dinámica de sistemas del profesor Jay Forrester para modelar la problemática y evaluar algunos escenarios futuros.

**Nota** Fuente: Martínez JA, & Varela SM. Modelo de valoración ambiental del impacto de la contaminación atmosférica por fuentes móviles en el municipio de Pereira. [Tesis]. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira;2012.

\*Adaptado por el autor.

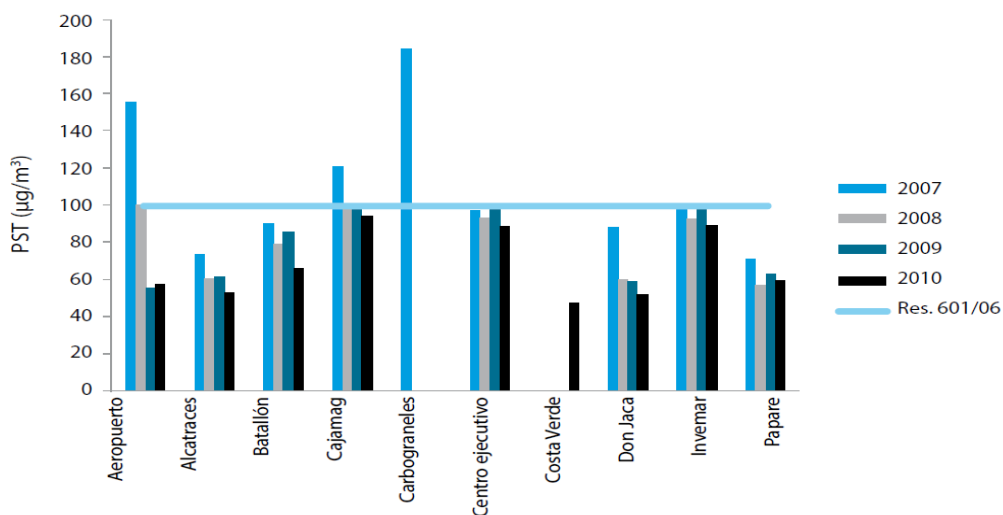
#### 4.5.1.3 Costa Atlántica: Cartagena, Barranquilla y Santa Marta

En el Departamento de Bolívar, durante el 28 de Agosto al 28 de Octubre de 2010 se realizó en la ciudad de Cartagena, una campaña de monitoreo que hizo parte del diagnóstico de la calidad del aire y diseño del sistema de vigilancia de calidad del aire de la ciudad de Cartagena de Indias D.T y C, donde se estableció que las mediciones de calidad del aire para la ciudad de Cartagena no muestran excedencias de la norma nacional para los contaminantes  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y CO. Las concentraciones diarias de  $\text{NO}_2$  presentes en las estaciones Socorro y Zona Industrial de Mamonal, registraron un valor promedio de 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (norma diaria= 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Las mediciones de CO en la estación Socorro presentaron un valor promedio de 3.74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , que representa un 42% de la norma octohoraria (10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) establecida en la Resolución 610 de 2010. Para el Ozono, se presentaron valores que superaron los 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la mayoría de las estaciones; según análisis realizados por Monn y Hangartner (1990), esto equivale a superar la norma horaria de ozono (120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El punto de monitoreo ubicado en el Laguito, fue el receptor más afectado presentado un porcentaje de 138% por encima de la norma de comparación establecida por Monn. En la Zona Industrial de Mamonal se realizó un monitoreo de Benceno y Tolueno, mediante tubos pasivos. Los resultados indican que las concentraciones máximas de Benceno representan un 8% del valor máximo anual permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 (5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras para el Tolueno los valores de concentración obtenidos en la campaña de monitoreo representaron entre un 6% y 15% del valor establecido en la norma semanal (260  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Las concentraciones de PST fueron de 190,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Estación El Bosque) y 131,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Zona Industrial de Mamonal), las cuales exceden el valor anual nacional (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Para el  $\text{PM}_{10}$  se obtuvieron valores de 87,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el sector del Bosque y 74,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la Zona Industrial de Mamonal; estas concentraciones sobrepasan el valor límite anual de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En conclusión el problema de la ciudad de

Cartagena es el material particulado, representado por las altas concentraciones de PST y PM<sub>10</sub> (EPA, 2010).

En el Departamento de Magdalena, CORPAMAG opera el SVCA, donde su jurisdicción abarca el Distrito de Santa Marta. Durante el periodo de 1999 a 2007 las medianas diarias de PST fluctuaron en valores cercanos a 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; a partir del año 2008 éstas oscilaron entre 97 y 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aproximadamente. Por otro lado, en el año 2008 disminuyeron alrededor de 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  al año, llegando en el año 2010 a 68,25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo que permite inferir que en las estaciones de la Corporación, las concentraciones de PST tienden a la baja. No obstante, en el año 2007 se presentaron algunas excedencias, con registros que superaron los 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo la máxima concentración de 471,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto a los promedios anuales, las estaciones Aeropuerto, Cajamag y Carbogranales presentaron concentraciones de 156  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 184  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, superando la norma anual (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Las estaciones restantes no excedieron la norma anual (Figura 4.6) (IDEAM, 2012a).

**Figura 4.6.** Concentración promedio Anual de PST en las estaciones del SVCA de CORPAMAG

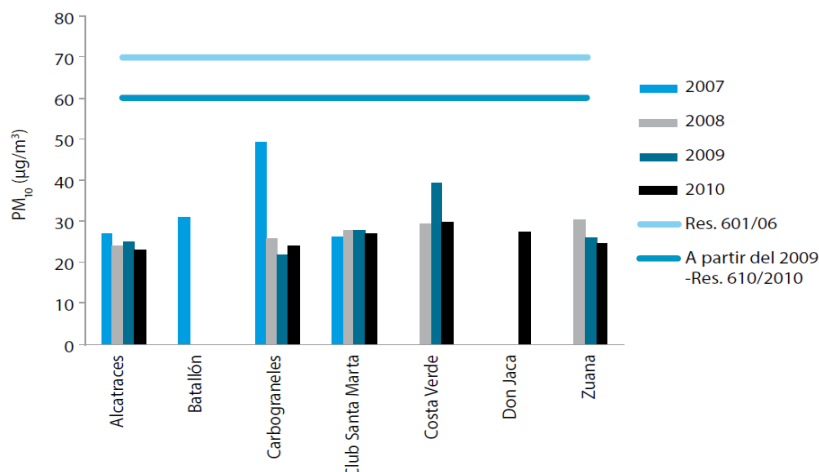


**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007 – 2010. Informe. Bogotá DC: IDEAM;2012a.

Durante el periodo 2007 a 2010, las medianas diarias de PM<sub>10</sub> se mantuvieron entre 21 y 29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , presentándose mayores concentraciones en los años 2007 y 2008 con máximos de 113,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 90,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Para el promedio anual, no se observó excedencia de la norma en ninguna de las estaciones. Las estaciones Alcatraces y Club Santa Marta han mantenido las concentraciones anuales entre 20 y 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que las estaciones de Corbagranales y Zuana presentaron una disminución en los valores anuales, con reducciones del 15 y 19% respectivamente, con respecto al año 2008 (Figura 4.7) (IDEAM, 2012a).



**Figura 4.7.** Concentración promedio Anual de PM<sub>10</sub> en las estaciones del SVCA de CORPAMAG



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007 – 2010. Informe. Bogotá DC: IDEAM;2012a.

En estos departamentos, se han adelantado algunos trabajos que han explorado la calidad del aire intra y extramural; en Santa Marta se ha medido y caracterizado el material particulado (PST), registrando concentraciones que excedían lo establecido en el Decreto 02 de 1982 y que actualmente no cumplirían con la norma anual establecida en la Resolución 610 de 2010; se identificó en los filtros que los materiales que conforman las PST corresponden a carbón mineral, carbón de combustión, halita, cuarzo, feldspatos y fracción arcilla (Manjarres G, 2005; García R, 2006); para los años 2009 a 2010, se realizaron en la ciudad de Santa Marta mediciones intramurales de Monóxido de Carbono (CO) y PM<sub>2.5</sub>, en diferentes microambientes (vivienda, oficina e institución educativa). Para CO se registraron concentraciones horarias que oscilaron entre 0,5 a 3 ppm en una vivienda y un colegio, con máximos horarios de 2,5 ppm cuando se estaba usando la estufa para cocinar y 1,7 ppm cuando el salón de clase estaba ocupado. En cuanto a las concentraciones horarias de PM<sub>2.5</sub>, se encontró que en una oficina los niveles horarios se ubicaron entre 5 a 17 µg/m<sup>3</sup>, con un máximo horario de 17 µg/m<sup>3</sup>, que tenía como origen la presencia de personas en la oficina con el aire acondicionado central encendido; también se registraron valores entre 0 a 3000 µg/m<sup>3</sup>, en una vivienda y una oficina, donde se obtuvieron máximos horarios de 1600, 2200 y 2500 µg/m<sup>3</sup> en una vivienda que obedecían a la cocción de alimentos y una concentración horaria máxima de 40 µg/m<sup>3</sup> cuando se estaba realizando limpieza en la oficina; estos valores exceden los límites recomendados por la OMS (24 horas = 25 µg/m<sup>3</sup>, anual = 15 µg/m<sup>3</sup>) (UNIANDÉS, 2010).

En la ciudad de Barranquilla, durante el año 2007, se caracterizó el PM<sub>10</sub> encontrando concentraciones de elementos y metales tales como Silicio (6,05 µg/m<sup>3</sup>), Calcio (3,55 µg/m<sup>3</sup>) y en una menor proporción Plomo (0,80 µg/m<sup>3</sup>) e Hierro (0,33 µg/m<sup>3</sup>), siendo estos componentes trazadores de fuentes geológicas. En relación a los HAP's, se registraron concentraciones entre 20 y 70 ng/m<sup>3</sup> para Benzo (b) Fluoranteno, Benzo (k) Fluoranteno, Dibenzo (a, h) Antraceno y Fluoreno, este último compuesto presenta efecto cancerígeno en seres humanos, según el Sistema de Información de Riesgos Integrated Risk Information System (IRIS), de la Agencia de Protección Ambiental Americana (EPA) (ULS, 2008).

**Tabla 4.45.** Resumen de la investigación Composición y concentración de material particulado en el aire de un sector del área urbana de Santa Marta.

<b>Nombre documento:</b> Composición y concentración de material particulado en el aire de un sector del área urbana de Santa Marta (Magdalena, Colombia)	
<b>Lugar:</b> Santa Marta, Magdalena	<b>Autor/año:</b> Manjarres–García G, Manjarres–Pinzón G, Linero-Cueto J; 2005
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PST
<b>Objetivo:</b> Evaluar la composición del material particulado en un sector correspondiente al área urbana de la ciudad de Santa Marta, e identificando algunas de sus posibles causas o fuentes de emisión	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las mayores concentraciones de material particulado se registraron en la estación 1 y 3 con 165.63 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> respectivamente y las menores se registraron en la estación 5 con 125.09 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>. Los valores registrados en las diferentes estaciones de muestreo se encuentran por encima de los establecidos en el Decreto 02 de 1982.</li> <li>Una de las causas de la contaminación atmosférica por material particulado en el sector urbano del área de estudio se debe a fuentes móviles (flujo vehicular y transporte de materiales) y fuentes fijas como el establecimiento de almacenamiento de materiales.</li> <li>Los materiales que constituyen el material particulado de los filtros corresponden a carbón mineral, carbón de combustión, halita, cuarzo, feldespatos y fracción arcilla. El componente mineral más abundante en los diferentes filtros corresponde al grupo de las arcillas y al carbón de combustión y el menos abundante a los carbonatos y fibras orgánicas.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Manjarres G, Manjarres G, & Linero J. Composición y concentración de material particulado en el aire de un sector del área urbana de Santa Marta, Magdalena, Colombia. Revista Intropica;2005;2:23-33.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.46.** Resumen de la investigación Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta.

<b>Nombre documento:</b> Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia	
<b>Lugar:</b> Santa Marta, Magdalena	<b>Autor/año:</b> Francisco Fernando García R, Rubén Alberto Agudelo G, Karen Margarita Jiménez J; 2006
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PST
<b>Objetivo:</b> Establecer la variabilidad espacial y temporal de las concentraciones de PST.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>En ninguna de las estaciones de monitoreo se presentaron niveles violatorios de la norma diaria de calidad del aire referida a los niveles máximos de partículas suspendidas totales en 24 horas (400 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>).</li> <li>Los mayores niveles de contaminación se registran en el área del centro de la ciudad, donde presumiblemente la cercanía de algunas fuentes de emisión importante —como el manejo y almacenamiento de carbón y el tráfico vehicular— esté contribuyendo a la alteración de los niveles de PST en el aire.</li> <li>La media geométrica anual para el total de muestras colectadas en el área de estudio fue de 114 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>. En todas las estaciones de monitoreo se sobrepasó el límite establecido por la norma anual (100 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), la Estación de Monitoreo de Material Particulado 2 (EMPST 02) presentó el valor más alto con 150,70 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>, mientras que las medias geométricas para las estaciones EMPST 01, EMPST 03, EMPST 04 fueron muy similares, con concentraciones de 104,10 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>, 102,30 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> y 105,30 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> respectivamente.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: García R, Agudelo G, & Jiménez J. Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia. Revista Facultad Nacional de Salud Pública;2006;24:73-82.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.47.** Resumen de la investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas.

<b>Nombre documento:</b> Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT	
<b>Lugar:</b> Barranquilla, Atlántico.	<b>Autor/año:</b> Universidad de la Salle, 2008
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<p><b>Resultados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los resultados de metales pesados en Barranquilla indican una composición mayoritaria en Silicio (6,05 µg/m<sup>3</sup>) y Calcio (3,55 µg/m<sup>3</sup>) y una menor proporción de Plomo (0,80 µg/m<sup>3</sup>) y Hierro (0,33 µg/m<sup>3</sup>), siendo estos componentes trazadores de fuentes geológicas. Es de destacar que la composición difiere muy poco entre cada metal para esta ciudad.</li> <li>• Barranquilla presenta uno de los mayores aportes de Carbono Orgánico (CO) (14.15 µg/m<sup>3</sup>) de las ciudades analizadas, después de Medellín; el aporte por Carbono Elemental (CE) (6,58 µg/m<sup>3</sup>), es sin embargo, uno de los menores en las ciudades analizadas, esto puede ser consecuencia de la alta velocidad del viento registrada en la zona y en consecuencia de la dispersión que este aspecto provoca. No obstante, es importante mencionar la incidencia que aspectos como el tráfico vehicular generan en la zona de estudio y desde luego la alta actividad industrial cuyo principal renglón, la industria de alimento y la industria química, emplean en ambos casos combustibles cuyas emisiones aportaran a CE.</li> <li>• Los resultados encontrados para iones en PM<sub>10</sub> muestran que la concentración de fluoruros es baja (0,65 µg/m<sup>3</sup>), lo que refleja un aporte mínimo de emisiones en la ciudad.</li> <li>• Barranquilla exhibe una proporción mayor de Sulfatos (3,17 µg/m<sup>3</sup>) y menor concentración de PM<sub>10</sub>, lo que refleja un mayor nivel de combustión en las fuentes, es decir, combustión completa que implica la formación de una menor cantidad de partículas y una mayor formación de gases, como SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>, los que son precursores de Sulfatos y Nitratos.</li> <li>• Para los HAP's, se presentaron concentraciones significativas de Fluoreno. Según el Sistema de Información de Riesgos Integrated Risk Information System (IRIS) de la Agencia de Protección Ambiental Americana (EPA), el Fluoreno es un HAP's con demostrado efecto cancerígeno en seres humanos, su efecto se manifiesta no solo por la exposición oral, sino también por la inhalación del mismo, no obstante, no existen límites permisibles de estos componentes en el aire. Las concentraciones más elevadas en la ciudad de Barranquilla, fueron obtenidas para los componentes Benzo (b) Fluoranteno, Benzo (k) Fluoranteno y Dibenzo (a, h) Antraceno, los cuales se encontraron en concentraciones entre 20 y 70 ng/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Barranquilla presenta un aporte significativo en la composición de Sulfatos, este valor correlacionado con la concentración de Amonio muestra que en la zona existe aporte significativo por fuentes móviles, pues la proporción de Sulfatos y Nitratos supera ampliamente la concentración de Amonio. También se destaca la proporción significativa de Calcio (8%), proveniente de vías destapadas. Este resultado tiene implicaciones en cuanto a las velocidades del viento predominantes en la zona, que generan una alta y duradera circulación de material geológico.</li> <li>• Los resultados del modelo de receptor muestran un aporte casi equivalente de las fuentes fijas, móviles y geológicas, lo cual se correlaciona con las importantes concentraciones de CO y CE que han sido definidas como fuentes de combustión tipo diésel.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: [ULS] Universidad de la Salle. Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas (Contrato 2062394). Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT);2008.

\*Adaptado por el autor.

En cuanto a contaminación intradomiciliaria, se evaluó el costo efectividad del gas natural domiciliario en localidades rurales del caribe colombiano; se concluye que frente a la no intervención en la población, la instalación del Gas Natural Domiciliario resulta ser una tecnología costo efectiva, para la reducción de las enfermedades respiratorias asociadas al consumo de combustibles de biomasa (Alvis-Guzmán, 2008)

**Tabla 4.48.** Resumen de la investigación Costo Efectividad del Gas Natural Domiciliario como Tecnología Sanitaria en Localidades Rurales del Caribe Colombiano.

<b>Nombre documento:</b> Costo Efectividad del Gas Natural Domiciliario como Tecnología Sanitaria en Localidades Rurales del Caribe Colombiano	
<b>Lugar:</b> Localidades Rurales del Caribe Colombiano	<b>Autor/año:</b> Alvis-Guzmán Nelson, Alvis-Estrada Luís y Orozco-Africano Julio; 2008
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM y CO
<b>Objetivo:</b> Valorar el impacto económico del Gas Natural Domiciliario (GND)- como tecnología sanitaria sobre la enfermedad respiratoria asociada al humo de biomasa en localidades del caribe colombiano.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En las localidades se esperarían anualmente 498 (477–560) casos de IRA que generaría 149 (119–196) hospitalizaciones, 6 (4–10) muertes y 7.291 (5.746 –9.696) AVAD. También se esperarían 459 (372–684) casos de EPOC, 138 (93–239) hospitalizaciones, 11 (5–26) muertes y 1.500 (973–2.711) AVAD. Los costos de esta carga de enfermedad en ausencia del GND son anualmente de 5,2 (3,8–8,3) millones de dólares. De éstos, la mayoría son costos de EPOC (cerca del 85 %).</li> <li>• Los costos por IRA y EPOC, luego de instalado el GND, ascienden a 3,5 (2,5-5,7) millones de dólares. Los costos evitados serían 1,6 (1,2–2,6) millones de dólares, (30 % de los costos de la carga). El costo efectividad incremental de introducir el GND sería un poco más de 56 (22–74) mil dólares por muerte evitada y entre 43 y 66 dólares evitar un AVAD.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Alvis N, Alvis L, & Orozco J. Costo Efectividad del Gas Natural Domiciliario como Tecnología Sanitaria en Localidades Rurales del Caribe Colombiano. Revista de salud pública 2008;10:537-549.

\*Adaptado por el autor.

En lo concerniente al tema de contaminación atmosférica y su relación con enfermedades respiratorias, se identifican trabajos relacionados con la exposición a material particulado y otros contaminantes del aire, en la población general y trabajadora; los hallazgos más importantes son los siguientes:

- La exposición al polvo casero y el humo del cigarrillo, se asocia con la presencia de asma en niños de 4 a 16 años en Santa Marta (Mendoza, 2008).
- En estudio realizado en la ciudad de Santa Marta se encontró una asociación estadísticamente significativa entre presentar síntomas en el Tracto Respiratorio Superior (TRS) y vivir en los barrios considerados como expuestos a contaminación del aire (Pescaíto y Gaira), igualmente los patrones espirométricos fueron más bajos en estos barrios. El vivir en zonas expuestas aumenta en 2,3 veces la probabilidad de tener síntomas del tracto respiratorio superior (congestión nasal, prurito, estornudo, y epifora); se estableció que en el grupo de niños expuestos a concentración de PM<sub>10</sub> mayor de 60 µg/m<sup>3</sup>, la probabilidad de presentar síntomas respiratorios fue de 1,6 veces mayor con relación a los niños expuestos a concentración de PM<sub>10</sub> menor de 60 µg/m<sup>3</sup> (UNIMAGDALENA, 2010).
- No se encontró asociación entre las enfermedades respiratorias y las zonas que registraron altas concentraciones de PM<sub>10</sub> en Santa Marta (Salazar y Álvarez, 2011; Cuao et al., 2012).

- Los mototaxistas de la ciudad de Cartagena tienen un mayor número de micronúcleos en los eritrocitos de sangre periférica, que personas dedicadas a otros trabajos, lo cual indicaría que los contaminantes atmosféricos pueden ser los causantes de este efecto en los eritrocitos (Carranza, 2011).
- En Cartagena se determinaron los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas, registrando concentraciones que superan ampliamente la norma de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (300 ng/m<sup>3</sup>) (Arrázola, 2011).

**Tabla 4.49.** Resumen del artículo Factores de riesgo asociados con asma alérgica en niños de 4 a 16 años de Santa Marta

<b>Nombre documento:</b> Factores de riesgo asociados con asma alérgica en niños de 4 a 16 años de Santa Marta, Colombia	
<b>Lugar:</b> Santa Marta, Magdalena	<b>Autor/año:</b> Dary Luz Mendoza Meza, Luis Del Castillo Castilla, Sonja Lozano Socarras, María Belén Jaimes Sanabria, Jonn Pedrozo Pupo, Luis Abello Gámez; 2008
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Polvo intradomiciliario
<b>Objetivo:</b> Identificar factores ambientales y poblacionales asociados con el asma alérgica en niños de 4 a 16 años del Distrito de Santa Marta.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encontró asociación significativa entre la sintomatología de asma, la exposición al polvo casero, el humo del cigarrillo, la herencia y el parasitismo intestinal. Estos resultados confirman la importancia de los alérgenos intradomiciliarios en la sintomatología de asma en el Caribe Colombiano.</li> <li>• Un análisis de los factores que pueden estar relacionados con el desarrollo del asma mostró que el polvo casero, la lluvia y el frío son los mayores desencadenantes de crisis asmática. Sesenta y cinco niños (67,01%) presentan dificultad respiratoria cuando barren o sacuden la casa y 89 (91,8%) estornudan cuando se exponen al polvo casero.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** Mendoza DL, Castillo L, Lozano S, et al. Factores de riesgo asociados con asma alérgica en niños de 4 a 16 años de Santa Marta, Colombia. Duazary;2008;1:9-14.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.50.** Resumen de la investigación Efectos sobre la salud por la contaminación del aire proveniente del sector portuario carbonífero (Drummond, Carbosan y Prodeco de Santa Marta). Convenio No. 85 Ministerio de Ambiente.

<b>Nombre documento:</b> Efectos sobre la salud por la contaminación del aire proveniente del sector portuario carbonífero (Drummond, Carbosan y Prodeco de Santa Marta). Convenio No. 85 Ministerio de Ambiente	
<b>Lugar:</b> Santa Marta, Magdalena	<b>Autor/año:</b> Universidad del Magdalena, 2010
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub>
<b>Objetivo:</b> Evaluar los efectos sobre la salud por contaminación del aire proveniente del sector portuario carbonífero (Carbosan, Prodeco y Drummond) en Santa Marta.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La estación de monitoreo Posihueica obtuvo para el periodo del 24/03/2009 y el 09/06/2009 un total de 51 muestras, de las cuales 4 (7,84%) sobrepasaron el límite de la norma diaria establecido por la Resolución 601 del 4 de abril del 2006 (150 µg/m<sup>3</sup>); las concentraciones diarias en esta estación variaron entre 19,40 y 266,70</li> </ul>	

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una media de  $77,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

- El punto de monitoreo Gaira obtuvo para el mismo periodo un total de 51 muestras, con concentraciones diarias entre  $16,7$  y  $331,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La media diaria fue de  $88,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cinco (5) muestras equivalentes al (9,80%) sobrepasaron el límite permisible para un periodo de 24 horas.
- La estación de muestreo UNIMAG registró concentraciones diarias entre  $20,8$  y  $102,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con una media diaria de  $61,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En la estación de muestreo Alcatraces se registraron 7 muestras validas que presentaron un valor mínimo de  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y máximo de  $133,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las concentraciones en esta estación presentaron una media de  $82,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En la estación Don Jaca las concentraciones variaron entre  $27,18$  y  $87,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y los datos reportaron una media de  $50,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ningún valor sobrepasó el límite admisible en un periodo de 24 horas.
- En cuanto el análisis de metales, se encontró una concentración promedio diaria de Cobre de  $0,048 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un máximo de  $0,109 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para Hierro se registró un valor medio diario de  $1,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un máximo de  $3,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El Zinc obtuvo una concentración promedio diaria de  $2,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un máximo de  $78,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El Plomo presentó una concentración promedio diaria de  $0,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un máximo diario de  $4,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor que excede la norma diaria nacional de  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- La concentración de aniones ( $\text{NO}_3$  y  $\text{SO}_{4-2}$ ) en Posihueca, Gaira y Mamatoco presentaron un patrón similar, donde el  $\text{SO}_{4-2}$  presentó las mayores concentraciones; esto posiblemente se explica por su cercanía a fuentes de combustión, de igual forma la presencia mayoritaria de este anión debido a que la ciudad se encuentra cerca de la superficie marina, donde hay una variedad de compuestos orgánicos y microorganismos que emiten gases sulfurados.
- En relación con la presencia de contaminantes dentro del hogar se encontró que el 82,6% de la población refiere no fumar dentro de la vivienda. En Don Jaca-cristo Rey y Pescaito se encontró que más del 20% de la población fuma dentro de la vivienda. Con respecto a los contaminantes derivados de la cocina, se encontró que en un 20% de la población la cocina no se encuentra separada de las demás habitaciones. El 90,5% cocina con gas natural (58,8%) y propano (36,7%). Un 33,8% usa aerosoles y el 84% no quema basuras.
- De los 305 niños participantes en el estudio, 120 presentaron síntomas respiratorios, luego la prevalencia de síntomas respiratorios en la población estudiada se calculó en 39,3%. La prevalencia en las zonas expuestas fue de 21%, mientras que en zonas no expuestas fue de 18%.
- Los niños que habitan en barrios considerados expuestos tienen 1,6 veces mayor probabilidad de presentar síntomas respiratorios. Los niños menores de 9 años tienen 1.5 veces más probabilidad de presentar síntomas respiratorios que los mayores de 9 años. Vivir en la zona expuesta aumenta en 3 veces la probabilidad de presentar congestión nasal, 2,68 veces la presencia de estornudos, 1,48 la rinorrea y 22,35 veces los ojos llorosos. Los niños y niñas que viven en los barrios expuestos tienen 2,97 veces más probabilidad de presentar patrones respiratorios alterados.
- Al utilizar un análisis descriptivo por zonas de estudio, se encontró que el mayor número de diagnósticos por enfermedad respiratoria se presentó en las zonas expuestas en una proporción de 3 a 1 para el 2008 y de 5 a 1 para el 2009. Para los adultos el mayor número de diagnósticos por enfermedad respiratoria se presentó en las zonas expuestas con cerca del 11% para toda Santa Marta.

**Nota** Fuente: [UNIMAGDALENA] Universidad de Magdalena. Efectos sobre la salud por la contaminación del aire proveniente del sector portuario carbonífero (Drummond, Carbosan y Prodeco de Santa Marta). Convenio No. 85 Ministerio de Ambiente. Investigación. Santa Marta: UNIMAGDALENA;2010.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.51.** Resumen de la investigación Los efectos del  $\text{PM}_{10}$  y de las variables climatológicas en las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en niños en la ciudad de Santa Marta.

**Nombre documento:** Los efectos del  $\text{PM}_{10}$  y de las variables climatológicas en las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en niños en la ciudad de Santa Marta, Colombia, 2008-2009



<b>Lugar:</b> Santa Marta, Magdalena	<b>Autor/año:</b> Alexander Salazar-Ceballos, Lidice Álvarez-Miño; 2011
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Establecer la posible relación entre el PM <sub>10</sub> y sus efectos sobre la generación de enfermedades respiratorias en Santa Marta.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se establecieron previamente las concentraciones de PM<sub>10</sub> para las zonas de estudio en la ciudad de Santa Marta: Pescaito, Gaira, Mamatoco y Don Jaca-Cristo Rey (DJCR). Las medias de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en Pescaito y Gaira, superaron los 75 µg/m<sup>3</sup> (zonas expuestas), y Mamatoco y DJCR como zonas no expuestas.</li> <li>• Para el año 2008, se observó asociación epidemiológica con significancia estadística (<math>p &lt; 0,05</math>) de presentar cualquiera de los síntomas respiratorios agudos y crónicos y su relación con tener menos de 9 años e invierno; para el año 2009 esta asociación epidemiológica fue menor y sin significancia estadística (<math>p &gt; 0,05</math>).</li> <li>• Para ambos años no se observó un riesgo significativo (<math>p &gt; 0,05</math>) de presentar síntomas respiratorios agudos o crónicos y vivir en una zona expuesta, pero se observó asociación epidemiológica no significativa de presentar síntomas respiratorios agudos y vivir en zona expuesta.</li> <li>• Se observó una tendencia en el aumento de diagnósticos de las enfermedades infecciosas de las vías respiratorias altas, principalmente durante el invierno.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Salazar A, & Álvarez L. Los efectos del material particulado 10 (PM 10) y de las variables climatológicas en las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en niños en la ciudad de Santa Marta, Colombia, 2008-2009. DUAZARY;2011;2:127-142.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.52.** Resumen de la investigación Cuantificación de micronúcleos en células de sangre periférica de moto-taxistas que trabajan en la ciudad de Cartagena de Indias.

<b>Nombre documento:</b> Cuantificación de micronúcleos en células de sangre periférica de moto-taxistas que trabajan en la ciudad de Cartagena de Indias	
<b>Lugar:</b> Cartagena, Bolívar	<b>Autor/año:</b> Carranza López Liliana Patricia, 2011
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Emisiones vehiculares
<b>Objetivo:</b> Evaluar la frecuencia de micronúcleos (MN) en células de sangre periférica de mototaxistas que trabajan en la ciudad de Cartagena de Indias.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El promedio <math>\pm</math> error estándar (EE) de MN en eritrocitos de sangre periférica de mototaxistas de Cartagena fue de <math>0.02 \pm 0.004</math> por 1000 células, mientras que para el grupo control fue de <math>0.002 \pm 0.002</math> por 1000 células, con diferencias estadísticamente significativas entre estos grupos (<math>p &lt; 0.05</math>). No hubo correlaciones estadísticas entre variables socio-demográficas y la presencia de MN en los grupos de estudio.</li> <li>• Los mototaxistas de la ciudad de Cartagena tienen un mayor número de MN en los eritrocitos de sangre periférica que personas dedicadas a otros trabajos.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Carranza LP. Cuantificación de micronúcleos en células de sangre periférica de mototaxistas que trabajan en la ciudad de Cartagena de Indias [Tesis]. Cartagena: Universidad Nacional de Colombia;2011.

\*Adaptado por el autor.



**Tabla 4.53.** Resumen de la investigación Determinación de los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas en Cartagena.

<b>Nombre documento:</b> Determinación de los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas en Cartagena, Colombia	
<b>Lugar:</b> Cartagena, Bolívar	<b>Autor/año:</b> Arrázola Díaz Armida María, 2011
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Vapor de Mercurio
<b>Objetivo:</b> Determinar los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas de la ciudad de Cartagena, Colombia.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los resultados mostraron niveles de vapores de mercurio en el 56.66% de las diferentes aéreas sin pacientes promediados: 2.206 ng/m<sup>3</sup> aire ambiental, 4.435 ng/m<sup>3</sup> escupidera, 2.116 ng/m<sup>3</sup> mesón de trabajo. En relación al 43.34% de los sitios con atención de pacientes en el momento de la medición el promedio fue: 32.837 ng/m<sup>3</sup> aire ambiental, 21.088 ng/m<sup>3</sup> escupidera, 11.394 ng/m<sup>3</sup> mesón de trabajo; encontrándose niveles muy por encima de los estándares permisibles de acuerdo a los requerimientos de la EPA (300 ng/m<sup>3</sup>)</li> <li>Se concluye que existe un desconocimiento total del peligro a nivel laboral y ambiental en la utilización de las amalgamas dentales y que los profesionales del área de odontología no reciben educación ni capacitación sobre la temática.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Estudio descriptivo de corte transversal, en el cual se establecieron los vapores de mercurio en el ambiente, en la escupidera y mesón de trabajo de 64 consultorios clínicos mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. El periodo empleado para la recolección de las muestras fue de seis meses, comprendido entre noviembre de 2010 y abril de 2011.	

**Nota** Fuente: Arrázola AM. Determinación de los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas en Cartagena, Colombia [Tesis]. Cartagena: Universidad Nacional de Colombia;2011.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.54.** Resumen del artículo Comportamiento de la enfermedad respiratoria de niños entre 5 y 14 años en la ciudad de Santa Marta en el primer trimestre de 2008 y 2009.

<b>Nombre documento:</b> Comportamiento de la enfermedad respiratoria de niños entre 5 y 14 años en la ciudad de Santa Marta en el primer trimestre de 2008 y 2009	
<b>Lugar:</b> Santa Marta, Magdalena	<b>Autor/año:</b> Enis Alejandra Cuao, Lidice Álvarez Miño, María Margarita Vargas; 2012
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Establecer la prevalencia de las enfermedades respiratorias en niños residenciados en Santa Marta para el primer trimestre de 2008 y 2009, y comparar esta con la contaminación por material particulado en el mismo periodo.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>La media de las mayores concentraciones de PM<sub>10</sub> fue 49.3 µg/m<sup>3</sup> y 38.9 µg/m<sup>3</sup> para los primeros trimestres de 2008 y 2009 respectivamente.</li> <li>Se encontró que para el mismo periodo de los dos años analizados, la concentración de material particulado bajo y la prevalencia de enfermedad respiratoria también.</li> <li>Se puede concluir que en los meses de temporada seca en Santa Marta, para el 2008 y 2009, se tuvo presencia de enfermedades respiratorias con comportamientos similares en materia de edad (menores de 9 años), sexo (mayoría niños) y comuna (5); y que los niveles más altos de PM<sub>10</sub> se identificaron para las comunas 2 y 8.</li> <li>El análisis mostró que los niños de 9 años o menos son los más afectados por enfermedades respiratorias en vías superiores. La Comuna con las concentraciones más altas de PM<sub>10</sub> fue la 8. Sin embargo, las que más diagnósticos de enfermedad respiratoria presentaron fueron la 5 y la 4.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Cuao EA, Álvarez L, & Vargas MM. Comportamiento de la enfermedad respiratoria de niños entre 5 y 14 años en la ciudad de Santa Marta en el primer trimestre de 2008 y 2009. Duazary;2012;1:33-41.

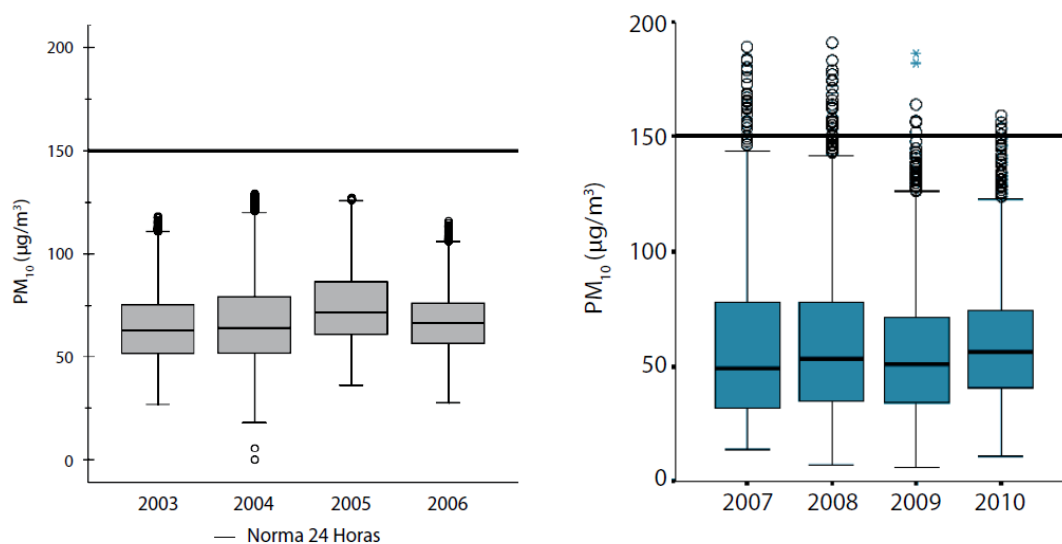
\*Adaptado por el autor.

#### 4.5.1.4 Cundinamarca: Bogotá

Bogotá la capital de Colombia presenta un escenario donde confluyen diferentes actores que inciden en la problemática de contaminación del aire, que está representada en gran parte por la gran cantidad de fuentes móviles que alberga la ciudad. La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) por medio de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) realiza el monitoreo de los contaminantes del aire en el distrito.

Para el periodo de 2003 a 2006, el comportamiento de las concentraciones promedio 24 horas de  $PM_{10}$ , se mantuvo por encima de los  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin exceder la norma diaria vigente ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que para el periodo 2007 a 2010 se presentaron excedencias a la norma y se observó un aumento a partir del 2007 ( $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) llegando a una mediana de  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en el año 2010 (Figura 4.8) (IDEAM, 2012b).

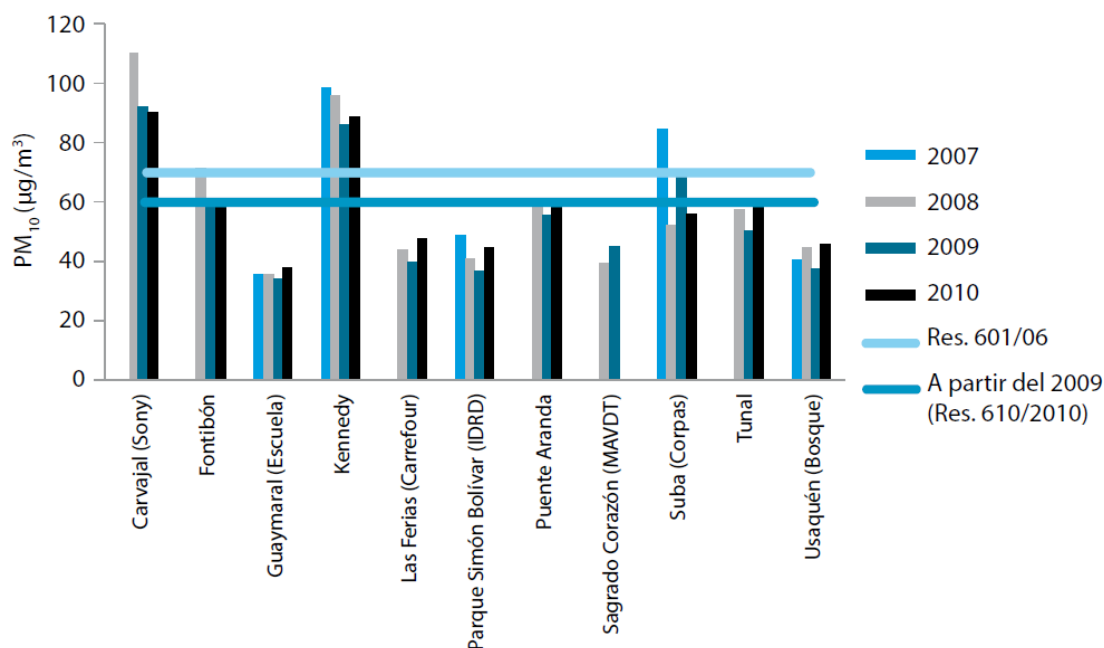
**Figura 4.8.** Concentración promedio de  $PM_{10}$  (24 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA



**Nota:** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Las concentraciones anuales de  $PM_{10}$  durante el periodo 2007 a 2010, muestran que las estaciones Carvajal, Fontibón, Kennedy, Puente Aranda y Suba superaron el límite máximo permisible aplicable en diferentes años (Figura4.9) (IDEAM, 2012b).

**Figura 4.9.** Concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> en las estaciones del SVCA de la SDA

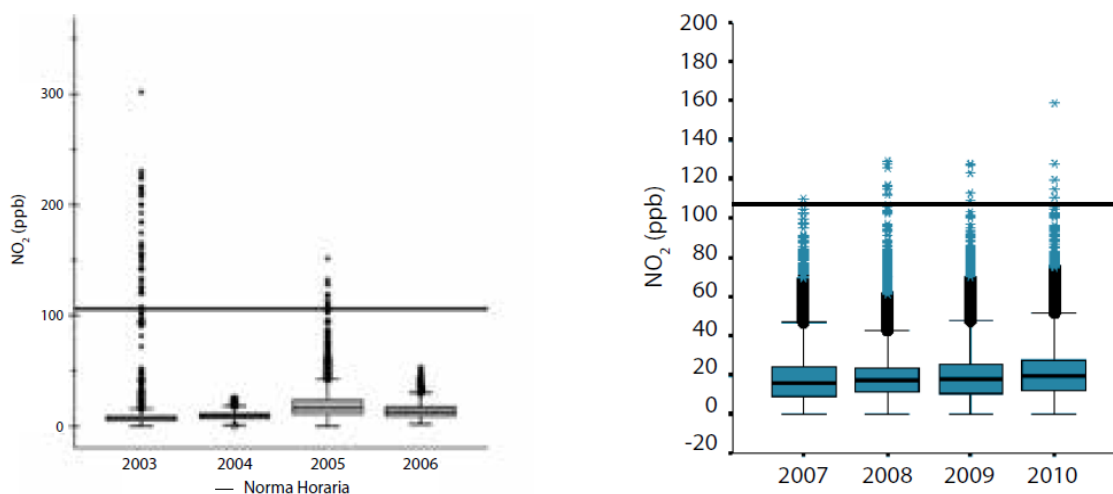


**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Para el año 2011, las concentraciones de PM<sub>10</sub> mostraron una disminución en comparación con el año 2010 (promedio anual 2010= 62 µg/m<sup>3</sup>; promedio anual 2011= 53 µg/m<sup>3</sup>), sin embargo se excede la norma anual (50 µg/m<sup>3</sup>). Para el PST se obtuvo un promedio anual de 134 µg/m<sup>3</sup>, el cual supera la norma anual (100 µg/m<sup>3</sup>). Para los promedios de 24 horas, se excedió una vez el valor de la norma, 300 µg/m<sup>3</sup> (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012).

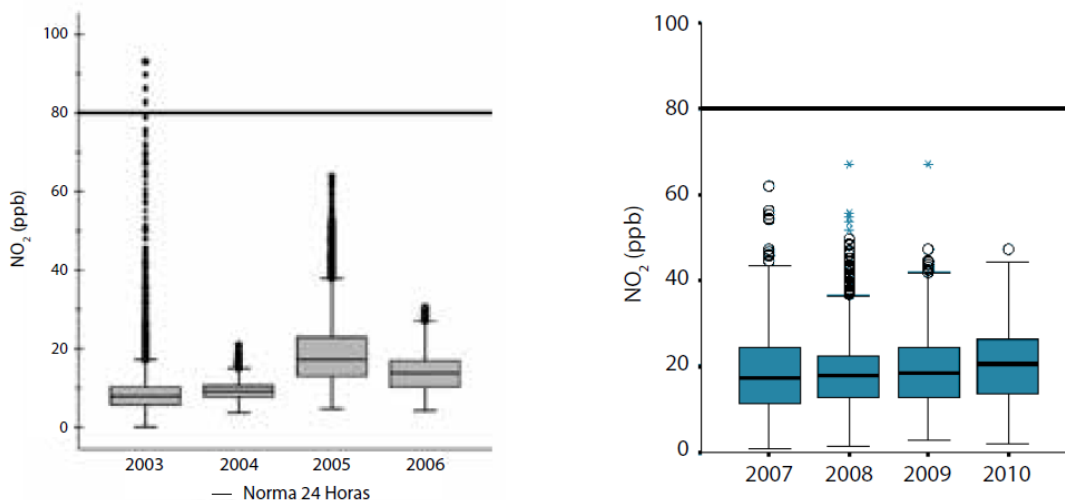
El comportamiento horario del Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) durante el periodo 2003 a 2010, muestra algunas excedencias del límite máximo permisible de 106 ppb, llegando a valores máximos de 159 ppb en el año 2010; sin embargo, en los últimos cuatro años los niveles del contaminante se han mantenido estables, con medianas por debajo de los 19 ppb (Figura 10). Para periodos de exposición de 24 horas, durante el mismo periodo de tiempo, se observa que en el año 2003 las concentraciones diarias superaron varias ocasiones el límite máximo permisible (80 ppb), sin embargo, las medianas se mantuvieron por debajo de 20 ppb presentando un aumento progresivo durante el periodo 2007 a 2010. Durante este periodo la concentración promedio 24 horas tuvo como máximo registro 67 ppb en el mes de abril del año 2009 (Figura 4.11) (IDEAM, 2012b).

**Figura 4.10.** Concentración promedio de NO<sub>2</sub> (Horario) en las estaciones del SVCA de la SDA



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

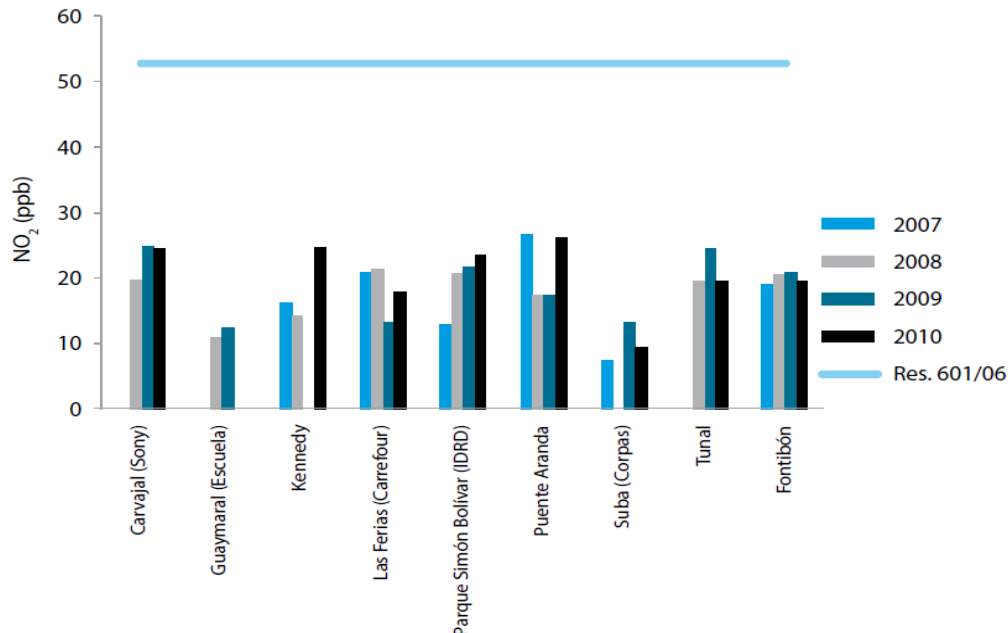
**Figura 4.11.** Concentración promedio de NO<sub>2</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Finalmente el comportamiento anual del NO<sub>2</sub> durante los años 2007 a 2010, muestra que las concentraciones se mantuvieron estables por debajo de 30 ppb, sin exceder la norma anual de 53 ppb; sin embargo, en la estación Puente Aranda se presentaron los mayores valores durante los años 2007 y 2010 (Figura 4.12) (IDEAM, 2012b).

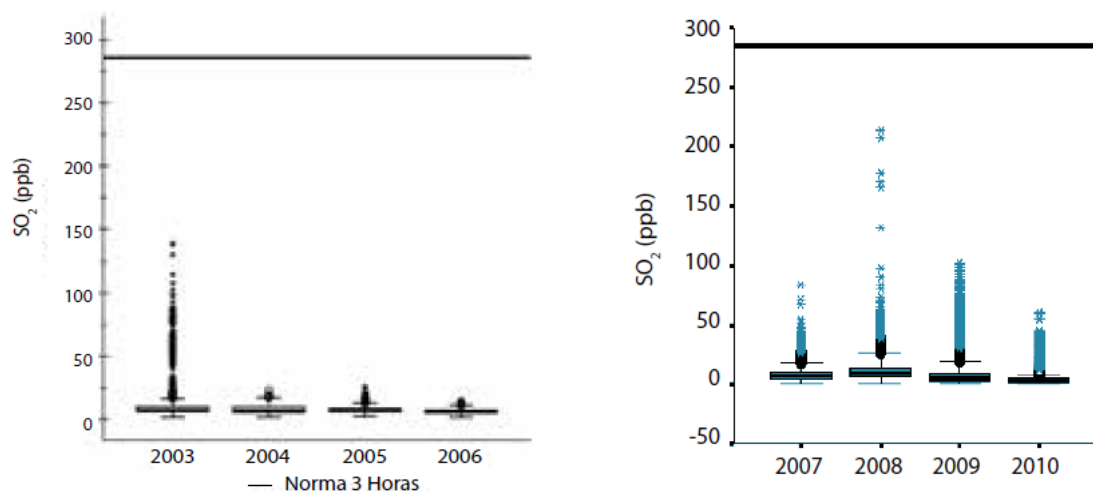
**Figura 4.12.** Concentración promedio anual de NO<sub>2</sub> en las estaciones del SVCA de la SDA



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Para el Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) durante el periodo de 2003 a 2010, se registraron concentraciones por encima de los 100 ppb en los promedios de tres horas en los años 2003, 2008 y 2009 (norma 3 horas= 287 ppb). Para el resto de los años del periodo de análisis, las máximas concentraciones se ubicaron entre 60 y 83 ppb. (Figura 4.13) (IDEAM, 2012b)

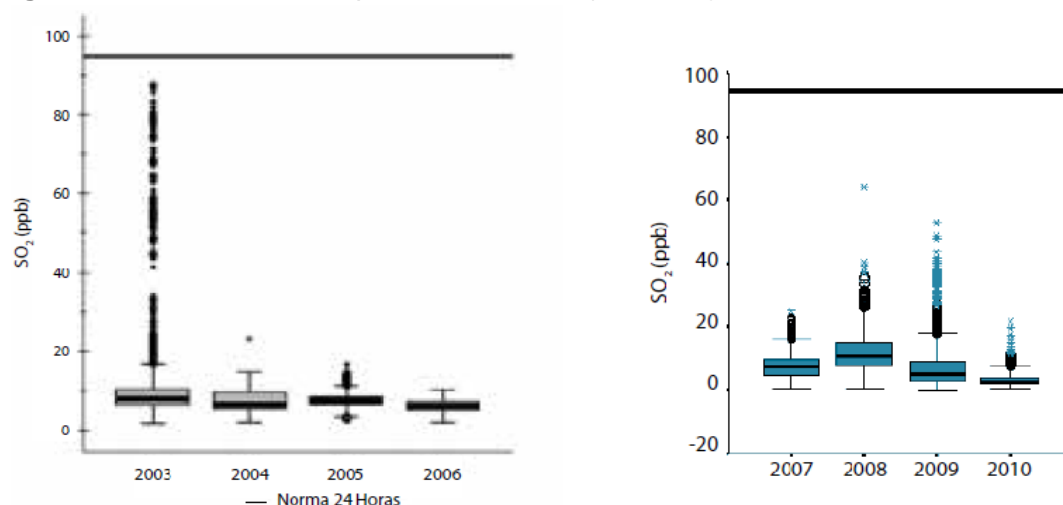
**Figura 4.13.** Concentración promedio de SO<sub>2</sub> (3 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Al analizar los promedios diarios de SO<sub>2</sub>, se observa que ningún valor excedió el límite máximo permisible (96 ppb) y que a través del tiempo las concentraciones disminuyeron en dos periodos: 2003 a 2007 y desde el año 2008 hasta el año 2010. Al igual que en las concentraciones de 3 horas las medianas se mantuvieron en valores muy bajos (Figura4.14) (IDEAM, 2012b).

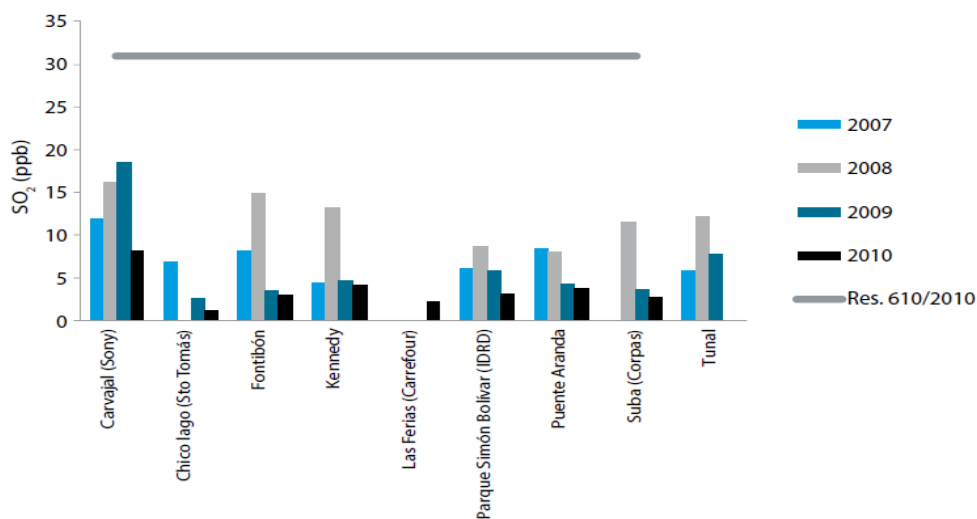
**Figura4.14.** Concentración promedio de SO<sub>2</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Finalmente para el promedio anual de SO<sub>2</sub>, durante el periodo 2007 a 2010, la mayor concentración se registró en el año 2009 en la estación Carvajal, con un valor de 18,4 ppb, que no excede el valor norma (31 ppb). De otra forma, en el año 2008 se presentó un aumento en las concentraciones de SO<sub>2</sub> en todas las estaciones, mientras en los años 2009 y 2010 los niveles de contaminación disminuyeron en todas las estaciones, excepto en el 2009 en la estación Carvajal (Figura4.15) (IDEAM, 2012b).

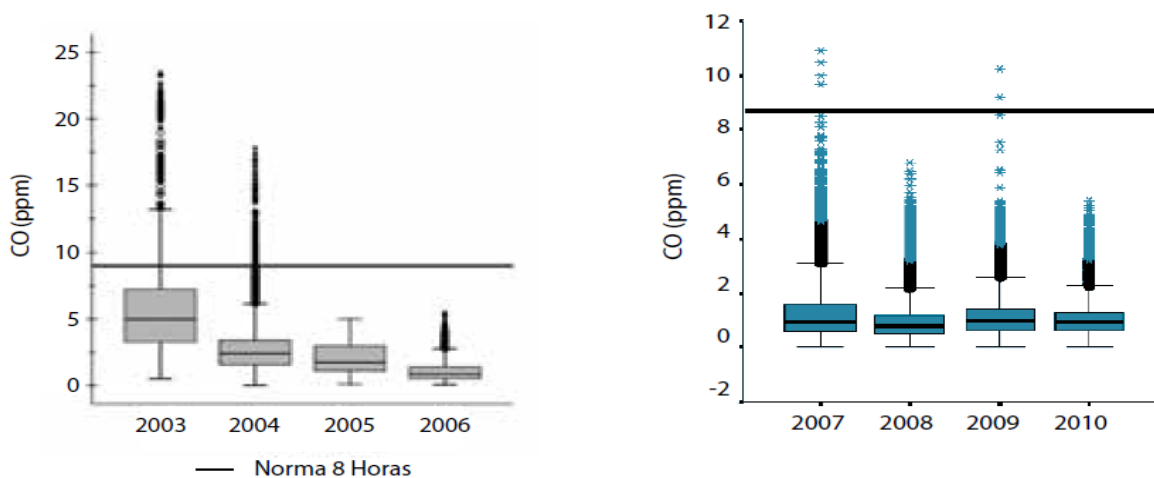
**Figura 4.15.** Concentración promedio anual de SO<sub>2</sub> en las estaciones del SVCA de la SDA



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

En cuanto al Monóxido de Carbono (CO), durante el periodo 2003 a 2010, se observa que las concentraciones promedio horarias disminuyeron progresivamente hasta el año 2008 y aunque se observó un ligero aumento en el año 2009, las medianas durante el periodo se encontraron por debajo de 10 ppm. De la misma manera, para un periodo de exposición de 8 horas las concentraciones disminuyeron desde el año 2003, aunque se presentaron excedencias durante los años 2007 y 2009 (Figura4.16) (IDEAM, 2012b).

**Figura4.16.** Concentración promedio de CO (8 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA

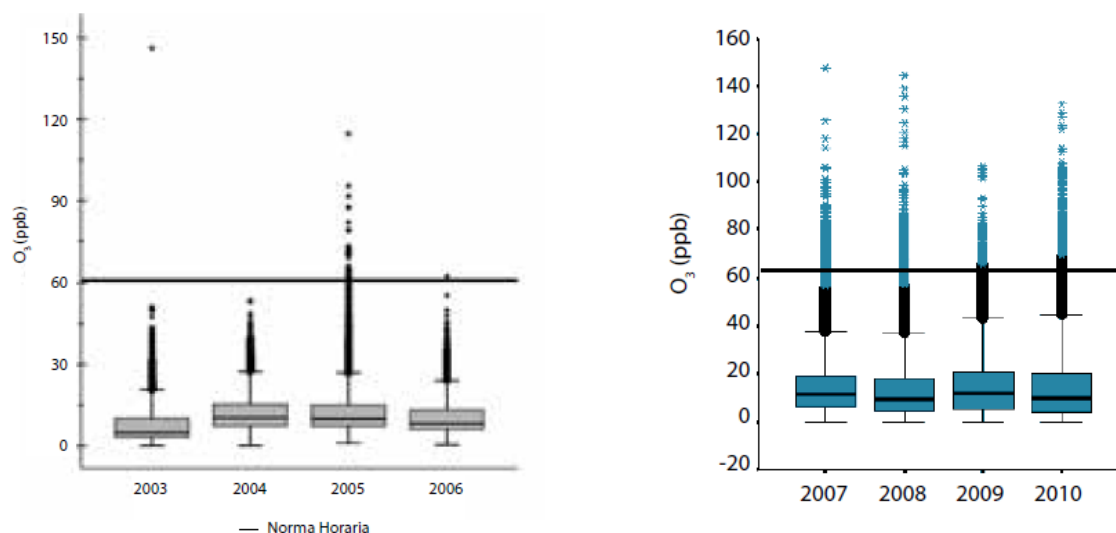


**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Finalmente para el Ozono, las medianas de las concentraciones horarias se mantuvieron estables por debajo de los 12 ppb; no obstante en el año 2005 y el periodo 2007 a 2010 se presentaron excedencias a la norma horaria (61 ppb) con valores que alcanzaron los 147 ppb. Para los promedios 8 horas, se observa que durante los últimos años las medianas fluctuaron entre los 10 y 12 ppb, donde en los años 2008 a 2010 se presentaron un mayor número de excedencias (norma 8 horas= 41 ppb) (Figuras 4.17 y 4.18) (IDEAM, 2012b).

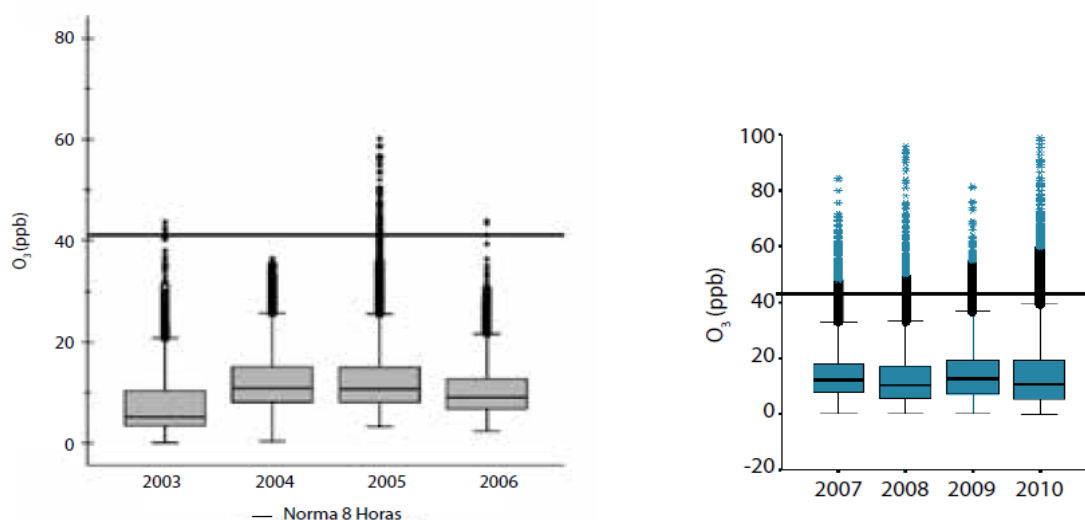


**Figuras 4.17.** Concentración promedio de O<sub>3</sub> (horario) en las estaciones del SVCA de la SDA



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

**Figura 4.18.** Concentración promedio de O<sub>3</sub> (8 horas) en las estaciones del SVCA de la SDA



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

En la ciudad, la academia ha desarrollado investigaciones tendientes a evaluar y caracterizar los diferentes contaminantes del aire, incluyendo compuestos tales como metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, compuestos aromáticos policíclicos, material particulado, monóxido de carbono y bioaerosoles; estas investigaciones han sido el marco para el desarrollo de trabajos en otras ciudades o regiones del país. Los resultados más relevantes de algunos de estos trabajos se presentan a continuación:

- En 2007 se realizó un diagnóstico de la problemática de contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá, que corroboró lo reportado por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, desde el año de 1998 (Gaitán, 2007).
- Se han realizado caracterizaciones de metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos orgánicos volátiles, en Bogotá y municipios aledaños, estableciendo sus fuentes de emisión; se ha encontrado Plomo, Cadmio, Níquel, Manganeso, Hierro, Cromo, Zinc, benzo(a)pireno, acenaftileno, fluoreno, antraceno, los cuales en ocasiones exceden los valores guía internacionales (Leguía, 2004; Pachón, 2004, 2008; Martínez, 2005).
- Se ha caracterizado el PM<sub>10</sub> en dos localidades de Bogotá (Puente Aranda y Fontibón), encontrando concentraciones de metales como Calcio (2,23 µg/m<sup>3</sup>), Hierro (0,64 µg/m<sup>3</sup>), Cromo (0,19 µg/m<sup>3</sup>) y Plomo (0,39 µg/m<sup>3</sup>). Las concentraciones de los HAP's en su mayoría se encuentran en un rango no mayor de 20 a 30 ng/m<sup>3</sup>, a diferencia del Criseno (170,62 ng/m<sup>3</sup>), el cual se considera como cancerígeno. También se destaca que existen concentraciones importantes de Antraceno (18,32 ng/m<sup>3</sup>), Benzo (a) perileno (22,59 ng/m<sup>3</sup>), Benzo (b) Fluoreno (19,70 ng/m<sup>3</sup>), Benzo (g,h,i) perileno (13,26 ng/m<sup>3</sup>), Dibenzo (a,h) Antraceno (37,18 ng/m<sup>3</sup>), Fluoreno (18,14 ng/m<sup>3</sup>) y Pireno (22,81 ng/m<sup>3</sup>) (ULS, 2008).
- La lluvia ácida ha sido estudiada en la ciudad; se han registrados valores con un pH menor a 5.6 (García, 2004).
- Se han establecido los aportes de fuentes fijas y móviles, así como aquellas de origen natural, por emisiones de compuestos orgánicos volátiles (emisiones biogénicas) (Dúran, 2003), por material particulado en áreas residenciales de Bogotá (Vargas, 2010,2012), por vías de alto flujo vehicular como la carrera séptima (Espinosa, 2006) y fuentes intramuros, tales como fumadores activos y las costumbres y hábitos de las personas que residen en la vivienda (Amarillo, 2005).
- Se realizó la medición de PM<sub>10</sub> en las inmediaciones de una vía que presente un alto flujo vehicular (Carrera Séptima de Bogotá), registrando una concentración máxima de 210 µg/m<sup>3</sup> (Carrera Séptima con Calle 31) donde se presenta una geometría de cañón urbano de ocho carriles, en el horario de las 7:00 y 9:00 de la mañana, mientras que el caso de la concentración más bajas fue de 25 µg/m<sup>3</sup> (Carrera Séptima con Calle 19), la cual presenta una geometría de cañón urbano de tres carriles, en el horario de las 7:00 y 9:00 de la mañana. Se estableció que en ciertas zonas de la Avenida Carrera Séptima, los transeúntes se encuentran sujetos a dos tipos de exposición: crítica (línea base que supera las normas de calidad del aire) y aguda (episodios severos de contaminación de corta duración). Este es un resultado de gran importancia ya que estos dos tipos de exposición, se encuentran asociados con respuestas toxicológicas diferentes que deben ser motivo de preocupación tanto para autoridades ambientales, como para aquellas que atienden temas de salud pública. El estudio concluye que el tráfico vehicular, especialmente el que tiene que ver con

motores diésel, influye de forma directa en los niveles de exposición a la contaminación por material particulado en las inmediaciones de una vía de transporte (UNIANDES, 2007).

- Durante los años 2006 y 2007 se seleccionaron cuatro Colegios Distritales (CD) ubicados en diferentes localidades de la ciudad de Bogotá. Tres de estas instituciones estaban ubicadas sobre vías principales de la ciudad, consideradas de alto tráfico vehicular y una sobre una vía de bajo flujo vehicular en zona semi-rural. El análisis realizado en el estudio piloto sugiere que los niveles de concentración de material particulado en las inmediaciones de los colegios distritales evaluados son elevados y superiores a los valores de referencia que han sido considerados como nocivos para la salud de poblaciones sensibles por la OMS. Las concentraciones registradas son de especial preocupación teniendo en cuenta que los menores permanecen en sus instituciones educativas por periodos de ocho horas o más.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de  $PM_{10}$  encontradas en el colegio distrital seleccionado como control y las concentraciones encontradas en los otros tres colegios. Esta situación está relacionada con la diferencia en la cantidad de tráfico vehicular que circula por la vía sobre la que se encuentra ubicado el CD (en especial de vehículos que operan con diésel como combustible). A partir de la información en tiempo real, se pudo sugerir que esta diferencia es mayor para los CD ubicados en vías con presencia predominante de transporte público colectivo (Franco JF, 2009).

Las investigaciones citadas anteriormente, se presentan a continuación:

**Tabla 4.55.** Resumen de la investigación contribución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles con la calidad del aire en los corredores viales de la calle 170 entre carreras séptima y autopista, Carrera 11 entre calles cien y ochenta y cinco y avenida ciudad de cali entre calles veintiséis y trece de la ciudad de Bogotá D.C.

<b>Nombre documento:</b> Contribución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles con la calidad del aire en los corredores viales de la calle 170 entre carreras séptima y autopista, Carrera 11 entre calles cien y ochenta y cinco y avenida ciudad de cali entre calles veintiséis y trece de la ciudad de Bogotá D.C.	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Durán Pinto Julián Andrés; Acuña Bermúdez Julián Darío; 2003
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Compuestos orgánicos volátiles (COV)
<b>Objetivo:</b> Analizar la contribución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles biogénicos en los tramos viales de la calle 170 entre la carrera séptima y la Autopista norte, carrera 11 entre calles cien y ochenta y cinco y la avenida ciudad de Cali entre calles veintiséis y trece de la ciudad de Bogotá D.C.	

**Resultados:**

- Las emisiones biogénicas de COV representan el 7% con respecto a las emisiones vehiculares y el 60 % con respecto a las emisiones industriales de compuestos orgánicos volátiles no metanizados.
- Cada *Género* vegetativo posee un factor de emisión diferente en magnitud y en porcentaje de isopreno, monoterpenos y otros COV's. Esto hace que la cantidad de estos COV biogénicos generados en cada tramo vial difieran en cada caso, en función de la vegetación. Así mismo, la proporción de estas emisiones biogénicas dentro de cada tramo vial fluctúa en función del mes en que se determine, ya que la temperatura y la radiación solar influyen en la emisión de isopreno y de monoterpenos.
- La vegetación inventariada en los tres tramos viales emite 471 Kg/año en el tramo vial 1, 210 Kg/año en el tramo vial 2 y 206 Kg/año en el tramo vial 3 de compuestos tales como isopreno, monoterpenos y otros COV's.
- Las emisiones vehiculares de alquenos sobrepasan en gran medida, de un 93 a un 98%, a las emisiones biogénicas de COV en los tres tramos viales. Es decir, los vehículos automotores tienen la mayor responsabilidad en cuanto a emisiones atmosféricas en cada uno de los tres tramos viales estudiados.

**Nota** Fuente: Durán JA, & Acuña JD. Contribución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles con la calidad del aire en los corredores viales de la calle 170 entre carreras séptima y autopista, carrera 11 entre calles cien y ochenta y cinco y avenida ciudad de Cali entre calles veintiséis y trece de la ciudad de Bogotá DC [Tesis]. Santa fe de Bogotá: Universidad de la Salle;2003.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.56.** Resumen del artículo Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida -húmeda y seca-en el norte de Bogotá, D.C

<b>Nombre documento:</b> Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida -húmeda y seca-en el norte de Bogotá, D.C	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> García Lozada H, Antolinez Esquivel A, Díaz Álvarez CJ, 2004
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Lluvia ácida
<b>Objetivo:</b> Establecer el comportamiento de la precipitación ácida -húmeda y seca-en el sector norte de la ciudad.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el área de estudio, no se desarrollan actividades industriales de importancia y se puede afirmar que el aporte de precursores -óxidos de azufre y de nitrógeno-proviene esencialmente de las emisiones vehiculares. Los estimativos realizados indican que el aporte en este sector, por parte de los vehículos, puede representar el 29% de las emisiones totales de NOx en la ciudad y el 2.7% de las emisiones totales de SO<sub>2</sub>.</li> <li>• La precipitación seca no muestra el carácter ácido observado en la húmeda y, por el contrario, el polvo sedimentado en los colectores expuestos durante 35 días arrojó valores de pH alcalinos.</li> <li>• Entre diciembre del 2002 y abril del 2003 se documentaron 35 eventos de lluvia y se encontró que el 70% de las 17 muestras de agua lluvia en el sector oriental y el 83% de 18 en el sector occidental, de la autopista norte, muestran un pH menor a 5.6, considerado como el valor natural del pH en la lluvia. En el polvo sedimentable el pH fue de 7.47, al occidente de la autopista y de 7.78, al oriente; mientras que en los transectos, el pH se detectó en el intervalo entre 5.71 y 6.70.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: García H, Antolinez A, & Díaz C. Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida-húmeda y seca-en el norte de Bogotá DC. Meteorología Colombiana;2004;8:37-42.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.57.** Resumen de la tesis Sustancias peligrosas en las partículas suspendidas totales en un área de influencia vehicular de Bogotá.

<b>Nombre documento:</b> Sustancias peligrosas en las partículas suspendidas totales en un área de influencia vehicular de Bogotá, D.C.	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Claudia Patricia Leguía Pachón, 2004
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Sustancias peligrosas
<b>Objetivo:</b> Identificar las sustancias peligrosas en las partículas suspendidas totales en un área de influencia vehicular de Bogotá	
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Las concentraciones de PST encontradas durante los días de estudio no exceden la normatividad local, pero son altos en comparación con los valores recomendados por la OMS.</li> <li>Las concentraciones de los metales seleccionados se encontraron por debajo de las concentraciones máximas recomendadas tanto por la Resolución 1208 del DAMA, como por los guías establecidos por la OMS. Las mayores concentraciones encontradas corresponden al Plomo, seguidas del Cobre y en menor concentración el Manganeso.</li> <li>La relación Pb/Cd encontrada durante el estudio permite establecer que el tráfico vehicular contribuye a la presencia de estos contaminantes en la zona de estudio.</li> <li>Las concentraciones de acenafileno, fluoreno, antraceno y benzo(b)fluoranteno se encuentran por debajo de los 10 ng/m<sup>3</sup>, mientras las concentraciones de fenantreno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(k)fluoranteno y benzo(g,h,i)perileno se encuentran entre 10-100 ng/m<sup>3</sup> y las de pireno, benzo(a)pireno, dibenzo(ah)antraceno e indeno (1,2,3cd) superan las concentraciones de 100 ng/m<sup>3</sup>.</li> <li>De acuerdo a los valores encontrados para los HAP, en función de los factores equivalentes de toxicidad, se encontraron altas concentraciones de estos contaminantes en relación con las normas establecidas en países europeos que toman como aceptables concentraciones anuales de benzo(a)pireno de 0.7 – 1.3 ng/m<sup>3</sup>.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Leguía CP. Sustancias peligrosas en las partículas suspendidas totales en un área de influencia vehicular de Bogotá DC[Tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia;2004.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.58.** Resumen del artículo Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en muestras de partículas atmosféricas PM<sub>10</sub> en la zona metropolitana de la ciudad de Bogotá (Colombia).

<b>Nombre documento:</b> Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en muestras de partículas atmosféricas PM <sub>10</sub> en la zona metropolitana de la ciudad de Bogotá (Colombia)	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Pachón, J., H. García, M. Bustos, H. Bravo & R. Sosa. 2004
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> HAP
<b>Objetivo:</b> Determinar las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en partículas respirables en tres municipios con vocación industrial de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Bogotá (ZMCB).	
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se encontró que en Soacha se excede ocho veces el valor de la norma diaria, con valores de concentración mínima y máxima de 14.77 y 207.22 µg/m<sup>3</sup> respectivamente. Al calcular el promedio semestral para Soacha se obtuvo un valor de 109.54±45.32 µg/m<sup>3</sup>. Para los municipios de Sibate y Cajicá no se presentó excedencia de la norma diaria.</li> <li>Se lograron identificar en este estudio fenantreno (Phe), antraceno (Ant), fluoranteno (Fla), pireno (Pyr), benzo(a)antraceno (BaA), criseno (Cri), benzo(ghi)perileno (BgP) e Indeno(1,2,3-cd)pireno (Ind). No fue posible cuantificar naftaleno (Nap), acenafileno (Acy), acenafteno (Ace), ni fluoreno (Flu) por ser hidrocarburos ligeros y volátiles con mayor presencia en la fase gaseosa del aire.</li> <li>Al comparar la situación de los tres municipios con respecto a HAP, se observó que la mayor concentración se encuentra en el municipio de Soacha. Al comparar los valores de las concentraciones totales de los 16 HAP en</li> </ul>	

muestras de partículas de 24 horas, se tuvo en Soacha un valor de 16.30 ng/m<sup>3</sup>, en Cajicá 3.38 ng/m<sup>3</sup> y en Sibaté 0.76 ng/m<sup>3</sup>.

- La correlación de las especies HAP encontradas con las fuentes de emisión indican que provienen en su mayoría de fuentes móviles.

**Nota** Fuente: Pachón J, García H, Bustos M, Bravo H, & Sosa R. Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en muestras de partículas atmosféricas en la zona metropolitana de la ciudad de Bogotá, Colombia. *Meteorología Colombiana*;2004;8:27-35.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.59.** Resumen de la tesis Estudio de la calidad del aire al interior de los hogares en los sectores de Puente Aranda, Salazar Gómez y San Rafael en la localidad de Puente Aranda.

<b>Nombre documento:</b> Estudio de la calidad del aire al interior de los hogares en los sectores de Puente Aranda, Salazar Gómez y San Rafael en la localidad de Puente Aranda. Bogotá. D.C.	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Amarillo Castro María Fernanda; Pastrana Granados Eduardo; 2005
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> y CO
<b>Objetivo:</b> Determinar las concentraciones de los contaminantes atmosféricos al interior de los hogares de los barrios Puente Aranda, San Rafael y Salazar Gómez.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las fuentes fijas y móviles son los más grandes contribuyentes en la concentración de los contaminantes atmosféricos determinados, pero sin dejar atrás el aporte generado por las costumbres y hábitos de los residentes presentes en cada uno de los hogares donde se hicieron las mediciones.</li> <li>• La concentración de los contaminantes al interior se ve influenciada por la concentración existente en el ambiente exterior, sin embargo debido a las características de la vivienda estos pueden tener mayor o menor dispersión en la atmósfera.</li> <li>• En relación a las concentraciones de CO, se observa que una fuente importante al incremento de dicha contaminación es la presencia de fumadores en el interior de los hogares, ya que por medio de la ejecución de los muestreos se reportaron los niveles de monóxido de carbono más elevados en los espacios donde se presentan dichos hábitos.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Amarillo MF, & Pastrana E. Estudio de la calidad del aire al interior de los hogares en los sectores de Puente Aranda, Salazar Gómez y San Rafael en la localidad de Puente Aranda [Tesis]. Bogotá DC: Universidad de Salle;2005.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.60.** Resumen de la tesis Concentración de sustancias peligrosas en material particulado recolectado en estaciones de monitoreo de la CAR-Cundinamarca.

<b>Nombre documento:</b> Concentración de sustancias peligrosas en material particulado recolectado en estaciones de monitoreo de la CAR-Cundinamarca.	
<b>Lugar:</b> Cundinamarca	<b>Autor/año:</b> José Alejandro Martínez Sepúlveda,2005
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Metales pesados y HAP
<b>Objetivo:</b> Analizar el contenido de algunos HAP y Metales Pesados (MP) seleccionados, en los filtros de PM <sub>10</sub> de algunas estaciones de la red de calidad de aire de la CAR que se encuentran en cercanías a la ciudad de Bogotá D.C.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Plomo, que fue el metal pesado con mayor concentración hallado en el estudio, debe su procedencia probablemente a las actividades de fundición de chatarra, de cobre y de Plomo (reciclaje de baterías de automóviles) que se llevan a cabo principalmente en la zona de Soacha y Sibaté – Muña.</li> <li>• La relación Pb/Cd puede ser usada como un indicador de procedencia de estos metales, encontrándose que si las relaciones son menores a 14 tienen una procedencia natural, mientras que si las relaciones son mayores a</li> </ul>	

dicho valor, la procedencia es antrópica. Para La Calera y Mosquera (17 y 27 respectivamente) estas relaciones indican cierto nivel de procedencia natural de los metales, pero para los casos de Mosquera, Usme, Muña y Soacha (64, 225, 4043 y 4179 respectivamente) la relación es un serio indicio de la procedencia antrópica de dichos metales pesados.

- Las mayores concentraciones Níquel corresponden a los municipios de Soacha, Mosquera, Muña y Usme, caracterizados por la presencia de alguna de las dos actividades.
- Cota es el municipio que posee mayor concentración de manganeso; es posible establecer como fuente algunas actividades de tratamiento de residuos que se encuentran en inmediaciones a la zona, entre otras actividades.
- En cuanto a los HAP, se observó que del 100% de valores de concentración altos (43 datos), el 42% corresponde a Soacha, el 23% corresponde a La Calera, el 23% a Muña y el 5% corresponde a Mosquera.
- Los municipios de Soacha y Cota presentan valores de BAP/BGP [benzo(a)pireno/ Benzo(ghi)perileno] superiores a 0.6 y valores pequeños de IND/BGP [Indeno(123-cd)pireno/Benzo(ghi)perileno]; por esta razón se puede identificar una alta prevalencia de fuentes móviles en la zona.
- Se confirmó la alta presencia de BAP en los municipios de Muña, La Calera, Cota y Soacha, lo cual podría ser indicio de quema de madera o derivados de la misma, que podría corresponder a las labores de fundición y chircales que se realizan en dicha área; para La Calera y Soacha, se presentan valores elevados de Pireno, lo que implicaría que hay un consumo de Fuel Oil (5% de los energéticos usados en la zona), misma tendencia que presentan los municipios frente al consumo de aceite industrial (equiparable al crudo de castilla que tenía un 22% de la canasta de energéticos de la zona).
- El BAP se encontró en todos los municipios excepto Mosquera. Por otra parte, la presencia de Fenantreno (PHE), Antraceno (ANT), Fluoranteno (FLA) y Pireno (PYR) en todos los municipios, y en altas concentraciones en Soacha, Cota, Muña (e incluso Usme) hace referencia a emisiones debidas a la combustión de la gasolina.

**Nota** Fuente: Martínez JA. Concentración de sustancias peligrosas en material particulado recolectado en estaciones de monitoreo de la CAR-Cundinamarca [Tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia;2005.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.61.** Resumen del artículo Caracterización del material particulado en dos vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá

<b>Nombre documento:</b> Caracterización del material particulado en dos vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Espinosa Valderrama Mónica; Rojas Néstor Y.; Gómez Rigoberto,2006
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Material Particulado
<b>Objetivo:</b> Establecer la concentración y algunas características químicas (contenido Fe, Pb, Cd, Mn, carbono orgánico y carbono elemental) del material particulado recolectado al lado de dos vías, en las cuales opera uno de los sistemas de transporte público colectivo y masivo, respectivamente.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La mayor concentración de PM<sub>2,5</sub> se obtuvo en la carrera Séptima (46,39 µg/m<sup>3</sup>) la cual es una vía de transporte tradicional; este valor fue casi tres veces mayor a la que se presentó en la avenida Caracas (16,53 µg/m<sup>3</sup>) y más de cinco veces mayor a la concentración base (7,18 µg/m<sup>3</sup>). Las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> de la avenida Caracas y de la carrera Séptima sobrepasaron el límite para un promedio anual recomendado por la EPA (15 µg/m<sup>3</sup>) y en ninguno de los dos casos se sobrepasó el límite promedio para 24 horas de la EPA (65 µg/m<sup>3</sup>).</li> <li>• En cuanto a PM<sub>10</sub>, la mayor concentración se presentó en la carrera Séptima (49,65 µg/m<sup>3</sup>), seguido por la avenida Caracas (24,64 µg/m<sup>3</sup>). El valor de la concentración en la carrera Séptima fue cercano al límite establecido por la EPA como promedio anual (50 µg/m<sup>3</sup>); la concentración de PM<sub>10</sub> en la Séptima fue el doble de la concentración en la avenida Caracas y más de cinco veces mayor a la concentración base que fue de 8,8 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• El aporte total de metales en los tres sitios de estudio fue mayor en la fracción de material particulado (MP) recolectado en la etapa de d<sub>50</sub> = 0,4 µm, es común que en el aire de las vías la mayor fuente de MP sean las</li> </ul>	



emisiones vehiculares, las cuales en su mayor parte son MP fino y ultrafino. En los tres sitios de muestreo, la concentración de Cd fue mayor en la fracción de  $d_{50} = 2,5 \mu\text{m}$ ; en cambio se encontró mayor concentración de Pb y de Fe en la fracción de MP de  $d_{50} = 0,4 \mu\text{m}$ . Por su parte, el Mn tuvo mayor concentración en el MP de  $d_{50} = 0,4 \mu\text{m}$  en el sitio de concentración base y en la avenida Caracas, pero mayor concentración en la fracción de  $d_{50} = 2,5 \mu\text{m}$  en la carrera Séptima. En ninguno de los casos se sobrepasó el límite de concentración para promedio anual según la Resolución 391 de 2001 del DAMA. Tampoco se sobrepasó ninguno de los valores establecidos por organizaciones como la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) y la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) para un ambiente laboral, que aplicaría para el caso de las personas que trabajan en las calles como celadores, vendedores ambulantes, policías de tránsito, etc.

**Nota** Fuente: Espinosa M, Rojas NY, & Gómez R. Caracterización del material particulado en dos vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá. Acta Nova;2006;32:323-335.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.62.** Resumen de la investigación Concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire en inmediaciones de una vía de transporte público colectivo.

<b>Nombre documento:</b> Concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire en inmediaciones de una vía de transporte público colectivo.	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Universidad de los Andes, 2007
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> $\text{PM}_{10}$
<b>Objetivo:</b> Identificar y analizar el impacto de las variables que determinan las concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire de Bogotá, en las inmediaciones de una vía que presente un alto flujo vehicular, especialmente en lo referente al transporte público colectivo.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se llevaron a cabo una serie de mediciones en la Avenida Carrera Séptima, una de las más transitadas del país; los puntos de monitoreo estaban conformados de la siguiente forma:</li> </ul> <p>El punto de muestro localizado sobre la calle 19 corresponde a una sección de tres carriles y geometría de cañón urbano (Lugar 1), el punto localizado sobre la calle 24 corresponde a sección de tres carriles y geometría de calle abierta (Lugar 2), el punto localizado sobre la calle 27 corresponde a sección de ocho carriles y geometría de calle abierta (Lugar 3), el punto localizado sobre la calle 31 corresponde a sección de ocho carriles y geometría de cañón urbano (Lugar 4), el punto localizado sobre la calle 72 corresponde a sección de seis carriles y geometría de cañón urbano (Lugar 5), y el punto localizado sobre la calle 85 corresponde a sección de seis carriles y geometría de calle abierta (Lugar 6).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se registraron valores de más de <math>500 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> de <math>\text{PM}_{10}</math> alcanzando incluso niveles tan altos como <math>2,700 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>. Las concentraciones de <math>\text{PM}_{10}</math> en los cañones urbanos fueron significativamente superiores (en términos estadísticos) que en las calles abiertas.</li> <li>La sección transversal de la calle hace referencia al número total de carriles presentes en la vía (contando ambas direcciones si es el caso). Se caracterizaron tres tipos de secciones transversales: 3, 6 y 8 carriles. Según los resultados obtenidos, las concentraciones de <math>\text{PM}_{10}</math> en los lugares con sección de 8 carriles fueron significativamente superiores (en términos estadísticos) que en los lugares con secciones transversales de 6 carriles. Estas últimas concentraciones fueron a su vez significativamente superiores que en los lugares con secciones transversales de 3 carriles. En resumen, a mayor cantidad de carriles en la sección transversal de la vía, mayores serán las concentraciones de <math>\text{PM}_{10}</math> que se encontrarán en los alrededores de las mismas.</li> <li>También se tuvo en cuenta el nivel de congestión vehicular mediante la recolección de información a distintas horas del día en los seis diferentes lugares utilizados como sitios de muestro. De esta manera, las mediciones se llevaron a cabo entre 7:00 y 9:00 de la mañana, entre 11:00 de la mañana y 1:00 de la tarde, y entre 3:00 y 5:00 de tarde en todos los puntos de monitores, exceptuando los puntos de control. Cada uno de estos tres períodos de medición representó una condición de congestión vehicular. Las mediciones entre las 7:00 y 9:00</li> </ul>	

de la mañana se consideraron representativas de una condición de tráfico con alto flujo vehicular, las mediciones entre las 3:00 y 5:00 de la tarde representativas de una condición de tráfico con flujo vehicular intermedio, y las mediciones entre las 11:00 de la mañana y la 1:00 de la tarde representativas de una condición de tráfico con bajo flujo vehicular. Las concentraciones de PM<sub>10</sub> en el período representativo de alto flujo vehicular (entre 7:00 y 9:00 de la mañana) fueron, en términos estadísticos, significativamente superiores a las concentraciones registradas durante los períodos con flujo vehicular medio y bajo.

- La concentración más alta (media = 210 µg/m<sup>3</sup>; mediana = 180 µg/m<sup>3</sup>) se presentó en la Carrera Séptima con Calle 31 (cañón urbano de ocho carriles) entre 7:00 y 9:00 de la mañana, mientras que el caso de las concentraciones más bajas (media = 25 µg/m<sup>3</sup>; mediana = 12 µg/m<sup>3</sup>) se presentó en la Carrera Séptima con Calle 19 (cañón urbano de tres carriles) entre 7:00 y 9:00 de la mañana. Durante la totalidad de los 40 monitoreos, correspondientes a 75 horas de medición, se presentaron altas concentraciones de material particulado que sobrepasaron los niveles de la norma anual de PM<sub>10</sub> (70 µg/m<sup>3</sup>, 35% de excedencia de la norma anual). Más importante aún, durante este mismo monitoreo, en una fracción muy importante del tiempo también se sobrepasaron los niveles de la norma diaria de calidad del aire para PM<sub>10</sub> (150 µg/m<sup>3</sup>, 12% de excedencia de la norma diaria), lo que corresponde a unas condiciones de calidad del aire con el potencial de afectar a toda la población sujeta a tales niveles de exposición.
- En términos generales, todas las variables consideradas demostraron tener un impacto estadísticamente significativo en las concentraciones de PM<sub>10</sub> registradas en las inmediaciones de la vía estudiada. De esta manera, las concentraciones de PM<sub>10</sub> en los cañones urbanos fueron significativamente superiores que aquellas encontradas en calles abiertas, al mismo tiempo que las concentraciones de PM<sub>10</sub> fueron más altas en los sectores de la vía con un mayor número de carriles y en los momentos del día en los que se presentaron mayores niveles de congestión vehicular.

**Nota** Fuente: [UNIANDES] Concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire en inmediaciones de una vía de transporte público colectivo. Investigación. Bogotá DC: UNIANDES;2007.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.63.** Resumen del artículo Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá

<b>Nombre documento:</b> Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Gaitán Mauricio; Cancino Juliana; Behrentz Eduardo; 2007
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> y PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Generar un diagnóstico del problema de contaminación atmosférica de la ciudad de Bogotá	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• De acuerdo a los registros de la Red Monitoreo Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), en la ciudad no se presenta un problema de contaminación del aire para SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO.</li> <li>• Para el caso de SO<sub>2</sub>, las concentraciones atmosféricas rara vez superan la norma anual que rige para la ciudad (26 ppb). Lo mismo ocurre para la norma diaria y de 3 horas. Algo similar se observa para las concentraciones de NO<sub>2</sub>, las cuales típicamente son inferiores a la norma anual de la ciudad (53 ppb).</li> <li>• Para el ozono troposférico y el CO se observan concentraciones relativamente bajas en la ciudad, que para el caso de este último contaminante suelen ser inferiores a 5 ppm.</li> <li>• Desde el año 2001 y a nivel de toda el área urbana del distrito capital se incumple la norma anual local de PM<sub>10</sub> (55 µg/m<sup>3</sup>) en más del 40% de los días del año.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Gaitán M, Cancino J, & Behrentz E. Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá 2007. Dossier: Ingeniería y medio ambiente;2007;26:81-92.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.64.** Resumen de la investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas.

<b>Nombre documento:</b> Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C.	<b>Autor/año:</b> Universidad de la Salle, 2008
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<p><b>Resultados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los resultados de los metales en la ciudad muestran que el metal que se encuentra mayoritariamente es el Calcio (<math>2,23 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) y en menor concentración se encontraron Hierro (<math>0,64 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>), Cromo (<math>0,19 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) y Plomo (<math>0,39 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>). Para el Plomo se destaca que si bien no superan el límite permisible (<math>1,5 \text{mg}/\text{m}^3</math>), los resultados son permanentes a través del tiempo, lo que implica que las concentraciones del metal en el ambiente son constantes, bien sea por qué no hay dispersión de este contaminante o porque su fuentes emiten de manera regular.</li> <li>• Para carbono orgánico (CO) (<math>14,58 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) y carbono elemental (CE) (<math>8,01 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) se destaca que durante el mes de noviembre de 2007 se presentaron las concentraciones más altas de los dos componentes, esto puede ser originado por la intensa actividad industrial y comercial que antecede al periodo navideño y se correlaciona por el descenso en las precipitaciones respecto al mes de octubre de 2007.</li> <li>• Para la concentración de iones, se destaca la proporción significativa de iones Sulfatos (<math>2,58 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) y Nitratos (<math>4,01 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) pues este tipo de componentes se forman en la atmósfera como resultado de la reacción de contaminantes atmosféricos primarios. Es necesario destacar la correspondencia entre la presencia de Sulfatos y Nitratos, lo cual implica la presencia común de sus precursores en las fuentes de emisión que las origina. Los datos obtenidos de CO y CE permiten aseverar que existe una relación importante entre las fuentes que originan Sulfatos y Nitratos y las fuentes que originan CE, esto permite realizar aproximaciones en el sentido de asociar estos parámetros con el empleo de combustibles con importantes emisiones de compuestos nitrogenados y azufrados, es decir, combustibles diésel. Las concentraciones encontradas de Amonio (<math>2 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) como contaminante originado a partir de fuentes fijas y móviles permiten establecer un nivel, igualmente importante, de emisiones originadas a partir de fuentes fijas a las emisiones en Bogotá.</li> <li>• Las concentraciones de los HAP's en su mayoría se encuentran en un rango no mayor de 20 a 30 <math>\text{ng}/\text{m}^3</math>, a diferencia del compuesto criseno (<math>170,62 \text{ng}/\text{m}^3</math>), el cual se considera como cancerígeno. También se destaca que existen concentraciones importantes de Antraceno (<math>18,32 \text{ng}/\text{m}^3</math>), Benzo (a) perileno (<math>22,59 \text{ng}/\text{m}^3</math>), Benzo (b) Fluoreno (<math>19,70 \text{ng}/\text{m}^3</math>), Benzo (g,h,i) perileno (<math>13,26 \text{ng}/\text{m}^3</math>), Dibenzo (a,h) Antraceno (<math>37,18 \text{ng}/\text{m}^3</math>), Fluoreno (<math>18,14 \text{ng}/\text{m}^3</math>) y Pireno (<math>22,81 \text{ng}/\text{m}^3</math>), es decir, la presencia, la persistencia y las elevadas concentraciones encontradas para los HAP's en la ciudad muestran el efecto claro de las emisiones por consumo de combustible en Bogotá; de igual manera los trazadores de combustibles, muestran que existe una significativa proporción de aportes de fuentes móviles a las emisiones de HAP's, sin dejar de lado que en Bogotá existen aportes por quema de carbón, gasolina ACPM y principalmente diésel.</li> <li>• El CE es la especie que mayor masa proporciona al PM<sub>10</sub> de Bogotá con un 22%. El CO aporta 12% en promedio a la masa de PM<sub>10</sub>. Nitratos aportan el 7%. El 47% pertenece a otras especies no identificadas por los análisis realizados.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** [ULS] Universidad de la Salle. Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas (Contrato 2062394). Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT);2008.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.65.** Resumen del artículo Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Pachón Jorge Eduardo; Sarmiento Vela Hugo; 2008
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Metales Pesados
<b>Objetivo:</b> Realizar la caracterización química del PM <sub>10</sub> recolectado en la Localidad de Puente Aranda de Bogotá.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las concentraciones promedio diarias de PM<sub>10</sub> en Puente Aranda se encontraron entre 65 y 100 µg/m<sup>3</sup>, mientras que para el norte de la ciudad variaban entre 20 y 30 µg/m<sup>3</sup>. Los principales metales encontrados en la zona industrial fueron Hierro y Plomo, con concentraciones hasta de 4.000 ng/m<sup>3</sup>. El grupo de metales Cobre, Cromo, Zinc, Níquel y Manganeseo presentaron un rango medio de concentración (50 a 700 ng/m<sup>3</sup> en Puente Aranda, &lt;100 ng/m<sup>3</sup> en el norte de la ciudad). Los metales con las menores concentraciones en la atmósfera fueron Cadmio y Plata.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Pachón J, & Sarmiento H. Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia;2008;43:120-133.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.66.** Resumen del artículo Niveles de material particulado en colegios distritales ubicados en vías con alto tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá: estudio piloto.

<b>Nombre documento:</b> Niveles de material particulado en colegios distritales ubicados en vías con alto tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá: estudio piloto	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Juan Felipe Franco, Néstor Yesid Rojas, Olga Lucía Sarmiento, Luis Jorge Hernández, Elizabeth Zapata, Andrea Maldonado, Leonardo Matiz, Eduardo Behrent, 2009.
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Caracterizar los niveles de concentración de PM <sub>10</sub> a los que están expuestos los menores en edad escolar en Colegios Distritales (CD) ubicados sobre corredores viales considerados de alto tráfico en la ciudad de Bogotá.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se seleccionaron cuatro colegios distritales ubicados en diferentes localidades de la ciudad. Tres de estas instituciones estaban ubicadas sobre vías principales de la ciudad, consideradas de alto tráfico vehicular y una sobre una vía de bajo flujo vehicular en zona semi-rural.</li> <li>Los valores diarios obtenidos gravimétricamente estuvieron entre los 87 y 91 µg/m<sup>3</sup> para los colegios ubicados sobre vías con alto tráfico vehicular, en el punto más cercano a la vía de interés dentro de cada CD. Mientras tanto, el valor medio para la institución ubicada en la zona con bajo flujo de vehículos fue de 55 µg/m<sup>3</sup>. Estas diferencias pueden estar asociadas con el tipo y cantidad de tráfico vehicular que circula por las vías de interés</li> <li>Las concentraciones medias reportadas por la estación de la red de monitoreo de la calidad del aire más próxima a cada colegio son menores que las concentraciones medias obtenidas por las mediciones gravimétrica realizadas para este estudio, excepto para la CD1. De la misma manera, para CD2 y CD3 la diferencia entre la concentración base (reportada por la estación de monitoreo más cercana) y la concentración media de los ensayos realizados en este estudio, es mayor que para CD4. Esta evidencia puede ser un indicador de la importancia y el impacto que las emisiones de los vehículos que circulan por la vía, tienen sobre las concentraciones de PM registradas en cada CD. Siendo dicho impacto de mayor magnitud en las instituciones ubicadas sobre vías donde el número de buses del transporte público colectivo es mayor (CD2 y CD3).</li> <li>Al comparar las concentraciones gravimétricas registradas en cada colegio, los valores medios de material particulado son superiores a los valores de referencia que la OMS considera como perjudiciales para poblaciones sensibles. Esta situación es de especial preocupación si se considera que para en los cuatro CD</li> </ul>	

participantes en este estudio, los menores permanecen cerca de ocho horas diarias y siendo el punto más cercano a la vía de interés en el interior del colegio una zona recreativa o un patio de juegos.

**Nota** Fuente: Franco JF, Rojas NY, Sarmiento OL, Hernandez LJ, Zapata E, Maldonado A, & et al. Niveles de material particulado en colegios distritales ubicados en vías con alto tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá: estudio piloto. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia;2009;49:101-111.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.67.** Resumen del artículo Composición química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogotá.

<b>Nombre documento:</b> Composición química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogotá	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Vargas Freddy A; Rojas Néstor Y; 2010.
<b>Tipo documento:</b> Artículo revista	<b>Contaminante estudiado:</b> Material particulado
<b>Objetivo:</b> Caracterizar químicamente el material particulado en dos puntos de la ciudad de Bogotá	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los mayores aportes al PM<sub>10</sub> en Bogotá están constituidos por fracciones carbonáceas, las cuales están asociadas principalmente a las fuentes de combustión, tanto fijas como móviles. La fracción mineral, asociada a polvo fugitivo o resuspendido por fuentes móviles, es también apreciable, aunque su aporte al PM<sub>2.5</sub> es muy probablemente, mucho menor.</li> <li>• La composición es diferente para cada sector, pero en general las fracciones que más aportan al material particulado son la geológica (asociada a polvo fugitivo y resuspendido), entre el 37 y 42%; las fracciones carbonáceas, que son las que más aportan, entre un 12 y 11% para el carbono elemental y un 43 y 34% para materia orgánica; la fracción iónica se encontró entre un 5 y 8%.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Vargas FA, & Rojas NY. Composición química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogotá. Ingeniería e investigación;2010;30:105-115.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.68.** Abstract of article PM<sub>10</sub> characterization and source apportionment at two residential areas in Bogota.

<b>Nombre documento:</b> PM <sub>10</sub> characterization and source apportionment at two residential areas in Bogota	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Freddy A. Vargas FA, Rojas NY, Pachon JE, Russell AG. 2012
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Evaluar la contribución de PM <sub>10</sub> de diferentes fuentes en dos áreas residenciales de Bogotá.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las fuentes móviles y el polvo arrastrado por el viento se identificaron como las fuentes más importantes de PM<sub>10</sub> en ambos sitios.</li> <li>• El estudio encontró que la contaminación del aire por material particulado es mayor en la localidad de Kennedy que en Suba. Sin embargo, ambas áreas residenciales registran elevados niveles de PM<sub>10</sub>.</li> <li>• El análisis químico mostró que los materiales carbonosos y de la corteza conforman casi el 85% del PM<sub>10</sub> en estos sitios, mientras que la fracción iónica está por debajo del 8%.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Vargas FA, Rojas NY, Pachon JE, & Russell AG. PM<sub>10</sub> characterization and source apportionment at two residential areas in Bogota. Atmospheric Pollution Research;2012;3:72-80.

\*Adaptado por el autor.

También se han identificado microorganismos en el aire, que pueden incidir en la salud de la población, abordando así el campo de la aerobiología, donde las bacterias, virus y hongos

que son contaminantes biológicos del aire, pueden trascender a ambientes intramuros o interactuar con otros contaminantes químicos (metales pesados), generando un aumento en la morbilidad de enfermedades respiratorias en la población (Rey, 2005; Blanco LC, 2006; Carreño, 2008; Acosta, 2011).

**Tabla 4.69.** Resumen de la tesis Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos patógenos en los bioaerosoles, en una zona de alta actividad Industrial y flujo vehicular de la localidad de Puente Aranda.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos patógenos en los bioaerosoles, en una zona de alta actividad Industrial y flujo vehicular de la localidad de Puente Aranda, en Bogotá D.C	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Rey Rodríguez Ivone Milena; Fula Huertas Yelitza Milena; 2005
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Bioaerosoles
<b>Objetivo:</b> Evaluar la presencia de determinados microorganismos patógenos en bioaerosoles en un sector de alta actividad industrial y flujo vehicular de la localidad de Puente Aranda.	
<b>Resultados:</b>	
<p>6. Se identificaron 50 especies de bacterias, de las cuales, dos corresponden a especies mencionadas en la literatura como especies patógenas de vías respiratorias, <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Pseudomonas aeruginosa</i>. Dentro de las especies identificadas algunas no son considerados como patógenos de tracto respiratorio, pero factores de riesgo presentes en la población, la hacen vulnerable y estos microorganismos actuarían como oportunistas.</p> <p>7. No existe un efecto significativo de la precipitación y la velocidad del viento sobre el número de unidades formadoras de colonia (UFC), para las muestras tomadas. La temperatura ejerce un efecto protector (relación inversa) sobre el número de UFC en el aire, aunque en la ciudad no hayan variaciones drásticas, esta variable tiene un efecto significativo reflejado en que en la noche el número de UFC es mayor que en la mañana o al medio día, para el medio agar sangre.</p> <p>8. La relación de UFC con PM<sub>10</sub> se confirmó en el medio agar chocolate, con una asociación directa como factor de riesgo para el transporte de microorganismos en el aire.</p>	

**Nota** Fuente: Rey I, & Fula YM. Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos patógenos en los bioaerosoles, en una zona de alta actividad Industrial y flujo vehicular de la localidad de Puente Aranda, en Bogotá DC [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2005.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.70.** Resumen del artículo Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda.

<b>Nombre documento:</b> Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda, Bogotá D.C. Colombia	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Blanco Becerra Luis Camilo; 2006
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> y microorganismos
<b>Objetivo:</b> Determinar la composición microbiológica del material particulado en la localidad de Puente Aranda	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se identificaron los siguientes grupos de microorganismos: <i>Serratia sp</i>, <i>Klebsiella sp</i>, <i>Yersinia sp</i>, <i>Pseudomonas sp</i>, <i>Escherichia coli</i>, <i>Shigella sp</i>, <i>Corynebacterium sp</i>, <i>Candida sp</i> y <i>Rhodoturula sp</i>, <i>Aspergillus flavus</i>, <i>Aspergillus niger</i>, <i>Penicillium sp</i>, <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Staphylococcus epidermidis</i>; sin identificar <i>Haemophilus influenzae</i> y <i>Streptococcus pneumoniae</i> que son los causantes más importantes de infecciones Respiratorias Agudas.</li> <li>El factor de riesgo al que se encuentra expuesta la población, especialmente los niños y ancianos, es alto, ya que factores como las elevadas concentraciones de PM<sub>10</sub>, que tienen como origen las fuentes fijas y móviles de la localidad y sus alrededores, sumadas a la prevalencia de un gran porcentaje de microorganismos considerados</li> </ul>	



como patógenos oportunistas, brinda condiciones óptimas para la ocurrencia de IRA en la población de la localidad.

**Nota** Fuente: Blanco LC. Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda, Bogotá DC, Colombia. Acta Nova;2006;3:257-284.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.71.** Resumen de la tesis Determinación y correlación del material particulado y gases con los principales microorganismos patógenos existentes en los ambientes intramural y extramural presentes en tres jardines infantiles ubicados en las localidades de Fontibón, Puente Aranda y Kennedy.

<b>Nombre documento:</b> Determinación y correlación del material particulado y gases con los principales microorganismos patógenos existentes en los ambientes intramural y extramural presentes en tres jardines infantiles ubicados en las localidades de Fontibón, Puente Aranda y Kennedy.	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Carreño Rodríguez Alejandra Carolina; Prieto Puentes Gloria Paola, 2008
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> y microorganismos
<b>Objetivo:</b> Determinar y correlacionar los principales microorganismos patógenos existentes en los ambientes intramurales y extramurales en tres jardines infantiles, ubicados en una zona de mayor exposición a material particulado y gases.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las bacterias más frecuentes durante el periodo de muestreo en las tres localidades de estudio fueron: <i>Pantoea agglomerans</i>, <i>Hafnia alvei</i>, <i>Bacillus polymixa</i>, <i>Staphylococcus aureus</i>, y <i>Staphylococcus xylosus</i>, mientras que los hongos más frecuentes identificados fueron: <i>Sepedonium sp.</i>, <i>Aspergillus fumigatus</i>, <i>Aspergillus flavus</i> y <i>Acremonium sp.</i></li> <li>En el aire interior se presentan concentraciones más altas que en ambientes exteriores, indicando una influencia del ambiente exterior hacia el interior, por la presencia de fuentes que a nivel interno, favorecen el aumento en las concentraciones tanto de contaminantes atmosféricos como de microorganismos.</li> <li>En la Localidad de Fontibón se observó que existe una relación con mayor frecuencia de la bacteria <i>Pantoea agglomerans</i> con la precipitación y concentraciones de PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>. En la Localidad de Kennedy se observó que existe una relación más significativa entre la bacteria <i>Hafnia alvei</i>, la precipitación, velocidad del viento, temperatura y la concentración de SO<sub>2</sub>. Finalmente en la Localidad de Puente Aranda se observa que existe una relación con mayor frecuencia entre la bacteria <i>Bacillus circulans</i>, la precipitación y la concentración de O<sub>3</sub>.</li> <li>Los resultados obtenidos en los tres puntos de muestreo en los ambientes intramural y extramural, permiten establecer que existe presencia en el aire bacterias responsables de enfermedades respiratorias, y que hay un número importante de patógenos oportunistas, tales como, <i>Staphylococcus aureus sb anaerobius</i>, <i>Pantoea agglomerans</i> y <i>Hafnia alvei</i>, que pueden causar infecciones en los ojos, piel, vías urinarias y articulaciones, cuando el organismo está inmunosuprimido y permite su desarrollo.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Carreño AC, & Prieto GP. Determinación y correlación del material particulado y gases con los principales microorganismos patógenos existentes en los ambientes intramural y extramural presentes en tres jardines infantiles ubicados en las localidades de Fontibón, Puente Aranda y Kennedy [Tesis]. Santa fe de Bogotá: Universidad de la Salle;2008.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.72.** Resumen de la tesis Determinación de las posibles relaciones entre trazas de metales pesados (Pb, Ni, Fe, Cr) encontrados en el material particulado PM<sub>10</sub>– PM<sub>2.5</sub> y las especies bacterianas presentes en el aire en las localidades de Tunjuelito, Kennedy y Puente Aranda.

**Nombre documento:** Determinación de las posibles relaciones entre trazas de metales pesados (Pb, Ni, Fe, Cr)



encontrados en el material particulado PM <sub>10</sub> – PM <sub>2.5</sub> y las especies bacterianas presentes en el aire en las localidades de Tunjuelito, Kennedy y Puente Aranda.	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Johana Patricia Acosta Roa, Kathleen Ivette Castañeda Parra; 2011
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Metales pesados (Pb, Ni, Fe, Cr) en el material particulado
<b>Objetivo:</b> Identificar las posibles relaciones entre trazas de metales pesados (Pb, Ni, Fe, Cr) encontrados en el material particulado PM <sub>10</sub> –PM <sub>2.5</sub> y las especies bacterianas presentes en el aire en las localidades de Tunjuelito, Kennedy y Puente Aranda.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la localidad de Puente Aranda, la mayor concentración de metales pesados corresponde a Hierro con valores entre 0.50-3.22 µg/m<sup>3</sup>, las concentraciones más bajas son para metales como el Plomo y Cromo, con concentraciones entre 0.01-0.10 µg/m<sup>3</sup>, para ambos casos. En Kennedy las mayores concentraciones se registraron de manera contraria a Puente Aranda para los metales Plomo, Cromo y Níquel con concentraciones medidas entre 0.07-2.15 µg/m<sup>3</sup> para Plomo, 0.17-2.96 µg/m<sup>3</sup> para Cromo y 0.02-1.92 µg/m<sup>3</sup> para Níquel. En la localidad de Tunjuelito se registraron concentraciones bajas y medias en los diferentes metales, comparadas con los resultados obtenidos en Puente Aranda y Kennedy; la concentración más alta corresponde a Hierro con valores comprendidos entre 0.18-0.73 µg/m<sup>3</sup>, en segundo lugar se presenta el Plomo con valores entre 0.01-0.14 µg/m<sup>3</sup>, en tercer puesto se encuentra el Cromo con valores comprendidos entre (0.01-0.07 µg/m<sup>3</sup> y finalmente el níquel con valores que van entre los 0.001-0.016 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• En la localidad de Puente Aranda la mayor frecuencia de aparición se dio por la especie <i>Corynebacterium spp</i>, seguida de los <i>Bacillus spp</i>; en Kennedy se identificó un microorganismo patógeno, <i>Haemophylus spp</i>, que causa enfermedades como otitis media aguda, sinusitis entre otras. La mayor frecuencia de aparición se dio por la especie <i>Staphylococcus spp</i> y en la Localidad del Tunal se identificó de igual manera un microorganismo patógeno el <i>Streptococcus a hemolítico</i>, causante de enfermedades como la neumonía y la sinusitis en los humanos.</li> <li>• El mayor grado de asociación entre los metales y las bacterias aisladas en agar sangre y chocolate está determinado en orden por: Hierro, Níquel y Cromo lo cual se refleja en los valores obtenidos de la prueba de Chi-cuadrado de Pearson con una correlación significativa con valores de (0.013, 0.012 y 0.010) respectivamente.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Acosta JP, & Castañeda KI. Determinación de las posibles relaciones entre trazas de metales pesados (Pb, Ni, Fe, Cr) encontrados en el material particulado PM<sub>10</sub> – PM<sub>2.5</sub> y las especies bacterianas presentes en el aire en las localidades de Tunjuelito, Kennedy y Puente Aranda [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle; 2011.

\*Adaptado por el autor.

A su vez se han identificado serias deficiencias en el entrenamiento del personal involucrado en los muestreos de chimenea, además de la falta de conocimiento particular de los equipos de medición de opacidad, entre otros aspectos, que promueven y contribuyen a la mala calidad del aire en la ciudad (Rojas, 2009); también se ha evaluado el uso de biogasolina y sus efectos en las concentraciones de contaminantes del aire, mostrando que no existe una relación directa entre el uso de la biogasolina y las concentraciones de los contaminantes criterio, pero si identificando cambios importantes en la presencia de formaldehído, que es un cancerígeno (Grajales, 2009). Finalmente y teniendo en cuenta que la contaminación atmosférica interactúa con variables socioeconómicas, se evidenció que localidades con menor estrato socioeconómico, sufren en mayor porcentaje los efectos de la contaminación del aire (Blanco, 2012).

**Tabla 4.73.** Resumen del artículo Evaluación de la medición de emisiones con fines regulatorios en Colombia: dos estudios de caso.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de la medición de emisiones con fines regulatorios en Colombia: dos estudios de caso.	
<b>Lugar:</b> Bogotá.	<b>Autor/año:</b> Néstor Y. Rojas, Freddy Abel Vargas, Andrés Mauricio Rodríguez. 2009
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Emisiones Contaminantes
<b>Objetivo:</b> Evaluar los métodos de medición de emisiones de contaminantes del aire requeridos con fines regulatorios por el IDEAM y las autoridades ambientales en Colombia, en particular el muestreo de emisiones de material particulado en chimeneas y la medición de opacidad en tubos de escape de motores diesel.	
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se detectaron deficiencias serias de entrenamiento del personal involucrado en los muestreos de chimenea, lo cual implica la necesidad de implantar un esquema de entrenamiento y certificación. Por otro lado existe una falta de conocimiento particular de los equipos de medición de opacidad y sobre cómo cumplir la norma técnica aplicable, esto indica que se necesita establecer un mejor procedimiento técnico de acreditación para los equipos de medición de opacidad en tubos de escape de motores diésel.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Rojas NY, Abel F, & Rodríguez AM. Evaluación de la medición de emisiones con fines regulatorios en Colombia: dos estudios de caso. Dossier Ingeniera y medio ambiente;2009;30:112-121.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.74.** Resumen de la tesis Análisis preliminar de la relación entre el uso de la biogasolina y su impacto en las emisiones de los principales gases deteriorantes de la calidad del aire bogotano.

<b>Nombre documento:</b> Análisis preliminar de la relación entre el uso de la biogasolina y su impacto en las emisiones de los principales gases deteriorantes de la calidad del aire bogotano.	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Grajales Campos Diego Alexander, 2009
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Contaminantes criterio del aire
<b>Objetivo:</b> Establecer la relación entre el uso de la biogasolina en Bogotá y su impacto en la calidad del aire.	
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bogotá ha aumentado el parque automotor de vehículos a gasolina en una tasa del 13 % anual, desde el año 2001 hasta el 2008, con la consecuente demanda de la misma cantidad de combustible. Esta tendencia ha contribuido a que los niveles de concentración, de los contaminantes estudiados, presenten tendencias similares a lo largo del tiempo analizado. Situaciones como el aumento del precio de la gasolina y la concientización ambiental han conducido a que la población opte por otro tipo de combustibles alternativos como el gas natural vehicular (GNV).</li> <li>No se encontró un aumento en la concentración de contaminantes como el NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, por el uso de biogasolina.</li> <li>Las concentraciones de monóxido de carbono durante el periodo analizado no presentan ningún tipo de problema sobre la calidad del aire de Bogotá, ya que éstas en promedio fluctuaron entre los 0.5 ppm y 1.5 ppm.</li> <li>No se encontró alguna relación directa entre el uso de la biogasolina y las concentraciones de los contaminantes criterio, pero si se lograron identificar cambios en los COV (principalmente el formaldehído) que pueden afectar la salud de los bogotanos.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Grajales DA. Análisis preliminar de la relación entre el uso de la biogasolina y su impacto en las emisiones de los principales gases deteriorantes de la calidad del aire bogotano [Tesis]. Bogotá: Universidad El Bosque;2009.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.75.** Resumen del artículo Efecto del Nivel Socioeconómico (SES) sobre la asociación contaminación atmosférica y mortalidad en Bogotá.

<b>Nombre documento:</b> Efecto del Nivel Socioeconómico (SES) sobre la asociación contaminación atmosférica y mortalidad en Bogotá, Colombia	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Luis Camilo Blanco Becerra, Víctor Miranda Soberanis, Albino Barraza Villarreal, Washington Junger, Isabelle Romieu
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Evaluar la modificación del efecto del nivel socioeconómico (SES) sobre la asociación entre la exposición aguda a partículas menores de 10 micras de diámetro aerodinámico (PM <sub>10</sub> ) y la mortalidad en Bogotá, Colombia.	
<b>Resultados:</b> En todas las edades, el porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad por todas las causas fue 0.76% (IC95%:0.27%, 1.26%) en el SESI (Bajo), 0.58% (IC95%:0.16%, 1.00%) en el SESII (Medio) y -0.29% (IC95%:-1.16%, 0.57%) en el SESIII (Alto), por incremento de 10 µg/m <sup>3</sup> en el promedio diario de PM <sub>10</sub> , en el día del deceso.	

**Nota** Fuente: Blanco LC, Miranda V, Barraza A, et al. Efecto del Nivel Socioeconómico (SES) sobre la asociación contaminación atmosférica y mortalidad en Bogotá, Colombia. Salud Pública de México. (Manuscrito aceptado para publicación);2012a.

\*Adaptado por el autor.

El impacto de la contaminación atmosférica en la salud de la población de Bogotá, ha sido abordado ampliamente mediante estudios epidemiológicos, en grupos vulnerables como los menores de edad, los mayores de 65 años y mujeres embarazadas, además de cuantificar los efectos en actividades laborales como la recuperación de plomo de baterías o la práctica de actividades deportivas en las ciclorutas de la ciudad. Entre los hallazgos más relevantes podemos citar:

- Las altas concentraciones de PM<sub>10</sub> en la Localidad de Puente Aranda, no tienen un efecto considerable en la salud, aunque facilitan la presencia de problemas respiratorios por niveles de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> (Aristizabal, 1997).
- Una reducción de la concentración de PM<sub>10</sub> en 10 µg/m<sup>3</sup> produciría una disminución de las consultas respiratorias en un 17%, en niños menores de 14 años (Solarte, 1999).
- Se encontró una relación positiva y significativa entre las emisiones y la morbilidad diaria, no superando el 0,007% en el número de casos reportados de enfermos ante el aumento de una unidad de PM<sub>10</sub> (Torres, 2002).
- Al disminuir la concentración de partículas en un 50% para el año de 1998, se presentaría una reducción en el costo diario entre 127.000 a 194.000 dólares (Lozano, 2004).
- Un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en los niveles de PM<sub>10</sub> ocasionaría un incremento del 4% (RR 1,04) en las consultas por Enfermedad Respiratoria Aguda, con un retraso de seis días, en menores de 5 años (Arciniegas, 2006).
- En investigación realizada durante el 2007 por la Universidad de la Salle en la localidad de Puente Aranda, se registraron concentraciones promedio diarias intramurales de PM<sub>10</sub> en el rango de 6 a 108 µg/m<sup>3</sup>, mientras los valores extramurales se ubicaron entre los 8 y 109

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El jardín identificado como de menor exposición a  $\text{PM}_{10}$  exhibió un promedio diario en ambiente intramural mayor ( $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), comparado con el registrado en ambiente extramural ( $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); el jardín identificado como de mayor exposición a  $\text{PM}_{10}$  presentó un promedio diario en ambiente intramural menor ( $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), comparado con el registrado en ambiente extramural ( $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Además se caracterizaron los elementos presentes dentro del  $\text{PM}_{10}$ , encontrando Sílice y Calcio, en concentraciones promedio diarias que van desde los 4,29 a  $11,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras para metales como Hierro, Cromo y Plomo, los valores se ubicaron entre los 0,17 a  $0,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El Vanadio presentó concentraciones entre los 2,48 a  $4,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , excediendo el valor promedio diario máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud ( $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Finalmente en el contexto de salud, se estimó mediante Modelo de Regresión de Poisson en la localidad de Fontibón, que un aumento en 1 ppb del promedio diario de Ozono en la localidad se vería reflejada en el incremento del número de casos por enfermedad respiratoria (ER) entre el 15% y 144%. De forma análoga el aumento en 1 ppb de  $\text{NO}_2$ , incrementa entre 0% y 109% los casos por ER y el aumento en un  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  tendría un incremento entre 1% y 15% de casos ERA. En la localidad de Puente Aranda, un incremento de 1 ppb del promedio diario de  $\text{NO}_2$  con 0 días de latencia, tiene un aumento entre 0% y 4% de casos de ERA; asimismo el incremento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que exceda el Nivel bueno de  $\text{PM}_{10}$  establecido por la SDA, en 6 días de latencia tiene un aumento entre 0% y 1% de casos de ERA (ULS, 2008).

- La contaminación ambiental se manifiesta en forma cíclica durante el año, afectando la Enfermedad Respiratoria Aguda en la mujer embarazada (Onatra, 2009).
- Resultados de la evaluación viso-motora en niños de colegios de Fontibón, Kennedy y Puente Aranda, en zonas expuestas a altos niveles de contaminación con plomo y mercurio en el aire, muestran una tendencia por debajo del promedio, en el puntaje del test Beery VMI (Numpaque, 2010).
- Un estudio desarrollado con policías que cumplían funciones operativas y administrativas, evidenció que el diagnóstico de alteración respiratoria baja [58,7% vs. 48,5%; OR=1,5 (IC95%:0,97-2,3)] y alta [(79,7% vs. 72,2%;OR=1.51 (IC95%:0,91-2,48)] fue más prevalente en el grupo operativo. Los niveles promedio de  $\text{PM}_{10}$  fueron mayores en el grupo operativo ( $139,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) respecto al administrativo ( $86,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Estévez, 2010).
- Por un incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el promedio diario de  $\text{PM}_{10}$ , el riesgo acumulado en la mortalidad por causa respiratoria aumenta 1.43% (IC95%: 0.85%, 2.00%), tomando un retraso de 3 días anteriores al deceso (Blanco, 2012b).
- Los ciclistas que utilizan las ciclorutas de Bogotá activamente, pueden inhalar una dosis de entre 45% y 64% veces más alta de  $\text{PM}_{10}$ , que aquella a la que se expondría en espacios intramuros (Fajardo, 2012).

- Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá:** En términos generales, frente a la carga de enfermedad, la implementación del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá, mediante el cumplimiento de la norma anual de PM<sub>10</sub> de 50 µg/m<sup>3</sup> para el año 2020, conlleva una reducción en la morbilidad cercana al 32%; una disminución en la mortalidad infantil del orden del 40% y una reducción del 28% en la mortalidad en adultos mayores de 30 años. Según estos resultados la población infantil (menores de 5 años) recibe beneficios muy importantes en salud por la disminución de los niveles de PM<sub>10</sub> en la ciudad. Para el logro de estos resultados, los costos de las medidas ascienden a 1.7 billones de pesos, mientras que los beneficios en referencia son equivalentes a 16 billones de pesos. De esta manera, puede establecerse que por cada peso que se invierta en proyectos para lograr la descontaminación del aire, se logran beneficios económicos de alrededor de 9 pesos (SDA, 2010).
- Se evaluó el costo beneficio en salud de la adopción del estándar EURO IV como la norma de emisiones en Colombia para vehículos de carga pesada en contraste con la condición en la que se mantuviera la norma EPA 1998 o EURO II; se concluyó que la eventual adopción del estándar EURO IV como la norma de emisiones en Colombia para vehículos de carga pesada en contraste con la condición en la que se mantuviera la norma vigente, representaría beneficios en salud cercanos a los 2 billones de pesos. Esto como consecuencia de evitar cerca de 2,000 muertes asociadas a la exposición de la población a las emisiones de PM en los centros urbanos. En la condición en que la norma adoptada permitiese al dueño del vehículo registrarse por el estándar EPA 2004 o el estándar EURO IV, los beneficios en salud serían del orden de 1.6 billones de pesos como resultado de evitar cerca de 1,500 muertes (UNIANDÉS, 2013).

Los resúmenes de las investigaciones citadas anteriormente, se presentan a continuación:

**Tabla 4.76.** Resumen de la investigación Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda.

<b>Nombre documento:</b> Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Aristizabal Gustavo; 1997
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub>
<b>Objetivo:</b> Establecer los efectos de la contaminación del aire en la población infantil de la localidad de Puente Aranda	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>La concentración de PM<sub>10</sub> promedio en la zona es alta (98,96 µg/m<sup>3</sup>) por encima de la norma de la OMS y la EPA de 50 µg/m<sup>3</sup> para un año, con un máximo de 150 µg/m<sup>3</sup> para 24 horas una vez al año, mientras que en el estudio se encontró un máximo de 456,79 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>La concentración de PM<sub>10</sub> se asoció con las tasas de tos, sin que se observara relación dosis-efecto. Las altas concentraciones de PM<sub>10</sub> no tienen un efecto considerable en la salud, aunque facilita la presencia de problemas respiratorios por niveles de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Estudio de cohorte tomando como población a los niños menores de cinco años que vivían en un perímetro de doce cuadras a la redonda del UPA (Unidad Primaria de Atención) de Puente Aranda y además que asistían a instituciones educativas ubicadas dentro del mismo sector.	

**Nota** Fuente: Aristizabal G. Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda [Tesis]. Santa fe de Bogotá: Universidad del Bosque, 1997.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.77.** Resumen de la investigación Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños en Bogotá

<b>Nombre documento:</b> Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños en Bogotá	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Solarte R. Iván; Caicedo Verastegui Mónica; Restrepo Palacios Sonia; 1999
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar la asociación entre las fluctuaciones en la concentración de PM <sub>10</sub> y la morbilidad por enfermedad respiratoria en menores de 14 años.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El promedio de PM<sub>10</sub> para el período de estudio superó los límites de la norma establecidas por la EPA de 50 µg/m<sup>3</sup> (Venecia 61.30 µg/m<sup>3</sup> y Engativá 63.74 µg/m<sup>3</sup>); en varios días se presentaron valores superiores a 150 µg/m<sup>3</sup> en las dos zonas de estudio.</li> <li>Se encontró una asociación de las concentraciones de PM<sub>10</sub> y la presencia de síntomas en niños asmáticos y no asmáticos; esta asociación se da cuando se tiene en cuenta el día concurrente y los 5 días precedentes.</li> <li>Una reducción de la concentración de PM<sub>10</sub> en 10 µg/m<sup>3</sup> produciría una disminución de las consultas respiratorias en un 17% en niños menores de 14 años.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Solarte I, Caicedo M, & Restrepo S. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños en Bogotá, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 1999.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.78.** Resumen de la investigación Análisis de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica en Bogotá

<b>Nombre documento:</b> Análisis de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica en Bogotá	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Torres Mora Julio Emilio, 2002
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> y SO <sub>2</sub>
<b>Objetivo:</b> Establecer la relación existente entre la morbilidad y los contaminantes del aire, estableciendo los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre las enfermedades cardiovasculares y respiratorias en ocho localidades de Bogotá.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se encontró una relación positiva y significativa entre las emisiones y la morbilidad diaria, no superando el 0,007% y el 0,027% en el número de casos reportados de enfermos ante el aumento de una unidad de cada contaminante, PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub>, respectivamente. Las poblaciones se ven más afectadas en los rangos de edad de 0 a 5 años y de 6 a 18 años.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Torres JE. Análisis de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica en Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad de los Andes; 2002.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.79.** Abstract of article Air Pollution in Bogotá, Colombia: A Concentration-Response Approach.

<b>Nombre documento:</b> Air Pollution in Bogotá, Colombia: A Concentration-Response Approach	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Lozano Nancy, 2004
<b>Tipo documento:</b> Artículo revista	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub>
<b>Objetivo:</b> Establecer una función de concentración-respuesta que defina la relación entre admisiones hospitalarias diarias por enfermedades respiratorias y los tres principales contaminantes en Bogotá para el año de 1998.	



**Resultados:**

- Para el caso de PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub>, los coeficientes muestranser altamente significativos, lo que confirma la fuerte relación entre la contaminación del aire y la morbilidad humana. Por otro lado, para el O<sub>3</sub> el coeficiente no fue significativo.
- Las personas mayores parecen verse más afectados por los cambios en las concentraciones de PM<sub>10</sub>, mientras que las cohortes más jóvenes parecen sufrir más de los aumentos en el NO<sub>2</sub>.
- Al disminuir la concentración de partículas en un 50% para el año de 1998, se presentaría una reducción en el costo diario entre 127.000 a 194.000 dólares. En un año, se ahorrarían 46 millones de dólares, los cuales representan el 18% del presupuesto de la Secretaría de Salud de Bogotá en el año 2004.

**Nota** Fuente: Lozano N. Air Pollution in Bogotá, Colombia: A Concentration-Response Approach. Desarrollo y sociedad;2004;54:133-177.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.80.** Resumen del artículo Estudio de la morbilidad en niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá.

<b>Nombre documento:</b> Estudio de la morbilidad en niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá.	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Arciniegas Ángela; Rodríguez Carolina; Pachón Jorge; Sarmiento Hugo; Hernández Luis Jorge; 2006
<b>Tipo documento:</b> Artículo revista	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar la relación entre la morbilidad en los niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda (ERA) y la concentración de PM <sub>10</sub> en la localidad Puente Aranda en Bogotá.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al realizar la correlación lineal entre los niveles de PM<sub>10</sub> y el número de consultas, se observó correlación para un periodo de latencia de 6 días, para la concentración diaria de PM<sub>10</sub> medido en valores absolutos y medias móviles. Así mismo, cuando las concentraciones se encuentran en un intervalo de 55 a 154 µg/m<sup>3</sup> se observa el mismo fenómeno.</li> <li>• Al aplicar la técnica de regresión Poisson, se evidenció una asociación positiva significativa entre los niveles de PM<sub>10</sub> y el número de consultas por ERA para el periodo de latencia de seis días. Se observó que un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en los niveles de PM<sub>10</sub> ocasionaría un incremento del 4% (RR 1,04) en las consultas por ERA, con un retraso de seis días en menores de 5 años.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Se utilizó un modelo lineal generalizado (Regresión de Poisson), adicional a lo cual se analizó la relación entre factores meteorológicos (temperatura, precipitación y velocidad del viento) y material particulado por medio de una regresión lineal múltiple.	

**Nota** Fuente: Arciniegas A, Rodríguez C, & Pachón J. Estudio de la morbilidad en niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá; Acta Nova;2006;3:145-154.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.81.** Resumen de la investigación Evaluación de la contaminación por material particulado menor a 10 µm a nivel extradomiciliario, intradomiciliario y la exposición personal al mismo contaminante, proyecto piloto en las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de la contaminación por material particulado menor a 10 µm a nivel extradomiciliario, intradomiciliario y la exposición personal al mismo contaminante, proyecto piloto en las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón (CONTRATO 2062578 MAVDT).	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C.	<b>Autor/año:</b> Universidad de la Salle, 2008
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub>
<b>Objetivo:</b> Establecer la asociación entre contaminantes atmosféricos (PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub> ) y enfermedad respiratoria en	



niños menores de 5 años en las localidades de Kennedy, Fontibón y Puente Aranda de la ciudad de Bogotá D.C.

**Resultados:**

- Las concentraciones registradas en el Jardín Antonio Nariño de la Localidad de Puente Aranda (Mayor exposición), con los equipos Low-Vol para PM<sub>10</sub> en ambientes intra y extramurales, muestran que durante los meses de Julio a diciembre de 2007, el 75% de los días las concentraciones intramurales se ubicaron entre los 12 y 108 µg/m<sup>3</sup> y en condiciones extramurales entre 16 y 109 µg/m<sup>3</sup>. La media diaria en condiciones intramurales fue de 85 µg/m<sup>3</sup>, mientras la media para condiciones extramurales fue de 91 µg/m<sup>3</sup>. El promedio máximo diario intramural fue de 268 µg/m<sup>3</sup> y el máximo extramural fue de 377 µg/m<sup>3</sup>, valores que exceden el valor máximo diario permisible establecido en la Resolución 601 de 2006 (150 µg/m<sup>3</sup>).
- En el Jardín Tamborcito Encantado de la Localidad de Puente Aranda (Menor exposición), con los equipos Low-Vol para PM<sub>10</sub> en ambientes intra y extramurales, los valores durante los meses de Julio a diciembre de 2007, muestran que el 75% de los días las concentraciones intramurales se ubicaron entre los 6 y 79 µg/m<sup>3</sup> y en condiciones extramurales entre 8 y 71 µg/m<sup>3</sup>. La media diaria en condiciones intramurales fue de 62 µg/m<sup>3</sup>, mientras la media para condiciones extramurales fue de 52 µg/m<sup>3</sup>. El promedio máximo diario intramural fue de 136 µg/m<sup>3</sup> y el máximo extramural fue de 121 µg/m<sup>3</sup>, valores que no exceden el valor máximo diario permisible establecido en la Resolución 601 de 2006 (150 µg/m<sup>3</sup>).
- Al caracterizar el PM<sub>10</sub> en el Jardín Antonio Nariño se registraron las siguientes concentraciones promedio diarias de los siguientes elementos, en ambientes extra e intramurales, respectivamente: Sílice (10,73 y 11,48 µg/m<sup>3</sup>); Calcio (8,99 y 7,93 µg/m<sup>3</sup>), Vanadio (4,81 y 4,07 µg/m<sup>3</sup>) los cuales exceden el valor promedio diario máximo permisible establecido por la OMS (1 µg/m<sup>3</sup>), Hierro (0,61 y 0,52 µg/m<sup>3</sup>), Cromo (0,52 y 0,56 µg/m<sup>3</sup>) y Plomo (0,26 y 0,31 µg/m<sup>3</sup>) los cuales no excede el valor promedio diario máximo permisible establecido por la Resolución 601 de 2006 (1,5 µg/m<sup>3</sup>). Los elementos identificados en su gran mayoría son producidos por la resuspensión de polvo debida al mal estado vial alrededor del jardín y otros por el proceso de combustión derivado de las fuentes móviles que transitan por el lugar.
- Se encontraron las siguientes concentraciones promedio diarias de los siguientes elementos, dentro del PM<sub>10</sub> en el Jardín Tamborcito Encantado, en ambientes extra e intramurales, respectivamente: Sílice (7,44 y 9,96 µg/m<sup>3</sup>); Calcio (4,29 y 6,05 µg/m<sup>3</sup>), Vanadio (2,48 y 3,76 µg/m<sup>3</sup>) los cuales exceden el valor promedio diario máximo permisible establecido por la OMS (1 µg/m<sup>3</sup>), Hierro (0,35 y 0,30 µg/m<sup>3</sup>), Cromo (0,38 y 0,42 µg/m<sup>3</sup>) y Plomo (0,17 y 0,35 µg/m<sup>3</sup>). Los elementos identificados en su gran mayoría son producidos por la resuspensión de polvo debida al mal estado vial alrededor del jardín y la cercanía del parque ciudad montes; otros por el proceso de combustión derivado de las fuentes móviles que transitan por el lugar.
- En cuanto a las concentraciones de Carbono Orgánico (CO), en el jardín Antonio Nariño, se registró una media de los datos de 2,59 µg/m<sup>3</sup> en el exterior y 2,46 µg/m<sup>3</sup> para el ambiente interno. Las concentraciones en el jardín infantil Tamborcito Encantado presentaron valores de 2,54 µg/m<sup>3</sup> en el exterior y 1,85 µg/m<sup>3</sup> para el interior de la instalación. Por los valores mencionados se puede concluir que las concentraciones presentadas en los ambientes extramurales fueron mayores en los dos jardines con respecto a las concentraciones determinadas en los ambientes intramurales.
- Para el Carbono Elemental (CE), en el Jardín Antonio Nariño se registró una concentración media de 0,38 µg/m<sup>3</sup> en el exterior y 0,26 µg/m<sup>3</sup> para el ambiente intramural, mientras en el jardín Tamborcito Encantado se presentaron valores de 0,62 µg/m<sup>3</sup> en el exterior y 0,23 µg/m<sup>3</sup> en el interior de la instalación. Por los valores encontrados se puede concluir que las concentraciones en los ambientes extramurales fueron mayores en los dos jardines con respecto a las concentraciones encontradas en los ambientes intramurales.
- Existen asociaciones positivas entre las consultas de ERA en Fontibón con las concentraciones máximas de PM<sub>10</sub>, promedio de NO<sub>2</sub> con latencia de 6 días y las concentraciones promedio de 8 horas de O<sub>3</sub> en latencia de 8 días.
- Existen asociaciones positivas entre las consultas de ERA en Puente Aranda con las concentraciones que exceden el Nivel Bueno adoptado por la SDA de PM<sub>10</sub> (0 – 54 µg/m<sup>3</sup>) con latencia de 6 días y las concentraciones promedio de NO<sub>2</sub> con latencia de 0 días.
- La población del Jardín La Giralda (Fontibón), presentó como principales factores de riesgo relacionados con morbilidad sentida de Enfermedad Respiratoria (ER) en los niños menores de 5 años, la desnutrición o malnutrición, la existencia de fábricas o negocios a menos de una cuadra, la presencia de animales domésticos en la vivienda y antecedentes de ER.
- En el Jardín Infantil Rafael Pombo (Puente Aranda), los principales factores de riesgo relacionados con

morbilidad sentida de ER en los niños menores de 5 años son: exposición durante los dos primeros años de vida del niño al humo del cigarrillo, funcionamiento dentro de la casa de fábricas o negocios y antecedentes de ER.

- El análisis de la relación entre la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB) y las mediciones próximas a la zona de estudio en Puente Aranda, presentaron correlaciones entre las concentraciones de  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$  de la RMCAB y Unidad Medición Móvil de Calidad del Aire (UMMCA) con una significancia del 99% de confianza, igualmente se presenta correlación significativa del 99% de confianza para las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  de la RMCAB y el muestreador OMNI- $\text{PM}_{10}$  en la localidad de Puente Aranda.
- El factor meteorológico de mayor influencia sobre las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{O}_3$  en la localidad de Fontibón es la velocidad del viento con una relación inversa, ya que un aumento en una unidad (m/s) de este factor aumenta la concentración de  $\text{PM}_{10}$  en  $6.096 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $\text{O}_3$  en 2.163 ppb.
- El factor meteorológico de mayor influencia sobre las concentraciones de Material Particulado, Ozono y Dióxido de Nitrógeno en Puente Aranda es la velocidad del viento con una relación inversa, ya que un aumento de 1 m/s de velocidad del viento, disminuye la concentración de  $\text{PM}_{10}$  en  $26.822 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , de  $\text{O}_3$  en 2.652 ppb y de  $\text{NO}_2$  5.013 ppb.
- En el periodo de estudio se encontró en la localidad de Puente Aranda excedencias diarias de la Resolución 601 de 2006 para  $\text{PM}_{10}$  en 8% ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y horarias para  $\text{O}_3$  en 3% de los días (41 ppb); así mismo se excedió el Nivel Bueno de  $\text{PM}_{10}$  adoptado por la SDA en 91%.
- Durante el periodo de estudio en la localidad de Fontibón, el Nivel Bueno (SDA) fue excedido por  $\text{PM}_{10}$  en 95% de los días; con referencia a la Resolución 601 de 2006, no se observó para ninguno de los contaminantes, excedencia de la norma.
- Según los resultados del Modelo de Regresión de Poisson en Fontibón, el aumento en 1 ppb del promedio diario de Ozono en la localidad se vería reflejada en el incremento del número de casos por ER entre el 15% y 144%. De forma análoga el aumento en 1 ppb de Dióxido de Nitrógeno, incrementa entre 0% y 109% los casos por ER y el aumento en un  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  tendría un incremento entre 1% y 15% de casos ERA, evidenciando un riesgo de presentar ER en la población menor de 5 años, por las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{NO}_2$ .
- De acuerdo con los resultados obtenidos en el Modelo de Regresión de Poisson en Puente Aranda, un incremento de 1 ppb del promedio diario de Dióxido de Nitrógeno con 0 días de latencia, tiene un aumento entre 0% y 4% de casos de ERA; asimismo el incremento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que exceda el Nivel bueno establecido por la SDA, en 6 días de latencia tiene un aumento entre 0% y 1% de casos de ERA.
- El Nivel Bueno adoptado por la SDA para  $\text{PM}_{10}$  ( $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) como indicador de protección de la salud pública es coherente en relación con los resultados obtenidos, ya que el incremento en un  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del Nivel Bueno, puede no causar casos de ERA o aumentar hasta en un 0.69% dichos casos.
- El mapa de riesgo de  $\text{PM}_{10}$  mostró que los niños menores de 5 años, que viven en la zona sur de Fontibón se encuentran expuestos a altas concentraciones ( $137,76$  y  $150,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En Puente Aranda los niños que presentaron ERA están expuestos a concentraciones entre  $150,53$  y  $163,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que exceden el Nivel Bueno de calidad de aire, lo que demuestra que esta población tiene un mayor riesgo de adquirir ERA.
- El mapa de riesgo de  $\text{O}_3$  evidenció que la mayoría de los niños menores de 5 años se encuentran expuestos a concentraciones en Fontibón entre 49,05 ppb y 52,54 ppb, lo que demuestra que la población residente de esta localidad menor a 5 años tiene un mayor riesgo de adquirir ERA.
- El mapa de riesgo de  $\text{NO}_2$  indica que la zona más expuesta a este contaminante, en la localidad de Fontibón es la parte Sureste, donde se presentaron concentraciones entre 32,97 y 43,13 ppb; en cuanto a Puente Aranda, se aprecia que la parte norte de la localidad se encuentra expuesta a concentraciones de  $\text{NO}_2$  entre 37,30 y 39,78 ppb, esto demuestra que la población menor a 5 años que viven en estas zonas presentan un alto riesgo de adquirir ERA.

**Nota** Fuente: [UNISALLE] Universidad de la Salle. Evaluación de la contaminación por material particulado menor a  $10 \mu\text{m}$  a nivel extradomiciliario, intradomiciliario y la exposición personal al mismo contaminante, proyecto piloto en las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón. Investigación. Bogotá DC: UNISALLE;2008.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.82.** Resumen del artículo Correlación entre la enfermedad respiratoria aguda (ERA) en mujeres embarazadas y la calidad del aire.

<b>Nombre documento:</b> Correlación entre la enfermedad respiratoria aguda (ERA) en mujeres embarazadas y la calidad del aire	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Onatra William; Vargas Sandra; Páez Eduardo; Rojas Diana; López Angélica; 2009
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub> y SO <sub>2</sub>
<b>Objetivo:</b> Describir si existe relación entre las mediciones de gases en la estación Corpas de monitoreo, localizada en Suba y la frecuencia de enfermedad pulmonar en mujeres embarazadas quienes consultaron al Hospital de esta localidad, durante el 2005.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>La contaminación ambiental se manifiesta en forma cíclica durante el año, afectando la ERA en la mujer embarazada, existiendo una correlación significativa entre PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> y asma no específica y la Dirección del Viento y los estados gripales.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Estudio descriptivo de corte transversal de correlación entre los registros de gases en la estación Corpas de la Localidad de Suba y la frecuencia de las cinco primeras causas de enfermedad respiratoria en mujeres embarazadas.	

**Nota** Fuente: Onatra W, Vargas S, Páez E, Rojas D, & López A. Correlación entre la enfermedad respiratoria aguda (ERA) en mujeres embarazadas y la calidad del aire. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica;2009;12:27-37.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.83.** Resumen de la tesis Exposición laboral a contaminación atmosférica: material particulado y efectos respiratorios en la salud de policías de tránsito de Bogotá.

<b>Nombre documento:</b> Exposición laboral a contaminación atmosférica: material particulado y efectos respiratorios en la salud de policías de tránsito de Bogotá, Colombia 2008-2009	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C	<b>Autor/año:</b> Estévez García Jesús Alejandro, 2010
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar la prevalencia de efectos respiratorios en policías de tránsito de Bogotá expuestos ocupacionalmente al MP <sub>10</sub> durante el periodo de estudio.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El reporte de síntomas respiratorios mostró mayor prevalencia de tos [18,6% vs 6,2%; OR 3,5(1,5-8,2)], expectoración [19,9% vs 8,2%;OR 2,8(1,3-5,9)] y rinosinusitis [(59,1% vs. 55,7%;OR 1,2(0,7-1,8)] en el grupo operativo. Al examen médico, el grupo operativo presentó mayor prevalencia de signos irritación nasal [62,3% vs. 30,9%; OR 3,7(2,3-5,9)] respecto a los administrativos.</li> <li>En las pruebas de función pulmonar, no se encontraron diferencias. El patrón obstructivo fue el más prevalente y la presencia de hiperreactividad bronquial fue similar en los grupos de estudio. El diagnóstico de alteración respiratoria baja (58,7%vs.48,5%; OR 1,5 (0,97-2,3)) y alta (79,7%vs.72,2%; OR 1,51 (0,91-2,48)) fue más prevalente en el grupo operativo. Los niveles promedio de MP<sub>10</sub> fueron mayores en el grupo operativo (139,4 µg/m<sup>3</sup>) respecto al administrativo (86,03 µg/m<sup>3</sup>).</li> <li>La exposición laboral al MP<sub>10</sub> en policías de tránsito se constituye un importante factor de riesgo para el desarrollo de síntomas y signos respiratorios. Los valores promedio de MP<sub>10</sub> en los grupos de estudio, no excedieron los límites permisibles para ambientes laborales.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> 574 policías, 477 con funciones operativas (grupo expuesto) y 97 con funciones administrativas (grupo no expuesto) que laboran en el área metropolitana. Se utilizaron cuestionarios de síntomas respiratorios, examen clínico toxicológico, espirometría y monitoreo personal al MP <sub>10</sub> .	

**Nota** Fuente: Estévez JA. Exposición laboral a contaminación atmosférica: material particulado y efectos respiratorios en la salud de policías de tránsito de Bogotá, Colombia 2008-2009 [Tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia;2010.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.84.** Resumen de la tesis Diferencias significativas en el estado viso-motor y viso-perceptual en niños de 10 a 15 años expuestos o no expuestos a plomo y mercurio en aire en tres localidades de Bogotá.

<b>Nombre documento:</b> Diferencias significativas en el estado viso-motor y viso-perceptual en niños de 10 a 15 años expuestos o no expuestos a plomo y mercurio en aire en tres localidades de Bogotá.	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Numpaque Góngora Johanna, 2010
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Plomo y Mercurio en el aire
<b>Objetivo:</b> Determinar si existen diferencias significativas en el estado viso-motor y viso-perceptual en niños entre 10 y 15 años expuestos o no a plomo y mercurio en tres localidades de Bogotá.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existen diferencias estadísticamente significativas en el estado viso-motor y viso-perceptual en niños entre 10 y 15 años expuestos a altos niveles de contaminación en ambiente, con relación a los niños no expuestos.</li> <li>• Los resultados de la evaluación viso-motora en los colegios, en las zonas expuestas al factor de riesgo, demostraron una tendencia en el puntaje del test empleado, Beery VMI, por debajo del promedio y en una proporción menor de casos sobre el promedio, lo que puede atribuirse a diferentes factores, entre ellos que estos pacientes están expuestos a altos niveles de contaminación con plomo y mercurio en aire.</li> <li>• Se evidenció que los niños pertenecientes a las localidades de Fontibón y Puente Aranda, de bajo nivel socio-económico (estratos 1 y 2) mostraron alteraciones en un 53% (46/86), es decir se encontraron por debajo del promedio, mientras que los pertenecientes a alto nivel socio-económico (estratos 4 y 5), localidad de Usaquén, presentaron alteraciones en menor proporción, el 28% (9/32) se encontraron debajo del promedio. La diferencia en los resultados del Test de integración viso-motora, entre los niños de los dos grupos, puede deberse a las condiciones asociadas al factor socio-económico, evidenciando que las personas que viven en zonas de bajo nivel socioeconómico y/o marginales de Bogotá, presentan alteraciones en el neuro-desarrollo, lo que puede afectar las habilidades viso-motoras como se presentó en los pacientes de las localidades de Fontibón y Puente Aranda.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Numpaque J. Diferencias significativas en el estado viso-motor y viso-perceptual en niños de 10 a 15 años expuestos o no expuestos a plomo y mercurio en aire en tres localidades de Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2010.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.85.** Resumen del artículo Efecto del material particulado menor a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) sobre la mortalidad en Bogotá, Colombia: un análisis de series de tiempo 1998 – 2006.

<b>Nombre documento:</b> Efecto del material particulado menor a 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{PM}_{10}$ ) sobre la mortalidad en Bogotá, Colombia: un análisis de series de tiempo 1998 – 2006	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Luis Camilo Blanco Becerra, Víctor Miranda Soberanis, Leticia Hernández Cadena, Albino Barraza Villarreal, Washington Junger, Magali Hurtado Díaz, Isabelle Romieu; 2012
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> $\text{PM}_{10}$
<b>Objetivo:</b> Analizar la asociación entre la mortalidad diaria debida a distintas causas y la exposición aguda a partículas menores de 10 micras de diámetro aerodinámico ( $\text{PM}_{10}$ ), en Bogotá, Colombia.	
<b>Resultados:</b> En todas las edades, el riesgo acumulado en la mortalidad aguda por todas las causas y causa respiratoria aumentó 0.71% (IC95%: 0.46%, 0.96%) y 1.43% (IC95%: 0.85%, 2.00%), respectivamente, por incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el promedio diario de $\text{PM}_{10}$ , tomando un retraso de 3 días anteriores al deceso, mientras el riesgo acumulado en la mortalidad por causa cardiovascular fue de -0.03% (IC95%: -0.49%, 0.44%), para el mismo retraso.	

**Nota** Fuente: Blanco LC, Miranda V, Hernández L, et al. Efecto del material particulado menor a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) sobre la mortalidad en Bogotá, Colombia: un análisis de series de tiempo 1998 – 2006. Salud Pública México. (Manuscrito aceptado para publicación);2012b.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.86.** Abstract of article Particulate matter exposure of bicycle path users in a high-altitude city.

<b>Nombre documento:</b> Particulate matter exposure of bicycle path users in a high-altitude city.	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Oscar A. Fajardo, Néstor Y. Rojas. 2012
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar la exposición de los ciclistas a PM <sub>10</sub> en una ciudad altamente contaminada y de gran altitud como Bogotá, además de evaluar la conveniencia de construir ciclorutas paralelas a vías de alto flujo vehicular en ciudades del tercer mundo.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se estimó la dosis media diaria (DMD<sub>c</sub>) de PM<sub>10</sub> para diferentes usuarios de las ciclorutas y la relación entre DMD<sub>c</sub> y una dosis referencia de DMD<sub>r</sub>, utilizada para personas en reposo expuestas a una concentración interior de 25 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>El incremento en el promedio de DMD fue del 6%-9% al andar con esfuero leve y un 12%-18% cuando se andaba con un esfuero moderado. Los usuarios de la cicloruta más activos mostraron relaciones DMD<sub>c</sub>/DMD<sub>r</sub> tan altas como 1,30 al montar con esfuero leve y 1,64 cuando viajan con un esfuero moderado, así significativamente aumentan su exposición a PM<sub>10</sub> asociada a riesgos en la salud. Esto significaría que los ciclistas activos pueden inhalar una dosis entre 45% y 64% más alta de PM<sub>10</sub>, que aquella esperada en espacios intramuros.</li> <li>Los usuarios de la cicloruta de la Calle 80 se expusieron a altas concentraciones de PM<sub>10</sub>, 78-108 µg/m<sup>3</sup> en un promedio de 8 h por un periodo de 19 días. La media de concentración de PM<sub>10</sub> encontrada en este estudio fue significativamente mayor en ambos sitios, comparado con otros estudios de ciclistas expuestos; esto sugiere que los niveles de contaminantes del aire en este tipo de ciclorutas en Bogotá, deben ser considerados como un problema de salud pública, por lo cual se deben implementar medidas más eficaces para reducir la contaminación del aire.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Fajardo OA, & Rojas NY. Particulate matter exposure of bicycle path users in a high-altitude city. Atmospheric Environment; 2012; 46:675-679.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.87.** Resumen de investigación Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.

<b>Nombre documento:</b> Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá	
<b>Lugar:</b> Bogotá D.C.	<b>Autor/año:</b> Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá, 2012
<b>Tipo documento:</b> Investigación	
<b>Objetivo:</b> Establecimiento de un programa integral de descontaminación del aire que permita que en la totalidad de la zona urbana del Distrito Capital se logre el cumplimiento de la norma nacional de calidad del aire establecida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, así como la observancia de la Política Nacional de Calidad del Aire emitida por la misma entidad nacional. Dado el contexto local, en el cumplimiento de esta meta se hace especial énfasis en material particulado (PM <sub>10</sub> ) y ozono.	
<b>Resultados:</b>	
Los beneficios de la aplicación del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (2010-2020), en el escenario tendencial, en comparación con los niveles que se verían en el escenario con el plan de descontaminación, son los siguientes:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>La población infantil (menores de 5 años) recibe beneficios muy importantes en salud por la reducción de los niveles de PM<sub>10</sub> en la ciudad. Cerca del 72% de los casos evitados en hospitalización corresponde a niños menores de 5 años. La reducción propuesta por el plan de descontaminación representaría una disminución cercana a las 27,500 hospitalizaciones por causas respiratorias en niños, 74,200 atenciones en salas ERA y alrededor de 5,500 casos evitados en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI). Adicionalmente 1,500 casos potencialmente evitables de mortalidad en niños.</li> </ul>	

- En adultos (población mayor a 30 años de edad), los beneficios de la implementación del plan representan alrededor de 13,700 muertes evitadas, más de 38,300 casos evitados en atención en urgencias y alrededor de 10,900 casos evitados en admisiones hospitalarias por causas respiratorias.
- Estos efectos evitados equivalen a un ahorro en más de 107,000 millones de pesos en costos asociados al tratamiento de enfermedades. De este valor, los costos relacionados con el tratamiento de enfermedades en niños representan más del 70% de los costos.
- El costo evitado asociado con la pérdida de productividad se estimó en aproximadamente 88,000 millones de pesos. Más del 50% de este costo se debe a los días laborales perdidos por la población trabajadora cuando deben quedarse al cuidado de un niño enfermo por causas relacionadas con la contaminación del aire. La disponibilidad a pagar por la reducción en los efectos en morbilidad podría alcanzar los 471,000 millones de pesos.
- Los costos evitados en morbilidad se estiman en 472,000 millones de pesos aproximadamente, mientras que los costos evitados en mortalidad son superiores a 15 billones de pesos. El beneficio económico por mejoras en la salud derivado de la implementación del plan se estima en 15.8 billones de pesos.
- La implementación del portafolio óptimo de proyectos (en el periodo 2010-2020), seleccionado para Bogotá, permite el cumplimiento de la meta de calidad del aire establecida ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el caso de la fracción respirable del material particulado) a nivel de toda la ciudad. Para dicho efecto se hace necesario que las emisiones anuales para el contaminante en referencia sean inferiores a 940 toneladas.
- Se observa un mejoramiento de la calidad ambiental debido a la reducción de la emisión de contaminantes a la atmosfera para el periodo 2010-2020. Se dejaría de emitir, el 45% de las emisiones acumuladas de PM que se tendrían en el escenario tendencial. Para los demás contaminantes estudiados se obtienen menores beneficios, se dejaría de emitir el 19%, 8% y 11% de toneladas acumuladas de NOX, CO y TOC, respectivamente.
- Para el logro de estos resultados, los costos de las medidas ascienden a 1.7 billones de pesos, mientras que los beneficios en referencia son equivalentes a 16 billones de pesos. De esta manera, puede establecerse que por cada peso que se invierta en proyectos para lograr la descontaminación del aire, se logran beneficios económicos de alrededor de 9 pesos.

**Nota** Fuente: [SDA] Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá. Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (2010-2020). Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá DC;2010.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.88.** Evaluación de la actualización de los estándares de emisión normativos para vehículos de carga pesada en Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de la actualización de los estándares de emisión normativos para vehículos de carga pesada en Colombia	
<b>Lugar:</b> Bogotá	<b>Autor/año:</b> Universidad de los Andes, 2013
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar la proporción beneficio-costado derivada de la eventual adopción del estándar EURO IV como la norma de emisiones en Colombia para vehículos de carga pesada en contraste con la condición en la que se mantuviera la norma EPA 1998 o EURO II así como en contraste con la condición en que la norma adoptada permitiese al dueño del vehículo registrarse por el estándar EPA 2004 o el estándar EURO IV.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se generaron no solo un escenario tendencial sino dos escenarios alternativos, en donde la categoría vehicular más relevante para el análisis fueron los vehículos de carga pesada. Todo esto para un periodo de evaluación comprendido entre 2010 y 2022. Los escenarios tienen las siguientes características:</li> </ul>	
<b>Escenario 1.</b> Flota de carga cumple el estándar EPA 98 y/o EURO II. El escenario tendencial representa el caso en que la norma no será actualizada. Por lo tanto, los vehículos seguirán cumpliendo los estándares permitidos en este momento (año 2013) (EPA 98 y EURO II) y las emisiones de PM se comportarán siguiendo la tendencia actual.	
<b>Escenario 2.</b> Flota de carga cumple el estándar EURO IV y/o el estándar EPA 2004. Este escenario representa la	



situación en la cual la norma actualizada permita el cumplimiento del estándar EPA 2004 y/o EURO IV. Dado que el país del que provienen los vehículos determina el estándar que cumplen, se supone que se mantendrá dicha tendencia.

**Escenario 3.** Flota de carga cumple únicamente el estándar EURO IV. Este escenario considera que a través de la actualización de la norma se exigirá a todos los vehículos nuevos que harán parte de la flota de carga el cumplimiento del estándar EURO IV.

- Para el año 2010 las emisiones de PM del parque de vehículos de carga pesada en el país eran de unas 4,000 toneladas valor que, en el escenario tendencial, tendría un incremento de cerca del 40% en el periodo de análisis. Para los escenarios 2 y 3 este incremento es cercano al 20% y 10%, respectivamente.
- La valoración de los efectos en salud mostró beneficios cercanos a los 2 billones de pesos en ambos escenarios. Adicionalmente se muestra cómo la implementación de estándares de emisión podría evitar la muerte de cientos de habitantes expuestos al material particulado (en el escenario tres se evitan 1900 muertes por exposición crónica en mayores de 30 años y 180 muertes infantiles en menores de un año).

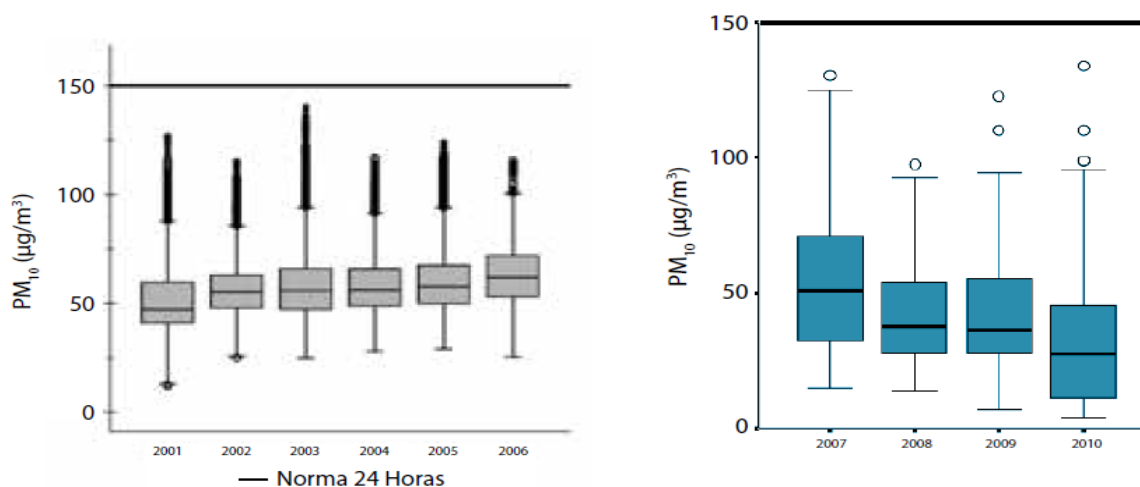
**Nota** Fuente: [UNIANDES] Universidad de los Andes. Evaluación de la actualización de los estándares de emisión normativos para vehículos de carga. Investigación. Bogotá DC: UNIANDES;2013.

\*Adaptado por el autor.

#### 4.5.1.5 Santander y Norte de Santander: Bucaramanga y Pamplona

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) es la autoridad competente en el municipio de Bucaramanga. Para el periodo de 2001 a 2010, la concentración promedio diaria de  $PM_{10}$  presentó una tendencia al aumento durante los años 2001 a 2006, mientras en el periodo 2007 a 2010 la concentración mostró una tendencia a la disminución por debajo de los  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , llegando en el año 2010 a reportar una media de  $31,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Durante los años 2007 a 2010, se observa que el valor de mayor concentración se presentó en el año 2010 ( $134 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) seguido por el año 2007 ( $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), los cuales no exceden el valor norma de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 4.19) (IDEAM, 2012b)

**Figura 4.19.** Concentración promedio de  $PM_{10}$  (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB

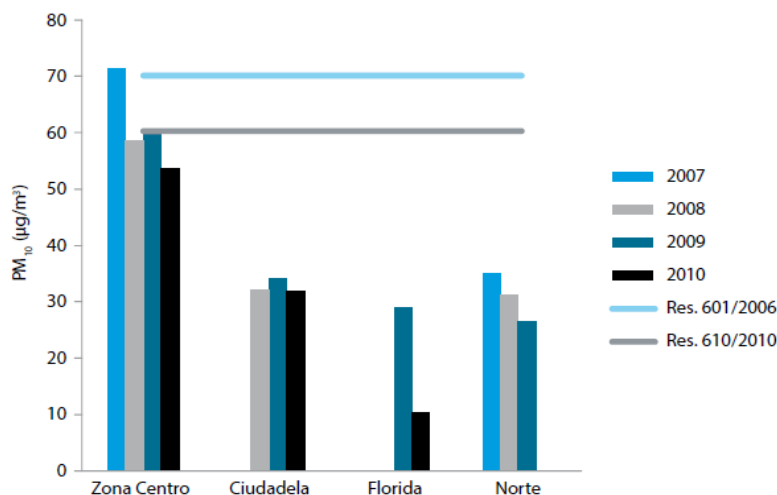




**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

En cuanto a la concentración promedio anual de  $PM_{10}$ , para el periodo de 2007 a 2010, la estación Zona Centro en el año 2007 excedió el valor máximo permisible ( $70 \mu g/m^3$ ), en las estaciones restantes los promedios se encontraron por debajo de los  $60 \mu g/m^3$  (Figura 4.20) (IDEAM, 2012b).

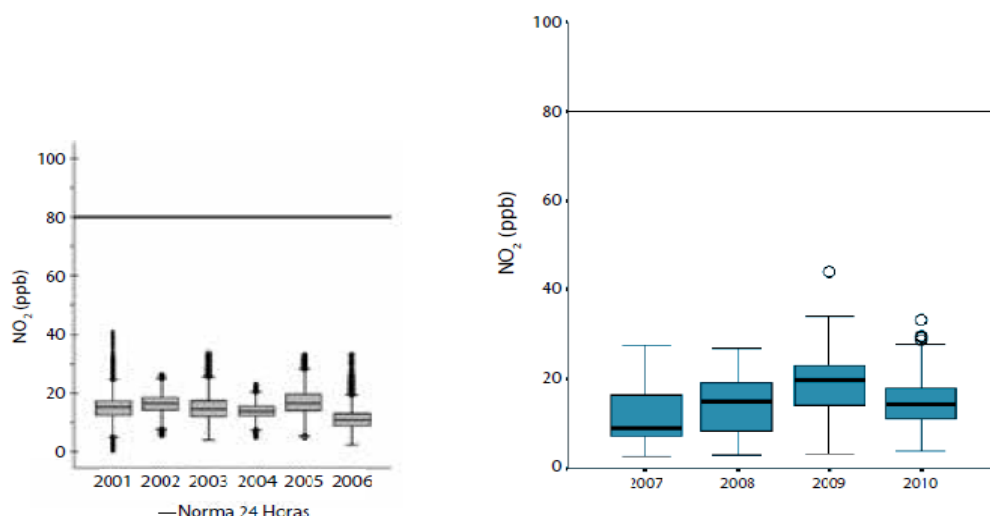
**Figura 4.20.** Concentración promedio anual de  $PM_{10}$  en las estaciones del SVCA de la CDMB



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

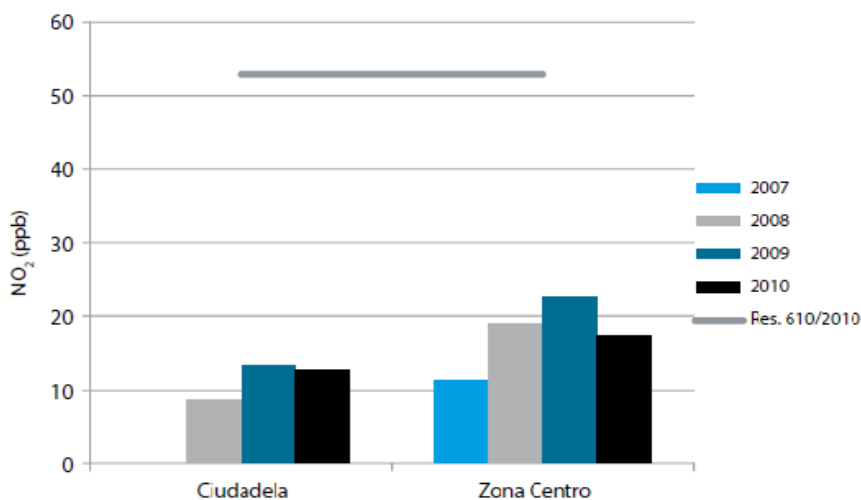
Para el  $NO_2$  aunque la tendencia en las concentraciones horarias y 24 horas es al aumento durante el periodo de 2001 a 2010, estas no superaron los límites máximos permisibles y sus medianas estuvieron por debajo de 20 ppb. Los promedios anuales de los años 2007 a 2010 no superaron las 25 ppb, sin exceder la norma anual (53 ppb) (Figuras 4.21 y 4.22) (IDEAM, 2012b).

**Figura4.21.** Concentración promedio de NO<sub>2</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

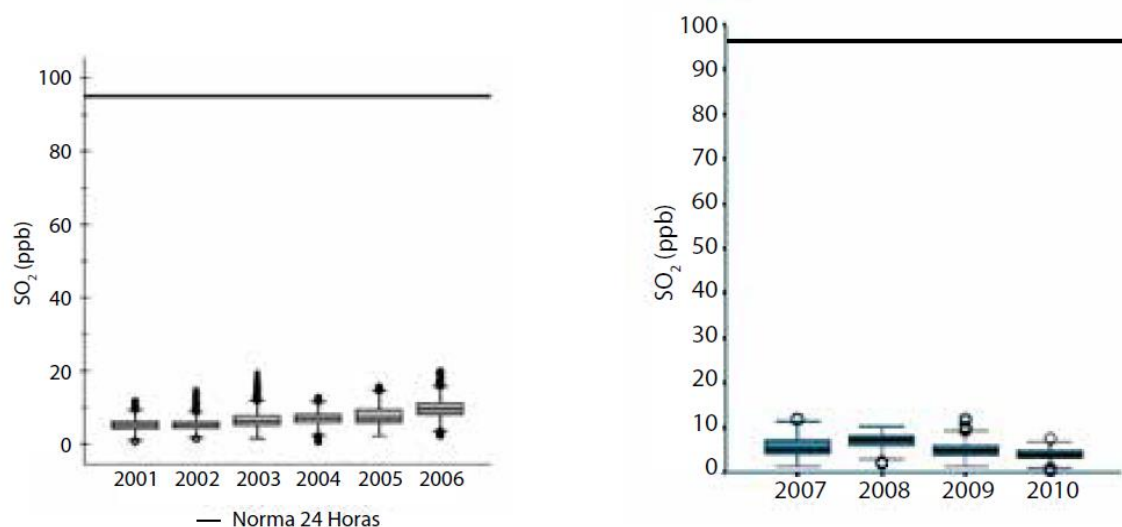
**Figura4.22.** Concentración promedio anual de NO<sub>2</sub> en las estaciones del SVCA de la CDMB



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

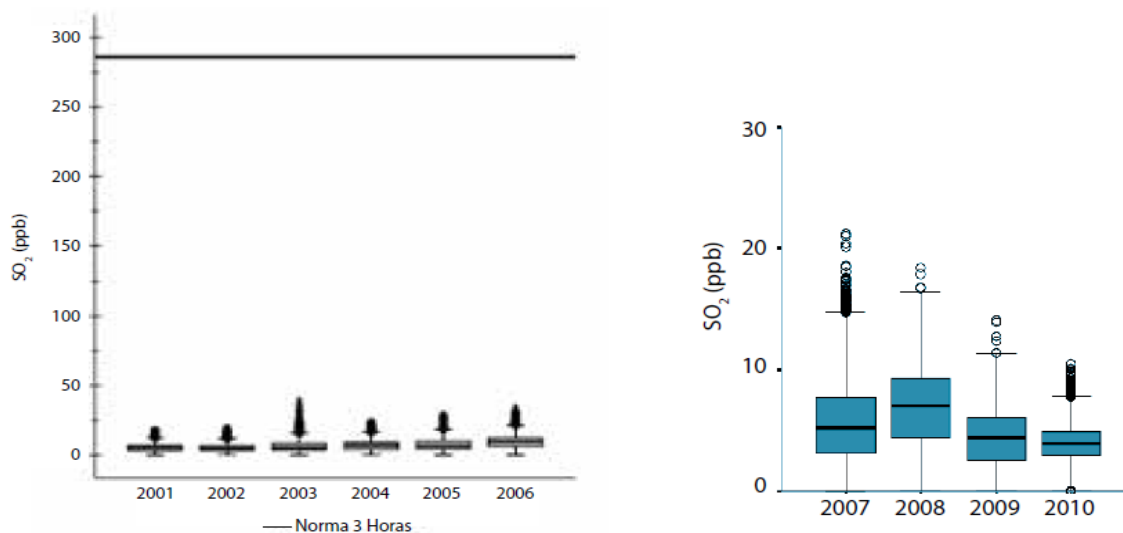
Durante el periodo de 2007 a 2010, el Dióxido de Azufre registro valores muy bajos que no representan ni el 10% de la norma de 24 y 3 horas (96 y 287 ppb, respectivamente); en cuanto al promedio anual las concentraciones en la estación Zona Centro durante el periodo 2008 a 2010 tienden a disminuir a través del tiempo; en el año 2010 se reportó la menor concentración anual (3,97 ppb), la cual representa el 12,8% de la norma nacional (Figuras4.23, 4.24 y 4.25) (IDEAM, 2012b).

**Figura 4.23.** Concentración promedio de SO<sub>2</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB



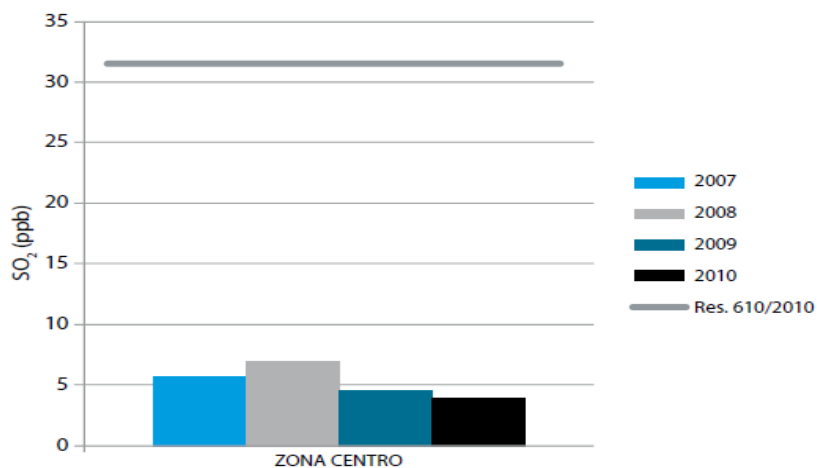
**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

**Figura 4.24.** Concentración promedio de SO<sub>2</sub> (3 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

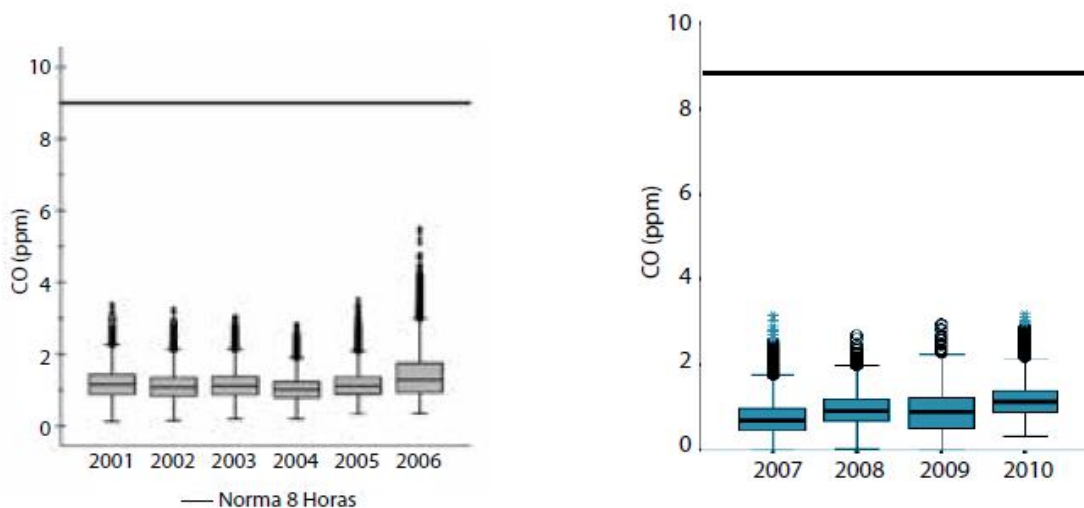
**Figura 4.25.** Concentración promedio anual de  $SO_2$  en las estaciones del SVCA de la CDMB



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

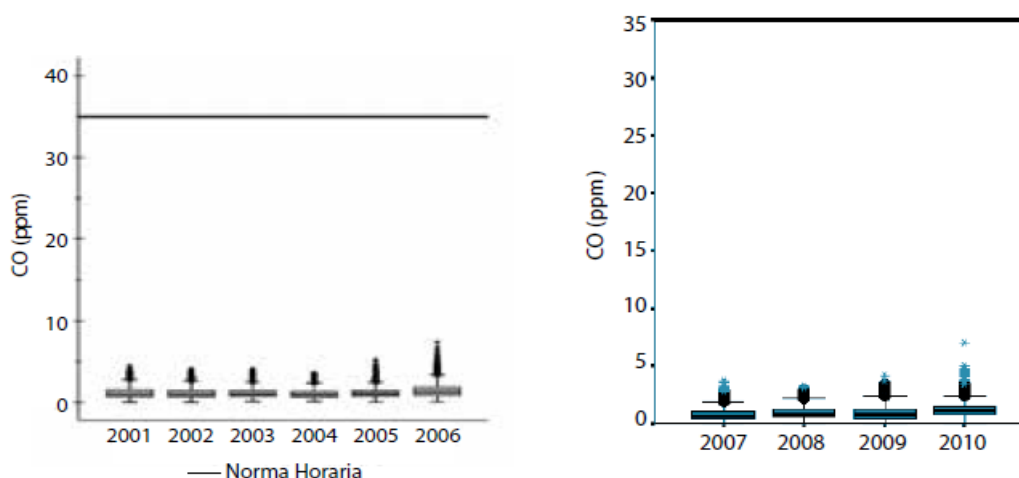
Para el Monóxido de Carbono, el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias durante el periodo de 2001 a 2010, muestra que los valores máximos permisibles registrados (7 y 3,2 ppm, respectivamente), no llegan ni al 50% de la norma colombiana (35 y 8,8 ppm) (Figuras 4.26 y 4.27) (IDEAM; 2012b).

**Figura 4.26.** Concentración promedio anual de CO (8 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

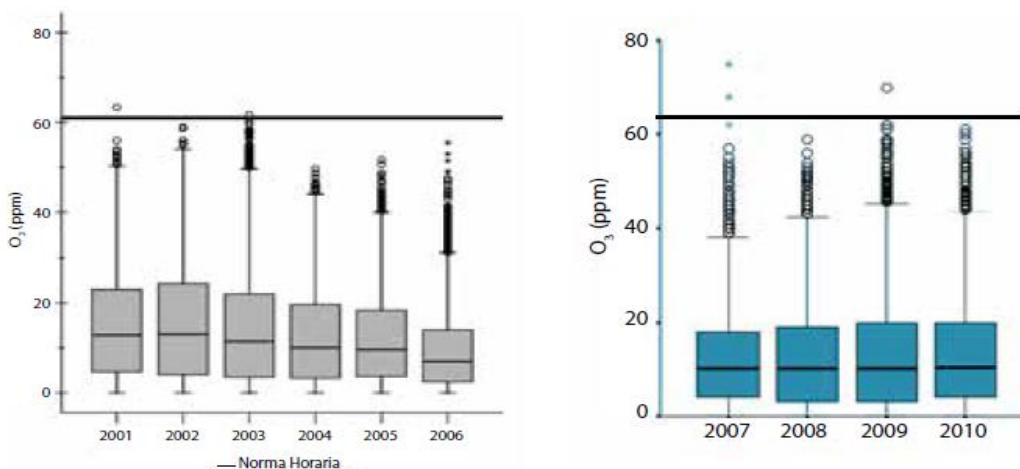
**Figura 4.27.** Concentración promedio anual de CO (Horario) en las estaciones del SVCA de la CDMB



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

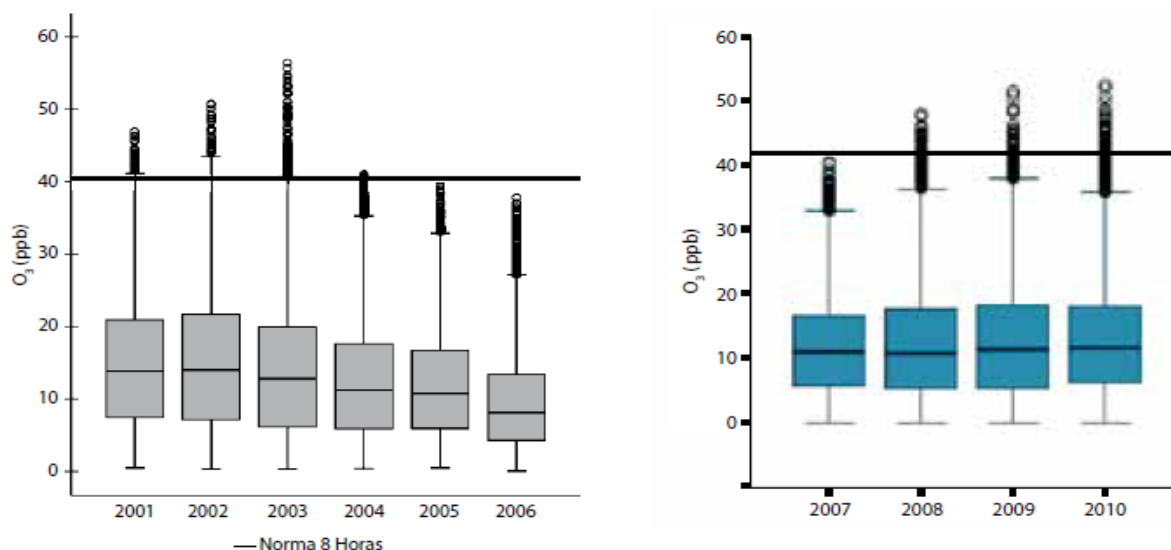
Finalmente, el Ozono durante el periodo 2007 a 2010, registró medianas de las concentraciones horarias que oscilaron cerca de las 10 ppb en todos los años, sin embargo se han presentado algunos valores mayores al límite máximo permisible (61 ppb). En cuanto a las concentraciones promedio 8 horas, en los últimos cuatro años los valores se han mantenido estables, aunque existen algunos registros que superan las 41 ppb (Figuras 4.28 y 4.29) (IDEAM, 2012b).

**Figura 4.28.** Concentración promedio de O<sub>3</sub> (horario) en las estaciones del SVCA de la CDMB



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

**Figura 4.29.** Concentración promedio de O<sub>3</sub> (8 horas) en las estaciones del SVCA de la CDMB



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Para el año 2011, según información obtenida del informe del SVCA del Área Metropolitana de Bucaramanga, la ciudad no presenta problemas por NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO, ya que sus concentraciones son mucho menores a las establecidas en la Resolución 610 de 2010. Para Ozono, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se observa una excedencia de la norma horaria de Ozono y anual de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (CDMB, 2012).

En Bucaramanga se han realizado investigaciones que han cuantificado las concentraciones de PM<sub>10</sub>, ratificando lo registrado por el SVCA del Área Metropolitana de Bucaramanga, así como identificando la presencia de elementos y metales, entre los cuales se encuentran el Aluminio, Calcio, Hierro, Magnesio, Zinc, Plomo, Níquel y Cobre (Quijano, 2004). En 2007, se caracterizó el PM<sub>10</sub> encontrando concentraciones de metales tales como Silicio (12,09 µg/m<sup>3</sup>), Calcio (2,49 µg/m<sup>3</sup>), Plomo (0,49 µg/m<sup>3</sup>), Hierro (0,39 µg/m<sup>3</sup>) y Vanadio (1,21 µg/m<sup>3</sup>), este último excede el valor promedio diario establecido por la OMS (1 µg/m<sup>3</sup>); las concentraciones de HAP's encontradas muestran una gran diferencia con los HAP's del resto del país, pues para Bucaramanga se registran importantes concentraciones de Benzo-b-Fluoranteno (102,8 ng/m<sup>3</sup>), compuesto poco común en el resto de las ciudades analizadas (ULS, 2008).

A su vez se han identificado microorganismos como *Fusarium* spp, que son generados en actividades industriales y hacen parte de la contaminación biológica del aire (Amaya, 1999).

En el municipio de San Gil se evaluaron factores ambientales relacionados con la infección respiratoria aguda (IRA), en donde el hacinamiento, la presencia de animales domésticos, el uso de cocinas generadoras de humo, las paredes en tapia pisada y bahareque y la ausencia

de una adecuada ventilación, son factores de riesgo que predisponen para adolecer de IRA (Casadiego, 2011).

**Tabla 4.89.** Resumen de la tesis Aislamiento e identificación de microorganismos en el aire como bioindicadores de la contaminación ambiental en zonas del área metropolitana del área de Bucaramanga.

<b>Nombre documento:</b> Aislamiento e identificación de microorganismos en el aire como bioindicadores de la contaminación ambiental en zonas del área metropolitana del área de Bucaramanga.	
<b>Lugar:</b> Bucaramanga, Santander	<b>Autor/año:</b> Amaya González Martha Lucia, Rueda Villamizar Mónica; 1999
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Microorganismos
<b>Objetivo:</b> Identificar los microorganismos en el aire que pueden ser utilizados como bioindicadores de la contaminación ambiental en Bucaramanga.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La mayoría de los microorganismos encontrados correspondieron a bacterias (70%) y hongos (30%).</li> <li>• Los tipos bacterianos con mayor incidencia en los sitios de muestreo fueron bacilos positivos endosporados. En los sitios cemento y limonal se encontró una alta contaminación por <i>Fusarium spp</i>, derivada de la actividad industrial allí desarrollada.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Amaya ML, & Rueda M. Aislamiento e identificación de microorganismos en el aire como bioindicadores de la contaminación ambiental en zonas del área metropolitana del área de Bucaramanga [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;1999.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.90.** Resumen de la tesis Evaluación de factores de riesgo ambiental relacionados con la vivienda que inciden en la presencia de enfermedad diarreica aguda e infección respiratoria aguda en el municipio de San Gil, Santander.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de factores de riesgo ambiental relacionados con la vivienda que inciden en la presencia de enfermedad diarreica aguda e infección respiratoria aguda en el municipio de San Gil, Santander	
<b>Lugar:</b> San Gil, Santander	<b>Autor/año:</b> Gloria Casadiego Ardila, 2001
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Factores de riesgo intradomiciliarios
<b>Objetivo:</b> Analizar la presencia de factores de riesgo intradomiciliario que favorecen la incidencia de enfermedad diarreica aguda (EDA) e infección respiratoria aguda (IRA) en el municipio de San Gil, Santander.	
<b>Resultados</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el área urbana se encontró como factor de riesgo que predispone a EDA e IRA el hacinamiento (14,87%) y la presencia de animales domésticos (21,62%).</li> <li>• Como factores predisponentes de IRA se encontró el uso de cocinas generadoras de humo (34,67%, exclusivo de la zona rural), las paredes en tapia pisada y bahareque (42,67%). El 18,67% de las viviendas del área rural y el 2,7% del área urbana no cuentan con una adecuada ventilación, siendo un factor de riesgo que predispone a la IRA.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Casadiego G. Evaluación de factores de riesgo ambiental relacionados con la vivienda que inciden en la presencia de enfermedad diarreica aguda e infección respiratoria aguda en el municipio de San Gil, Santander [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2011.

\*Adaptado por el autor.



**Tabla 4.91.** Resumen artículo Promedios geométricos de material particulado fracción respirable (PM<sub>10</sub>) y detección de metales en el aire de Bucaramanga.

<b>Nombre documento:</b> Promedios geométricos de material particulado fracción respirable (PM <sub>10</sub> ) y detección de metales en el aire de Bucaramanga	
<b>Lugar:</b> Bucaramanga, Santander	<b>Autor/año:</b> Alfonso Quijano Parra, 2004
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Estimar los promedios geométricos de material particulado fracción respirable y caracterizar fisicoquímica los filtros utilizados en la medición.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> no superaron la norma internacional de 150 µg/m<sup>3</sup>, sin embargo los promedios geométricos son altos, lo cual amerita el aumento en el control de las fuentes emisoras de este contaminante.</li> <li>Se detectó Al, Ca, Fe, Mg y Zn en todas las estaciones, en menor proporción Pb, Ni y Cu y no se detectó Cd, Cr y V.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Quijano A. Promedios geométricos de material particulado fracción respirable (PM<sub>10</sub>) y detección de metales en el aire de Bucaramanga. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas;2004;2:21-32.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.92.** Resumen de investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT.

<b>Nombre documento:</b> Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT	
<b>Lugar:</b> Bucaramanga, Santander	<b>Autor/año:</b> Universidad de la Salle, 2008
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los metales más abundantes en la ciudad de Bucaramanga fueron el Silicio (12,09 µg/m<sup>3</sup>), Calcio (2,49 µg/m<sup>3</sup>), Plomo (0,49 µg/m<sup>3</sup>), Hierro (0,39 µg/m<sup>3</sup>) y Vanadio (1,21 µg/m<sup>3</sup>), este último excede el valor promedio diario establecido por la OMS (1 µg/m<sup>3</sup>). El aporte significativo de Silicio y Calcio muestra la influencia de las fuentes de área dispersa o difusa, representadas en material geológico proveniente del suelo, por procesos de re-suspensión, en suelos erosionados, vías o terrenos destapados, todos ellos influenciados de manera significativa por los efectos de la velocidad y dirección del viento. El Plomo proviene tanto de fuentes fijas puntuales, como de fuentes fijas dispersas, así como de fuentes móviles. Sus concentraciones muestran no solo el aporte constante de estas fuentes sino también el valor significativo de las mismas.</li> <li>Las bajas emisiones de metales en esta ciudad contrastan con los valores de Carbono Orgánico (CO) y Carbono Elemental (CE) y muestran un importante aporte de fuentes tanto fijas como móviles.</li> <li>Se observa un mayor aporte de CO (17,8 µg/m<sup>3</sup>), respecto al CE (3,6 µg/m<sup>3</sup>), lo que implica que existe una mayor concentración de fuentes biogénicas a la composición del PM<sub>10</sub>.</li> <li>Las concentraciones de iones presentan una buena correlación entre Sulfatos y Nitratos como aporte de las fuentes de combustión, sin embargo, las concentraciones de Sulfatos (2,06 µg/m<sup>3</sup>) superan las concentraciones de Nitratos (1,46 µg/m<sup>3</sup>), lo que refleja una mejor quema del combustible, la correspondiente emisión de los Óxidos de Nitrógeno y Azufre y la posterior formación en la atmósfera de Sulfatos y Nitratos.</li> <li>Las concentraciones de HAP's encontradas muestran una gran diferencia con los HAP's del resto del país, pues para Bucaramanga se registran importantes concentraciones de Benzo-b-Fluoranteno (102,8 ng/m<sup>3</sup>), compuesto poco común en el resto de las ciudades analizadas.</li> <li>Bucaramanga presentó un aporte significativo de CE, lo que indica el mayor aporte por fuentes móviles, es decir, se esperaría que Bucaramanga presentara un alto flujo vehicular. La proporción más alta de metales se registra en esta ciudad, lo cual refleja el aporte por fundidoras y fábricas de baterías en la zona de estudio, así como el aporte significativo de material re suspendido proveniente de vías destapadas. La proporción de</li> </ul>	

Nitratos, Sulfatos y Amonio muestran que las fuentes móviles representan el mayor aporte a las emisiones atmosféricas y además, que la mala calidad de los combustibles contribuye significativamente a las mismas.

**Nota** Fuente: [ULS] Universidad de la Salle. Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas (Contrato 2062394). Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT);2008.

\*Adaptado por el autor.

En cuanto a la relación de las enfermedades respiratorias con la contaminación atmosférica, se dispone de la siguiente evidencia científica, sustentada en diferentes investigaciones:

- Durante los años 2009 a 2010 se llevó a cabo en la ciudad de Bucaramanga, la evaluación de los efectos de la contaminación del aire extra e intramural, sobre la salud de poblaciones sensibles; el estudio registró en algunas ocasiones concentraciones diarias intramurales de  $PM_{10}$  mayores que las extramurales, además se realizó la caracterización del material particulado, encontrando una concentración promedio diaria en los filtros de  $5,018 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de Silice,  $1,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de Calcio,  $1,102 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Hierro y valores de  $0,032$  a  $0,104 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para los metales Cobre, Zinc, Plomo y Aluminio. Para los Cloruros, Sulfatos, Nitratos y Amonio, se resgitraron concentraciones promedio diario de  $5,018$ ,  $6,156$ ,  $1,876$  y  $1,142 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Para los HAP's se obtuvieron valores promedio diario entre los  $1,08E-2$  hasta los  $3,44E-2 \text{ ng}/\text{m}^3$  para Indeno[1,2,3-cd]pireno, Benzo[g,h,i]perileno, Benzo[b]fluoranteno, Benzo[a]pireno y Fenantreno. Al estimar los impactos en salud se evidencio mayor sintomatología respiratoria en las personas con enfermedad crónica que residen en áreas con promedios diario de  $PM_{10}$  superior a  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por lo cual este punto podría considerarse como nivel umbral de efectos negativos para la salud respiratoria en población sensible en Bucaramanga (FOSCAL, 2010).
- En la población de preescolares residentes en una zona de mayor contaminación atmosférica, un incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración de  $PM_{10}$ , incrementa en 1,3 el número de síntomas respiratorios diarios reportados (Rodríguez, 2010b).
- Se encontró una asociación positiva en la prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma con la contaminación intradomiciliaria (Rodríguez, 2010a), donde los síntomas de asma se asociaron con la presencia de ácaros y Acremonium sp (Herrera, 2011).
- Se encontró asociación positiva entre la incidencia de síntomas respiratorios y exposición a concentraciones medias diarias de  $PM_{10}$  mayores a  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en personas con enfermedades crónicas cardiovasculares o respiratorias (Rodríguez, 2012).

**Tabla 4.93.** Resumen de proyecto de investigación de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de poblaciones sensibles con el propósito de determinar alertas epidemiológicas-ambientales y orientar los planes de mejoramiento de la calidad del aire a mediano y largo plazo en la ciudad de Bucaramanga.

**Nombre documento:** Proyecto de investigación de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de poblaciones sensibles con el propósito de determinar alertas epidemiológicas-ambientales y orientar los planes

de mejoramiento de la calidad del aire a mediano y largo plazo en la ciudad de Bucaramanga (Fase II). Convenio especial de cooperación científica y tecnológica No. 033 de 2009 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

<b>Lugar:</b> Bucaramanga, Santander	<b>Autor/año:</b> Fundación Oftalmológica de Santander – Clínica Carlos Ardila Lulle (FOSCAL), Observatorio de Salud Pública de Santander, 2010
--------------------------------------	---

<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
--------------------------------------	---

**Resultados:**

- En la estación de la Zona Centro, catalogada de alta contaminación, para el periodo Noviembre 2009 - Mayo 2010, las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> al interior del Almacén Tekno Hogar son mayores en comparación con los datos obtenidos en la parte exterior. Durante los siete meses de monitoreo, solamente en una ocasión se superó la Norma diaria de Calidad del Aire (100 µg/m<sup>3</sup>); la concentración diaria más alta se obtuvo entre los meses de enero y marzo, época de máximo verano en el municipio de Bucaramanga, con un valor máximo de 144 µg/m<sup>3</sup> en el interior del almacén Tekno Hogar. Posteriormente con la llegada de las lluvias, a comienzos del mes de abril, se disminuyó la concentración de PM<sub>10</sub> en los tres sitios de la zona centro continuando con la misma tendencia de la época seca, en donde al interior del almacén Tekno Hogar se registraban las mayores concentraciones de PM<sub>10</sub>, debido posiblemente a la deficiente ventilación que posee el almacén, que no permite la dispersión de los contaminantes. Para la estación de San Miguel (Zona de alto flujo vehicular), se observó un incremento en la concentración de PM<sub>10</sub> en el mes de marzo debido al fuerte verano que se registró en el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB). El valor máximo fue de 104.14 µg/m<sup>3</sup>. Posteriormente, a partir de abril, se registró una disminución en la concentración debido a la presencia de lluvias. Las concentraciones extra e intramurales en este punto fueron similares.
- En la Zona Media de contaminación media, específicamente el Barrio Molinos Alto, las concentraciones de PM<sub>10</sub> medidas en el exterior de la vivienda, son mayores a los obtenidos en la estación de Cañaveral de propiedad de la CDMB y de los datos registrados al interior de la misma vivienda. En tres ocasiones se superó la Norma diaria de Calidad del Aire para este contaminante durante los siete (7) meses de monitoreo continuo; la máxima concentración diaria fue de 182 µg/m<sup>3</sup>, en la parte exterior de la vivienda. Para el área de Cabecera del Llano, la concentración de PM<sub>10</sub> en el exterior del conjunto residencial Casa Hacienda es menor que la encontrada en el parque San Pio y sus alrededores. En ninguna ocasión se superó la Norma diaria de Calidad del Aire durante los siete (7) meses de monitoreo continuo; la mayor concentración de PM<sub>10</sub> fue de 128.52 µg/m<sup>3</sup>. Entre los meses de enero y marzo de 2010, se presentaron las más altas concentraciones de partículas en el aire que respira la población de esta zona, debido al fuerte verano y por lo tanto a la presencia de pocas lluvias en estos meses del año.
- En la zona de baja contaminación, durante el mes de marzo de 2010, el punto de monitoreo La Joya presentó una concentración promedio diaria intramural de PM<sub>10</sub> de 49.35 µg/m<sup>3</sup>, levemente mayor al valor extramural (42.30 µg/m<sup>3</sup>), sin embargo a partir de Abril la situación se invierte. Al igual que en todos los demás sitios de monitoreo, en el mes de marzo se observó un incremento en la concentración de PM<sub>10</sub> debido al fuerte verano que se registró en el AMB. El valor máximo diario fue de 75.13 µg/m<sup>3</sup>, obtenido al interior de la vivienda del Barrio la Joya. Posteriormente, a partir de abril, se registró una disminución debido a la presencia de lluvias. La concentración promedio de PM<sub>10</sub> en el Barrio La Joya, para los siete meses de monitoreo fue de 35.61 µg/m<sup>3</sup>. En el Barrio Kennedy de la comuna norte de Bucaramanga, la concentración promedio diario de PM<sub>10</sub> fue de 46.57 µg/m<sup>3</sup>.
- En términos generales los Cloruros (entre 14% y 27%) y Sulfatos (entre 21% y 43%) son los iones más abundantes en las muestras recolectadas. El Sílice (exceptuando la estación Ricaurte, se encuentra entre 16% y 50%) y el Calcio (exceptuando la estación Cañaveral, se encuentra entre 8% y 13%) son las especies más abundantes que no son iones. El Plomo (entre 0.02% y 0.30%) y el Zinc (entre 0.16% y 0.67%) son las especies con menores aportes entre los Iones-Metales analizados en el estudio.
- Al comparar los resultados de iones y metales obtenidos en cada una de las zonas, se puede observar que los Cloruros y Sulfatos representan la mayor estos (entre 38% y 66%). El Sílice es la especie que presenta mayor variabilidad entre las diferentes zonas (entre 0.01% y 50%). Las composiciones encontradas en las estaciones San Miguel y La Joya son similares (predominan los cloruros, sulfatos y el sílice), mientras que en Ricaurte predomina los sulfatos (43%) y en Cañaveral el sílice (50%). Es de notar que a pesar de que

las estaciones San Miguel y Cañaveral se encuentran al lado de vías principales (Carrera 15 y Autopista a Piedecuesta) no presentan proporciones de iones-metales similares. En la época de lluvias (abril y mayo) los iones y metales tienden a disminuir en las diferentes zonas, siendo los cloruros y sulfatos los más afectados, mientras que la sílice presenta el comportamiento contrario.

- Los cinco PAHs con valores más altos son Indeno[1,2,3-cd]pireno, Benzo[g,h,i]perileno, Benzo[b]fluoranteno, Benzo[a]pireno y Fenantreno, según SPECIATE de la U.S. EPA estos componentes provienen principalmente de quemas, humo de cigarrillo, restaurantes y asaderos, motores diésel, motores a gasolina y cocinas residenciales que utilizan leña. Analizando el contexto de las zonas analizadas se espera que los principales aportantes sean los motores de los vehículos y los restaurantes y asaderos.
- En todas las muestras de PAHs, se nota gran influencia de las lluvias en los valores registrados a partir de las primeras semanas de abril, ya que la mayoría de los PAHs disminuyen en dicha época (entre 3 y 30 veces respecto al promedio de época seca). El Indeno[1,2,3-cd]pireno, el Benzo[g,h,i]perileno y el Benzo[b]fluoranteno parecen ser los únicos PAHs menor o poco influenciados por las lluvias.
- Es interesante notar que el equipo etalómetro puede servir como alternativa para medir los niveles de Carbono Elemental (CE) (equivalente a Carbono Negro –BC–). Los máximos valores registrados de BC no superan los 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El valor promedio de BC entre el 22 de enero y el 31 de mayo de 2010 fue de 5.27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo cual representa un 9% del promedio para  $\text{PM}_{10}$  en el mismo periodo en la estación Centro. Al comparar el promedio de BC de todo el periodo con la norma anual de  $\text{PM}_{2.5}$ , se encuentra que este representa el 21% del nivel máximo permitido (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Al observar que el equipo presentó sus mayores registros en las horas pico de tráfico vehicular, se puede pensar que los buses de transporte público son la principal fuente de BC en la zona evaluada. El BC tiene una gran porosidad y capacidad de absorber otras sustancias, por lo tanto su principal efecto fisiológico es servir de vehículo de sustancias dañinas que pueden transportarse y depositarse en el sistema respiratorio.
- El mejor acuerdo entre niveles de  $\text{PM}_{10}$  intra y extramurales se obtuvo en la zona de baja contaminación (La Joya promedio de diferencias = 0,50) y el menor acuerdo en la zona media de contaminación (Cabecera promedio diferencias= 40,7 y Molinos promedio diferencias = -22,7), lo que quiere decir que las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  en exteriores son mejores predictores de concentraciones intramurales en zonas de baja concentración.
- En la zona centro (alta) y La Joya (baja) la contaminación intramural es mayor a la registrada en el exterior, mientras que en Molinos (media) se obtuvo el patrón contrario. Este resultado puede ser explicado por el tipo de actividades micro-empresariales que se desarrollan en el intradomicilio en el centro y La Joya, y que en ambientes intramurales la dispersión de los contaminantes es mínima, lo que aumenta su concentración.
- En todos los puntos de monitoreo tanto las mediciones intra como extramurales tuvieron un punto máximo durante el periodo más seco, específicamente en el mes de enero y un decremento que coincidió con el inicio de periodo de lluvias.
- En las viviendas de la población de estudio se observó que el combustible para cocinar es predominantemente gas (95%) y el uso de leña solo se encontró en el 0,5% de las viviendas. El consumo de cigarrillos (20,6%) y uso de aerosoles (22,5%) se encontraron como las fuentes de contaminación más frecuentes al interior de las viviendas, siendo más frecuente la presencia de humo de cigarrillo en la zona de baja contaminación y los aerosoles en la zona de alta contaminación. Por su parte, la presencia de cucarachas y animales domésticos (perros y aves) fueron otros factores ambientales encontrados con bastante frecuencia dentro de las viviendas por zona de exposición (51%, 36% y 28%, respectivamente). En las zonas de estudio se encontraron posibles fuentes de contaminación atmosférica alrededor de las viviendas, dadas principalmente por talleres de zapatería en la zona de baja contaminación (70%) y en la zona de alta contaminación, por estos talleres sumados a talleres dedicados a carpintería/tapicería (64%); en la zona media también se encontraron estas fuentes contaminantes.
- La prevalencia de ruidos respiratorios en el último año en menores de un año fue de 66.6%; en niños de 1 a 14 años fue de 80% y en adultos a partir de 15 años fue de 43.7%. El análisis comparativo por zonas muestra que teniendo como zona de referencia de comparación la zona de alta contaminación, se mantiene un mayor riesgo de incidencia en la zona de baja contaminación, para la mayoría de síntomas; el que presenta una mayor razón de incidencias es la asfisia, que en la zona de baja contaminación tiene un 73% más de incidencia comparado con las personas que viven en la zona de alta contaminación. Por el

contrario, la aparición de sibilancias y la necesidad de hospitalización fueron menores en las zonas de contaminación baja y media. En el caso de las sibilancias, éstas aparecieron con un 40% menos de frecuencia en la zona baja que en la zona alta. La hospitalización, por su parte, fue 30% menos frecuente en las personas que residen en la zona de baja contaminación.

- La tasa de incidencia de síntomas respiratorios es 64% mayor en la zona de alta contaminación comparada con la zona media y 77% mayor que en la zona baja.
- Se encontró una relación positiva entre la incidencia de síntomas respiratorios y la exposición a niveles altos de contaminación externa en población con enfermedad respiratorio o cardiovascular crónica. De esta manera vivir en una zona concentraciones de PM<sub>10</sub> superiores a 60 µg/m<sup>3</sup> determina un riesgo de alrededor de 70% más probabilidad de desarrollar síntomas respiratorios en poblaciones previamente enfermas.
- Los resultados además confirman que en esta población sensible es también muy importante el efecto de algunas condiciones personales, como el tipo de enfermedad crónica, y del entorno como la presencia de contaminantes biológicos (hongos) en el interior de las viviendas.
- Se encontró mayor sintomatología respiratoria en las personas con enfermedad crónica que residen en áreas con promedios diario de PM<sub>10</sub> superior a 60 µg/m<sup>3</sup>, por lo cual este punto podría considerarse como nivel umbral de efectos negativos para la salud respiratoria en población sensible en Bucaramanga.

**Nota** Fuente: [FOSCAL] Fundación Oftalmológica de Santander - Clínica Carlos Ardila Lulle. Proyecto de investigación de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de poblaciones sensibles con el propósito de determinar alertas epidemiológicas-ambientales y orientar los planes de mejoramiento de la calidad del aire a mediano y largo plazo en la ciudad de Bucaramanga (Fase II). Convenio especial de cooperación científica y tecnológica No. 033 de 2009 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Investigación. Bucaramanga, Santander:FOSCAL;2010.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.94.**Resumen de artículo Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel.

<b>Nombre documento:</b> Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel	
<b>Lugar:</b> Bucaramanga, Santander	<b>Autor/año:</b> Rodríguez V. Laura Andrea; Herrera López Astrid Berena; Castro Ortiz Henry; Niederbacher Velázquez Jurg; Vera Cala Lina María; 2010
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar la asociación entre contaminación atmosférica y el desarrollo de síntomas respiratorios en preescolares (menores de siete años) de Bucaramanga, Colombia.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La mediana de las mediciones diarias de PM<sub>10</sub> durante los 12 meses fue de 49,15 µg/m<sup>3</sup>; en la zona de mayor contaminación fue de 55,5 µg/m<sup>3</sup> con un rango intercuartílico entre 39,2 y 68,8 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en la zona de menor contaminación fue de 32,5 µg/m<sup>3</sup> entre 25,9 y 42,4 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• La zona de mayor contaminación de la ciudad se ubicó en el centro, con un promedio diario de PM<sub>10</sub> de 89,56 µg/m<sup>3</sup> y la zona de menor contaminación al occidente con un promedio de 40,08 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• El promedio de síntomas por día fue de 69,42 con un rango intercuartílico entre 54 y 87.</li> <li>• En la población de preescolares residentes en la zona de mayor contaminación, un incremento de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración atmosférica de PM<sub>10</sub> incrementó en 1,3 el número de síntomas diarios reportados.</li> <li>• Los pisos de tierra demostraron aumentar el riesgo de desarrollar síntomas respiratorios, mientras la tenencia de animales domésticos mostraron disminuirlo.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Estudio de cohorte de 707 escolares, de un año duración, donde se registraron síntomas en preescolares residentes en dos zonas de la ciudad con mediciones extremas de PM <sub>10</sub> .	

**Nota** Fuente: Rodríguez LA, Herrera AB, Castro, et al. Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel. Cadernos de Saúde Pública;2010b;26:1411-1418.

\*Adaptado por el autor.



**Tabla 4.95.** Resumen del artículo Prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma y asociación con contaminación atmosférica en prescolares de Bucaramanga, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma y asociación con contaminación atmosférica en prescolares de Bucaramanga, Colombia	
<b>Lugar:</b> Bucaramanga, Santander	<b>Autor/año:</b> Rodríguez Laura Andrea, Rey Juan José, Herrera Astrid Berena, Castro Henry, Niederbacher Jurg, Vera Lina María, Cala Luz Libia, Bolívar Fabio, 2010
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar la prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma en la población preescolar y compararla entre zonas con diferentes niveles de contaminación atmosférica en Bucaramanga, Colombia.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La zona de alta contaminación presentó un promedio anual de PM<sub>10</sub> de 89,56 µg/m<sup>3</sup>, mientras la zona de baja contaminación registró una concentración promedio de 40,08 µg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• El tabaquismo (27,5%) y los aerosoles (22,7%) se encontraron como las fuentes de contaminación más frecuentes dentro de las viviendas, siendo más frecuentes en la zona de baja contaminación. El combustible para cocinar era predominantemente el gas (95%) y el uso de leña sólo se encontró en 0,5% de las viviendas.</li> <li>• La prevalencia de ruidos respiratorios a lo largo de la vida fue de 25,6% (IC95% 23,2-29,8) y la de diagnóstico médico de asma fue de 8,4% (IC95% 6,2-11,5), sin diferencias significativas entre las zonas.</li> <li>• El modelo final no mostró asociación entre la contaminación atmosférica y la presencia de mayor registro, denominada de “alta” contaminación (centro de la ciudad) y la zona de menor registro, denominada de “baja” contaminación (occidente de la ciudad).</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Estudio observacional analítico de corte transversal, donde se estudiaron 768 niños menores de siete años distribuidos de las zonas de alta y baja contaminación.	

**Nota** Fuente: Rodríguez LA, Rey JJ, Herrera AB, Castro H, Niederbacher J, Vera L, et al. Prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma y asociación con contaminación atmosférica en prescolares de Bucaramanga, Colombia. *Biomédica*;2010a;30:15-22.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.96.** Resumen de artículo Contaminación biológica intradomiciliaria y su relación con síntomas respiratorios indicativos de asma bronquial en prescolares de Bucaramanga, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Contaminación biológica intradomiciliaria y su relación con síntomas respiratorios indicativos de asma bronquial en prescolares de Bucaramanga, Colombia	
<b>Lugar:</b> Bucaramanga, Santander	<b>Autor/año:</b> Herrera Astrid B.; Rodríguez Laura A.; Niederbacher Jürg; 2011
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Bioarsoles
<b>Objetivo:</b> Evaluar la asociación entre la presencia de contaminantes biológicos intradomiciliarios y síntomas indicativos de asma, en prescolares de Bucaramanga, Colombia	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El modelo binomial mostró que los síntomas de asma se asociaron con la presencia de: ácaros [razón de prevalencia (RP)=1,78; IC95%: 1,0-3,0] y <i>Acremonium sp.</i> (RP=6,2; IC95%: 3,8-10,0), antecedentes de neumonía (RP=4,0; IC95%: 2,5-6,4), de rinitis alérgica (RP=1,9; IC95%: 1,25-3,1), de prematuridad (RP=3,4; IC95%: 1,7-6,5), de padres con asma (RP=2,6; IC95%: 1,4-5,0) y de tenencia de mascotas (RP=0,4; IC95%: 0,2-0,9).</li> <li>• La exposición a contaminantes biológicos intramurales (ácaros y hongos), los antecedentes personales de prematuridad, neumonía o rinitis y el antecedente familiar de asma, incrementan la probabilidad de presentación de síntomas indicativos de asma bronquial en la población estudiada.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Estudio de corte transversal analítico, en menores de 7 años, en dos zonas de la ciudad con niveles diferentes de contaminación atmosférica por material particulado.	

**Nota** Fuente: Herrera AB, Rodríguez LA, & Niederbacher J. Contaminación biológica intradomiciliaria y su relación con síntomas respiratorios indicativos de asma bronquial en prescolares de Bucaramanga, Colombia. *Biomédica*;2011;31:357-371.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.97.**Resumen del artículo Efectos de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de población susceptible: un estudio multinivel en Bucaramanga, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Efectos de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de población susceptible: un estudio multinivel en Bucaramanga, Colombia	
<b>Lugar:</b> Bucaramanga, Santander	<b>Autor/año:</b> Rodríguez V. Laura Andrea; Castro-Ortiz Henry; Rey-Serrano Juan José, 2012
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Analizar el efecto de la exposición a tres diferentes niveles de concentración de PM <sub>10</sub> en las enfermedades respiratorias de la población susceptible en Bucaramanga.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se registraron concentraciones medias diarias de PM<sub>10</sub> de 65, 83, 52, 48 y 35 µg/m<sup>3</sup> en el centro, sur, norte, este y oeste de la ciudad, respectivamente. El análisis multivariado mostró que la zona de mayor contaminación estaba asociada con un 60% y 74% más de síntomas respiratorios, comparada con la zona de contaminación media y baja, respectivamente.</li> <li>Se encontró asociación positiva entre la incidencia de síntomas respiratorios y exposición a concentraciones medias diarias de PM<sub>10</sub> mayores a 60 µg/m<sup>3</sup> en personas con enfermedades crónicas cardiovasculares o respiratorias.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Cohorte prospectiva de 770 personas (756 participantes).	

**Nota** Fuente: Rodríguez LA, Castro H, & Rey JJ. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de población susceptible: un estudio multinivel en Bucaramanga, Colombia. *Cadernos de Saúde Pública*;2012;28:749-757.

\*Adaptado por el autor.

En la ciudad de Pamplona, ubicada en el Departamento de Norte de Santander, se ha monitoreado y caracterizado el PM<sub>2.5</sub>; se estableció que se excede la norma anual, además que se detectó la presencia de metales pesados tales como Cromo, Hierro, Potasio, Manganeseo, Níquel, Plomo, Zinc y iones sulfato (Quijano, 2005; 2010). Por último se evaluó la actividad mutagénica y genotóxica del PM<sub>2.5</sub>, concluyendo que se presenta una alta actividad mutagénica directa de los extractos analizados (Meléndez, 2012).

**Tabla 4.98.**Monitoreo de Material Particulado fracción respirable (PM<sub>2.5</sub>) en Pamplona, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Monitoreo de Material Particulado fracción respirable (PM <sub>2.5</sub> ) en Pamplona, Colombia	
<b>Lugar:</b> Pamplona, Norte de Santander	<b>Autor/año:</b> Quijano Parra Alfonso; Orozco M. José Alejandro; 2005
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2.5</sub>
<b>Objetivo:</b> Establecer la concentración de PM <sub>2.5</sub> en la ciudad de Pamplona	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>En la ciudad de Pamplona no se supera la norma diaria de PM<sub>2.5</sub> establecida por la EPA (50 µg/m<sup>3</sup>), sin embargo la proyección de los promedios geométricos supera ampliamente la norma internacional (25 µg/m<sup>3</sup>).</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Quijano A, & Orozco JA. Monitoreo de Material Particulado fracción respirable (PM<sub>2.5</sub>) en Pamplona, Colombia. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*;2005;3:1-11.

\*Adaptado por el autor.



**Tabla 4.99.** Resumen del artículo Caracterización fisicoquímica del material particulado-fracción respirable PM<sub>2.5</sub> en Pamplona-Norte de Santander-Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Caracterización fisicoquímica del material particulado-fracción respirable PM <sub>2.5</sub> en Pamplona-Norte de Santander-Colombia	
<b>Lugar:</b> Pamplona, Norte de Santander	<b>Autor/año:</b> Quijano Parra Alfonso; Quijano Vargas Monica Juliana; Henao Martínez José Antonio, 2010
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2.5</sub>
<b>Objetivo:</b> Analizar químicamente el material particulado fracción respirable PM <sub>2.5</sub> en la ciudad de Pamplona	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se detectó en el aire de Pamplona la presencia de Cr, Fe, K, Mn, Ni, Pb y Zn.</li> <li>• Se encontró en el PM<sub>2.5</sub> de Pamplona la presencia de iones Sulfatos, que posiblemente provengan del combustible Diesel utilizado por las fuentes móviles.</li> <li>• El análisis de Difracción de rayos X, mostró la presencia en el PM<sub>2.5</sub> de Pamplona de las siguientes fases cristalinas: SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, ZnS, BaSO<sub>4</sub>. Los diferentes contaminantes encontrados son generados por las fuentes antropogénicas como la combustión de los combustibles que se utilizan en esta ciudad (gasolina, diésel).</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Quijano A, Quijano MJ, Henao JA. Caracterización fisicoquímica del material particulado-fracción respirable PM<sub>2.5</sub> en Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal;2010;8:1-20.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.100.** Resumen de artículo Actividad mutagénica y genotóxica en el material particulado fracción respirable MP<sub>2.5</sub> en Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Actividad mutagénica y genotóxica en el material particulado fracción respirable MP <sub>2.5</sub> en Pamplona, Norte de Santander, Colombia	
<b>Lugar:</b> Pamplona, Norte de Santander	<b>Autor/año:</b> Meléndez Gélvez Iván; Martínez Montañez Mónica Liseth; Quijano Parra Alfonso, 2012
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2.5</sub>
<b>Objetivo:</b> Estudiar las actividades mutagénica y genotóxica del material particulado fracción respirable MP <sub>2.5</sub> del aire de Pamplona, Norte de Santander.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El ensayo mediante el test de Ames usando las cepas TA98 y TA100 de Salmonella typhimurium mostró alta actividad mutagénica directa de los extractos analizados. También fue alta la genotoxicidad inducida por PM<sub>2.5</sub> y evaluada con el ensayo cometa.</li> <li>• El PM<sub>2.5</sub> presente en las muestras de aire de la ciudad de Pamplona constituye un factor de riesgo para la población expuesta, debido a que puede inducir mutaciones y además llegar hasta el núcleo de linfocitos humanos y causarles daño genotóxico.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Meléndez I, Martínez ML, Quijano A. Actividad mutagénica y genotóxica en el material particulado fracción respirable MP<sub>2.5</sub> en Pamplona, Norte de Santander, Colombia. IATERIA;2012;25:347-356.

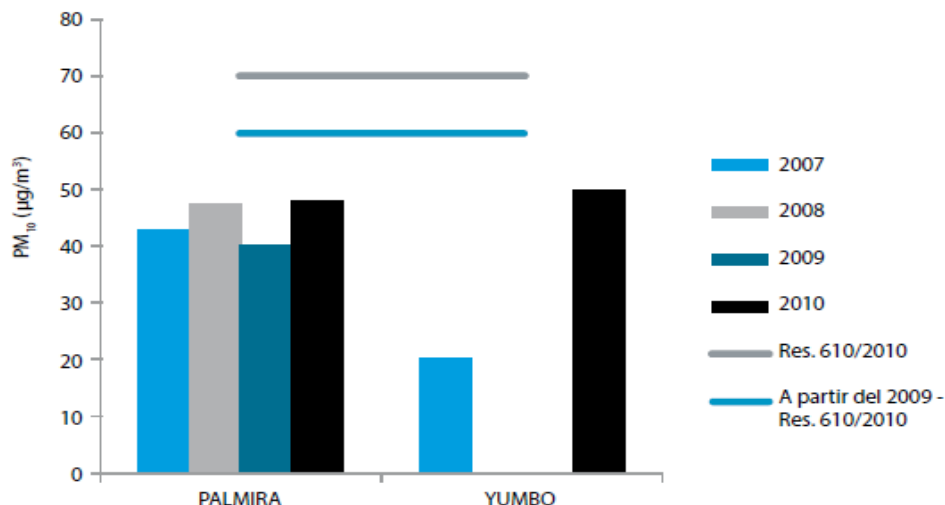
\*Adaptado por el autor.

#### 4.5.1.6. Valle del Cauca: Santiago de Cali

En los municipios de Yumbo y Palmira del Departamento de Valle del Cauca, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) administra el SVCA en esta zona. Para el periodo 2007 a 2010 las medianas (24 horas) de PM<sub>10</sub> presentaron un aumento a partir del año 2007 con 28,4 µg/m<sup>3</sup>, llegando en el año 2010 a 45,9 µg/m<sup>3</sup>. En general en los últimos cuatro años las medianas se concentraron por debajo de 50 µg/m<sup>3</sup>, lo cual no representa un riesgo a la

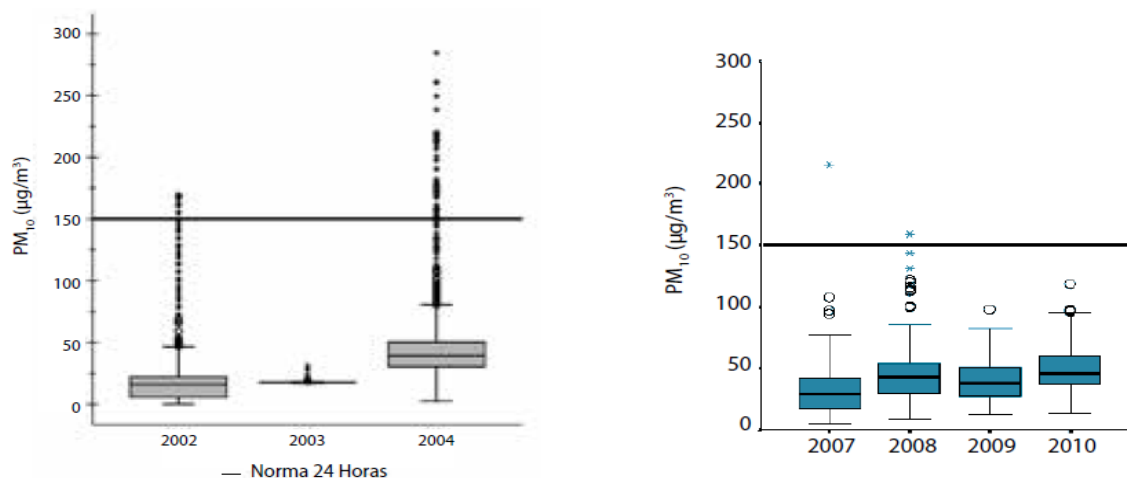
salud para la población aledaña. El comportamiento de los promedios anuales no sobrepasó el límite máximo permisible para el periodo 2007 a 2010 (Figura4.30 y 4.31) (IDEAM, 2012b).

**Figura4.30.** Concentración promedio de PM<sub>10</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

**Figura4.31.** Concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> en las estaciones del SVCA de la CVC

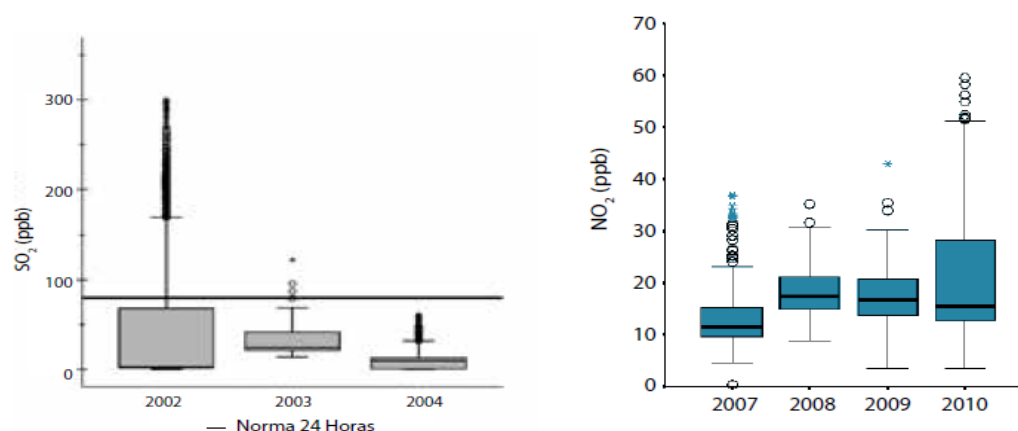


**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Para el Dióxido de Nitrógeno, durante el periodo 2007-2010, las concentraciones 24 horas no superaron el límite máximo permisible (80 ppb); a partir del año 2007 las concentraciones de NO<sub>2</sub> aumentaron progresivamente, llegando a un valor pico de 17,5 ppb en la mediana para el 2008 y presentando una leve disminución de 2 ppb en el 2010. Para un periodo de exposición

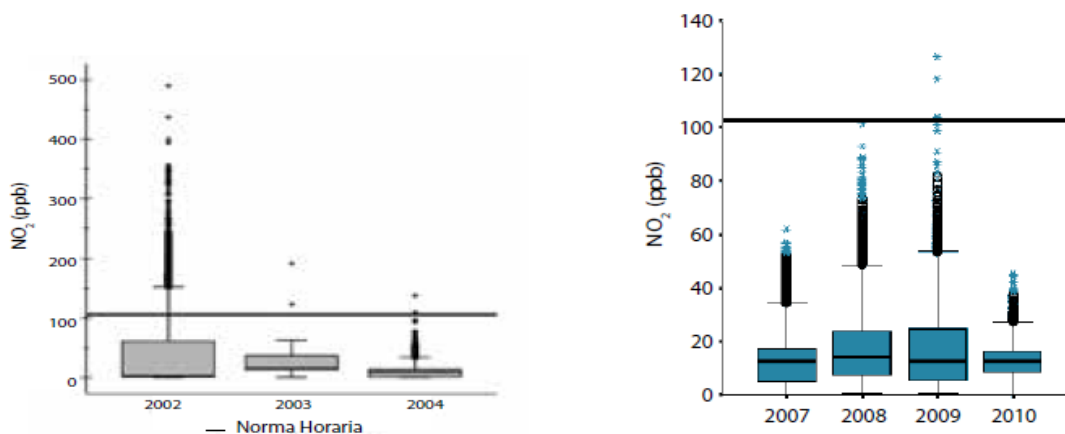
horaria, durante el año 2002 se registraron las mayores concentraciones con valores cercanos a 500 ppb; durante los últimos cuatro años las medianas se mantuvieron por debajo de 15 ppb, sin embargo en el año 2009 se presentaron excedencias con valores que superaron las 110 ppb (Figuras 4.32 y 4.33) (IDEAM; 2012b).

**Figura 4.32.** Concentración promedio de NO<sub>2</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

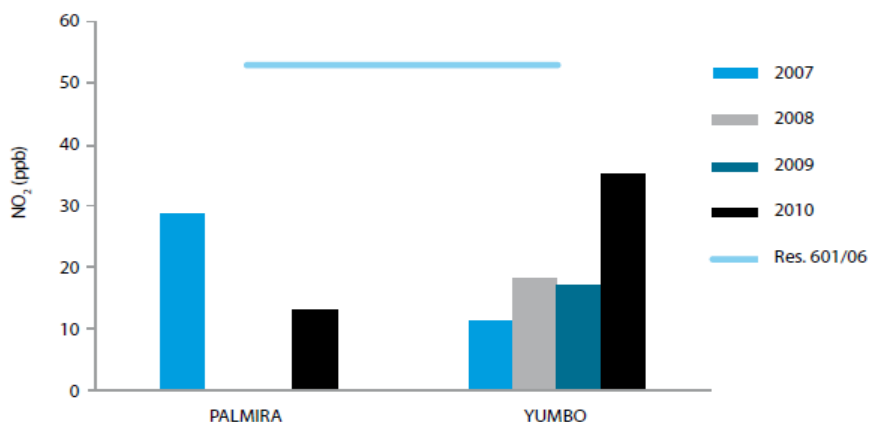
**Figura 4.33.** Concentración promedio de NO<sub>2</sub> (Horario) en las estaciones del SVCA de la CVC



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

En cuanto a los promedios anuales en las estaciones Palmira y Yumbo se presentaron valores entre 10 y 35 ppb, muy por debajo del límite máximo permisible nacional (53 ppb). La mayor concentración se presentó en la estación Yumbo en el año 2010 con un valor de 35,2 ppb (Figura 4.34) (IDEAM, 2012b).

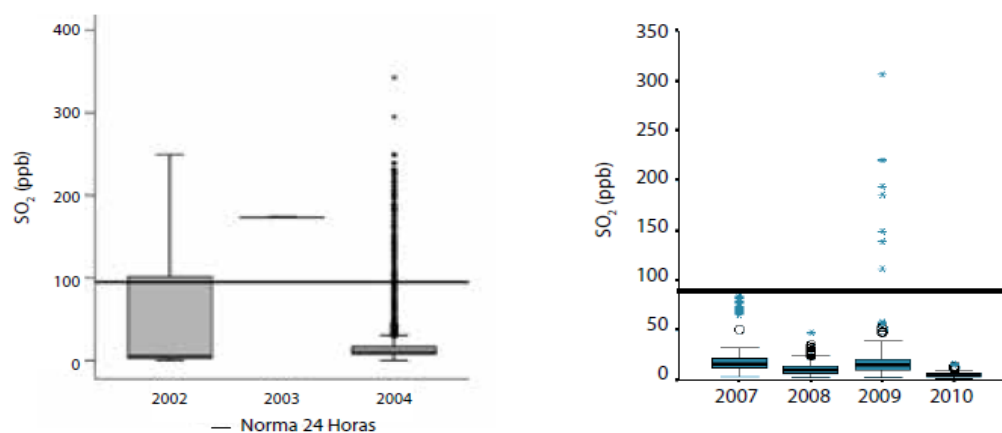
**Figura 4.34.** Concentración promedio anual de NO<sub>2</sub> en las estaciones del SVCA de la CVC



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

En cuanto al Dióxido de Azufre, se observa para el año 2004 una excedencia constante de la norma diaria. Para el periodo de 2007-2010 las concentraciones diarias presentaron medianas por debajo de 15 ppb, no obstante en el año 2009 se presentaron registros que superaron el límite máximo permisible (96 ppb), alcanzando valores máximos de 306 ppb (Figura4.35) (IDEAM, 2012b).

**Figura 4.35.** Concentración promedio de SO<sub>2</sub> (24 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC

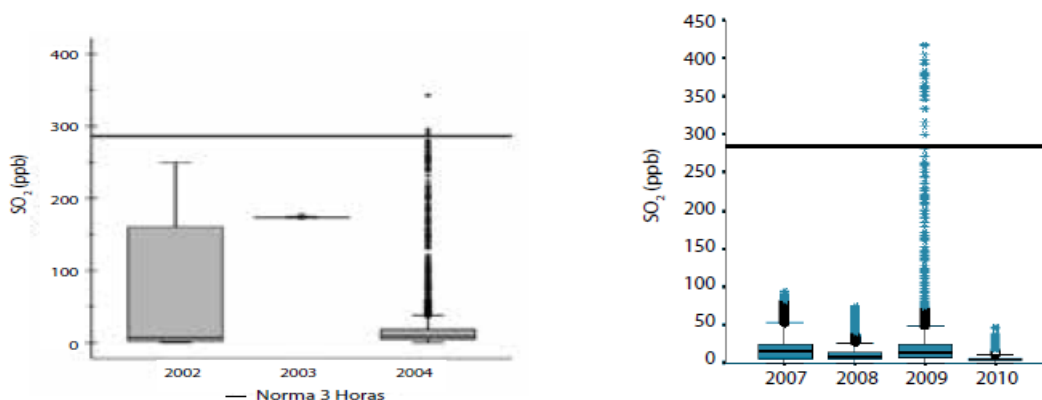


**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Para el periodo 2007-2010, las medianas de los registros promedio de tres horas se encontraron por debajo de las 15 ppb, al igual que en el análisis diario; en el año 2009 se presentaron registros que llegaron a superar la norma establecida de 287 ppb. Finalmente el comportamiento de los promedios anuales del contaminante, para el mismo periodo, mostró que la estación Palmira registró las mayores concentraciones, presentando el mayor promedio anual

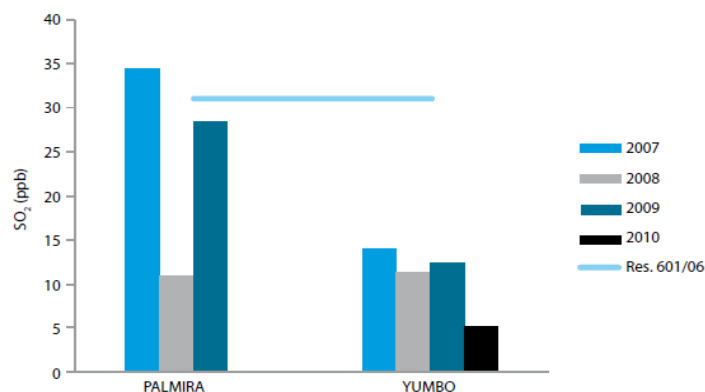
para el año 2007 (34,4 ppb), mientras en la estación Yumbo las concentraciones se mantuvieron entre 5 y 13 ppb (Figura 4.36 y 4.37) (IDEAM, 2012b).

**Figura 4.36.** Concentración promedio de SO<sub>2</sub> (3 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

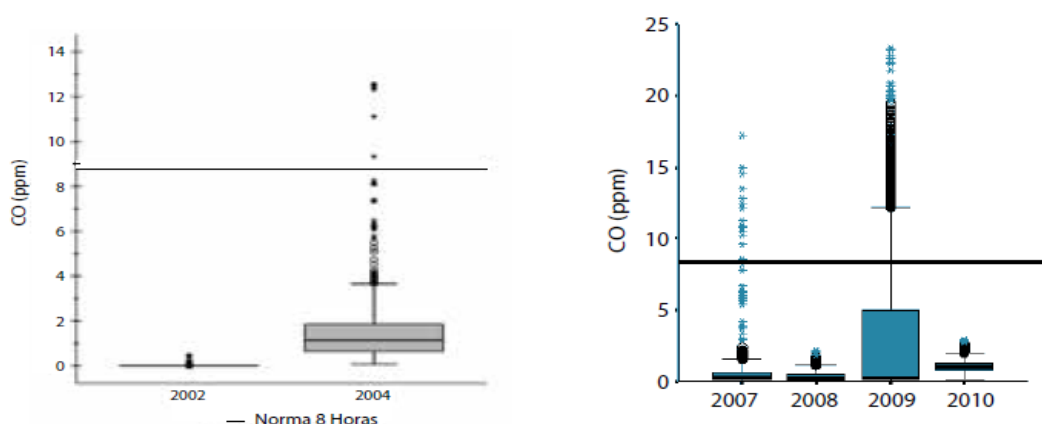
**Figura 4.37.** Concentración promedio anual de SO<sub>2</sub> en las estaciones del SVCA de la CVC



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

En cuanto a las concentraciones octohorarias de Monóxido de Carbono, para los años 2002, 2007, 2008 y 2010 las medianas se mantuvieron entre concentraciones de 0,2 y 1 ppm (Figura 4.38) (IDEAM, 2012b).

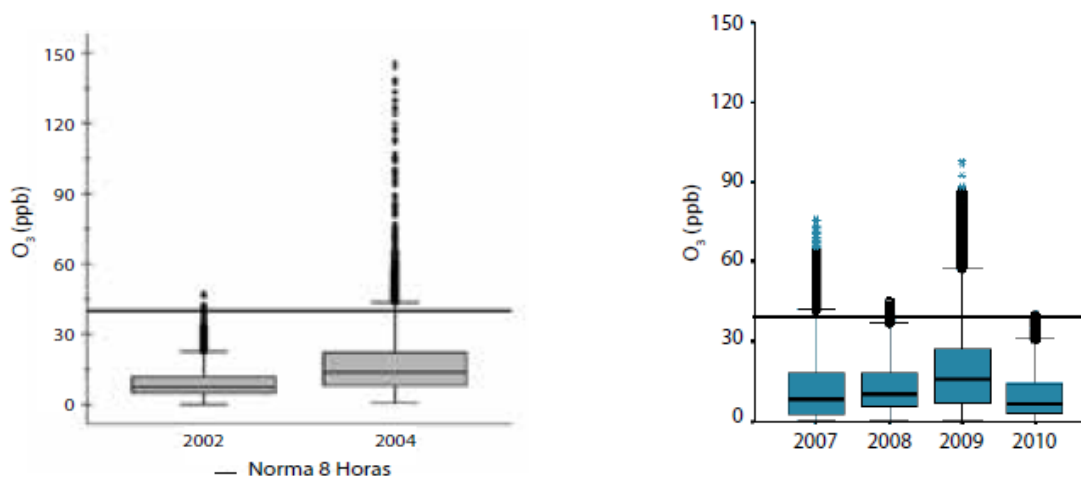
**Figura4.38.** Concentración promedio de CO (8 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

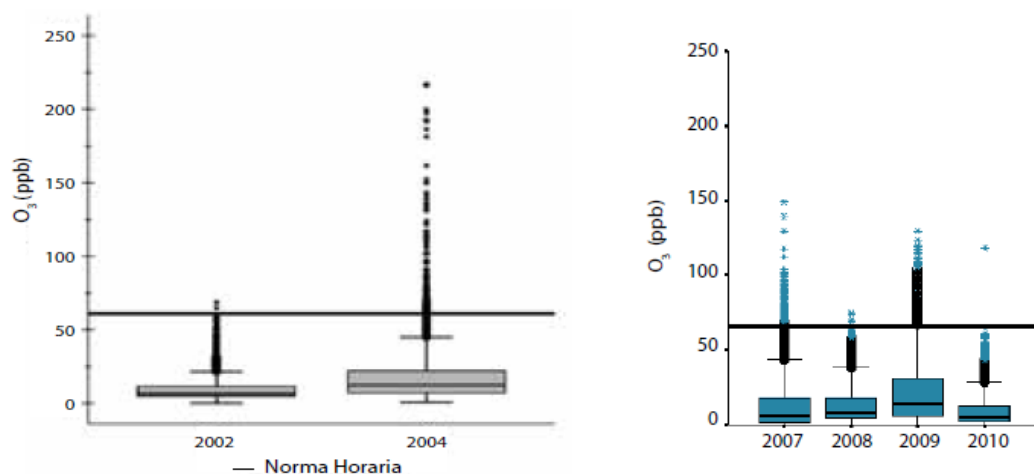
Finalmente para el Ozono, durante todos los años analizados se presentaron valores que superaron el límite máximo permisible para periodos de exposición de 8 horas y una hora, especialmente en los años 2004, 2007 y 2009. Adicionalmente durante el periodo 2007-2010 se evidenció un aumento en las medianas a partir del 2007 hasta el año 2009; en el 2010 se presentó una disminución notable (Figuras4.39 y 4.40) (IDEAM, 2012b).

**Figura4.39.** Concentración promedio de O<sub>3</sub> (8 horas) en las estaciones del SVCA de la CVC



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Higiología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

**Figura 4.40.** Concentración promedio de O<sub>3</sub> (Horario) en las estaciones del SVCA de la CVC



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Específicamente para la ciudad de Santiago de Cali, el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), establece en su informe anual de calidad del aire 2011, que la ciudad no presenta problemas por NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO, ya que sus concentraciones no exceden los valores establecidos en la Resolución 610 de 2010. Se observó una excedencia de la norma horaria y octohoraria de Ozono y anual de PM<sub>10</sub> (DAGMA, 2012).

El área Metropolitana de Cali presenta una afectación por las emisiones generadas en la quema de la caña de azúcar, donde los contaminantes emitidos se dispersan hacia la zona sur de la ciudad. Por esta razón se han realizado diversos estudios tanto en el perímetro urbano, como en municipios aledaños que han permitido caracterizar, conocer el comportamiento y establecer el impacto en la salud de los contaminantes del aire presentes en esta zona. A continuación se presentan los hallazgos más importantes de las investigaciones que se han llevado a cabo:

- Se establece que existe un incremento bajo de carbono orgánico (CO) y carbono vegetal (CV), producto de la quema de biomasa de caña de azúcar (Prada, 2010), sin embargo la quema y requema de la caña de azúcar, contribuye en gran medida con el deterioro de la calidad del aire en la zona (Madriñan, 2002).
- Durante 2005 se realizó un inventario de emisiones en el Municipio de Yumbo, lugar donde se concentra una gran actividad industrial, cuyas emisiones afectan la zona norte de Cali; se estableció que la industria del papel, artes gráficas y la industria química emiten el 77% de Monóxido de Carbono (CO) y el 75% de COV en toda la zona de estudio. De estos contaminantes, la ciudad de Cali contribuye con el 62% de CO y con el 91% de COV, lo que lleva a recomendar la implementación de programas que permitan a futuro pronosticar, de acuerdo al crecimiento industrial, poblacional y vehicular, así como al uso de combustibles alternos, los escenarios de formación de ozono en la región Cali-Yumbo (Jaramillo, 2005).



- En 2005 se realizó una estimación no paramétrica de las curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, el cual permitió establecer zonas de mayor contaminación para estos contaminantes, además de identificar como fuentes de emisión principal a las fuentes móviles ( Montoya, 2005).
- En 2007 se caracterizó el PM<sub>10</sub> encontrando concentraciones de Silicio de 25,22 µg/m<sup>3</sup>, 1,3 µg/m<sup>3</sup> (Hierro), 2,69 µg/m<sup>3</sup> (Calcio) y 2,52 µg/m<sup>3</sup> para Vanadio, este último excede el valor medio diario internacional establecido por la OMS (1 µg/m<sup>3</sup>). La concentración de Plomo fue de 0,963 µg/m<sup>3</sup>, valor que no excede la norma nacional de 24 horas (1,5 µg/m<sup>3</sup>). Para los HAP's caracterizados se destacan las concentraciones elevadas de naftaleno, lo que se puede deber al uso de combustibles que tienen este componente (ULS, 2008).
- En 2008 se realizó una modelación matemática que estimo las concentraciones de PM<sub>10</sub> y la prevalencia de Asma, Infección Respiratoria Aguda y Bronquitis en 8 sectores de la ciudad de Cali, sin encontrar una asociación entre las variables (De la Pava, 2008).
- Al caracterizar el PM<sub>2.5</sub> en una zona industrial de la ciudad de Cali se identificó Cromo, Arsénico, Cadmio, Cobre y Plomo, los cuales exceden en ocasiones los límites máximos permisibles (Abrahams, 2009); a su vez, se establecieron los aportes de fuentes móviles e industriales que producen los metales encontrados, así como los aportes de CO y CE dentro de las emisiones (Abrahams, 2011).
- La concentración de Benceno medida en una zona expuesta a las emisiones del Botadero de Navarra, fue de 2.92 µg/m<sup>3</sup>, valor que supera 48% de las veces el nivel máximo permitido para prevenir afectación en la salud (Gómez A, 2008).
- Se ha desarrollado un modelo aplicando metodología de Box-Jenkins para la predicción de ozono en la ciudad, el cual mostró un poder de predicción aceptable, lo que permitiría reforzar la vigilancia de este contaminante que es de gran importancia en la ciudad (Jaramillo, 2007).
- Se identificaron fuentes de exposición internas a PM<sub>2.5</sub> en una cohorte de mujeres embarazadas, donde practicas como el reciclajey la quema de basuras al aire libre se asociaron con la presencia dePlomo, además del barrido diario, el uso de cortinas para dividir las habitaciones y permanecer con las ventanas abiertas todo el día (Abraham, 2011b).

Los resultados de las investigaciones mencionadas se muestran a continuación:

**Tabla 4.101.** Resumen de tesis, compilaciones y análisis sobre contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar; *saccharum officinarum L*, en el valle geográfico del río Cauca.

<b>Nombre documento:</b> Compilación y análisis sobre contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar; <i>saccharum officinarum L</i> , en el valle geográfico del río Cauca	
<b>Lugar:</b> Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Madriñan Palomino Carlos Eduardo; 2002
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Partículas, CO e Hidrocarburos
<b>Objetivo:</b> Recopilar la información existente en Colombia sobre la quema y la requema de la caña de azúcar <i>Saccharum officinarum L</i> , analizar el impacto ambiental que causa, plantear y ampliar la discusión.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>La quema y requema de la caña de azúcar <i>Saccharum officinarum L</i>, en el valle geográfico del río Cauca, contribuye en gran medida con el deterioro de la calidad del aire, toda vez que genera gran cantidad de contaminantes discriminados así: 34.155 Kg/día de partículas; 370.012 Kg/día de CO y 54.648 Kg/día de Hidrocarburos, para un promedio de 450 Ha que se queman diariamente.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Madriñan CE. Compilación y análisis sobre contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar, *saccharum officinarum L*, en el valle geográfico del río Cauca [Tesis]. Palmira: Universidad Nacional de Colombia sede Palmira;2002.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.102.** Resumen de artículo Estimación no-paramétrica de curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en Santiago de Cali.

<b>Nombre documento:</b> Estimación no-paramétrica de curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> en Santiago de Cali	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Martha Rocío Montoya Murillo, Alexandra Morales Buitrago, Javier Olaya Ochoa, 2005.
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> CO, NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub>
<b>Objetivo:</b> Estimar las curvas típicas diarias de los contaminantes monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) y dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) usando los datos recolectados por las estaciones de monitoreo de la ciudad de Cali.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Haciendo uso de los modelos para el CO, el nivel de concentración a las 3:30 PM en la Calle 15 sería <math>4.8 \pm 0.3</math> ppm para la temporada seca y de <math>5.6 \pm 0.25</math> ppm para la temporada lluviosa, ambos con un nivel de confianza del 95%.</li> <li>El nivel promedio de NO<sub>2</sub> para la estación de la Escuela República de Argentina en un día ordinario a las 2:30 P.M. sería de <math>57 \pm 0.35</math> ppb con un nivel de confianza del 95%.</li> <li>En la estación de la Base Aérea los niveles de contaminación por SO<sub>2</sub> se encuentran bien diferenciados para las temporadas seca y lluviosa, siendo mayor en la temporada seca.</li> <li>La contaminación del aire en Santiago de Cali se debe fundamentalmente a las fuentes móviles, es decir, a la emisión de gases por parte de autos y buses.</li> <li>Los más altos niveles de contaminación se presentan en la estación de la Calle 15, en el centro de la ciudad, producida por la emisión de gases vehiculares.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Montoya MR, Morales A, & Olaya J. Estimación no-paramétrica de curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en Santiago de Cali. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente;2005;2:23-27.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.103.** Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes puntuales en la zona Cali-Yumbo (Colombia).

<b>Nombre documento:</b> Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes puntuales en la zona Cali-Yumbo (Colombia)	
<b>Lugar:</b> Yumbo, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Mauricio Jaramillo, María Núñez Cabrera, William Ocampo Duque, Diego Darío Pérez Ruiz, Gloria Portilla; 2005.
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> COV, PM <sub>10</sub> , CO, NO <sub>x</sub> y SO <sub>x</sub>
<b>Objetivo:</b> Calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales (COV, PM <sub>10</sub> , CO, NO <sub>x</sub> y SO <sub>x</sub> ) por fuentes puntuales para el año 1997 en Cali-Yumbo (Colombia).	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Del total de fuentes puntuales analizadas, 50 se encuentran en Yumbo, principalmente al sur de este municipio, y las 58 restantes en Cali, principalmente en las comunas 4, 5, 8, y 9 al norte de la ciudad.</li> <li>• El sector de industria química es el de mayor participación en la zona Cali-Yumbo (23%) y genera el mayor grado de las emisiones de COV (70%) y CO (49%).</li> <li>• El sector industrial de papel y artes gráficas, aunque representa sólo el 11% del total de las empresas estudiadas (108), en la zona Cali-Yumbo genera el 56% de MP10, 43% de SO<sub>x</sub> y 39% de NO<sub>x</sub>.</li> <li>• La industria del papel, artes gráficas y la industria química emiten el 77% de CO y el 75% de COV en toda la zona de estudio. De estos contaminantes, la ciudad de Cali contribuye con el 62% de CO y con el 91% de COV, lo que lleva a recomendar desde ahora la implementación de programas que permitan en un futuro inmediato pronosticar, de acuerdo al crecimiento industrial, poblacional y vehicular, así como al uso de combustibles alternos, los escenarios de formación de ozono en la región Cali-Yumbo.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Jaramillo M, Núñez M, Ocampo W, Perez DD, & Portilla G. Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes puntuales en la zona Cali-Yumbo, Colombia. Ingeniería & Desarrollo;2005;17:115-129.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.104.** Resumen de artículo Análisis de series de tiempo univariante aplicando metodología de Box-Jenkins para la predicción de ozono en la ciudad de Cali, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Análisis de series de tiempo univariante aplicando metodología de Box-Jenkins para la predicción de ozono en la ciudad de Cali, Colombia	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Mauricio Jaramillo Ayerbe, Daniel Enrique González Gómez, María Eugenia Núñez Cabrera, Gloria Esperanza Portilla, Jesús Heriberto Lucio García; 2007
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Ozono
<b>Objetivo:</b> Predecir a corto plazo la concentración de ozono troposférico en la zona urbana de la ciudad de Cali, Colombia, mediante el análisis univariante de series de tiempo.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• De los 2.496 datos horarios (104 días), se obtuvo una concentración media de 19 ppb, un mínimo de 1,9 y un máximo de 81. El ozono presenta valores máximos alrededor de las 14 a 15 horas, que siguen a las horas de mayor intensidad de radiación solar, y menores concentraciones en las horas de la madrugada debido a la ausencia de radiación.</li> <li>• El poder de predicción del modelo es aceptable hasta para un período de tiempo de 8 horas hacia adelante. Se establece así la posible utilidad de esta metodología, mediante su implementación en tiempo real como complemento al análisis de los datos de monitoreo de calidad del aire, en la mitigación de los efectos negativos para la salud como consecuencia de episodios de altas concentraciones de ozono.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Jaramillo M, González DE, Núñez ME, Portilla GE, & Garcia JH. Análisis de series de tiempo univariante aplicando metodología de Box-Jenkins para la predicción de ozono en la ciudad de Cali, Colombia. Revista Facultad de Ingeniería;2007;39:79-88.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.105.** Resumen de investigación Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT.

<b>Nombre documento:</b> Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas. Contrato 2062394 MAVDT	
<b>Lugar:</b> Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Universidad de la Salle, 2008
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<p><b>Resultados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración de Silicio en la ciudad fue de 25,22 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>. Otros metales registraron valores de 1,3 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (Hierro), 2,69 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (Calcio) y 2,52 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> para Vanadio, este último excede el valor medio diario internacional establecido por la OMS (1 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>). Las concentraciones de Plomo son de alta proporción y variación (0,963 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), esto implica que en algunos casos existan diversas fuentes que emiten esporádicamente y en otros, de manera continua pero en menor proporción.</li> <li>• La baja proporción de Carbono Elemental (CE) (0,63 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) muestra de acuerdo con los resultados obtenidos de otros parámetros, que existe una alta dispersión o degradación de estos componentes por acción de los viento o de la intensidad solar existente en esta zona; el Carbono Orgánico (CO) presentó una concentración de 5,24 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</li> <li>• La concentración de Nitratos (4,84 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), Sulfatos (5,32 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) y Amonio (3,40 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) son altamente correlacionables en el área metropolitana de la ciudad de Santiago de Cali. El análisis muestra un menor aporte de las fuentes móviles, lo que es altamente correlacionable con las bajas concentraciones de CO y CE presentado durante el periodo de monitoreo.</li> <li>• El sector de Yumbo analizado, muestra la más alta concentración de Sulfatos de los registrados en las siete ciudades evaluadas, lo cual permite concluir que el sector industrial de Yumbo en el área metropolitana de Santiago de Cali, presenta el mayor aporte por combustibles con altos contenidos de Azufre y Nitrógeno, pues al igual que los Nitratos registra las mayores concentraciones de las ciudades evaluadas. Los resultados señalan una baja calidad de los combustibles empleados en esta zona, bien sea por fuentes fijas o por fuentes móviles.</li> <li>• Para los HAP's caracterizados en la ciudad de Santiago de Cali, se destacan las concentraciones elevadas de naftaleno, lo que se puede deber al uso de combustibles que tienen este componente.</li> <li>• El monitoreo en Santiago de Cali fue efectuado en la Estación ubicada en el Diario el País que colinda con la zona industrial de Yumbo, la cual exhibe altos niveles de metales, valores que contrastan con el CO y el CE que en esta ciudad presentó los menores valores. En este sector es importante mostrar el alto porcentaje de material desconocido que posiblemente este asociado en buena parte a material geológico, relacionado con fuentes de área dispersa o difusa, lo que se evidencia con las altas proporciones de Calcio encontradas en esta ciudad.</li> <li>• Se destaca la proporción de fuentes como Calcio y metales como Hierro pues ellos son trazadores de fuentes de origen geológico, también se destaca la baja proporción de fuentes biogénicas y por su puesto la menor proporción de CE, valor que contrasta ampliamente con las concentraciones de Sulfatos y Nitratos lo que permite confirmar un alto proceso de transformación de iones en la atmósfera.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: [ULS] Universidad de la Salle. Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas (Contrato 2062394). Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT);2008.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.106.** Resumen del artículo Modelación matemática de la relación PM<sub>10</sub>-enfermedades pulmonares en la Ciudad de Cali.

<b>Nombre documento:</b> Modelación matemática de la relación PM <sub>10</sub> -enfermedades pulmonares en la Ciudad de Cali	
<b>Lugar:</b> Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> De la Pava Elmer; Salguero Beatriz; Fernández Oscar,2008
<b>Tipo documento:</b> Articulo	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>

**Objetivo:** Estimar mediante un modelo matemático la relación entre enfermedades pulmonares como: asma, bronquitis e IRA con la concentración de PM<sub>10</sub> en el medio ambiente.

**Resultados:**

- El sector del Centro Diagnóstico Automotor al norte de Cali recibe a diario una gran cantidad de material particulado por su cercanía con la zona industrial del Municipio de Yumbo. Se encontró una prevalencia de enfermedad del 25%. La variable que más influye en los resultados, es el promedio de PM<sub>10</sub> que fue de 62 µg/m<sup>3</sup>, el cual tiene como origen el transporte público y la zona industrial.
- En el sector de la Base Aérea de Cali se encontró una prevalencia de enfermedad del 18%. El promedio de PM<sub>10</sub> reportado fue de 46 µg/m<sup>3</sup>.
- En el sector de la Calle 15 de Cali se tiene una prevalencia de enfermedad alrededor del 20%. El promedio de PM<sub>10</sub> fue de 48 µg/m<sup>3</sup>.
- En el sector de la Escuela República de Argentina de Cali se encontró una prevalencia de enfermedad por debajo del 18%. El promedio de PM<sub>10</sub> fue de 48 µg/m<sup>3</sup>.
- En el sector del polideportivo del barrio El Diamante la prevalencia de la enfermedad se encuentra por debajo del 20%. El promedio de PM<sub>10</sub> fue de 55 µg/m<sup>3</sup> y proviene del transporte público.
- En el sector de Hospital Universitario del Valle la prevalencia de la enfermedad oscila alrededor del 16%. El promedio de PM<sub>10</sub> fue de 42 µg/m<sup>3</sup>.
- En el sector de la Universidad del Valle la prevalencia está por debajo del 13%. El promedio de PM<sub>10</sub> fue de 28 µg/m<sup>3</sup>.
- El sector Club CVC Pance presenta una prevalencia alrededor del 11%. El promedio de PM<sub>10</sub> fue de 27 µg/m<sup>3</sup>.

**Nota** Fuente: De la Pava E, Salguero B, & Fernández O. Modelación matemática de la relación PM<sub>10</sub>-enfermedades pulmonares en la Ciudad de Cali. *Scientia et Technica*;2008; 38:347-352.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.107.** Resumen del artículo Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Rosa María Gómez, Paola Andrea Filigrana, Fabián Méndez; 2008
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Metano, Benceno
<b>Objetivo:</b> Evaluar el efecto de las emisiones del sitio de disposición final de residuos sólidos en Cali, el Botadero de Navarro (BN), en la calidad del aire de una zona definida como expuesta (<3 km de distancia y en dirección predominante del viento) en comparación con otra seleccionada como control (>3 km y en sentido contrario al viento predominante).	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El metano y el benceno tienen como fuente principal de emisión el BN y son dispersados por acción del viento en la dirección predominante hacia la zona denominada expuesta.</li> <li>• Hay evidencia de un gradiente en la concentración de benceno desde el BN (p&lt;0.01). Las concentraciones encontradas en la zona expuesta (mediana=2.92 µg/m<sup>3</sup>) superaron 48% de las veces el nivel máximo permitido para prevenir afectación en la salud y fueron mayores que en la zona control (mediana=1.54 µg/m<sup>3</sup>) donde sólo 22% de las veces se superó la norma.</li> <li>• El metano presentó un gradiente con concentraciones más altas en la zona expuesta que en la zona control, y hay evidencia de una mayor concentración de material particulado menor a 5 micras en la zona expuesta.</li> <li>• Los hallazgos muestran evidencias de efectos ambientales en áreas &lt;3 km del BN. Esta distancia se debe considerar cuando se estén definiendo el perímetro de áreas no habitadas alrededor de sitios municipales de disposición de basuras.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Gómez RM, Filigrana PA, & Méndez F. Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia. *Colombia Medica*;2008;39:245-52.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.108.** Abstract of PM<sub>2.5</sub> and Heavy Metals Outdoor Concentrations at a School Near to an Industrial Zone in Cali, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> PM <sub>2.5</sub> and Heavy Metals Outdoor Concentrations at a School Near to an Industrial Zone in Cali, Colombia	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Abrahams, Nathalie; Lasso, Ana; Filigrana, Paola; Silva, Juan Pablo; Méndez, Fabián; 2009
<b>Tipo documento:</b> Resumen	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2.5</sub>
<b>Objetivo:</b> Establecer los niveles de PM <sub>2.5</sub> al aire libre y los metales pesados en una escuela que se encuentra a 2,5 km, viente abajo de una zona industrial.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La media de concentración de PM<sub>2.5</sub> fue 43,38 µg/m<sup>3</sup>. En el 73% de todas las muestras se encontró Cromo con una concentración media de 0,005 µg/m<sup>3</sup>; 31% con una concentración de 0.010 µg/m<sup>3</sup> de Arsénico; 82% con 0.057 µg/m<sup>3</sup> de Cadmio; 71% con 0.024 µg/m<sup>3</sup> de Cobalto 100% 0,814 µg/m<sup>3</sup> de Plomo.</li> <li>• Sólo se encontró una correlación significativa entre las concentraciones de Plomo y Arsénico (r = 0,90, P &lt; 0,001). El análisis de regresión mostró una asociación estadísticamente significativa entre el Pb y PM<sub>2.5</sub> (P = 0,05), aunque solamente explicaba el 8% de la variación de PM.</li> <li>• Aunque los niveles de PM<sub>2.5</sub> no excedieron los límites diarios, hubo una tendencia a sobrepasarlos límites anuales. Las concentraciones de metales pesados, principalmente Pb, representan una amenaza para la salud humana, y la correlación observada entre Pb y As sugiere que las posibles fuentes son las fábricas locales.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Abrahams N, Lasso A, Filigrana P, et al. PM<sub>2.5</sub> and Heavy Metals Outdoor Concentrations at a School Near to an Industrial Zone in Cali, Colombia. Epidemiology Abstracts, 21<sup>st</sup> Annual Conference. Dublin, Ireland: ISEE; 2009; 20: S69-S70.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.109.** Resumen de la tesis Evaluación del incremento en carbono orgánico (OC) y carbono elemental (EC) en el material particulado generado por quema de biomasa en el valle geográfico del río Cauca.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación del incremento en carbono orgánico (OC) y carbono elemental (EC) en el material particulado generado por quema de biomasa en el valle geográfico del río Cauca.	
<b>Lugar:</b> Valle del Río Cauca, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Gina Daniela Prada Muñoz, María Alejandra Robayo García; 2010.
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Material particulado
<b>Objetivo:</b> Determinar la presencia de algunas partículas carbonáceas (EC y OC), producto de la quema de biomasa de caña de azúcar.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En cuanto a las concentraciones de PM<sub>10</sub>, los puntos de monitoreo que presentaron la mayor concentración fueron el municipio de Guachené y el corregimiento de Crucero de Gualí, con valores promedio de 41,4 µg/m<sup>3</sup> y 31,6 µg/m<sup>3</sup> respectivamente.</li> <li>• Las mayores concentraciones de OC estuvieron en el municipio de Guachené y el corregimiento de Crucero de Gualí; las menores concentraciones se encontraron en el municipio de Bolívar y el corregimiento de Ricaurte.</li> <li>• Para el caso de EC las concentraciones más altas se encontraron en el municipio de Guachené y el corregimiento de Bolo San Isidro. Las concentraciones más bajas se encontraron en el municipio de Bolívar y los corregimientos de Ricaurte y Guabas.</li> <li>• Se concluye que existe un incremento debido a la quema de biomasa de caña de azúcar, de las concentraciones de OC y EC aunque este incremento es muy bajo, sin dejar de lado que existen una variedad de fuentes que también influyen en las concentraciones de estos compuestos.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Prada GD, & Robayo MA. Evaluación del incremento en carbono orgánico (OC) y carbono elemental (EC) en el material particulado generado por quema de biomasa en el valle geográfico del río Cauca [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle; 2010.

\*Adaptado por el autor.



**Tabla 4.110.** Abstract of Source apportionment of air pollution in an urban area influenced by local industries in Cali, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Source apportionment of air pollution in an urban area influenced by local industries in Cali, Colombia	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Nathalie Cris Abrahams Chow, Paola Andrea Filigrana Villegas, Fabián Méndez Paz; 2011
<b>Tipo documento:</b> Resumen	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2.5</sub>
<b>Objetivo:</b> Evaluar el impactode un área industrial en la calidad del aire y la salud de estudiantes ubicados en el norte de Cali.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El mayor componente del PM<sub>2.5</sub> fue la fracción carbonosa, que representan el 53-83% de la masa total. Las emisiones industriales son las más importantes, contribuyendo con el 53,7%, donde se identificó Pb (91,4%) y otros metales pesados, como Ni (47,62%) y Cd (63,82%).</li> <li>Las fuentes móviles y el polvo asociado contribuyen con el 27,7%, identificados por la gran presencia de OC (72,59%), EC (86,83%) y V (51,71%) para fuentes móviles, y Fe (25,68%), Ti (36,22%), Ca (48,43%) y Si (38,91%) para polvo asociado.</li> <li>Las fuentes de origen industrial contribuyen con el 18,6%, no se relacionan con las actividades generadoras de plomo, pero se identificaron por la presencia de Zn (91,49%) y Fe (44,67%).</li> <li>Las actividades industriales en el municipio de Yumbo pueden tener un impacto en la calidad del aire en la zona norte de Cali, lo cual debe conducir a acciones conjuntas para el control de la contaminación.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Abrahams N, Filigrana PA, & Méndez F. Source apportionment of air pollution in an urban area influenced by local industries. 23<sup>rd</sup> Annual Conference of the International Society of Environmental Epidemiology: ISEE; 2011.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.111.** Abstract of Sources of indoor airborne cd and pb in a cohort of pregnant women in Cali, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Sources of indoor airborne cd and pb in a cohort of pregnant women in Cali, Colombia	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Nathalie Abrahams, Diana Caicedo, Fabián Méndez; 2011
<b>Tipo documento:</b> Resumen	<b>Contaminante estudiado:</b> Cd y Pb
<b>Objetivo:</b> Identificar las fuentes de Cd y Pb intramuros.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las prácticas principales se encuentran asociadas con un aumento de la exposición a PM<sub>2.5</sub> (barrido diario, uso de cortinas para dividir las habitaciones y ventanas abiertas durante el día).</li> <li>Prácticas en las inmediaciones como el reciclaje y la quema de basuras al aire libre se asociaron con la presencia de Pb (max: 0.09, min: 0.04 ug/m<sup>3</sup>); no se halló Cd en estas mediciones. Muchas de las prácticas encontradas en esta población están relacionadas con la pobreza.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Abraham N, Caicedo DM, & Mendez F. Sources of indoor airborne Cd and Pb in a cohort of pregnant women in Cali, Colombia. Memorias: 23<sup>rd</sup> annual conference of the International Society of Environmental Epidemiology (ISEE); 2011b.

\*Adaptado por el autor.

Dentro del campo de los efectos en salud relacionados con la contaminación del aire, se observa una gran cantidad de investigaciones concentradas en las emisiones de la quema de la caña de azúcar, las derivadas de botaderos a cielo abierto y aquellas que provienen de la zona industrial de Yumbo; los resultados más relevantes fueron:



- Para el año 2000, se estimó que un incremento del 10% en la contaminación por material particulado aumenta los casos de enfermedades respiratorias en 7% en la ciudad de Cali (Ortiz, 2000).
- Se estimó la relación concentración respuesta asociada con la quema de caña de azúcar. Un aumento del 1% en la concentración del PM<sub>10</sub> máximo diario cinco días atrás, generaría un aumento del 0,25% en el número de consultas por Infección respiratoria aguda (IRA); en los menores de 10 años, un incremento en 1% en la concentración de PM<sub>10</sub> máximo diario dos días atrás, generaría un aumento de 0,17% en el número de consultas por IRA y al tratarse de cinco días atrás, el incremento se traduce en 0,11% (Dávalos, 2007).
- En investigación llevada a cabo en el sector industrial de ACOPI Yumbo (UNIVALLE, 2009), se desarrolló un estudio observacional de prevalencia, que incluyó dos componentes relacionados: 1) Caracterización de la exposición a material particulado y a plomo, 2) Evaluación de los efectos sobre la salud respiratoria en población vulnerable. Algunos de los resultados más relevantes fueron:
  - Las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en una zona previamente establecida como expuesta, al norte de la ciudad de Cali, registraron concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> (42,59 µg/m<sup>3</sup>) que superaron las normas internacionales establecidos por la OMS (25 µg/m<sup>3</sup>) y la EPA (35 µg/m<sup>3</sup>). Se encontró un aporte del sector industrial ACOPI-Yumbo a la contaminación en el norte de la ciudad de Cali, representado por la presencia de metales como estaño, arsénico, cadmio y plomo, principalmente. La zona control, ubicada al sur de la ciudad, registró un valor promedio diario de 35,94 µg/m<sup>3</sup>.
  - En cuanto a la evaluación de biomarcadores de exposición al plomo, en ambos grupos de estudio (zona expuesta y control) se encontraron concentraciones en sangre inferiores al nivel tóxico establecido por el Centro de Control de Enfermedades (CDC) para población escolar (i.e.; < 10 µg/dL). No obstante, las concentraciones en los escolares de la zona expuesta fueron mayores que en los de la zona control, con una alta prevalencia de niveles de plomo en sangre iguales o superiores a 5 µ/dL en los expuestos. Por lo anterior, es posible concluir que aunque las concentraciones observadas no alcanzan los niveles de toxicidad, podría suceder que exposiciones crónicas a concentraciones medias (5 a 10 µg/dL) originen efectos a mediano y largo plazo en la población residente cerca de ACOPI.
  - El componente de salud mostró efectos negativos de los contaminantes del sector de ACOPI – Yumbo sobre la salud de los escolares expuestos. En particular, se evidenció en los escolares expuestos a ACOPI – Yumbo, cuando se comparan con los escolares que residen en un área distante o zona control: 1) una mayor frecuencia de síntomas respiratorios en general, de sibilancias y de síntomas de vías respiratorias superiores o irritativos en comparación con los escolares en la zona control; 2) una mayor prevalencia de alteración obstructiva en la función pulmonar y de disminución en los parámetros de la función pulmonar como el Flujo Espiratorio Forzado 25-75% y en la relación VEF<sub>1</sub>/CVF, estos últimos presentes principalmente en los escolares que además

reportaron síntomas bronco-obstructivos; 3) una modificación del efecto entre la exposición a los contaminantes del sector ACOPI – Yumbo y la presencia de síntomas bronco-obstructivos sobre la función pulmonar, con mayores efectos en niños expuestos que además reportaron esos síntomas; 4) un incremento del riesgo en el número de consultas por enfermedades respiratorias asociada con incrementos concurrentes en la concentración de  $PM_{2.5}$ , en la población residente en el norte de Cali y potencialmente expuesta a los contaminantes del sector de ACOPI.

- La exposición al Botadero de Navarro (BN) en Cali, se asoció a una probabilidad más alta de desarrollar síntomas respiratorios (OR=1,37, IC95%:1,17-1,60) en niños de 1 a 5 años y a mayores costos familiares relacionados con el desarrollo de esos síntomas en niños (diferencia promedio: \$ 24.038,5; IC95%:6.211,0-39.650,4) (Girón, 2009); al mismo tiempo la exposición al BN se asoció con la presencia de uno o más síntomas respiratorios (OR=1,25; IC95%:1,01-1,56) y síntomas respiratorios moderados (OR=1,28; IC95%:0,98-1,66) en adultos mayores de 50 años (Filigrana, 2011a). El 83,4% de la comunidad cercana al BN considera que el BN produce contaminación y la asocia al aire en un 42%. El 48 % calificó como grave y el 29 % como muy grave la contaminación producida por el BN (Valencia, 2011). Al evaluar mujeres embarazadas que residen cerca al BN, se estableció un aumento del riesgo de niveles de plomo  $\geq 5 \mu\text{g}/\text{dl}$  para aquellas mujeres que viven a menos de 4 kilómetros del BN (OR:6,2; IC95% 1.7-21.7) y las que viven a menos de 2 cuadras de sitios comerciales de manipulación de baterías (OR: 8,33; IC 95% 1.01-82,8), también se encontró un aumento del riesgo por niveles de cadmio  $>0.4 \mu\text{g}/\text{dl}$  entre las mujeres que viven a menos de 4 km del BN, pero fue no significativo (OR: 2,1; IC95% 0,63-7.5) (Caicedo, 2011).
- Se encontró una asociación positiva entre la exposición y los síntomas respiratorios como goteo nasal (OR: 3,01, IC95%: 1,46-6,22), prurito nasal (OR:3,59; IC95%: 1,75-7,36), falta de aliento con el ejercicio (OR:1,47, IC 95%: 0,44-4,89) y sibilancias (OR: 1,64, IC95%: 0.79-3.39) en niños de 6 a 14 años en la zona norte de Cali (Filigrana, 2009).
- Se encontró una posible asociación entre la variación diaria de  $PM_{10}$ ,  $O_3$  y  $NO_x$  y las admisiones por Enfermedad Respiratoria y Enfermedad Cardiovascular en Cali (Filigrana, 2011b).
- En estudio llevado a cabo durante el año 2010, en tres corregimientos y una cabecera municipal pertenecientes a cuatro municipios del Valle geográfico del Rio Cauca, se realizó una cuantificación de las quemadas controladas que se practican habitualmente y de los incendios que ocurren usualmente, donde no se documentaron efectos negativos significativos en la calidad de aire evaluada por  $PM_{10}$  y en la salud respiratoria de la cohorte evaluada globalmente, atribuibles a las quemadas de caña de azúcar. En general se concluyó que en todas las zonas de estudio, hubo contribución de material geológico y actividad agrícola (lo cual se sustenta en el análisis de metales) a la concentración de  $PM_{10}$ . La gran mayoría de las mediciones de la concentración de  $PM_{10}$  durante el periodo de seguimiento se encontraron por debajo de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y prácticamente todas por debajo del límite superior

diario permitido en el país de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (ULS - Fundación Neumológica de Colombia, 2012).

Un resumen para cada una de las investigaciones mencionadas se muestra a continuación:

**Tabla 4.112.** Resumen investigación Contaminación atmosférica y salud: estimación de una función dosis-respuesta para Cali.

<b>Nombre documento:</b> Contaminación atmosférica y salud: estimación de una función dosis-respuesta para Cali.	
<b>Lugar:</b> Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Ortiz Quevedo Carlos H.; Escobar Martínez Jaime; García Muñoz Diego; 2000.
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> Material Particulado
<b>Objetivo:</b> Estimación el impacto de la contaminación atmosférica en la salud, utilizando la función dosis-respuesta que determina el impacto de la contaminación atmosférica en Cali sobre un conjunto de enfermedades respiratorias relacionadas.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La relación entre contaminación por material particulado y morbilidad respiratoria en la ciudad de Cali parece ser positiva y robusta incluso cuando se controla el efecto de la contaminación Automotor. Un incremento del 10% en la contaminación por material particulado aumenta los casos de enfermedades respiratorias en 7%.</li> <li>• El costo del tratamiento de la morbilidad inducida por la contaminación industrial con material particulado no representa ni el 1% de las ganancias de la industria manufacturera ubicada en la zona metropolitana Cali-Yumbo.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** Ortiz CH, Escobar J, & García D. Contaminación atmosférica y salud: estimación de una función dosis-respuesta para Cali. Centro de investigación y documentación socioeconómica; 2000.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.113.** Resumen del artículo La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?.

<b>Nombre documento:</b> La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?	
<b>Lugar:</b> Palmira, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Dávalos Álvarez Eleonora; 2007
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> $\text{PM}_{10}$
<b>Objetivo:</b> Establecer si la quema de la caña de azúcar tiene relación con la concentración de partículas menores a diez micras ( $\text{PM}_{10}$ ) seguida de una función concentración-respuesta para establecer si las variaciones en la concentración de $\text{PM}_{10}$ afectan la morbilidad.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración de <math>\text{PM}_{10}</math> máximo diario sobrepasó el máximo diario permitido por la EPA (<math>150 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) en diez ocasiones a lo largo de 119 días, alcanzando niveles de <math>235,62 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</li> <li>• La mayor cantidad de <math>\text{PM}_{10}</math> emitido en el municipio de Palmira procede de la quema de la caña de azúcar, aportando cerca de la mitad del total de <math>\text{PM}_{10}</math> diario, mientras que el sector industrial aporta en promedio 24% y las fuentes móviles cerca del 26%.</li> <li>• Un aumento del 1% en la concentración del <math>\text{PM}_{10}</math> máximo diario cinco días atrás, generaría un aumento del 0,25% en el número de consultas por IRA.</li> <li>• En niños menores de 10 años, un incremento en 1% en la concentración de <math>\text{PM}_{10}</math> máximo diario dos días atrás, generaría un aumento de 0,17% en el número de consultas por IRA y al tratarse de cinco días atrás, el incremento se traduce en 0,11%.</li> <li>• Los adultos mayores se ven afectados por incrementos en la concentración de <math>\text{PM}_{10}</math> e incrementos en la temperatura.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> La relación entre la quema de la caña de azúcar y la concentración de $\text{PM}_{10}$ se estimó por medio de un modelo de mínimos cuadrados ordinarios, mientras que en la relación entre las variaciones en la concentración del $\text{PM}_{10}$ y la morbilidad se empleó un modelo Poisson.	

**Nota Fuente:** Dávalos-E. La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?. Desarrollo y sociedad; 2007; 59:117-164.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.114.** Resumen de la investigación Evaluación de los efectos sobre la salud debido a la contaminación del aire proveniente del sector industrial de ACOPI – Yumbo. Proyecto piloto en el municipio de Cali.

<b>Nombre documento:</b> Evaluación de los efectos sobre la salud debido a la contaminación del aire proveniente del sector industrial de ACOPI – Yumbo. Proyecto piloto en el municipio de Cali.	
<b>Lugar:</b> Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Universidad del Valle, 2009
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2.5</sub>
<b>Objetivo:</b> Evaluar los efectos sobre la salud debidos a la contaminación del aire proveniente del sector industrial de ACOPI – Yumbo.	
<p><b>Resultados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> que oscilaron entre 7,85 a 77,99 µg/m<sup>3</sup>, excedieron en algunas ocasiones el valor diario máximo permisible establecido por la OMS (25 µg/m<sup>3</sup>) y la EPA (35 µg/m<sup>3</sup>).</li> <li>La presencia de elementos como Plomo, Cadmio, Arsénico, Hierro y Cobre indican la contribución de fuentes de origen antropogénico. Estos metales son emisiones comunes en las fundidoras y dado que las concentraciones fueron en el PM<sub>2.5</sub>, podríamos esperar mayores concentraciones de estos metales en el aire (PM<sub>10</sub>, TSP).</li> <li>La presencia de Pb en el aire es una evidencia del aporte de la industria de ACOPI – Yumbo a la contaminación del aire, dado que no se observan otras fuentes posibles de este contaminante.</li> <li>En la aplicación del modelo PMF usando las especies químicas obtenidas en el estudio, se pudieron identificar 3 fuentes de material particulado en la zona expuesta del estudio. Los resultados muestran que la mayor contribución está dada por los aerosoles secundarios con un 46% de aporte al PM<sub>2.5</sub> de la zona, seguido por el aporte de la industria con un 43% y finalmente el polvo resuspendido con un 11%.</li> <li>Se encontró un aporte importante del sector de ACOPI al PM<sub>2.5</sub> en la zona de estudio, un gran porcentaje del material particulado (43%) es aportado por los procesos derivados de la producción de baterías y la fundición de metales, la presencia de metales pesados como plomo, cadmio, estaño y arsénico confirma esta hipótesis.</li> <li>Se encontraron niveles de plomo en sangre en los escolares de ambas zonas inferiores a los 10 µg/dL. Sin embargo, la concentración promedio para los escolares de la zona expuesta fue mayor que la de los escolares de la zona control (4,7±1,6 µg/dl vs. 2,9±1,2 µg/dl; p:0,00). Adicionalmente, las concentraciones máximas de plomo en sangre alcanzadas por los escolares de la zonas de estudio fueron de 9,9 µg/dl para la expuesta y de 6,6 µg/dl para la control. En este estudio, entre los escolares de la zona expuesta, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de plomo en sangre en los niños de 6 a 9 años y de 10 a 14 años (5,0 µg/dl vs. 4,4 µg/dl, p: 0.01), entre los hombres y las mujeres (5,2 µg/dl vs. 4,1 µg/dl, p:0,00) y entre los niños de estratos 3 y 4 con los de estratos 1 y 2 (4,1 µg/dl vs. 5,2 µg/dl, p: 0,00).</li> <li>Al evaluar la relación entre la residencia en la zona expuesta a la contaminación proveniente del sector de ACOPI – Yumbo y las concentraciones de plomo en sangre, se encontró una mayor prevalencia de niveles de plomo en sangre ≥ 5 µg/dL en la zona expuesta en comparación con la control (44,2% vs. 8,2%, p:0,00).</li> <li>En este estudio, se encontró que los escolares expuestos a la contaminación atmosférica proveniente del sector industrial de ACOPI – Yumbo presentaron una mayor frecuencia de síntomas respiratorios en general, de sibilancias y de síntomas de vías respiratorias superiores o irritativos (i.e.; rinorrea, prurito nasal, dolor de garganta y cuadros gripales), en comparación con los escolares en la zona control. En ambas zonas del estudio se encontró una alta prevalencia de síntomas respiratorios, no obstante los escolares de la zona expuesta tuvieron un 64% de mayor probabilidad de ocurrencia de estos síntomas que los escolares de la zona control (OR: 1,64; IC95%: 0,99; 2,72). Adicionalmente, la prevalencia de síntomas de vías respiratorias superiores (SVAS) fue casi el doble en la zona expuesta que en la control (OR: 1,99; IC95%:1,24; 3,18).</li> <li>Los escolares de la zona expuesta presentaron además casi un 30% de mayor probabilidad de ocurrencia de síntomas bronco-obstructivos, aunque esta diferencia no logró alcanzar la significancia estadística (OR: 1,27; IC95%: 0,86; 1,88). Sin embargo, entre los escolares de 10 a 14 años expuestos a la contaminación del sector de ACOPI – Yumbo esta asociación se acentuó y se encontró un 50% de mayor probabilidad de ocurrencia de estos síntomas que en la zona control (OR: 1,53; IC95%: 0,93; 2,54).</li> <li>Se encontró que la exposición pasiva a humo de cigarrillo, por tabaquismo de la madre o del cuidador del escolar tuvo una asociación positiva con la ocurrencia de síntomas bronco-obstructivos, sibilancias en los</li> </ul>	

últimos 12 meses y síntomas de vías aéreas superiores. Así, los escolares de madres fumadoras tuvieron 1,58 y 2,22 veces mayor probabilidad de síntomas bronco-obstructivos y sibilancias que los escolares hijos de madres no fumadoras, respectivamente. Adicionalmente, los escolares con cuidadores fumadores tuvieron 2,77 veces mayor probabilidad de síntomas de vías aéreas superiores en comparación con escolares no expuestos a humo de cigarrillo.

- Respecto a la presencia de humedad en la vivienda, en este estudio se encontró una probabilidad 72% mayor de presentar síntomas de vías aéreas superiores en escolares que viven en viviendas con presencia de humedad en las paredes o en el techo.
- La presencia de animales en la vivienda (i.e.; perros o gatos, aves y cucarachas) se asoció a la ocurrencia de síntomas respiratorios. En particular, los escolares que residen en viviendas con presencia de cucarachas tienen 78% y 65% mayor probabilidad de tener síntomas bronco-obstructivos o sólo sibilancias en los últimos 12 meses, respectivamente, que los escolares que no reportaron cucarachas en su vivienda. Mientras, que los escolares que residen en viviendas con gatos o perros o aves tienen 76% y 56% mayor probabilidad de síntomas de vías aéreas superiores y de uno o más síntomas respiratorios, respectivamente, en comparación con los escolares que no tienen estos animales.
- En este estudio se encontró una prevalencia global de alteración obstructiva en la función pulmonar de 7.6% (36/473) para las 2 zonas de estudio. Los escolares de la zona expuesta presentaron una prevalencia mayor de este patrón de la función pulmonar de 9.7% (24/248) que los escolares de la zona control de 5.3% (12/225), esta diferencia fue estadísticamente significativa. Se encontró un mayor efecto sobre la función pulmonar por la exposición a los contaminantes provenientes del sector de ACOPI – Yumbo en los escolares que además presentaron síntomas bronco-obstructivos en los 6 meses previos a la inclusión en el estudio. Así, después de ajustar por edad, sexo, talla, peso y raza, se encontró que los escolares expuestos a ACOPI y que reportaron la presencia de síntomas bronco-obstructivos tuvieron una reducción estadísticamente significativa en la relación VEF1 (Volumen Espiratorio Forzado)/CVF (Capacidad Vital Forzada) y en el valor predicho del Flujo Espiratorio Forzado entre el 25 y 75% de la espiración forzada (FEF25-75%). El efecto observado sobre el VEF1 fue pequeño pero estadísticamente significativo y se encontró sólo en el grupo de escolares de 10 a 14 años con síntomas bronco-obstructivos.
- Los escolares expuestos a ACOPI y que reportaron síntomas bronco-obstructivos tuvieron en promedio una reducción de 2,42% (IC95%: -4,29; -0,55) y del 9.45% (-16,95; -1,96) en el porcentaje de la relación VEF1/CVF y en el porcentaje del valor predicho del FEF25-75, respectivamente, en comparación con los escolares de la zona control, estas diferencias fueron estadísticamente significativas. Entre los escolares de 10 a 14 años expuestos al sector de ACOPI – Yumbo y que reportaron síntomas bronco-obstructivos tuvieron en promedio 0.04 (IC95%: -0,08; 0,00) LPM menos VEF1 que los escolares del mismo grupo de edad pero de la zona control. En contraste, no se encontró efecto sobre el VEF1 entre los escolares de 6 a 9 años de edad que reportaron o no reportaron síntomas bronco-obstructivos. Respecto al FEF25-75%, se encontró un efecto negativo de la exposición al sector de ACOPI independiente de la presencia de síntomas bronco-obstructivos. Así, los escolares expuestos a ACOPI tuvieron en promedio una reducción de 3,75% de su valor predicho del FEF25-75% en comparación con los escolares de la zona control (IC95%: -8,2; 0.50; p=0,08), independiente de la edad, sexo, talla, peso, raza y de los síntomas bronco-obstructivos.
- En este estudio, se encontró una relación entre el incremento en las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> y el incremento concurrente en el número de consultas por enfermedades respiratorias ocurridas en el mismo día para los niños < de 10 años y los adultos > 60 años. Específicamente, por cada incremento en 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2.5</sub>, el riesgo de consultas por enfermedades respiratorias ocurridas el mismo día se incrementa en un 13% (RR: 1,13; IC95%: 1,09; 1,18) para los niños < 10 años y para los adultos > 60 años (RR: 1,13; IC95%: 1,03; 1,20). Adicionalmente, por cada incremento en 20 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2.5</sub>, el riesgo de consultas se incrementa en un 28% (RR: 1,27; IC95%: 1,16; 1,39) y 24% (RR: 1,24; IC95%: 1,08; 1,44) para niños y adultos mayores, respectivamente.

**Nota** Fuente: [UNIVALLE] Universidad del Valle. Evaluación de los efectos sobre la salud debido a la contaminación del aire proveniente del sector industrial de ACOPI – Yumbo. Proyecto piloto en el municipio de Cali. Investigación. Cali: UNIVALLE;2009.  
\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.115.** Resumen artículo Impacto de un botadero a cielo abierto en el desarrollo de síntomas respiratorios y en costos familiares de atención en salud de niños entre 1 y 5 años en Cali, Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Impacto de un botadero a cielo abierto en el desarrollo de síntomas respiratorios y en costos familiares de atención en salud de niños entre 1 y 5 años en Cali, Colombia	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Sandra Lorena Girón, Julio César Mateus, Fabián Méndez; 2009
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Metano, PM <sub>10</sub> y COV
<b>Objetivo:</b> Determinar los efectos del botadero municipal a cielo abierto en Cali, conocido como el botadero de Navarro, en el desarrollo de síntomas respiratorios en niños entre 1 y 5 años de edad y en los costos familiares relacionados con la atención de estos síntomas.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La exposición al botadero se asoció a una probabilidad más alta de desarrollar síntomas respiratorios (OR=1,37, IC95% 1,17-1,60) y a mayores costos familiares relacionados con el desarrollo de esos síntomas en niños (diferencia promedio: \$ 24.038,5; IC95% 6.211,0-39.650,4).</li> <li>• La exposición al botadero tiene efectos negativos sobre la salud respiratoria infantil y sobre los costos familiares relacionados con la atención de los síntomas.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Girón SL, Mateus JC, & Méndez F. Impacto de un botadero a cielo abierto en el desarrollo de síntomas respiratorios y en costos familiares de atención en salud de niños entre 1 y 5 años en Cali, Colombia. Biomédica;2009;29:392-402.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.116.** Resumen de los efectos respiratorios en escolares expuestos a material particulado (PM) de fuentes industriales. Respiratory Effects in Schoolchildren Exposed to Industrial Sources of Particulate Material (PM).

<b>Nombre documento:</b> Respiratory Effects in Schoolchildren Exposed to Industrial Sources of Particulate Material (PM)	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Filigrana, Paola; Luna, Mónica; Méndez, Fabián; 2009
<b>Tipo documento:</b> Resumen	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>2.5</sub>
<b>Objetivo:</b> Evaluar los efectos de los contaminantes del aire provenientes de fuentes industriales en la salud respiratoria de niños en edad escolar (6-14 años de edad), en el norte de Cali.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los niveles máximos de PM<sub>2.5</sub> durante el seguimiento se presentaron en la zona expuesta, con un máximo de 69,95 µg/m<sup>3</sup>. Las concentraciones medias de PM<sub>2.5</sub> fueron más altas en el área expuesta cuando se compararon con el área de control (43,5 µg/m<sup>3</sup> vs 30,4 µg/m<sup>3</sup>).</li> <li>• Se encontró una mayor prevalencia de la secreción nasal, picor nasal, frío, falta de aliento con el ejercicio y sibilancias en niños de la zona expuesta. Una asociación positiva entre la exposición y los síntomas respiratorios como goteo nasal (OR: 3,01, IC del 95%: 1,46 a 6,22), prurito nasal (OR: 3,59; IC del 95%: 1,75-7,36), falta de aliento con el ejercicio (OR: 1,47, IC del 95%: 0,44 a 4,89) y sibilancias (OR: 1,64, IC 95% 0.79-3.39). Consistentemente, se encontró evidencia objetiva de los efectos de la función pulmonar en los niños.</li> <li>• Los residentes de la zona norteaustrial de Cali, expuestos a los contaminantes de una zona industrial, exhiben un riesgo más elevado de presentar síntomas bronco-obstructivo y en la vía aérea superior.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Filigrana P, Luna M, & Méndez F. Respiratory Effects in Schoolchildren Exposed to Industrial Sources of Particulate Material (PM). Abstracts: 21st Annual conference of the International Society of Environmental Epidemiology. Dublin, Ireland: ISEE;2009;20:S192-S193.

\*Adaptado por el autor.



**Tabla 4.117.** Resumen del artículo Impacto de un sitio de disposición final de residuos sólidos en la salud respiratoria de los adultos mayores.

<b>Nombre documento:</b> Impacto de un sitio de disposición final de residuos sólidos en la salud respiratoria de los adultos mayores	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Paola Andrea Filigrana, Olga Lucía Gómez, Fabián Méndez; 2011
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b>
<b>Objetivo:</b> Evaluar el impacto de un sitio de disposición final de residuos sólidos sobre la salud respiratoria de adultos mayores de 50 años, residentes en su área de influencia.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Después de ajustar por edad, sexo, escolaridad, humedad, afiliación a salud, enfermedades concomitantes, tabaquismo y exposición ocupacional previa, la exposición al Botadero de Navarro se asoció con la presencia de uno o más síntomas respiratorios (OR=1,25; IC95%: 1,01-1,56), síntomas respiratorios moderados (OR=1,28; IC95%: 0,98-1,66), pero no se encontró asociación con síntomas respiratorios graves (OR= 1,16; IC95%: 0,89-1,50).</li> <li>Se evidenció una mayor recurrencia de síntomas en los adultos de la zona expuesta (coeficiente de correlación=0,29, IC95%: 0,23-0,33, p=0,000). En los adultos expuestos al Botadero de Navarro, se encontró en la función pulmonar una reducción significativa del flujo espiratorio pico (-15,19 L/minuto; IC95%: -30,16-0,22).</li> <li>Independientemente de los potenciales factores de confusión, la salud respiratoria de los adultos mayores de 50 años expuestos al Botadero de Navarro está afectada con una mayor presencia y cronicidad de síntomas respiratorios moderados y una disminución de la función pulmonar.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Filigrana P, Gómez OL, & Méndez F. Impacto de un sitio de disposición final de residuos sólidos en la salud respiratoria de los adultos mayores. Biomédica;2011a;31:322-34.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.118.** Resumen artículo, exposición a plomo y cadmio en una cohorte de mujeres gestantes en Cali – Colombia: Estudio GEMA. Lead and cadmium exposure among a cohort of pregnant women in Cali-Colombia: the GEMA study.

<b>Nombre documento:</b> Lead and cadmium exposure among a cohort of pregnant women in Cali-Colombia: the GEMA study	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Diana María Caicedo, Javier Fonseca, Miguel Peña, Cecilia Aguilar, Mildrey Mosquera, Cristina Araujo, Genny Martinez, Nathalie Abrahams, Daniel Cuartas, Fabián Méndez. 2011
<b>Tipo documento:</b> Resumen	<b>Contaminante estudiado:</b> Pb y Cd
<b>Objetivo:</b> Caracterizar comportamientos de alto riesgo de exposición y su relación con el cadmio en sangre y los niveles de plomo, en mujeres embarazadas de la zona urbana de Cali.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las medianas de cadmio y plomo fueron 0.115 µg/dl (&lt;0,014-4.26) y 1.013 µg/dl (&lt;0,002-16.18), respectivamente. Entre las mujeres embarazadas, el 32,9% tenían niveles de Cd ≥ 0.4 µg/dl y 4,15% tenían niveles de Pb ≥ 5 µg/dl. Sólo 7 (1,8%) de las mujeres embarazadas mostraron altos niveles de plomo, pero 129 (33,4%) tenían al menos una concentración de metales en sangre por encima de los niveles recomendados.</li> <li>Se evaluaron varias prácticas y fuentes de exposición, estableciendo un aumento del riesgo de niveles de plomo ≥ 5 µg/dl para aquellas mujeres que viven &lt; 4 kilómetros del Botadero de Navarro (OR: 6,2; IC95% 1.7-21.7) y las que viven a &lt; 2 cuadras de sitios de comerciales de manipulación de baterías (OR: 8,33; IC 95% 1.01-82,8).</li> <li>Un aumento del riesgo por niveles de cadmio &gt; 0.4 µg/dl se observó entre las mujeres que viven &lt; 4 km del Botadero, pero fue no significativo (OR: 2,1; IC95% 0,63-7,5).</li> <li>Un tercio de estas mujeres embarazadas están expuestas a altos niveles de metales pesados en la sangre.</li> </ul>	



**Nota Fuente:** Caicedo DM, Fonseca J, Pena M, et al. Lead and cadmium exposure among a cohort of pregnant women in Cali-Colombia: the GEMA study. Memories: 23<sup>rd</sup> annual conference of the International Society of Environmental Epidemiology. Spain: ISEE; 2011.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.119.** Resumen de artículo Percepción del riesgo por emisiones atmosféricas provenientes de la disposición final de residuos sólidos.

<b>Nombre documento:</b> Percepción del riesgo por emisiones atmosféricas provenientes de la disposición final de residuos sólidos	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Valencia Jesús A.; Espinosa Adriana; Parra Adela; Peña Miguel R; 2011
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Contaminantes del aire en general
<b>Objetivo:</b> Identificar los factores sociales que determinan la percepción del riesgo en la población que se encuentra expuesta a las emisiones atmosféricas de un sitio de disposición final de residuos sólidos de la ciudad de Santiago de Cali en Colombia denominado Basuro de Navarro (BN).	
<b>Resultados:</b> Para el 50 % de los encuestados el principal problema es la contaminación del aire. Para los encuestados la contaminación se manifiesta con dolor en la garganta y ardor en los ojos. El 64 % con mayor tiempo de residencia en el sector considera que la contaminación está concentrada en otros sitios de la ciudad y se encuentra por fuera de su sector. El 83,4 % considera que el BN produce contaminación y la asocia al aire en un 42 %. El 48 % calificó como grave y el 29 % como muy grave la contaminación producida por el BN. Se asocia la percepción del riesgo al tiempo de residencia en el sector y la edad de las personas.	
<b>Observaciones:</b> Estudio cuantitativo con aplicación de una encuesta a una muestra estratificada de 199 personas con asignación proporcional según nivel socio-económico.	

**Nota Fuente:** Valencia JA, Espinosa A, Parra A, & Peña M. Percepción del riesgo por emisiones atmosféricas provenientes de la disposición final de residuos sólidos. Revista de salud pública; 2011; 13:930-941.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.120.** Abstract of Association between particulate matter (PM), O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub> and emergency room (ER) visits and hospital admission for respiratory and cardiovascular diseases in Cali-Colombia.

<b>Nombre documento:</b> Association between particulate matter (PM), O <sub>3</sub> and NO <sub>x</sub> and emergency room (ER) visits and hospital admission for respiratory and cardiovascular diseases in Cali-Colombia.	
<b>Lugar:</b> Santiago de Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Paola Filigrana, Liliانا Jiménez, Nathalie Abrahams, Daniel Cuartas, Fabián Méndez; 2011
<b>Tipo documento:</b> Resumen	<b>Contaminante estudiado:</b> PM, O <sub>3</sub> y NO <sub>x</sub>
<b>Objetivo:</b> Evaluar la asociación entre las variaciones a cortoplazo de PM <sub>10</sub> , O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> y las visitas a urgencias, ingresos hospitalarios y la mortalidad por enfermedad respiratoria (ER) y cardiovascular (ECV) en Cali-Colombia.	
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración media diaria de PM<sub>10</sub> fue de 29,1 µg/m<sup>3</sup> (4,9-55,9), NO<sub>x</sub>, 0,02 ppm (0,001 a 0,05), y el máximo promedio 8-h de O<sub>3</sub> fue 0,02 ppm (0,008 a 0,05).</li> <li>• Se observó una media diaria de 12 admisiones por ECV y 132,8 admisiones ER. La máxima admisión para ECV y ER, por día fue de 28 y 246, respectivamente. Las ECV representaron aproximadamente el 6% del total de las admisiones por ER y ECV, mientras que las admisiones por ER representaron más del 90% de las ER y ECV.</li> <li>• Después de controlar por potenciales factores de confusión, se encontró una posible asociación entre la variación diaria de PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> y las admisiones por ER y ECV.</li> <li>• A pesar de no mostrar altos niveles de contaminación en el aire, los resultados sugieren una asociación entre las variaciones diarias en la concentración de los contaminantes del aire y la salud respiratoria y cardiovascular, principalmente por el aumento en las admisiones en hospitalización y urgencias.</li> </ul>	

**Nota Fuente:** Filigrana P, Jiménez L, Abrahams NC, et al. Association between particulate matter (PM), O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub> and emergency room (ER) visits and hospital. Memorias: 23rd annual conference of the International Society of Environmental Epidemiology. Spain: ISEE;2011b.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.121.** Resumen de la investigación Efectos de la quema de Caña de Azúcar sobre la salud respiratoria de la población del valle geográfico del Rio Cauca.

<b>Nombre documento:</b> Efectos de la quema de Caña de Azúcar sobre la salud respiratoria de la población del valle geográfico del Rio Cauca	
<b>Lugar:</b> Cali, Valle del Cauca	<b>Autor/año:</b> Universidad de la Salle – Fundación Neumológica de Colombia, 2012.
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar las condiciones y grado de exposición de una cohorte de población vulnerable, definida como niños de 8 años o menos y adultos de 60 años o más, en tres corregimientos y una cabecera municipal, pertenecientes a cuatro municipios distintos del Valle geográfico del Rio Cauca, frente a las emisiones generadas por las quemadas controladas para cosecha de caña de azúcar y por los incendios.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se documentaron efectos negativos significativos sobre la calidad de aire, ni sobre la salud respiratoria de la cohorte evaluada atribuibles a las quemadas de caña de azúcar.</li> <li>• Al evaluar la asociación entre la calidad de aire, usando la concentración de PM<sub>10</sub> como indicador, y las quemadas de caña de azúcar, cuantificadas por el número de hectáreas quemadas (quemadas controladas e incendios), agrupando los tres corregimientos y la cabecera municipal evaluados, no se encontró una correlación significativa entre la extensión del área de caña de azúcar quemada y la concentración de PM<sub>10</sub>, lo cual significa que las variaciones de esta fueron explicadas principalmente por otros factores diferentes a las quemadas (otras fuentes de emisión).</li> <li>• No se encontró correlación significativa entre la calidad del aire, evaluada por la cuantificación de pavesas y compuestos químicos (óxido de hierro [Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], pentóxido de fósforo [P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>], potasio [K y K<sub>2</sub>O], cloro [cloruros] y óxido de calcio [CaO]), y las quemadas de caña de azúcar, aunque debe mencionarse que hubo correlaciones débiles (análisis bivariado) con las concentraciones de Fe, Mn y Si en el municipio de Palmira, de Na, Cu y P en el municipio de Bolívar y de Cd en el municipio de Guachene.</li> <li>• Los modelos de receptor, el factor de enriquecimiento y el inventario de fuentes de emisión sustentaron que no existió una única fuente contribuyente a la concentración de PM<sub>10</sub> y que, además las fuentes agrícolas, las fuentes de área (vías sin pavimentar) también contribuyeron. En el caso del municipio de Bolívar se encontró una posible influencia de fuentes geológicas y agrícolas; en Guacarí, el mayor aporte fue realizado por fuentes agrícolas y fijas y el menor aporte de metales fue generado por fuentes geológicas; en Palmira, los aportes de metales fueron posiblemente dados por actividades geológicas y agrícolas y en una menor proporción por fuentes fijas; finalmente, en Guachene los aportes fueron de origen fuentes agrícolas, geológicas y fijas.</li> <li>• La gran mayoría de las mediciones de la concentración de PM<sub>10</sub> durante el periodo de seguimiento se encontraron por debajo de 50 µg/m<sup>3</sup> y prácticamente todas por debajo del límite superior diario permitido en el país de 100 µg/m<sup>3</sup>. Las concentraciones más altas de PM<sub>10</sub> se hallaron en el municipio de Guachene y el corregimiento de Crucero de Guali donde se presentaron las únicas mediciones que superaron el nivel permitido (cuatro en la cabecera municipal de Guachene y una en el Crucero de Guali).</li> <li>• Al evaluar la asociación entre la calidad del aire, usando la concentración de PM<sub>10</sub> como indicador, y la salud respiratoria de los tres corregimientos y la cabecera municipal agrupados, se encontró que para una concentración de PM<sub>10</sub> mayor de 25 µg/m<sup>3</sup>, después ajustar por diversas variables de interés, se asoció con un mayor riesgo de flemas en los niños el quinto día de rezago, tos en los adultos el tercer día de rezago y consultas por tos en adultos el mismo día. Dado que, como se anotó, no se encontró correlación entre la concentración de PM<sub>10</sub> y la extensión del área de caña de azúcar quemada (quemadas e incendios), puede inferirse que el mayor riesgo de síntomas y consultas descrito no puede atribuirse a las quemadas de caña de azúcar.</li> </ul>	

- Se encontró que los niños expuestos a carreteras sin pavimentar cercanas al lugar de residencia tienen mayor riesgo de consultar por tos que los no expuestos y que en los niños expuestos a tráfico pesado cercano a sus viviendas la función pulmonar, evaluada por el VEF1, que debe aumentar normalmente con el crecimiento propio de la edad, aumento menos que en los niños no expuestos.
- El mayor riesgo de flemas en los niños el quinto día de rezago, tos en los adultos el tercer día de rezago y consultas por tos en adultos el mismo día en relación con una concentración de PM<sub>10</sub> mayor de µg/m<sup>3</sup>, fue significativamente menor que el causado por tener una edad inferior a 4 años o exponerse a humo de leña para cocinar en el caso de los niños o el causado por tener más de 70 años en el caso de los adultos.
- Adicionalmente, en el estudio no se encontró un efecto negativo sobre la función pulmonar a corto plazo (10 meses en promedio). En los niños, el VEF1 y el FEP aumentaron significativamente en relación con el crecimiento como es esperado. En los adultos hubo una disminución clínica y estadísticamente no significativa del VEF1 que puede considerarse esperable en adultos mayores de 60 años. Este comportamiento normal o esperable en las mediciones inicial y final indica que no hubo efectos negativos de las quemaduras (e incendios) de la caña de azúcar sobre la función pulmonar.
- En el subgrupo de la cohorte de Bolo San Isidro, se encontró que los niños, además de los factores descritos para la cohorte global (edad menor de cuatro años y exposición intradomiciliaria al humo de la leña), y después de ajustar por las concentraciones de PM<sub>10</sub>, tuvieron un mayor riesgo de tos el tercer y el cuarto día de rezago y de flemas el primer día en relación con incrementos en el área quemada. Es de anotar que este riesgo es menor al relacionado con la edad (tener menos de 4 años) o con la exposición al humo de la leña y que, a pesar del efecto negativo sobre los síntomas, no se encontró un efecto negativo persistente por cuanto no se alteró la función pulmonar en estos niños.

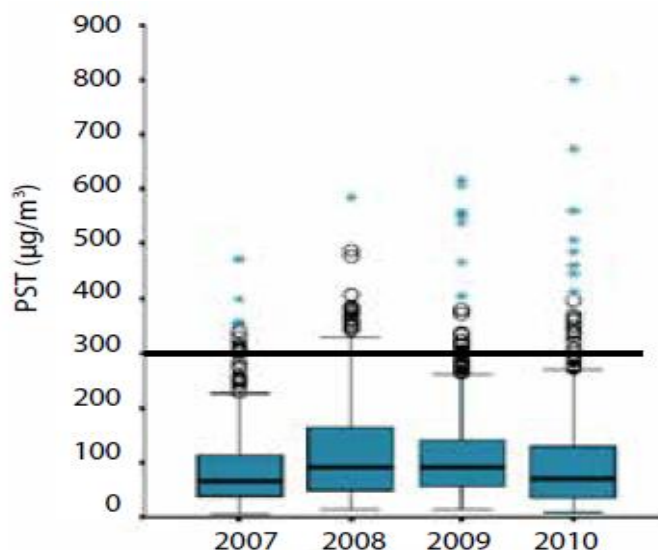
**Nota** Fuente: Universidad de la Salle/ Fundación Neumológica de Colombia. Efectos de la quema de Caña de Azúcar sobre la salud respiratoria de la población del valle geográfico del Rio Cauca. Investigación. Cali: Universidad de la Salle/ Fundación Neumológica de Colombia;2012.

\*Adaptado por el autor.

#### 4.5.1.7. Zona Minera: Cesar

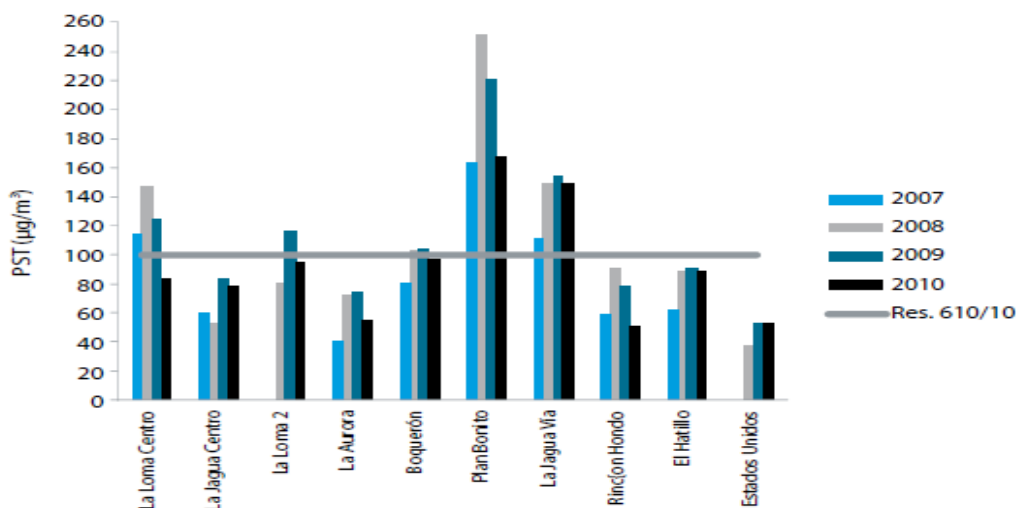
Para esta zona, CORPOCESAR cuenta con el Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Zona Carbonífera del Cesar. Para el periodo de 2007-2010 las medianas 24 horas de PST se mantuvieron por debajo de 100 µg/m<sup>3</sup>, sin embargo se presentaron valores que excedieron la norma diaria (300 µg/m<sup>3</sup>), con concentraciones que llegaron a 800 µg/m<sup>3</sup> en el año 2010. En cuanto a los promedios anuales las estaciones La Loma, Centro, La Loma 2, Boquerón, Jagua vía y Plan Bonito sobrepasaron el límite permisible establecido por la norma nacional (100 µg/m<sup>3</sup>) (Figuras 4.41 y 4.42) (IDEAM, 2012).

**Figura4.41.** Concentración promedio de PST (24 horas) en las estaciones del SVCA de CORPOCESAR



**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

**Figura4.42.** Concentración promedio anual de PST en las estaciones del SVCA de CORPOCESAR

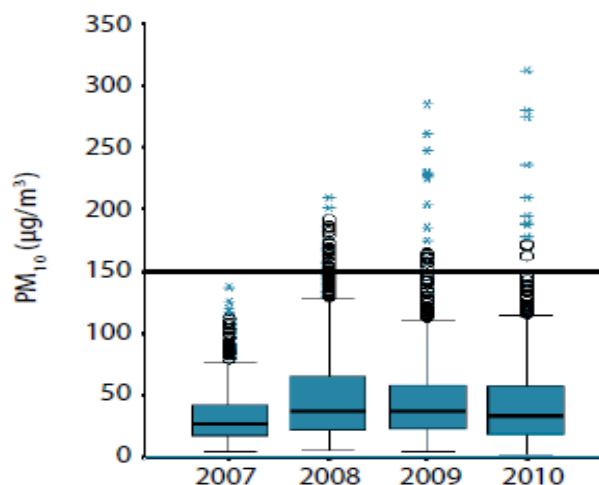


**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Para el promedio diario de  $PM_{10}$ , las medianas se mantuvieron por debajo de  $37,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo a través del tiempo las excedencias a la norma 24 horas ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) aumentaron considerablemente llegando en el 2010 a valores de  $312,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto a la norma anual, se observa que las estaciones Plan Bonito y Jagua Vía, superaron la norma anual alcanzando

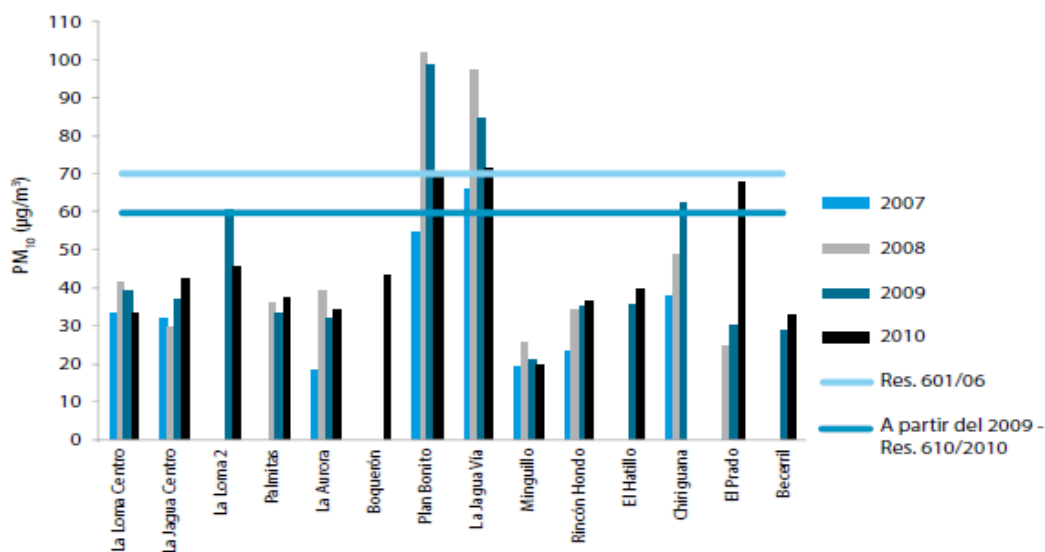
concentraciones por encima de  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los años 2008 a 2010. A pesar de ello la mayoría de las estaciones se mantuvieron entre 20 y  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 4.43 y 4.44) (IDEAM, 2012).

**Figura 4.43.** Concentración promedio de  $\text{PM}_{10}$  (24 horas) en las estaciones del SVCA de CORPOCESAR



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

**Figura 4.44.** Concentración promedio anual de  $\text{PM}_{10}$  en las estaciones del SVCA de CORPOCESAR



**Nota Fuente:** [IDEAM] Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.

Para el año 2011 CORPOCESAR estableció lo siguiente (CORPOCESAR, 2012):

### **Comportamiento PST y PM<sub>10</sub> estaciones de fondo**

- La mayoría de las estaciones de fondo registraron las máximas concentraciones tanto de PST como de PM<sub>10</sub> durante el primer trimestre del año.
- Las concentraciones promedio mensuales más altas de PST se registraron en las estaciones La Loma Centro, La Jagua Centro, La Loma 2 y El Hatillo. Así mismo, las medias móviles de estas estaciones mostraron una tendencia creciente. Las estaciones La Aurora, Rincón Hondo y Estados Unidos presentaron medias móviles estables.
- Los promedios anuales de concentración de PST durante el 2011 aumentaron con respecto al año 2010. Los mayores incrementos se registraron en las estaciones La Loma Centro, El Hatillo y La Loma 2.
- Se registra un buen comportamiento para el PM<sub>10</sub>, las estaciones registran promedios anuales inferiores al límite normativo y disminuciones significativas en Las Palmitas, Rincón Hondo y La Loma 2.

### **Comportamiento PST y PM<sub>10</sub> estaciones de efecto tráfico**

- Las estaciones de efecto de tráfico, al igual que las estaciones de fondo, presentaron sus máximas concentraciones durante el primer trimestre del año.
- Las estaciones Boquerón y La Jagua Vía presentan medias móviles del contaminante criterio PST con un comportamiento estable, mientras que para Plan Bonito se observa una tendencia creciente. Además las estaciones La Jagua Vía y Plan Bonito se mantienen por encima de los límites permisibles (>100 µg/m<sup>3</sup>).
- Los promedios anuales de concentración de PST para las estaciones Boquerón y La Jagua Vía permanecieron estables con respecto al 2010, mientras que la estación Plan Bonito aumentó 20 µg/m<sup>3</sup> la concentración promedio anual registrada para 2011.
- Se observa un comportamiento estable de las estaciones Boquerón y La Jagua Vía y una tendencia decreciente de la estación Plan Bonito en cuanto al contaminante PM<sub>10</sub>. De la misma forma, la comparación de los promedios anuales de concentración PM<sub>10</sub> evidencia disminuciones en las concentraciones de las estaciones de efecto de tráfico, siendo la más significativa la de la estación Plan Bonito con una disminución en el promedio anual de 10.68 µg/m<sup>3</sup>.

Durante el año 2012 la Universidad Nacional de Colombia (Hernández LJ, 2012) realizó un estudio para determinar la prevalencia de enfermedad respiratoria en niños menores de 10 años que residen en los municipios de Chiriguaná, El Paso, La Jagua de Ibirico, Becerril, Agustín Codazzi y Bosconia, municipios pertenecientes al triangulo minero del Cesar; se identificaron factores ambientales intra y extramuros que se relacionan con las enfermedades respiratorias, además de las condiciones socioeconómicas asociadas a estas comunidades que los hacen más vulnerables a los efectos de la contaminación del aire. Algunos de los hallazgos más importantes se citan a continuación:

- Entre los niños que se exponen al humo de cigarrillo de segunda mano, comparados con los que habitan en casas donde no se identificó este factor de riesgo, se encontró una mayor frecuencia de sibilancias en el último año OR:1.37 (IC95%; 1,06-1.76), tos seca nocturna OR:1.28 (IC95%; 1,01-1.62), y sibilancias nocturnas OR:1.56 (IC95%; 1,16-2.12).
- Entre los niños que habitan en viviendas en la cuales se cocina con leña, comparados con los que habitan en casas en las que se cocina con otro combustible, como gas o electricidad, se encontró una mayor frecuencia de diagnóstico de bronconeumonía en el último año, OR:1.63 (IC95%; 1,03-2.56), de tos seca nocturna OR:1.34 (IC95%; 1.05-1.71) y sibilancias durante el ejercicio OR:1.45 (IC95%; 1,04-2.04).
- Los niños que viven en casas con piso de tierra reportan con mayor frecuencia dermatitis alérgica, OR:1.66 (IC95%; 1,3-2.13), mientras que el vivir en casas con paredes de bahareque o adobe se asocia con una mayor prevalencia de asma OR: 1.74 (IC95%; 1,04-2.91), y una mayor frecuencia de reporte de sibilancias en el último año OR:1.43 (IC95%; 1,14-1.81), sibilancias con el ejercicio OR:1.44 (IC95%; 1,03-2.01) y tos seca nocturna, OR:1.33 (IC95%; 1,08-1.65) además, los niños que comparten esta condición de vivienda se ausentaron con mayor frecuencia en el último mes OR 1.76 (IC 95%; 1,31-2.36).
- La presencia de vehículos de carga a menos de 100 metros de la vivienda aparece como un importante factor asociado a la enfermedad respiratoria, porque se asocia con una mayor frecuencia de varios de los efectos evaluados:
  - Bronconeumonía OR: 3.32 (IC 95%; 1,04-10.61) p 0,03.
  - Sibilancias en el último año OR: 2.4 (IC 95%; 1,49-3.87), con el ejercicio OR: 5.65 (IC 95%; 2.07-15.4), nocturnas OR: 7.12 (IC 95%; 2.61-19.4).
  - Tos seca nocturna en el último año, OR: 1.47 (IC 95%; 1,04-2.1).
  - Haber recibido más de tres ciclos de antibióticos en el mes OR: 1.84 (IC 95%; 1,08-3.15).
  - Haber consultado a urgencias por disnea en el último año OR: 1.56 (IC 95%; 1,16-2.11).

Información adicional del estudio puede verse a continuación:

**Tabla 4.122.** Resumen de la investigación Prevalencia de enfermedad respiratoria en niños menores de 10 años residentes en seis municipios mineros del Cesar, Colombia, 2012.

<b>Nombre documento:</b> Prevalencia de enfermedad respiratoria en niños menores de 10 años residentes en seis municipios mineros del Cesar, Colombia, 2012	
<b>Lugar:</b> Cesar	<b>Autor/año:</b> Hernández LJ, Universidad Nacional de Colombia; 2012
<b>Tipo documento:</b> Investigación	<b>Contaminante estudiado:</b> PM <sub>10</sub>
<b>Objetivo:</b> Determinar la prevalencia de enfermedad respiratoria en niños menores de 10 años residentes en los municipios de Chiriguaná, El Paso, La Jagua de Ibirico, Becerril, Agustín Codazzi y Bosconia.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fueron evaluados 1.627 niños y niñas. El 95.1 % de los niños y niñas eran de estrato 0 y 1, un 4.5% de estrato 2 y 0.4% de estrato tres.</li> </ul>	



- El 33.3 % viven en casas que tienen piso de tierra, el 29.8 % en casas construidas en bahareque, el 14.1% de las viviendas no tiene servicio de acueducto, el 46.3% no tiene servicio de alcantarillado, el 61.6 % no tiene servicio de recolección de basuras, y en el 19.7 % de las casas se usa leña o carbón como combustible para cocinar. El 3.8 % de las viviendas comparten el uso productivo con el habitacional y es su interior se desarrolla alguna actividad económica que produce humo, gases o polvo. Estas condiciones de vida son más frecuentes en los estratos 0 y 1.
- La ausencia de alcantarillado se asocia con una mayor frecuencia del diagnóstico de asma OR 2.0 (IC 95%; 1,18-3.39), dermatitis alérgica OR 1.37 (IC 95%; 1,07-1.74), y sibilancias nocturnas OR 1.32 (IC 95%; 1,01-1.73). La falta de recolección de basuras se asocia con los mismos efectos.
- El 90.8% de los encuestados afirmó que diariamente pasan vehículos de carga pesada a menos de 100 metros de las vivienda. El 48% de los evaluados reportaron la presencia de quema de basuras a menos de 100 metros de la vivienda. El 33.9% de los evaluados identificaron la presencia de fuentes de contaminación cercanas a las viviendas, el reporte fue más frecuente en la zona rural con efecto tráfico y en los corregimientos próximos a los depósitos de estéril. Estos mismos factores se identificaron en las escuelas a las que asisten los niños y niñas aunque en menor proporción.
- La quema de basuras a menos de 100 metros se asocia con una mayor frecuencia de reporte de sibilancias en el último año, con el ejercicio y durante la noche, tos seca nocturna, Dermatitis alérgica y haberse ausentado del colegio en el último mes.
- La presencia de fuentes fijas cercanas se asocia con una mayor frecuencia de todos los eventos excepto Bronconeumonía, hay que tener en cuenta que este factor fue más frecuente en las zonas cercanas a las minas.
- La presencia de fuentes fijas a menos de 100 metros de la institución educativa se asocia con un mayor reporte de Bronquitis, sibilancias nocturnas y con el ejercicio, tratamiento con antibióticos, consulta de urgencias por disnea y ausentismo por ERA.
- El 13.4% de los niños consultaron en el último año por disnea, este antecedente fue más frecuente en los corregimientos próximos a los depósitos de estéril, en las zonas urbanas con efecto tráfico y en los corregimientos con efecto tráfico. Al comparar la frecuencia con la zona control, se encontró que esta diferencia era estadísticamente significativa  $p < 0,05$ .
- El grupo de edad con una mayor proporción de niños que consultaron a urgencias por disnea fue el de 1 a 5 años. El 18 % de los niños y niñas tiene el antecedente de haber recibido más de tres ciclos de antibióticos en el último año por Enfermedad respiratoria aguda, las zonas con mayor proporción de este antecedente fueron los corregimientos próximos a los depósitos de estéril, la zona urbana con efecto tráfico y los corregimientos con efecto tráfico. Las diferencias respecto al estrato control fueron estadísticamente significativas  $p < 0.05$ .
- En cuanto a la relación entre la notificación de IRA y la concentración de  $PM_{10}$  durante los años 2007-2011, en los municipios se observan períodos de excedencia de la contaminación en relación con los niveles límite de Resolución 610 de 2010 y los valores guía definidos por la OMS, con respecto al promedio anual de  $PM_{10}$ . En el Municipio de la Jagua de Ibirico las excedencias son frecuentes.
- Durante el periodo 2007-2011 se observó un periodo de altas concentraciones semanales de  $PM_{10}$  que se inicia en la semana 44, continúa hasta la 52 del año epidemiológico y se extiende hasta la semana 14 del año siguiente. Este aumento, no se acompaña de un aumento concomitante de la notificación por IRA. Este evento presenta su pico alrededor de la semana 33 hasta la 42, dato que debe ser tenido en cuenta por la autoridad de salud.
- Se identificaron episodios aislados de aumento de la notificación concordantes con elevaciones de la concentración de  $PM_{10}$  lo que permite recomendar el diseño de un sistema de alertas tempranas.

**Nota** Fuente: Hernández LJ. Prevalencia de enfermedad respiratoria en niños menores de 10 años residentes en seis municipios mineros del Cesar, Colombia, 2012. Informe final. Bogotá: Instituto de Salud Pública Universidad Nacional de Colombia/Gobernación del Cesar;2012.

\*Adaptado por el autor.

Aunque el estudio citado no asoció la exposición al material particulado proveniente de la extracción carbonífera con la prevalencia de enfermedad respiratoria, el efecto de esta actividad ha sido evaluado por otros autores. El principal problema de contaminación atmosférica en una zona minera se debe a la presencia de partículas, las cuales pueden ser de

carbón, suelo o estéril (Ghose, 2000). Estas partículas son emitidas a la atmósfera por acción del viento, las fuentes de combustión, los puntos de transferencia de material u otras fuentes en el sitio de la mina.

En Colombia, se establece que en promedio todas las empresas mineras producen 0.726 kg de PST y 0.180 kg de PM<sub>10</sub> por tonelada de carbón extraído, donde la fuente de mayor emisión de material particulado corresponde al tajo (42%) para el caso de PST y el botadero (60%) para el caso de PM<sub>10</sub>. Los niveles y composición del material particulado generado por la minería de carbón a cielo abierto, están influenciados por la geología local y el progreso de las operaciones mineras, con consideraciones adicionales que incluyen la topografía del tajo, la efectividad de las medidas de control de emisiones de MP y las condiciones meteorológicas (Angulo, 2011).

Un análisis de filtros provenientes del monitoreo de calidad del aire en las áreas carboníferas del Cesar y La Guajira, durante los años 2007, 2008 y 2009 encontró un porcentaje de partículas carbonosas entre el 30 y 40% y de partículas de estéril entre 40 y 50%. Además, identificaron cuarzo, feldspatos, granos alterados, epidota, biotita y piroxenos y en menor cantidad muscovitas, cloritas, calcitas y fragmentos orgánicos (Angulo, 2011).

En Colombia se han desarrollado investigaciones tendientes a cuantificar los efectos de la minería en la salud de la población laboral y que se ubica en inmediaciones de la explotación carbonífera, entre los cuales podemos citar:

- Se determinó la toxicidad aguda (CL<sub>50</sub>) del extracto de polvillo de carbón frente larvas de *Artemia franciscana*; se obtuvieron valores de CL<sub>50</sub> de 8.89 mg/L y 4.20 mg/L tras exposiciones de 24 y 48, horas respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluyó que el polvillo de carbón es una sustancia potencialmente citotóxica al mostrar una CL<sub>50</sub> menor a 10 mg/L, indicando el grado de peligrosidad de dicho material, especialmente para los ecosistemas marinos y/o estuarinos (hábitat de *A. franciscana*) (Pacheco, 2011).
- Se evaluaron los efectos genotóxicos en una población expuesta a los residuos de carbón en la mina a cielo abierto de El Cerrejón; se encontró que el grupo expuesto a los residuos de la minería de carbón presentó un grado significativamente más alto de daño del ADN en linfocitos periféricos en el ensayo comet y la prueba de micronúcleos, en comparación con el grupo de control (León, 2011).

**Tabla 4.123.** Abstract of Assessment of DNA damage in coal open-cast mining workers using the cytokinesis-blocked micronucleus test and the comet assay.

<b>Nombre documento:</b> Assessment of DNA damage in coal open-cast mining workers using the cytokinesis-blocked micronucleus test and the comet assay	
<b>Lugar:</b> Guajira	<b>Autor/año:</b> Grethel León-Mejía, Lyda Espitia-Pérez, Luz Stella Hoyos-Giraldo,

	Juliana Da Silva, Andreas Hartmann, João Antônio Pêgas Henriques, Milton Quintana, 2011
<b>Tipo documento:</b> Artículo	<b>Contaminante estudiado:</b> Material particulado
<b>Objetivo:</b> Evaluar los efectos genotóxicos en una población expuesta a los residuos de carbón de la mina a cielo abierto de El Cerrejón.	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>No hubo diferencia significativa en los marcadores de genotoxicidad entre las cuatro actividades desarrolladas en las minas de carbón (transporte de la extracción de carbón, mantenimiento de los equipos de campo, lavado y embarque del carbón). Estas observaciones indican que los trabajadores expuestos tienen una respuesta genotóxica comparable a la exposición a una mezcla compleja, independientemente de la zona de la actividad que desarrollen en la mina.</li> <li>Aunque no se identificaron los mecanismos genotóxicos específicos que generan efectos, el daño en el ADN de los trabajadores de la minería puede ser consecuencia del daño oxidativo resultante de las mezclas de residuos de carbón que contienen trazas de hierro, azufre, cenizas de carbón, metales pesados y HAP.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: León G, Espitia L, Hoyos LS, Da Silva J, Hartmann A, Henriques JA, et al. Assessment of DNA damage in coal open-cast mining workers using the cytokinesis-blocked micronucleus test and the comet assay. *Science of the Total Environment*;2011;409:686-691.

\*Adaptado por el autor.

**Tabla 4.124.** Resumen de la tesis Determinación de la toxicidad aguda (CL50) del extracto de polvillo de carbón frente a larvas de *artemia franciscana*.

<b>Nombre documento:</b> Determinación de la toxicidad aguda (CL50) del extracto de polvillo de carbón frente a larvas de <i>artemia franciscana</i> .	
<b>Lugar:</b> Laboratorio	<b>Autor/año:</b> Pacheco Gómez Jesús David, 2011
<b>Tipo documento:</b> Tesis	<b>Contaminante estudiado:</b> Polvillo de Carbón
<b>Objetivo:</b> Determinar la toxicidad aguda (CL50) del extracto de polvillo de carbón frente a larvas de <i>Artemia franciscana</i>	
<b>Resultados:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los síntomas más frecuentes encontrados en <i>Artemia franciscana</i> luego de ser expuesta al extracto fueron: letargia, poca reacción a la luz, debilidad y pérdida del reflejo de huida y flexión del músculo abdominal (calambre), los cuales son atribuidos principalmente a la presencia de metales.</li> <li>Tanto el polvillo de carbón como sus componentes pueden llegar a los ecosistemas marinos y estuarinos mediante procesos de lixiviación, a través de las escorrentías o por la liberación de partículas hacia la atmósfera.</li> </ul>	

**Nota** Fuente: Pacheco JD. Determinación de la toxicidad aguda (CL<sub>50</sub>) del extracto de polvillo de carbón frente a larvas de *artemia franciscana* [Tesis]. Cartagena: Universidad Nacional de Colombia;2011.

\*Adaptado por el autor.

## 5. SUSTANCIAS TOXICAS

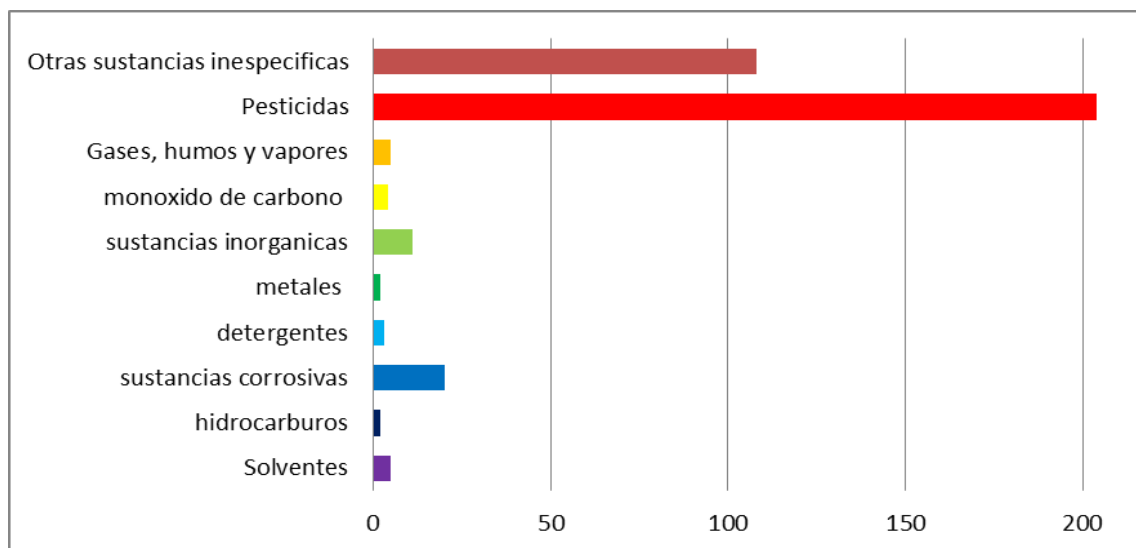
Los problemas sanitarios por sustancias tóxicas corresponden a una fase intermedia de la llamada "transición de riesgos ambientales" (Smith y Ezzati, 2005). Sus efectos nocivos incluyen las intoxicaciones agudas y/o crónicas que en algunos casos, se relacionan con la ocurrencia de enfermedades. El presente capítulo dará una revisión a las principales sustancias tóxicas que se presentan en diferentes escenarios del país, dando una revisión a las publicaciones científicas y reportes nacionales de contaminación por sustancias tóxicas y de su repercusión sobre la salud humana. Si bien no se abordan todas las sustancias tóxicas, se enfatiza en las que han sido más estudiadas, como el mercurio, el plomo y los plaguicidas, y en aquellas que presentan condiciones especiales (asbesto y plaguicidas organoclorados) o requieren especial atención futura dados sus posibles efectos adversos en la salud humana. En general, se evitó el uso de valores permisibles u otros límites dado que muchas de estas sustancias se consideran no deben estar presentes en el humano.

### 5.1. Exposición aguda a sustancias tóxicas

Existen dos fuentes principales a nivel nacional que recopilan información relacionada con intoxicaciones agudas por cualquier causa: el Sistema de Vigilancia Epidemiológica SIVIGILA y el Registro Individual de Prestación de Servicios de Salud. Por otra parte, diversos estudios realizados en el contexto clínico de diferentes municipios y departamentos han evaluado las características generales de estos eventos.

Según los datos que recolectamos en una búsqueda activa de SIVIGILA 2010 se notificaron un total de 364 intoxicaciones agudas relacionadas con sustancias tóxicas, de las cuales en la figura 5.1 se presenta su distribución según la clasificación del agente. Las sustancias que con mayor frecuencia generan intoxicación aguda son los pesticidas dentro de los cuales los más frecuentes son los organofosforados y carbamatos, seguidos de una clasificación muy poco concreta, denominada otras sustancias inespecíficas. En tercer lugar se presentan las sustancias corrosivas.

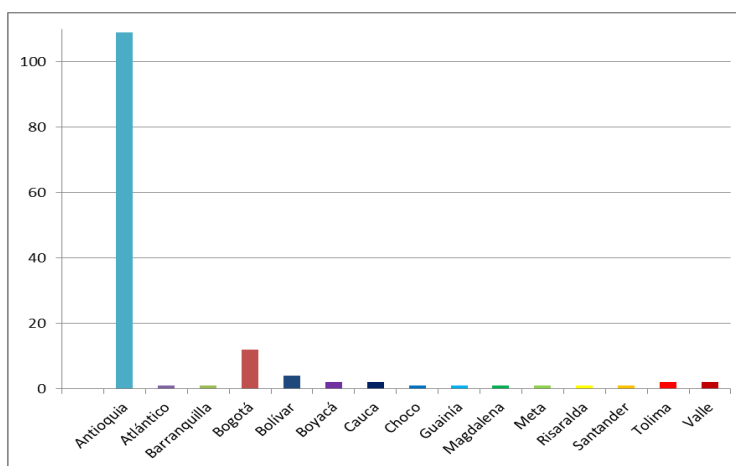
**Figura 5.1.** Distribución de las intoxicaciones agudas según sustancia tóxica causal.



**Nota** Fuente: SIVIGILA. Estadísticas. Recuperado de <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/sivigila/Estadsticas%20SIVIGILA/Forms/public.aspx> ; 2010.

En la siguiente figura 5.2 se observa a distribución de casos 2011 por lugar de ocurrencia.

**Figura 5.2.** Distribución de las intoxicaciones agudas, 2011.



**Nota** Fuente: SIVIGILA. Estadísticas. Recuperado de <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/sivigila/Estadsticas%20SIVIGILA/Forms/public.aspx>; 2011.

Además, estudios originales desarrollados en algunas regiones del país han descrito el comportamiento de las intoxicaciones en diferentes escenarios. Por ejemplo, en el departamento del Valle del Cauca, en un estudio publicado en 2009, se reportaron para la última década 50 incidentes relacionados con sustancias peligrosas, los cuales se asociaron

principalmente a actividades en plantas químicas, almacenamiento en bodega y transporte terrestre de sustancias. El 70% de los eventos ocurrieron en la capital del departamento (CVC, 2009). Otras investigaciones desarrolladas en ambientes hospitalarios en la ciudad de Cartagena han descrito el comportamiento de las intoxicaciones atendidas por morbilidad en los servicios de urgencias de diferentes instituciones. En la tabla 5.1 se presenta la frecuencia de casos reportados en los diferentes centros hospitalarios de la ciudad. Los motivos asociados con la intoxicación fueron la exposición accidental, seguido de intento suicida y consumo de estupefacientes (Galofre, 2011). Solo el 5% de las intoxicaciones en adultos guardaron relación con causas ocupacionales (Ortiz, 2011).

**Tabla 5.1.** Número de casos de intoxicaciones agudas descritos en la ciudad de Cartagena para los años 2009 y 2010.

Institución	Casos	
	2009	2010
Hospital Infantil Napoleón Franco Pareja (Galofre, 2011)	112	105
Hospital Universitario del Caribe (Lastra, 2011)	88	123
Clínica San Juan de Dios de Cartagena (Ortíz, 2011)	152	158
Clínica Cartagena del Mar (Serpa, 2011)	193**	

**Nota** Fuente: Adaptación del autor; \*Datos tomados de los siguientes autores Galofre, 2011; Lastra, 2011; Ortíz, 2011; Serpa, 2011.  
\*\*Para los dos años.

Finalmente los registros de mortalidad del DANE también permiten una panorámica general de la problemática, que muestra las intoxicaciones como causa de muerte, afortunadamente con una baja ocurrencia.

**Tabla 5.2.** Casos de intoxicación con sustancias tóxicas que ocasionaron la muerte en Colombia (2010).

Departamento	Total	Hombres	Mujeres
Antioquia	8	5	3
Atlántico	1	1	0
Bogotá	20	16	4
Bolívar	3	2	1
Boyacá	17	15	2
Caldas	4	3	1
Caquetá	3	1	2
Cauca	3	2	1
Cesar	4	4	0
Córdoba	2	0	2

Cundinamarca	3	3	0
Chocó	1	1	0
Huila	4	4	0
La Guajira	2	1	1
Meta	1	1	0
Nariño	6	4	2
Norte de Santander	4	3	1
Quindío	4	4	0
Risaralda	5	5	0
Santander	3	3	0
Sucre	2	1	1
Tolima	4	3	1
Valle del Cauca	10	7	3
Putumayo	1	1	0
San Andrés y Providencia	1	1	0
Guaviare	1	1	0

## 5.2. Mercurio

El mercurio es un metal que ha estado relacionado de forma histórica con la economía colombiana desde la época de la colonia. A pesar que existen fuentes naturales de mercurio provenientes de actividades volcánicas, combustión y erosión de suelos, la principal fuente de exposición mundial y nacional a este metal proviene de la minería aurífera (Eisler, 2003). Para el año 2007 se utilizaron 71.4 toneladas de mercurio, todas provenientes de importación; este valor aumentó en los siguientes años, alcanzando un valor máximo de 130.4 toneladas en 2009 (López et al, 2003). Así mismo, en 2007 se generaron 150.3 toneladas de residuos compuestos de mercurio de los cuales 11.5 toneladas fueron empleadas para aprovechamiento, 38.6 fueron tratadas y la cantidad restante destinada para disposición final (López et al, 2003).

Los valores de referencia para mercurio se presentan en la tabla 5.3.

**Tabla 5.3.** Valores de referencia para Hg de acuerdo a la WHO, EPA, OSHA y FDA.

<b>Mercurio</b>		
	<b>Valor de referencia</b>	<b>Referencia</b>
Agua	0.001 mg/L	WHO 1984
	0.002 mg/L	EPA 1992
Aire	0.1 mg/m <sup>3</sup>	OSHA
Alimentos	1 ppm	FDA 1998

**Nota** Fuente: WHO 1984; EPA 1992; OSHA; FDA 1998



### **5.2.1. Fuentes naturales de mercurio en Colombia**

En el departamento de Caldas, municipio de Aranzazu, existe un yacimiento de mercurio de origen volcánico, que fue descubierto aproximadamente en la cuarta década del siglo XX (INGEOMINAS, 1958). En esta región se desplegó la primera y única mina nacional de mercurio llamada mina "La Nueva Esperanza". Para 1960 en publicaciones de Ingeominas se reportó una reserva en la región de 35.000 libras del metal (INGEOMINAS, 1960), con una producción anual aproximada de 2.700 y 7.500 libras de mercurio para los años 1955 y 1957, respectivamente (INGEOMINAS, 1958). Estas cifras aumentaron aparentemente en los siguientes años. Debido a su exclusividad y gran productividad el yacimiento obtuvo gran atención por parte de las autoridades encargadas de la vigilancia del sector minero de la época. En un informe de Ingeominas de marzo de 1960, en el margen de una visita técnica realizada a la mina se recomendó la optimización de las instalaciones, el uso de métodos cerrados y movilización de las viviendas de los trabajadores, con el fin de reducir la exposición a mercurio (INGEOMINAS 1960). Lo anterior confirma el inminente riesgo para los trabajadores de la organización divisada desde ese año, así como la búsqueda de alternativas que permitieran atenuar dicho riesgo y por lo tanto, promovieran un funcionamiento seguro de la mina.

En 1977 la mina fue clausurada debido a alteraciones en la salud detectadas en los trabajadores de la zona, las cuales fueron asociadas con la exposición ocupacional a mercurio (Escobar, 2006). Posteriormente al cierre de la mina, en un estudio publicado en 1979 se evaluaron muestras de sedimento, suelos y rocas teniendo en cuenta el territorio donde funcionaba la mina y un área cercana a la misma, encontrando un área de 1 por 25 kilómetros de extensión con concentraciones anómalas de mercurio (Vesga y Prez, 1979).

### **5.2.2. Minería aurífera**

Como se mencionó con anterioridad, uno de los escenarios principales en los cuales se presenta la contaminación ambiental y la exposición humana al mercurio, es la minería aurífera desarrollada con técnicas artesanales. Colombia se ha convertido en el segundo país productor de oro en América Latina, con una producción anual aproximada de 47.838 kilogramos para el 2010 (UPME, 2010); precedido por Brasil y seguido por Perú (Veiga, 1997b). Además, en el contexto mundial, Colombia es el tercer consumidor de mercurio con fines de explotación aurífera artesanal (Webster, 2012; Cordy, 2011).

En términos generales, la producción nacional de oro ha aumentado en la última década, con una caída de la producción según datos del sistema de información minero colombiano (SIMCO) para los años 2006 y 2007; y una producción de 47.838 kg y 53.606 kg anuales para el 2009 y 2010 respectivamente (López et al, 2012).

Colombia tiene actualmente 12 distritos mineros de los 26 adscritos en 2005, que realizan explotación aurífera (Tabla 5.4), estos ubicados principalmente en la región occidental y central del país. Existe una extensa lista de títulos de minería de oro en el país. Por ejemplo, para el

año 2009 en el mes de octubre se publicaron en la relación de contratos de concesión de títulos mineros, 179 títulos principalmente ubicados en los departamentos de Tolima, Nariño y Santander (INGEOMINAS, 2009).

**Tabla 5.4.** Distritos de minería de oro en Colombia 2005.

<b>Distrito</b>	<b>Departamento</b>
Costa Pacífica Sur	Cauca y Nariño
El Tambo- Dovio	Valle y Cauca
Frontino	Antioquia
Istmina	Choco
La Llanada	Nariño
Marmato	Caldas y Risaralda
Mercaderes	Cauca y Nariño
Montelíbano	Córdoba
Nordeste Antioqueño	Antioquia
San Martín de Loba	Bolívar
Santa Rosa	Bolívar
Vetas	Santander

**Nota** Fuente: [UPME] Unidad de Planeación Minero Energética. Distritos Mineros: exportaciones e infraestructura de transporte. Informe. Bogotá DC: UPME;2005.

Segovia, Antioquia, es la región considerada con los mayores índices de contaminación por mercurio en el país y en el mundo según estudios recientes; es una región donde se desarrolla la minería artesanal de forma frecuente en el sector rural y urbano (Webster 2012; Cordy et al. 2011); por otra parte en la región del bajo Cauca - Nechí Córdoba, existe una alta producción aurífera, que en la medida en que se desarrolla de forma artesanal aumenta el riesgo de exposición a mercurio para la comunidad.

Pese al despliegue de diversos mecanismos de tecnificación para llevar a cabo la minería aurífera, el mercurio continúa siendo un elemento fundamental, económico y eficiente para la extracción del oro (Malm, 1998; Prieto et al, 1998). Para 2010, se estimaba que el 50% de la producción minera correspondía a la minería informal (UPME, 2010). En adición a las condiciones económicas que necesariamente involucran la minería artesanal y el uso de mercurio dentro de las prácticas de explotación, existen otros aspectos que en el contexto de la informalidad empeoran el escenario de contaminación y su impacto sobre la salud humana. Tal es el caso de la presencia y rol activo de la mujer en la minería y la exposición directa o indirecta por parte de la población infantil (Veiga, 1997b). A lo anterior, se suma una escasa percepción de riesgo ambiental por parte de la comunidad y el consecuente uso inadecuado de mecanismos de protección y reciclaje del metal (Wolff, 2000).

### 5.2.3. Evaluación de exposición a mercurio

En el ámbito mundial se han evaluado en diferentes contextos la acumulación del mercurio dentro de los ecosistemas, en adición estudios experimentales en animales han permitido esclarecer mecanismos fisiopatológicos y efectos de la exposición crónica y aguda al mercurio. Varios de estos efectos han sido evaluados y corroborados sobre la salud humana. En Colombia, ha sido evidente la acumulación del mercurio dentro de la biota y fauna, tal es el caso de la Ciénaga Grande de Santa Marta, la bahía de Cartagena, río Cauca y Magdalena, entre otros.

**5.2.3.1. Sedimento y agua.** En una medición de múltiples muestras provenientes de la bahía de Cartagena y de la Ciénaga Grande de Santa Marta reportada en 2000, se detectaron niveles de mercurio elevados en el sedimento (94 a 10293 mg/kg y 20 a 109 mg/kg, respectivamente) (Alonso et al, 2000). La contaminación de las aguas de la Ciénaga de Santa Marta proviene fundamentalmente de los metales pesados generados por la industria y minería cercana (Botero, 1996). Los niveles de mercurio en sedimento de la bahía de Cartagena resultaron ser considerablemente superiores a los detectados en Santa Marta. Estos niveles se correlacionaron con la detección de mercurio total en peces de las dos regiones (Alonso et al, 2000).

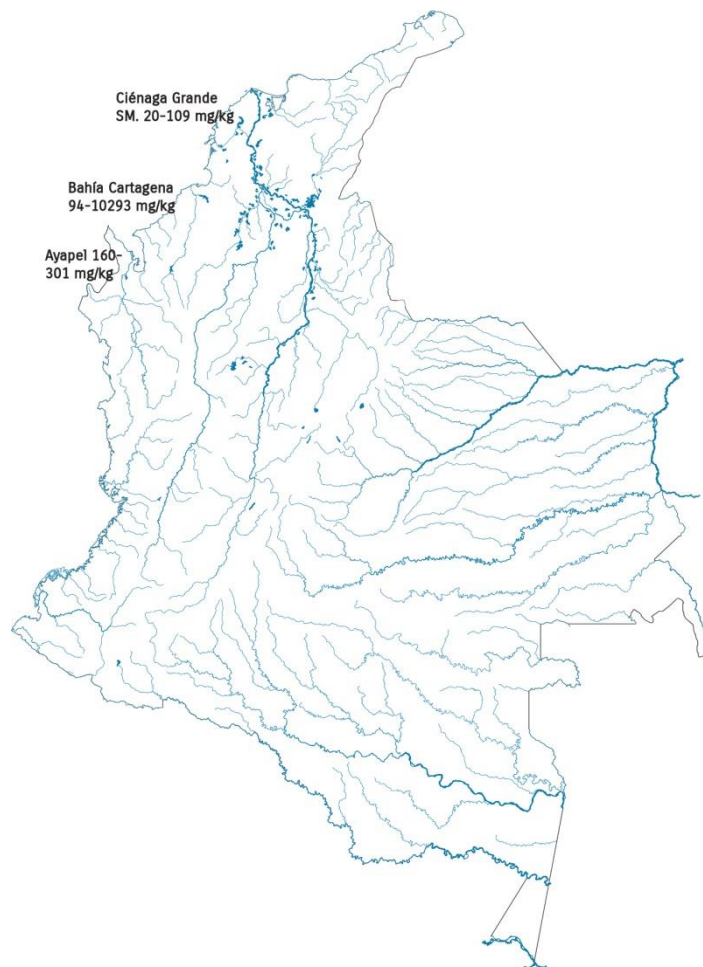
En 2001 se publicó un estudio donde se evaluaron los niveles de mercurio total en muestras de sangre y orina de población vinculada de forma directa o indirecta al proceso de extracción artesanal del oro, así como muestras de agua en el distrito minero de Vetas, ubicado en el departamento de Santander; el 62% de las muestras de agua, se encontraban por encima de los niveles aceptados (0.001 mg/L) (Granados, 2001). Lo anterior probablemente relacionado con las descargas de arenas con residuos mercuriales por parte de las empresas mineras y por los residuos directamente descargados de la minería artesanal. Además, El 40% y 54% de los individuos presentó niveles de mercurio superiores al valor permisible, en sangre y en orina respectivamente.

Por otra parte, la ciénaga de Ayapel tiene un área aproximada de 25 mil hectáreas y es un sector acuífero receptor de aguas del río San Jorge y Caño Grande, así como del río Cauca (Aguilera, 2009); en esta región se practica minería aluvial de oro. Para el año 2010 se detectaron niveles de mercurio en sedimento en la ciénaga entre 0.160–0.301 mg/g de peso seco (Marrugo J et al, 2010).

Así mismo, el río Bogotá y sus cuencas han sido otra de las fuentes de agua en las cuales se ha centrado la atención de las autoridades ambientales. Lo anterior debido a su alto riesgo de contaminación industrial y agrícola y a la cercanía de diversas poblaciones que se abastecen con aguas del embalse de Muña, pobremente tratadas. Por ejemplo, una investigación desarrollada en el año 2010 evaluó el sedimento del río Bogotá y Tunjuelo, receptores de la contaminación de metales pesados procedente de zonas industriales, detectando valores superiores a 0,0001 mg/L (Soto et al, 2010). Esta fuente de agua se convierte en un factor de exposición al metal para población que no necesariamente está

vinculada en el proceso industrial, sino que se surte de los ríos, incluyendo grupos vulnerables como las mujeres y los niños.

**Figura 5.3.** Mapa de niveles de mercurio en sedimento, Colombia



**Nota** Fuente: el autor.

\*Datos obtenidos de los estudios de Sarmiento et al, 1999; Marrugo J et al, 2010; Alonso, 2000.

En 1999 se desarrolló una investigación en la región del embalse de Muña, donde se evaluaron diferentes materiales que podrían estar potencialmente contaminados por los productos industriales generados en zonas aledañas. En el agua se detectaron niveles de 0 a 0.61  $\mu\text{g/L}$ . mientras que en material vegetal incluyendo frutas y legumbres los niveles estuvieron por debajo de 50  $\mu\text{g/kg}$  (Sarmiento et al, 1999). En 2011 se detectaron en agua valores superiores a los permitidos para riego (0.01 mg/L), mientras que en suelo y sedimento los valores estuvieron dentro de límites de referencia, sin embargo, al evaluar el tejido vegetal el cual usualmente es regado con aguas de la represa, los niveles de mercurio fueron consistentemente superiores a la normativa (Montaño, 2011). En la figura 5.3 se observa la localización de los lugares estudiados y los niveles promedio encontrados en sedimento.

Uno de los factores que se ha relacionado con el nivel de mercurio en sedimentos es el porcentaje de materia orgánica, con un coeficiente de correlación  $r = 0.65$ . Esta correlación fue verificada en el escenario de la ciénaga de Ayapel, independientemente de la época del año (Marrugo J et al, 2007). Diferentes mediciones en los puntos de monitoreo del río Cauca han sido reportadas de forma aislada por la Universidad del Valle, al realizar una compaginación de estos monitoreos para el caso del mercurio se observa el siguiente comportamiento (Tablas 5.5, 5.6 y 5.7).

**Tabla 5.5.** Evaluación de mercurio (ng/ml) en aguas del río Cauca según punto de monitoreo 1995-2008.

Estación	Hg[ng/ml]	%RSD
<b>Puente Hormiguero</b>	14.66	3.4
<b>Paso del comercio</b>	2.79	3.5
<b>Juanchito</b>	16.02	4.1
<b>Media Canoa</b>	1.79	3.9
<b>Yotoco</b>	23.33	3.0
<b>Puerto Isaacs</b>	1.69	3.8
<b>Vijes</b>	2.63	1.6

**Nota** Fuente: Vasquez A. Evaluación por espectrometría de absorción atómica de mercurio en aguas del tramo sur del río Cauca [Tesis]. Santiago de Cali;2001.

**Tabla 5.6.** Análisis de Mercurio total en sedimentos del río Cauca.

Estación de muestreo	11/15/95		05/22/96		09/04/96		07/30/97	
	Concentración (ng/g)	%DSR	Concentración (ng/g)	%DSR	Concentración (ng/g)	%DSR	Concentración (ng/g)	%DSR
<b>Juanchito</b>	107.131	0.0	338.273	9.0	341.817	1.2	7966.562	1.6
<b>Paso del comercio</b>	194.752	1.0	434.795	8.8	2817.663	1.3	267.598	1.2
<b>Puerto Isaacs</b>	208.641	3.2	265.341	8.2	1645.169	1.1	267.598	1.6
<b>Paso de la Torre</b>	195.372	0.1	145.530	1.0	217.988	1.3	885.388	1.1
<b>Vijes</b>	188.604	3.3	113.816	1.2	92.961	1.4	651.230	3.1
<b>Yotoco</b>	175.594	6.5	111.616	0.1	512.329	1.1	1092.380	1.3
<b>Media Canoa</b>	1095.064	0.0	584.779	4.2	650.132	0.1	910.580	2.2

**Nota** Fuente: Rada MP. Estudio y evaluación del grado de contaminación por cadmio, mercurio y plomo en aguas, peces y sedimentos del río Cauca por espectrometría de absorción atómica [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad de Valle;1998.

**Tabla 5.7.** Concentraciones de Mercurio halladas en muestras del río Cauca.

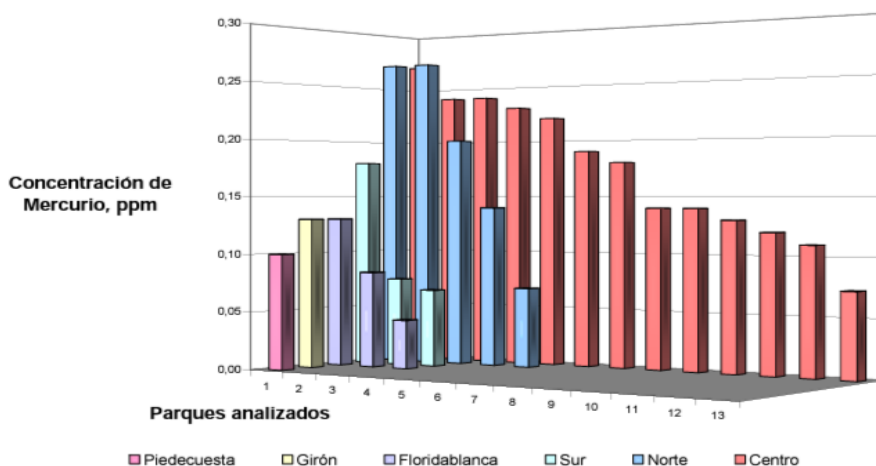
Punto de muestreo	Concentración (ppb)
Puente Hormiguero	12.8
Antes Canal CVC-Sur	4.92
Después Canal CVC-Sur	4.50
Bocatoma Puerto Mallarino	11.6
Puente de Juanchito	2.42
Salida A Residuales PTAR-C	4.50
Desembocadura del río Cali en río Cauca	3.25

**Nota** Fuente: Correa WA. Especiación del Plomo, Cromo y Cadmio con resina amberlita XAD-16 y cuantificación de Mercurio en aguas del río Cauca en Santiago de Cali por espectrometría de absorción atómica [Tesis]. Santiago de Cali;2009.

En general, los niveles de mercurio en agua muestran un descenso desde 1999 hasta 2008. Llama la atención en la figura los altos niveles de mercurio en agua presentados en Juanchito en 1997, significativamente superiores a las mediciones en años previos y posteriores a esta fecha. Infortunadamente no conocemos el motivo de estos cambios.

**5.2.3.2. Suelos.** Existen diferentes estudios que han evaluado los niveles de mercurio en suelos, tanto en contextos urbanos como rurales. Un ejemplo de ello es el trabajo desarrollado en Bucaramanga, Santander, donde se determinaron los niveles de metales pesados en suelos urbanos, contemplando dentro de ellos el mercurio. El nivel máximo fue de 0,27 mg/kg con un rango de 0,228 mg/kg. En la figura 5.4 se presentan los resultados. Es evidente que las muestras correspondientes a las zonas industriales de la ciudad, ubicadas en el norte y centro, reportaron niveles de mercurio más elevados (Muñoz FA, 2006).

**Figura 5.4.** Concentraciones de mercurio en suelos de parques del área metropolitana de Bucaramanga.



**Nota** Fuente: Muñoz FA. Determinación del mercurio en suelos de Bucaramanga, utilizando un prolizador acoplado a un detector de mercurio basado en espectroscopia de absorción atómica diferencia del Zeeman [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander; 2006.

**5.2.3.3. Peces y fauna acuática.** Desde hace más de dos décadas se han realizado en el país diferentes estudios con el fin de determinar las concentraciones del mercurio en el musculo de los peces; esto permite evaluar de forma directa la contaminación del ecosistema y de forma indirecta la exposición humana. Estos estudios han sido principalmente desarrollados en el área de influencia del río Magdalena y en el Sur de Bolívar.

La concentración de mercurio en los peces depende fundamentalmente de su posición en la cadena trófica, así como de su tamaño (Olivero et al, 1998). Usualmente los peces carnívoros contienen niveles de mercurio total y de metil-mercurio superiores a los omnívoros y detritívoros; además, el peso en los peces carnívoros se ha correlacionado de forma positiva y significativa con los niveles de mercurio total ( $r$  0.51) (Olivero et al, 2009), así como con la longitud de la especie ( $r$  0.66) (Gracia et al, 2010).

En una investigación publicada en el año 2000, se compararon las concentraciones de mercurio en peces provenientes de la bahía de Cartagena y la Ciénaga Grande de Santa Marta. Las concentraciones detectadas en Cartagena alcanzaron en algunos casos los 852 mg/kg de peso seco, mientras que en la Ciénaga de Santa Marta, la concentración máxima fue de 68 mg/kg de peso seco (Alonso et al, 2000); los niveles detectados en peces omnívoros fueron superiores a los detritívoros (Alonso et al, 2000).

Otro estudio, donde se llevó a cabo un muestreo de peces en la Ciénaga Grande en el municipio de Montecristo, encontró diferencias en los peces de acuerdo a su lugar dentro de la cadena trófica. La especie carnívora *Sorubincuspicaudus*, tuvo la concentración media más elevada ( $0.74 \pm 0.19$   $\mu\text{g/g}$  de peso fresco) y la menor concentración estuvo en una especie no carnívora *Prochilodusmagdalenae* ( $0.15 \pm 0.02$   $\mu\text{g/g}$  de peso fresco) (Marrugo et al, 2008).

En el caso de la ciénaga de Ayapel, para el 2007 se realizó un estudio de concentración de mercurio en peces, encontrando niveles dentro de los límites aceptables para consumo de OMS (Marrugo J et al, 2007).

En el río Nechí, ubicado en el noroccidente colombiano, se reportó un estudio en 2012, cuyo fin fue evaluar la concentración de metil-mercurio en peces provenientes de las aguas del río, en comparación con peces provenientes en el río la Miel, departamento de Caldas; en promedio se encontraron valores cinco veces superiores en el río Nechí, respecto al control (268 y 56 ng/g respectivamente) (Álvarez et al, 2012). Otra investigación direccionada a evaluar los niveles de mercurio en peces disponibles en almacenes comerciales de la ciudad de Cartagena, encontró que uno de los establecimientos tenía niveles de mercurio en peces consistentemente más elevados, con un valor promedio máximo de 0.76  $\mu\text{g/g}$  en la merluza (Sánchez JM, 2011). En el caso de las ostras los niveles en las muestras evaluadas no superaron los valores permitidos (Sánchez JM, 2011).

Por otra parte, en la ciudad de Cartagena se realizó la medición de niveles de mercurio en muestras de atún enlatado de diferentes marcas comerciales, los nombres comerciales de los productos no fueron revelados. Los niveles de mercurio total alcanzaron un valor máximo de



2.59 ppm, con un valor promedio de 0.86, en el caso de dos de las cuatro marcas evaluadas se superó el nivel de referencia nacional, con un 34% de las muestras por encima de dicho valor; Tres de las marcas comerciales superaron el valor de referencia OMS (Sánchez J, 2011).

En la literatura científica encontramos un solo reporte de medición de mercurio en carne de consumo publicado en 2011, el cual determinó concentraciones de mercurio en carne de bovinos dentro de los valores permisibles para ingestión humana (Madero et al, 2011). En la tabla 5.8 se presentan algunos ejemplos de medición de mercurio en peces según región.

**Tabla 5.8.** Concentración de mercurio en peces en Colombia.

Lugar	Tipo de pez	Niveles	Autor
Ayapel, Córdoba		2,18±1,77 µg/g (máximo 12.76) peso fresco	Gracia et al, 2010
Bahía de Cartagena	Carnívoros	0.100±0.006 mg/g	Olivero et al, 2009
	Omnívoros	0.076±0.014 mg/g	
	Detritívoros	0.028±0.001 mg/g	
Ciénaga de Ayapel, Córdoba		0.288±0.145 mg kg <sup>-1</sup> peso fresco	Marrugo J et al 2007
	Carnívoros	0.346±0.133 mg kg <sup>-1</sup> peso fresco	
	No carnívoros	0.184±0.102 mg kg <sup>-1</sup> peso fresco	
Cga de Ayapel, Mojana		0.298 + 0.148 mg/g, peso fresco	Marrugo J et al, 2010
Mojana	Carnívoros	0.160–0.301 mg/g	
		0.346 ± 0.171 mg g <sup>-1</sup> peso fresco¥	
	No carnívoros	0.155 ± 0.108 mg g <sup>-1</sup> peso fresco	
		0.146 ± 0.102 mg g <sup>-1</sup> peso fresco¥	
San Benito		0.346±0.262 µg/g peso fresco¥	
		0.386± 0.260 µg/g peso fresco	
Ayapel		0.332±0.125 µg/g peso fresco¥	
		0.370±0.123 µg/g peso fresco	
San Marcos		0.286±0.167 µg/g peso fresco¥	Marrugo J et al, 2008
		0.296±0.167 µg/g peso fresco	
Guaranda		0.253±0.168 µg/g peso fresco¥	
		0.268±0.168 µg/g peso fresco	
Caimito		0.228±0.153 µg/g peso fresco¥	
		0.240±0.165 µg/g peso fresco	
Majagual		0.106±0.054 µg/g peso fresco¥	
		0.117±0.057 µg/g peso fresco	
Sucre		0.088±0.057 µg/g peso fresco¥	
		0.091±0.059 µg/g peso fresco	
Bahía de Cartagena		Niveles de detección a 852 mg/kg peso seco	Alonso et al, 2000

Lugar	Tipo de pez	Niveles	Autor
Ciénaga Grande de Santa Marta		Niveles de detección a 68 mg/kg peso seco	Alonso et al, 2000
Río Nechi		40 a 934 ng/g $\neq$	Álvarez et al, 2012
Río la Miel		8 a 92 ng/g	

**Nota** Fuente: Adaptación realizada por el autor.

\*Los datos han sido tomados de los estudios que corresponden a los siguientes autores Gracia et al, 2010; Olivero et al, 2009; Marrugo J et al 2007; Marrugo J et al, 2010; Marrugo J et al, 2008; Alonso et al, 2000; Álvarez et al, 2012.

\*\* En todos los casos se midió mercurio total, excepto en los señalados con  $\neq$ , en los que se midió metil-mercurio.

**5.2.3.4. Estudios en humanos.** En Colombia, se han realizado mediciones de mercurio en humanos, principalmente en trabajadores y comunidades circundantes a las actividades mineras o aledañas a zonas ribereñas. Una información interesante parte de un estudio donde se analizaron muestras prehispánicas, correspondientes a la zona de la Mesa de los Santos en Santander, donde se detectaron niveles de mercurio en cabello inferiores a 0,3  $\mu\text{g/g}$  (Idrovo et al, 2002); estos valores pueden servir de referencia temporal basal para futuros estudios en el país. En contraste, hoy en día se detectan niveles hasta 76 (Olivero et al, 2008a) y 256 veces superiores (Idrovo et al, 2001). Lo anterior demarca claramente un aumento en los niveles de mercurio en muestras humanas, sugiriendo una relación de la exposición humana a mercurio con el proceso de industrialización y desarrollo en los últimos tiempos.

Diferentes estudios han reportado niveles consistentemente elevados en cabello en población minera, pescadores y en población consumidora frecuente de pescado (Olivero et al, 1995; Idrovo et al, 2001). En 1995 se evaluaron los niveles de mercurio en cabello correspondientes a individuos de diferentes regiones del nororiente Colombiano, encontrando concentraciones más elevadas del metal en un grupo de pescadores. Los valores más bajos correspondieron a un grupo control, seleccionado en la ciudad de Cartagena (Olivero et al, 1995). En la tabla 5.4 se presentan los estudios más relevantes en humanos para evaluar la exposición a mercurio mediante biomarcadores.

Otra investigación desarrollada en Segovia, zona de alta contaminación, reportó niveles de mercurio en cabello superiores a 5  $\mu\text{g/g}$  en el 15,2% de los participantes, 23,7% residentes en lugares donde se manipulaba el mercurio. Para fin de la investigación los trabajadores fueron clasificados según el grado de exposición a mercurio dependiendo de su actividad; aquellos con exposición directa presentaron en mayor proporción niveles elevados de mercurio en cabello (>5  $\mu\text{g/g}$ ), en comparación con los trabajadores con exposición indirecta (27.46 y 5.8% respectivamente) (Cote M, 2006). Es llamativo que los vendedores de mercurio y trabajadores ilegales de las minas (conocidos como macuqueros) presentaron en su totalidad niveles normales. Al evaluar el uso de elementos de protección personal en esta investigación fue evidente que quienes tenían un uso inadecuado de estos elementos presentaban con mayor frecuencia valores anormales de mercurio en cabello (89.4% vs 60.3%) (Cote M, 2006).

Así mismo, al evaluar niveles sanguíneos en comunidades mineras los niveles superan en la mayoría de los casos los puntos de corte normados. En el contexto del departamento de Risaralda, en el municipio de Quinichao se encontraron valores en sangre superiores a 5 ng/ml en el 92.2% de las muestras y niveles mayores a 30 ng/ml en el 5% de los casos aproximadamente (Alzate, 1996). De igual forma en Guainía para el 2001 se detectaron valores promedio de mercurio en sangre de 59.6 µg/L, con un valor máximo de 168; como un hallazgo de interés, se detectaron niveles promedio en población no trabajadora, es decir con población con exposición indirecta, de 53.5 µg/L con un valor máximo de 100.8 µg/L (Idrovo et al, 2001). Lo anterior sugiere una exposición relevante para ocupacional, la cual consiste en la exposición de familiares y personas cercanas a fuentes emisoras de sustancias tóxicas, usualmente por arrastre de trazas dentro del hogar. En este caso la comunidad general que no trabaja directamente en el oficio presenta valores elevados de mercurio, detectando una correlación directa con los niveles sanguíneos (Idrovo et al, 2001).

**Tabla 5.9.** Valores de mercurio en muestras de cabello y sangre en Colombia.

Lugar	Fuente	Niveles	Autor
Sur de Bolívar	Cabello pescadores	5.23±5.78µg/g	Olivero et al, 1995
	Cabello mineros	2.83±3.27µg/g	
	Cabello personas con otra actividad	2.40±2.02µg/g	
Cartagena	Cabello	1.33±0.74µg/g	Idrovo et al, 2001
Guainía	Sangre mineros	59.1 µg/L	
	Sangre no mineros	53.5 µg/L	
	Cabello mineros	26.93 µg/g	
	Cabello no mineros	22.86 µg/g	
Caimito, Sucre	Cabello	4.91±0.55 µg/g	Olivero et al, 2002
Bahía de Cartagena	Caño del Oro Cabello	1.5 µg/g	Olivero et al, 2008a
	Bocachica Cabello	1.4 µg/g	Olivero et al, 2008a
Coveñas	Cabello	1.2 µg/g	Olivero et al, 2008a
Lomarena	Cabello	0.7 µg/g	Olivero et al, 2008a
Tasajera	Cabello	0.7 µg/g	Olivero et al, 2008a

**Nota** Fuente: Adaptación realizada por el autor.

\*Los datos han sido tomados de los estudios que corresponden a los siguientes autores Olivero et al, 1995; Idrovo et al, 2001; Olivero et al, 2002; Olivero et al, 2008a.

La exposición a metales pesados como el mercurio, se ha evaluado en poblaciones que se surten de fuentes hídricas con potencial contaminación, tal es el caso del Embalse de Muña ubicado en el municipio de Sibaté Cundinamarca, donde la comunidad tiene exposición a metales a través del agua contaminada que es empleada para consumo y riego de alimentos.

En esta investigación todos los sujetos presentaron niveles en sangre dentro de los niveles permisibles ( $<20 \mu\text{g}/\text{L}$ ); 52.9% de ellos presentaron un valor no detectable (Combariza, 2007).

#### **5.2.4. Efectos de mercurio sobre la salud**

Como se mencionó con anterioridad, los efectos del mercurio sobre la salud han sido evaluados en diferentes contextos del ámbito internacional. En Colombia se han descrito principalmente los efectos neurológicos del metal. En los sistemas de reporte rutinario de información sobre los servicios de salud y el sistema de vigilancia epidemiológica nacional, los casos de intoxicación aguda por mercurio son de reporte obligatorio. Llama la atención, que a pesar de la alta exposición al metal que se detecta en diferentes regiones del país, para 2010 se reportaron solo dos intoxicaciones agudas por metales de las cuales una correspondía a mercurio (SIVIGILA, 2010). En adición, la mayoría de los casos detectables de intoxicación pueden corresponder a eventos de intoxicación crónica que pasan desapercibidos dentro del sistema, ya que no son de notificación inmediata.

**5.2.4.1. Efectos neurológicos.** El estudio neuroepidemiológico del río Suratá, aledaño al distrito minero de Vetas-California, Santander, encontró intoxicación crónica por mercurio en la población de esta zona asociada a la presencia de alteraciones extrapiramidales en el grupo expuesto (Pradilla, 1992). Tales alteraciones consisten principalmente en temblor, distonia, trastornos de la coordinación, entre otros.

En otra investigación desarrollada en población minera, se compararon los síntomas neurológicos desarrollados entre la población trabajadora y otra población no expuesta; en este caso se encontró un aumento significativo de los síntomas neuropsicológicos y alteraciones del comportamiento en el grupo expuesto (Tirado et al, 2000).

Por otra parte, un estudio desarrollado en Segovia, Antioquia, en 2005 encontró una asociación significativa entre los niveles elevados de metil-mercurio y la presencia de síntomas neurológicos tales como temblor fino en parpados y labios; los hallazgos neurológicos más frecuentes en este grupo fueron temblor 11.5% seguido de signo de Romberg positivo, en 5.7% de los casos, el cual consiste en la pérdida del equilibrio del individuo al estar de pie con los pies juntos, los ojos cerrados y brazos al frente, (Cote M, 2006). Debido a que Segovia es una zona de alta exposición a mercurio se han desarrollado múltiples estrategias de intervención y mejoramiento por entidades públicas y privadas, con el fin de aumentar el conocimiento de la comunidad y los trabajadores en aspectos y buenas prácticas del uso del mercurio, así como alternativas eficientes. Seis años posteriores al estudio mencionado, se realizó otra investigación en la región, haciendo énfasis en la percepción de riesgo, en el cual el 96.4% de los individuos participantes en la investigación consideraron que el mercurio era un elemento perjudicial para la salud.

Aquellas personas que tenían antecedente de efectos tóxicos del mercurio sobre su salud, tuvieron mayor percepción de riesgo y mayor uso de medidas de protección, el 58.9%

utilizaban guantes, 30.4% mascarilla y 60.7% usaban recicladores de mercurio. Llama la atención que pese a todo lo mencionado anteriormente, alrededor de 50% de la muestra estudiada no recibió previamente capacitación en buenas prácticas relacionadas con el uso del mercurio en minería (García et al, 2011). Al realizar en Segovia una evaluación de los síntomas que la población auto reportaba como efectos secundarios de la exposición al mercurio se encontró que los síntomas principales fueron temblores, disminución de agudeza visual, cefalea y pérdida de memoria, en este orden. (García et al, 2011).

No obstante, Segovia al igual que la mayoría de los distritos mineros cuenta con un escenario social, político y cultural que genera diferentes barreras de comunicación efectiva entre la comunidad y las autoridades territoriales y de salud, por lo tanto, las medidas impartidas por las autoridades de salud pública y gobierno no son fácilmente adoptadas por la población minera.

Una investigación con un enfoque antropológico y social determinó la inconformidad del gremio minero en lo referente a las normas impuestas desde el ámbito público, ya que sienten, que han sido desarrolladas sin su participación, con base en investigaciones científicas y sin tener en cuenta el rol de la comunidad minera (Aguilar, 2009). Este escenario es fácilmente extrapolable a otros contextos mineros, donde el proceso de adopción de prácticas adecuadas desde el punto de vista ambiental y sanitario por parte de la comunidad minera, se ha visto frustrado.

Otra investigación desarrollada en Puerto Berrio, Antioquia, enfocada a evaluar los efectos neurológicos y ototóxicos del mercurio en el contexto de la minería artesanal, comparó los hallazgos clínicos de la población minera con individuos trabajadores en minería de caliza; el primer grupo presentó alteraciones neuropsicotóxicas en 16% de los casos vs 1,25% en el segundo grupo. Además, se determinó una relación positiva y significativa entre el tiempo de exposición y la antigüedad en la minería, con las alteraciones auditivas (Ocampo et al, 2004).

**5.2.4.2. Otros efectos.** Un solo estudio desarrollado en el país en 1996 ha evaluado los eventos obstétricos relacionados con la exposición a mercurio en la minería de oro. La prevalencia de malformaciones congénitas fue de 0.56%, abortos 6.2% y muerte perinatal en el 3.4% (Alzate, 1996). Al comparar los datos obtenidos en población expuesta a mercurio con las estadísticas de prevalencia de malformaciones congénitas en la población general nos encontramos con valores muy semejantes (prevalencia entre 1,80% y 3.12% en población general) (Zarante et al. 2010). Este último estudio tiene en cuenta centros centinela para malformaciones congénitas, por lo tanto los datos obtenidos podrán sobreestimar la prevalencia de la población general y no ser comparables con el estudio de la población minera.

Por otra parte, una investigación desarrollada a inicios de la década de los 90, buscó evaluar los efectos oculares de la exposición a mercurio en mineros. Es un tema poco explorado a nivel mundial y la mayoría de investigaciones se han direccionado a evaluar efectos del metil-mercurio, contemplando alteraciones como disminución progresiva de la agudeza visual, alteración de la visión nocturna, discriminación cromática, entre otros (Collins et al,

2007). Sin embargo, en un estudio realizado en trabajadores expuestos a vapores de mercurio total se detectó también una reducción subclínica de la discriminación de colores (Urban et al, 2003).

En el estudio colombiano se reportó una asociación entre cambios sutiles entre la perimetría y en la reducción de la agudeza visual con la antigüedad en la minería, aunque dichos cambios no fueron ajustados por edad. Una proporción menor del 10% de la muestra presentó valores anormales de mercurio en orina, lo anterior no se asoció con alteraciones visuales; se reportó temblor palpebral en 50% de la población a estudio, asociado de forma positiva con la frecuencia de exposición diaria a trabajo en minería (De los Ríos, 1991).

### **5.2.5. Mercurio y odontología**

En el contexto de la atención primaria de odontología se realizan frecuentemente procedimientos de inserción de amalgamas dentales. Hoy en día gran parte de las instituciones odontológicas prestan servicios teniendo en cuenta las medidas de bioseguridad adecuadas para prevenir la exposición a mercurio por parte de los trabajadores. Sin embargo, el mercurio continúa hoy siendo una herramienta fundamental para la estructuración de las amalgamas y por lo tanto el personal de atención odontológica está potencialmente expuesto a este metal.

La frecuencia de uso del mercurio en el contexto de un servicio de odontología, supera la correspondiente al contexto de la minería artesanal. Esto debido a que el uso frecuente para la fabricación de amalgamas hace que la probabilidad de tener niveles de mercurio en aire superiores a lo recomendado para ambientes ocupacionales sea mayor ( $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ). El riesgo en este escenario ocurre tanto en el proceso de colocación como de retiro de la amalgama, siendo el riesgo mayor en las remociones de amalgama donde los niveles en el aire superan hasta 15 veces el valor permitido (Aguzzi et al, 2010). Por esta razón, el uso de mecanismos adecuados de protección y de disposición de residuos de mercurio en odontología, es fundamental.

En 2008 se publicó una investigación que evaluaba las instalaciones y las buenas prácticas en los servicios de odontología. Se observó que no todas las instalaciones tienen un adecuado control de prácticas ambientales como medida preventiva de la contaminación por mercurio (Ruiz et al, 2008), lo cual genera exposición de los profesionales de la salud y sus pacientes, así mismo y como un dato relevante se encontró que la cobertura de las aseguradoras de riesgos laborales fue del 71% aproximadamente (Ruiz et al, 2009); una proporción que para contemplar un escenario de trabajo formal se encuentra por debajo de lo esperado.

En otra investigación desarrollada en 2010 y 2011 en Cartagena se determinaron niveles de mercurio en aire de consultorios de clínicas odontológicas, en el 59,0% de los casos se evidenciaron niveles superiores a  $300\text{ng}/\text{m}^3$  en los escupideros, con un valor promedio de  $4435\text{ng}/\text{m}^3$  (Arrazola, 2011); el 51% de las muestras de aire tomadas en mesones de trabajo de

odontología en ausencia de paciente presentaron niveles muy superiores al permitido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América ( $300\text{ng}/\text{m}^3$ ). Cuando se evaluó en presencia de paciente, en el total de los casos los valores superaron este rango, el valor promedio de mercurio en aire en mesones fue de  $2116\text{ ng}/\text{m}^3$  (Arrazola, 2011). Con lo anteriormente mencionado, se hace evidente la falta de rigurosidad y de implementación de las medidas de reglamentación actual para el manejo del mercurio en odontología.

En cuanto a los usuarios de las amalgamas, en un estudio publicado en 2005 se reportó una asociación significativa con los niveles de mercurio en sangre y el número extensión y duración de las amalgamas, con valores de mercurio sérico bastante similares en personas con amalgamas dentales, en comparación con otros tipos de restauraciones dentales (Rodríguez et al, 2005).

### 5.2.6. Disposición de residuos en instituciones de salud

En Antioquia de los residuos provenientes de la manipulación de mercurio para amalgamas dentales, 37% se derivan a recuperación industrial, el 20% son enterrados, 15% reciclados por el proveedor y 7.5% son depositados en el aseo municipal (Ruiz et al, 2009).

Una investigación desarrollada en Bogotá, determinó que la fuente principal de desechos mercuriales está relacionada con el uso de termómetros, en el 88% de las instituciones se detectó un inadecuado manejo de los residuos mercuriales correspondientes a termómetros averiados. En el caso del mercurio recuperado en las instituciones de salud, el 32% es destinado a recolección por empresas idóneas para el manejo de residuos peligrosos (Vivas, 2005).

***Dada la revisión anterior, teniendo en cuenta la evaluación temporal de la contaminación por mercurio en el ecosistema y en el hombre, es evidente que aunque es un problema que probablemente haya sido parcialmente atenuado por las medidas recientes de optimización de la utilización del mercurio en el escenario de la minería artesanal y la odontología, continúa vigente como una problemática relevante para la salud ambiental, es probable que se requiera un abordaje más integral que supere los campos del diagnóstico y torne hacia la intervención y la resolución participativa y comunitaria de los asuntos ambientales.***

### 5.3. Plomo

El plomo es un metal pesado que conforma una de las exposiciones ocupacionales relevantes en nuestro país. Pese a la reducción notoria de la exposición en el contexto de los procesos industriales, la disminución de producción global, importación y exportación de productos con plomo y su eliminación de la gasolina entre 1991 y 1996 (Bautista, 2003;



PNUMA, 2010), **la persistencia de su uso con métodos artesanales y la magnitud de sus efectos sobre la salud lo convierten en un asunto no resuelto de la Salud Pública Nacional.**

En Colombia existen algunas regiones que tienen producción de plomo como subproducto en la explotación aurífera, tal es el caso de minas de Nariño, Quindío, Choco y Antioquia (Bautista, 2003). Para el 2010 se generaron en Colombia 931.8 toneladas de desechos con plomo, de los cuales 593 se destinaron para aprovechamiento o valorización, 264.6 toneladas se trataron y el valor restante se trasladó a disposición final (López, 2012).

### 5.3.1. Exposición a plomo

La principal exposición a plomo ocurre en contexto de la manufactura, por ejemplo de municiones, baterías, soldaduras, entre otras (Martínez, 1997; PNUMA, 2010). Existen algunas ocupaciones clasificadas como de alto riesgo de exposición al plomo, donde la vigilancia de la exposición ocupacional y paraocupacional es muy relevante (tabla 5.10).

**Tabla 5.10.** Actividades de alto riesgo de exposición al plomo

<b>Actividades de alto riesgo</b>
Fabricantes de alfarería, cerámicas, combustibles para motores, de estearato de plomo, insecticidas con plomo, limadores, tuberías de plomo, sales de plomo, protecciones y pisos de plomo, de tipos de imprenta, de tetraetileno de plomo, de pintores con PCV,
Trabajadores en el vidriado de automóviles
Desmanteladores o desguazadores de baterías (acumuladores)
Mezcladores de equipos químicos que contienen plomo o de estabilizadores de soldadura
Fabricantes y refinadores de metal de desecho
Trabajadores de metales con contenido de plomo
Refinadores de metales
Soldadores de metales con plomo
Trituradores de metales no ferrosos
Fundidores de pigmentos para pinturas o tuberías
Mineros de plomo
Moldeadores de plomo de baterías
Recuperadores y recicladores de plomo
Trabajadores de molinos de policloruro de vinilo

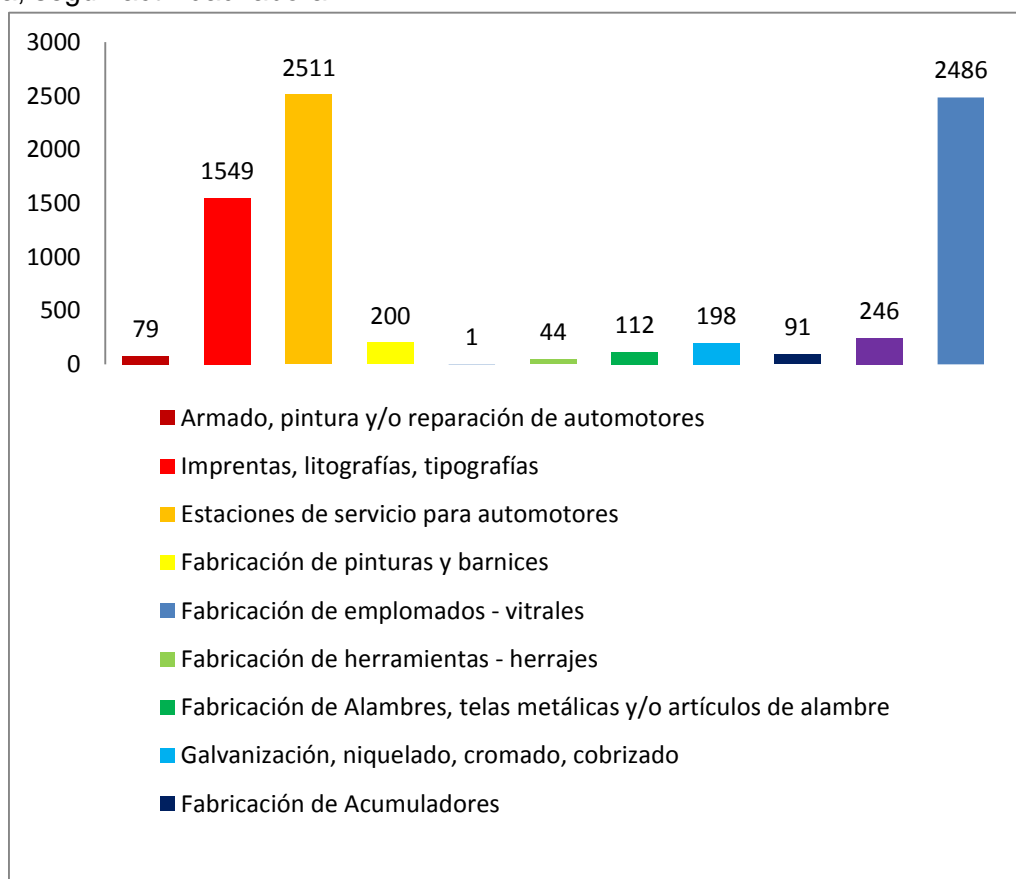
**Nota** Fuente: Modificado de González D, & Rojas W. Relación entre la exposición crónica ocupacional al plomo y los efectos neurocomportamentales, revisión documental [Tesis]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana;2008.

Una investigación desarrollada para evaluar la exposición a plomo en el contexto ocupacional en Colombia detectó que el 30% de las Aseguradoras de Riesgos Laborales (ARL) participantes, tenían trabajadores afiliados con riesgo de exposición al plomo, en un total de 807

empresas industriales del país, ubicadas principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Valle y Santander (Bautista, 2003). En la figura 5.5 se presentan la distribución de los trabajadores por actividad.

Como se puede apreciar, las estaciones de servicio automotriz, seguidas de las torres de petróleo y la litografía son las fuentes principales de exposición a plomo en Colombia. Sin embargo, existe una actividad que probablemente no está del todo representada en las ARL del país y es la fabricación y reciclaje artesanal de baterías. Según Cárdenas (2001) una de las fuentes principales de contaminación por plomo en Colombia proviene de la fabricación y desmantelación de baterías, que en ocasiones se lleva a cabo como un proceso artesanal y parcialmente regulado, que aumenta el riesgo de intoxicación (Cárdenas, 2001). Pese a esto, en el país no se tiene datos suficientes para evaluar la magnitud y el impacto de la exposición en el sector informal (González, 2008).

**Figura 5.5.** Distribución de los trabajadores con riesgo de exposición al plomo afiliado a ARP en Colombia, según actividad laboral.



**Nota:** Fuente: Bautista 2003.

En la tabla 5.11 se presentan los valores permitidos de plomo en las diferentes matrices de análisis.

**Tabla 5.11.** Valores permitidos para plomo en las diferentes matrices de análisis.

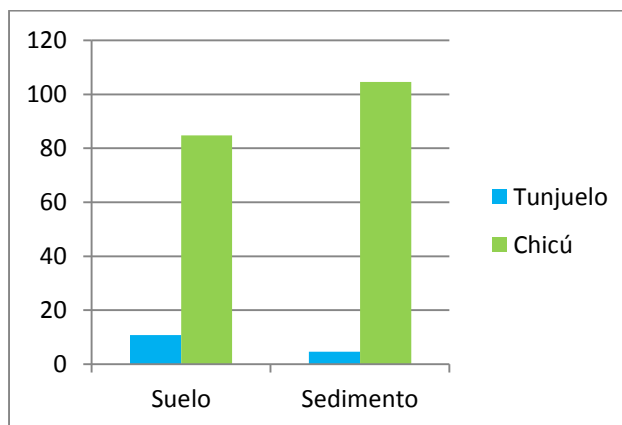
Plomo		
	Valor de referencia	Referencia
Aire	0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Aire ambiental	EPA
	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Aire ocupacional	OSHA 2005
Agua	0.01 mg/L	WHO 2004
	0.015 mg/L	EPA 2002

**Nota** fuente: Adaptación de autor.

### 5.3.2. Plomo en agua, suelos y sedimentos

Los niveles de plomo reportados en agua varían de forma marcada de acuerdo a la zona y las características particulares de contaminación de la misma. Un estudio publicado en 2009 reportó valores de plomo en agua de río Bogotá de 0.028 mg/L en promedio (Rodríguez, 2009), mientras que en el estudio de Arias en 2003 no se detectaron niveles por encima de los permitidos (0.01 mg/L) en esta zona (Arias, 2003). En 2011 se publicaron dos investigaciones que evaluaron la concentración de metales en dos zonas distintas del río Bogotá, en aguas del río Tunjuelo y Chicú; en la zona sur y noroccidental de la capital. En las figuras 5.6 y 5.7 se presenta de forma comparativa las concentraciones detectadas en estos dos cuerpos de agua. Llama la atención una notoria y marcada concentración de plomo en suelo y sedimento en el río Chicú, hasta 20 veces mayor en comparación con el río Tunjuelo (Rodríguez, 2011; Romero, 2011).

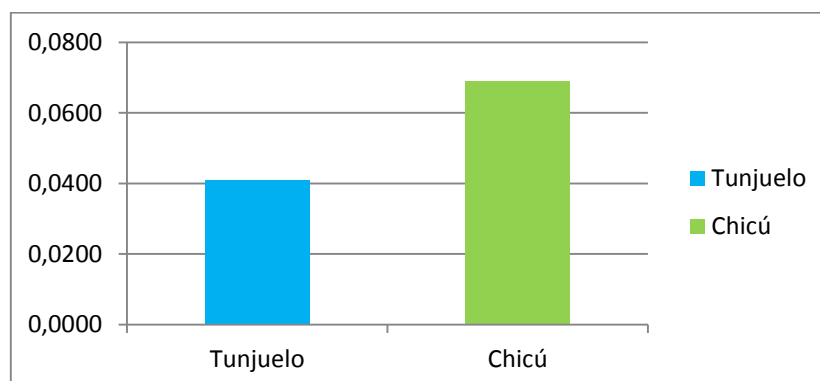
**Figura 5.6.** Plomo en suelo y sedimento (mg/kg) de los ríos Tunjuelo y Chicú, 2011.



**Nota** Fuente: Adaptado por el autor.

\*Información tomada de Rodríguez 2011; Romero 2011.

**Figura 5.7.** Plomo en agua (mg/L) de los ríos Tunjuelo y Chicú, 2011



**Nota** Fuente: Adaptado por el autor.

\*Información tomada de Rodríguez 2011; Romero 2011.

En el caso de las mediciones realizadas en aguas las diferencias son menos acentuadas, sin embargo persisten valores discretamente superiores para el río Chicú.

Al igual que para la medición de mercurio en agua, se realizó una recopilación de los niveles de plomo en las aguas del río Cauca. En la tabla 5.12 se presentan los resultados de tales mediciones en el periodo comprendido entre 1995 y 2008.

**Tabla 5.12.** Concentraciones totales de plomo por cada punto de muestreo 1995-2008.

Punto de muestreo	Concentración total (ppb) Plomo
Puente Hormiguero	32.1
Antes Canal CVC-Sur	37.8
Después Canal CVC-Sur	6.84
Bocatoma Puerto Mallarino	47.7
Puente Juanchito	3.76
Salida A Residuales PTAR-C	9.94
Desembocadura del río Cali en río Cauca	27.7

**Nota** Fuente: Correa WA. Especiación del Plomo, Cromo y Cadmio con resina amberlita XAD-16 y cuantificación de Mercurio en aguas del río Cauca en Santiago de Cali por espectrometría de absorción atómica [Tesis]. Santiago de Cali;2009

**Tabla 5.13.** Análisis de Plomo total en sedimentos.

Estación de muestreo	11/15/95		05/22/96		09/04/96		07/30/97	
	mg/kg	%DSR	mg/kg	%DSR	mg/kg	%DSR	mg/kg	%DSR
<b>Juanchito</b>	7.490	21.3	8.360	10.7	10.990	1.3	9.392	5.0
<b>Paso del comercio</b>	6.400	18.5	5.620	16.0	7.206	3.1	9.290	3.0
<b>Puerto Isaacs</b>	11.160	9.4	8.130	12.8	11.140	1.4	8.095	13.1
<b>Paso de la Torre</b>	9.610	14.3	6.330	9.1	12.550	1.1	12.940	1.3
<b>Vijes</b>	8.300	21.9	6.940	16.9	3.572	21.6	5.437	3.1
<b>Yotoco</b>	6.570	5.6	7.240	11.2	9.705	4.1	3.963	28.1
<b>Media Canoa</b>	7.713	6.6	7.639	5.9	7.570	3.1	6.725	1.9

**Nota** Fuente: Rada MP. Estudio y evaluación del grado de contaminación por cadmio, mercurio y plomo en aguas, peces y sedimentos del río Cauca por espectrometría de absorción atómica [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad de Valle;1998.

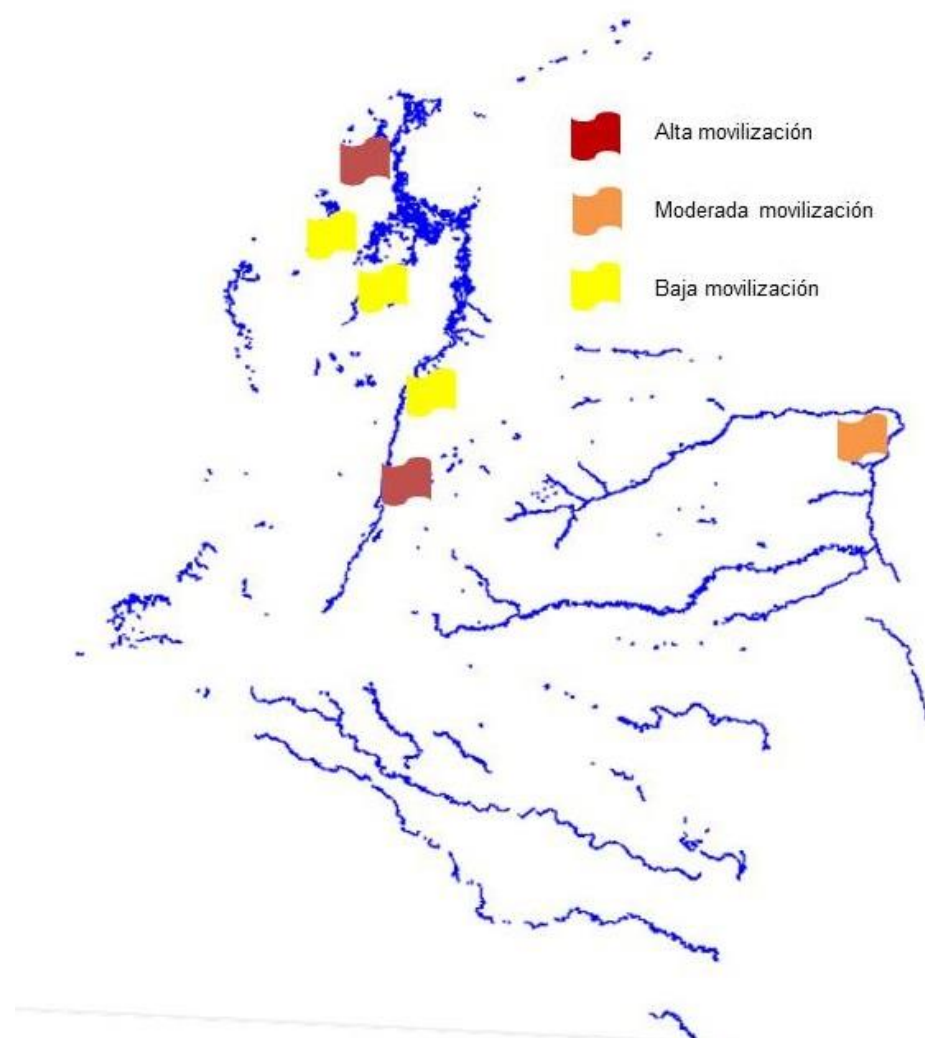
Se observa en términos generales un comportamiento irregular de los valores de plomo en agua para las diferentes épocas. Es llamativo el aumento progresivo que se hace evidente para el caso de las estaciones de monitoreo Paso de la Torre y Paso del Comercio, en el periodo comprendido entre 1996 y 1997; mientras que para la estación Juanchito los niveles han disminuido desde el año 1996 hasta la medición de abril de 2008.

Por otra parte, en la ciudad de Cali se evaluaron los lixiviados del basurero de Navarro, desarrollando un seguimiento horario. Los niveles de plomo no mostraron un incremento significativo. Solo una de las muestras presentó una elevación mínima alrededor de las 11 de la mañana (Morales, 2007).

La movilización de metales en cuerpos de agua hace referencia a la presencia y concentración de los metales en el agua de ríos, cuencas, mares, etc. En la siguiente gráfica se observan los resultados de la movilización de plomo en cuencas y ríos de Colombia.

En la figura 5.8 se presentan los resultados de una recopilación donde se determinaron las cuencas y ríos con mayor movilización y concentración de metales en Colombia. En el caso de la movilización de metales, hacen referencia a la presencia de metales pesados en aguas y suelos, como resultado de interacción de las partículas sólidas y líquidas de las zonas contaminadas.

**Figura 5.8.** Niveles de movilización de plomo en los ríos colombianos.

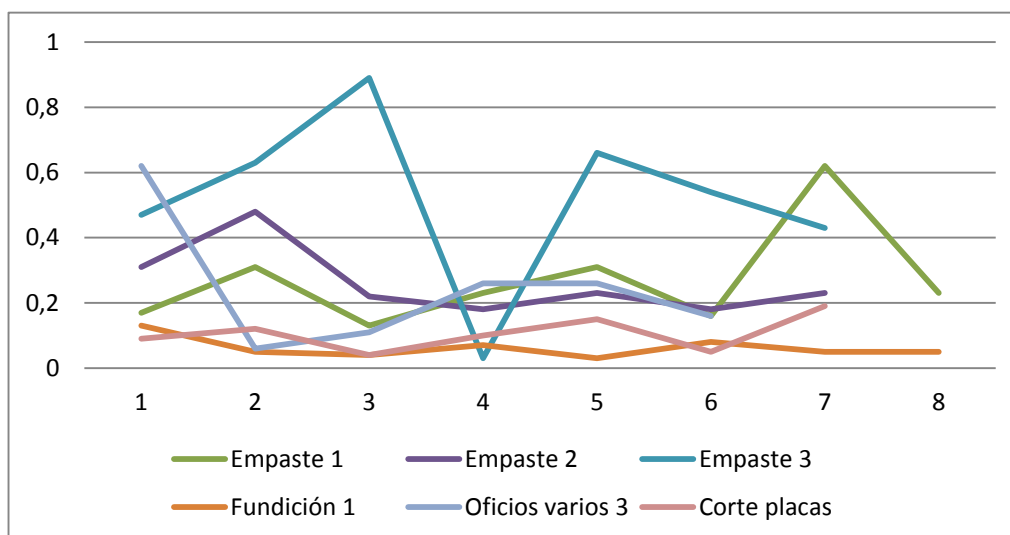


**Nota** Fuente: Siachoque Y. Distribución de metales en los sedimentos de diferentes cuerpos de agua de Colombia [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2001.

### 5.3.3. Contaminación por plomo en aire

En 2001 se publicó una investigación donde fueron evaluados los niveles de plomo en aire, teniendo en cuenta diferentes contextos ocupacionales de reciclaje y fabricación de baterías. El valor máximo detectado fue de  $6.23 \text{ mg/m}^3$  en aire (Hernández, 2001). En la figura 5.9 se presentan los niveles encontrados en aire en diferentes muestreos expresados en el eje de las equis, teniendo como punto de comparación el oficio o sector de trabajo. La gran mayoría de los resultados exceden el valor permitido según normativas internacionales, equivalente a  $0.05 \text{ mg/m}^3$ . En términos generales, las zonas de trabajo de empaste tienen valores consistentemente superiores de plomo en aire, seguida de la ocupación de oficios varios.

**Figura 5.9.** Niveles de plomo en aire ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en diferentes contextos de producción y reciclaje de baterías en Bogotá



**Nota:** Fuente: Modificado de Hernández, 2001.

La primera investigación encontrada en la literatura data de 1987 donde se evaluaron los niveles de plomo en aire de 7 talleres de mecánica automotriz, los mayores niveles alcanzados de plomo estuvieron en el aire de zonas de fundición de celdillas de batería y raspado de pintura en seco ( $0.8 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), siendo este valor significativamente menor para los puestos de pintura, soldadura eléctrica y fundición de bornes (Téllez, 1987).

#### 5.3.4. Plomo en fauna y flora

Gran parte de la evaluación del impacto del plomo en los ecosistemas se ha desarrollado en peces. Estudios de gran relevancia científica han demostrado la presencia del metal en productos agrícolas de consumo humano, que han sido regados con aguas potencialmente contaminadas. En el contexto del río Bogotá, se evaluó la presencia de metales en cuatro hortalizas; el plomo superó la concentración máxima para el consumo de niños ( $0.5 \text{ } \mu\text{g}/\text{ml}$  según la FDA) (Miranda, 2008).

En cuanto a las concentraciones observadas en animales acuáticos, los niveles reportados para moluscos han sido de  $0.18 \text{ mg}/\text{kg}$  en promedio, con un valor máximo de  $1.23 \text{ mg}/\text{kg}$  en el Valle del Cauca (Marín, 1996); mientras que para peces el promedio descrito para la misma zona fue de  $0.6 \text{ mg}/\text{kg}$ , con promedio de  $0.25$ ,  $0.36$  y  $0.13$  para la Lisa, Robalo y Bagre respectivamente (Marín, 1996). Por otra parte un estudio realizado en el río Bogotá evaluó la acumulación de plomo en peces (*Eremophilus mutisii*), encontrando un valor promedio de  $3.4 \text{ ppm}$  (Rodríguez, 2009).



### 5.3.5. Plomo en humanos

Las mediciones de niveles de plomo en humanos han sido básicamente desarrolladas en contextos ocupacionales, principalmente relacionados a la industria de baterías. Diversos estudios han determinado cómo en situaciones de actividades artesanales y poca utilización de mecanismos de protección, los niveles de contaminación por plomo son significativos.

**5.3.5.1. Plomo en sangre y zinc protoporfirina eritrocitaria (ZPP).** En Bogotá en 1997, se evaluaron los niveles de plomo en un grupo de trabajadores de reciclaje de baterías; la concentración de plomo en sangre fue de 108.5 ug/dL y los niveles de ZPP en sangre venosa fueron de 323 ug/dL (Martínez, 1997). En 2001, se realizó otro abordaje en una población similar detectando valores promedio de plomo en sangre y ZPP de 88 µg/dl y 136.8 µg/dl, respectivamente (Cárdenas, 2001).

Otra investigación desarrollada en fábricas de baterías en la ciudad de Bogotá reportó que 91% de los trabajadores participantes presentaban niveles de plomo superiores a 30 µg/dl, siendo los niveles más altos los correspondientes al grupo de trabajadores de fundición y empastes (Valbuena, 2001). Por otra parte, en trabajadores de la fundición en Soacha, los implementos de seguridad más frecuentemente utilizados fueron overol 73.53%, botas 67.70% y gafas 38.23%, los niveles de zinc protoporfirina promedio detectados fueron 130.09 µg/dL, con un valor mayor de 456 µg/dL (Díaz, 2009).

### 5.3.6. Exposición paraocupacional

La contaminación por plomo genera una preocupación particular en poblaciones vulnerables como la infancia y la mujer gestante, esto debido a las condiciones fisiológicas especiales en estas etapas, que favorecen la aparición de alteraciones de la salud, aun con niveles aceptables de exposición. Un estudio publicado en 2008, presentó la descripción de niveles de plomo en niños menores de 12 años expuestos de forma indirecta al reciclaje artesanal de baterías en Bogotá. Se encontró que el 100% de los niños presentaban niveles superiores a los valores de referencia (10 µg/dl), con un valor promedio, mínimo y máximo de  $54 \pm 21$ , 20 y 90 µg/dl, respectivamente; de éstos el 31% presentaban cuadro compatible con intoxicación grave por plomo (Hurtado, 2004; Hurtado, 2008).

En una región costera de Colombia con diferentes fuentes de contaminación industrial aledañas, se detectaron niveles superiores a 10 µg/dL de plomo, en el 7.4% de los niños estudiados. Con un valor promedio de 5.49µg/dL y valor máximo de 21µg/dL (Olivero, 2007).

Otra investigación contempló la medición de exposición paraocupacional al plomo en diferentes fábricas de mecánica automotriz en Bogotá, todos los niveles en aire estuvieron dentro de los límites de detección. Sin embargo, 20% de los niños familiares de trabajadores presentaron niveles de plomo en orina superiores a 50 µg/L (Téllez, 1987).

En el contexto del embalse de Muña se determinaron niveles de plomo en la población, encontrando un promedio de plomo en sangre de 0.008  $\mu\text{g}/\text{dl}$  dentro de límites de normalidad (Combariza, 2009; Sánchez, 2010). No obstante, se encuentra asociación significativa entre el lugar de residencia respecto al cuerpo de agua y los niveles de plomo en sangre (Combariza, 2009). En la tabla 5.14 se presentan los valores.

**Tabla 5.14.** Niveles de plomo en sangre de la población del embalse de Muña de acuerdo a su zona de residencia respecto al embalse.

Ubicación	Media de pb en sangre ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	Desviación estándar	Valor de p
Ribereño	0.012	0.06	0.001
Cercano	0.008	0.05	
Lejano	0.008	0.04	

**Nota** Fuente: Adaptado por el autor.

\*Datos tomados de Combariza DA. Contaminación por metales pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de plomo, mercurio y cadmio y alteraciones de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) 2007 [Tesis] Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2009.

### 5.3.7. Plomo y efectos sobre la salud

Los efectos del plomo sobre la salud incluyen alteraciones a nivel hematológico, neurológico, cardiovascular y renal principalmente. Dentro de las alteraciones neurológicas relacionadas, se han descrito, compromiso de la memoria a largo plazo, alteraciones del habla, alteraciones visuales, compromiso de la atención auditiva, entre otros. (González, 2008). Estos hallazgos fueron reportados en Colombia por Patiño y colaboradores (1999). En la tabla 5.15 se presenta la prevalencia de síntomas generales y neurológicos evaluados en población expuesta a plomo en estudios nacionales.

**Tabla 5.15.** Prevalencia de síntomas detectados en poblaciones expuestas a plomo.

Síntomas	Autores			
	Martínez et al 1997	Cárdenas et al 2001	Hurtado et al, 2008**	Díaz et al, 2009
Cefalea	43.10	41.4	25	13.23
Dolor abdominal	33	24.1	41	
Visión borrosa		23.3		

Hiporexia	59
Ribete de Burton	22
Parestesias miembros superiores	20.7 42.65
Mialgias	29.41
Temblores	27.94
Pérdida de fuerza	16.18
Calambres	16.18
Parestesias miembros inferiores	16.18
Pérdida de memoria	11.76
Irritabilidad	10.29
Dificultad en la concentración	7.35
Insomnio	25 1.47
Palidez mucocutánea	29
Irritación de garganta y ojos	27.6

Nota Fuente: Adaptación del autor.

\*Los datos fueron tomados de los siguientes autores Martínez et al 1997; Cárdenas et al 2001; Hurtado et al, 2008\*\*; Díaz et al, 2009

\*\*Población pediátrica

En cuanto a la signos clínicos de población expuesta, se ha reportado como hallazgos principales, anemia en el 31% (Martínez, 1997) y 29.3% (Olivero, 2007) en niños. Así como alteración en adultos, de la sensibilidad de nervios periféricos en 44.12%, trastornos motores 44.06%, alteraciones de la fuerza 14.71%, (Díaz, 2009). De acuerdo con la exposición y si se trata de un efecto agudo o crónico, en el primero priman los efectos hematológicos y en el segundo caso los efectos a nivel neurológico central y periférico.

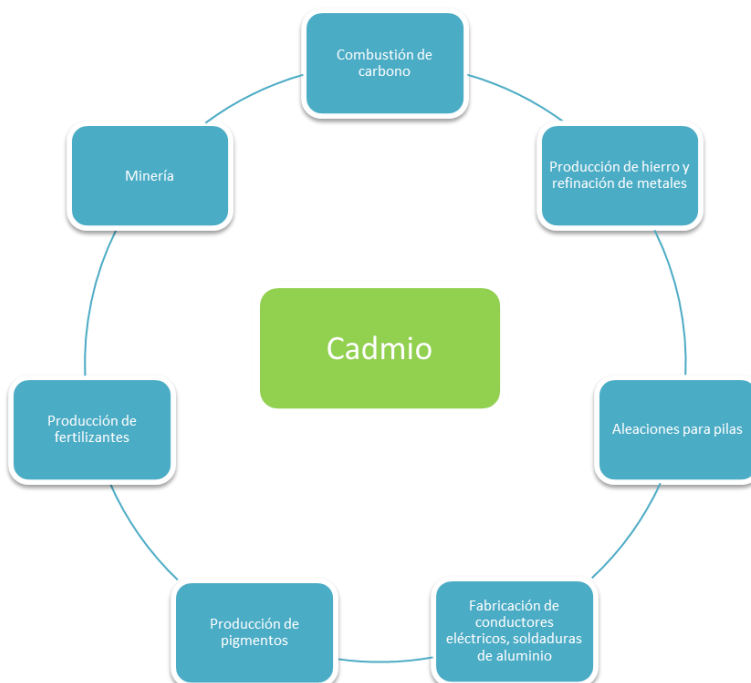
Por otra parte, un estudio reportado de 1993 evidenció cambios en el espermograma de sujetos expuestos a plomo, fundamentalmente caracterizados por disminución en el conteo de espermatozoides, reducción la movilidad promedio y las formas normales (Brome, 1993).

***El plomo es un metal que genera impacto en la salud y en el ecosistema a partir de fuentes antropogénicas, básicamente en relación con el uso de plomo en baterías y litografía. Dada la persistencia de procesos artesanales de reciclaje y desmantelamiento de baterías, existe un alto riesgo de compromiso por el metal en poblaciones vulnerables, especialmente en las edades de la infancia, así como ha sido evidente en los estudios mencionados con anterioridad. Teniendo en cuenta el alto impacto del plomo sobre la salud y sobre el niño desde la etapa prenatal, el plomo debe ser considerado como otro asunto eminente de la salud ambiental.***

## 5.4. Cadmio

El cadmio es un subproducto de diferentes procesos industriales tales como la refinación de metales y fabricación de abonos, entre otros. Sin embargo, la principal fuente de exposición al cadmio es el tabaco y la dieta (ATSDR, 2008). En la figura 5.10 se listan las actividades relacionadas con la contaminación ambiental por cadmio. Colombia es alrededor del cuarto país en América Latina importador de productos que contienen cadmio y las cifras de estas importaciones se han mantenido estables durante los últimos años (PNUMA, 2010).

**Figura 5.10.** Actividades relacionadas con la contaminación ambiental por cadmio.



**Nota** Fuente: Autor

\*Modificado de Posada 2005; Siachoque 2001.

Los niveles de contaminación por cadmio han sido evaluados en los diferentes ecosistemas mediante mediciones en agua, sedimento y suelos. En el caso de los suelos y los sedimentos, el cadmio tiene la propiedad de absorberse a valores de pH neutro o alcalino (Bonilla, 1991), teniendo una excelente movilidad en comparación con otros metales (Parra, 2008).

### 5.4.1. Exposición a cadmio

En relación con el río Bogotá existen una serie de municipios y sectores aledaños que se surten de agua directamente del río, la cual emplean para sus labores domésticas en el hogar y para la preparación de alimentos. En el caso del barrio Brisas de Bogotá se reportó que el 99.2% de la población encuestada utilizaba agua del río para estos fines (Sánchez, 2010).

Dos estudios publicados en 2011 evaluaron las concentraciones de cadmio en agua, sedimento y suelos de dos sectores correspondientes a las zonas alta y baja del río Bogotá. En las figuras 5.11 y 5.12 se presentan los valores promedio comparativos de los dos estudios.

En la tabla 5.16 se presentan los límites actualmente aceptados para la exposición a cadmio.

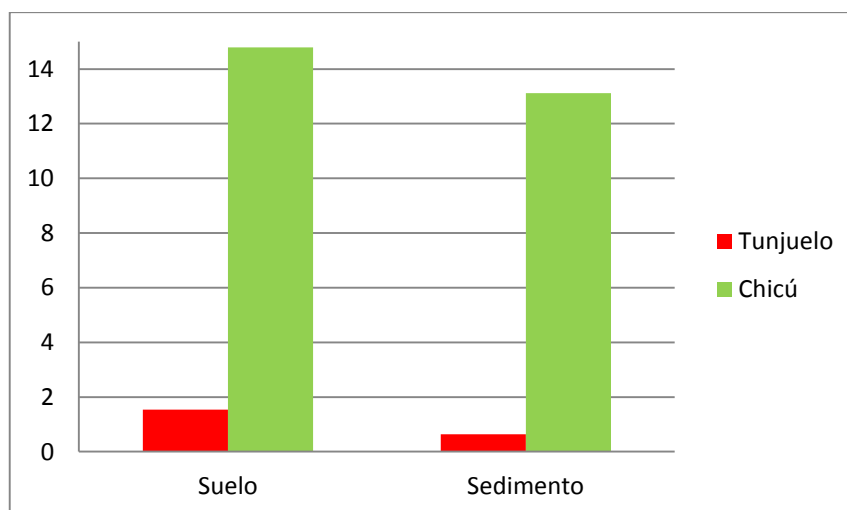
**Tabla 5.16.** Límites aceptados para la exposición a cadmio.

Cadmio		
	Valor de referencia	Referencia
Aire	5 ng/m <sup>3</sup>	WHO 2000
	5 µg/m <sup>3</sup>	OSHA 2007
Agua	0.003 mg/L	Who 2004

**Nota** Fuente: Adaptación del autor.

\*Datos tomados de: WHO 2000; OSHA 2007; Who 2004

**Figura 5.11.** Cadmio en suelo y sedimento (mg/kg) de los ríos Tunjuelo y Chicú 2011.

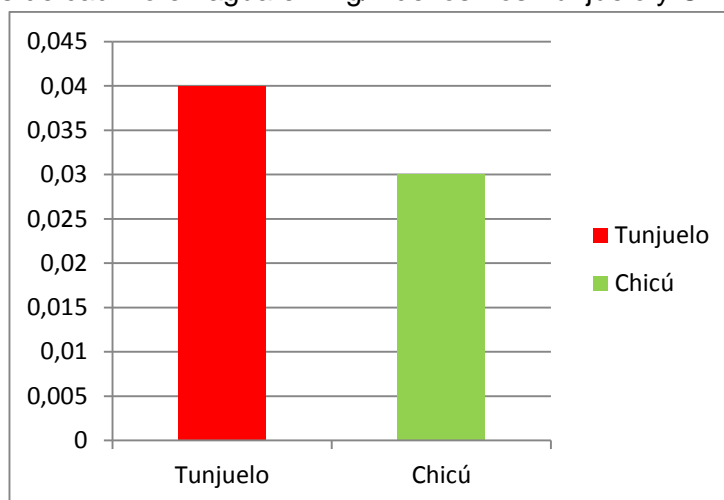


**Nota** Fuente: Adaptado por el autor.

\*Información tomada de Rodríguez 2011; Romero 2011.

Para el caso del río Tunjuelo se encontraron valores de suelo en su mayoría por encima de los valores normados, con un valor máximo de 1.12 mg/kg. Los valores de sedimento se encontraron dentro de límites normales, mientras que los niveles de agua estuvieron aumentados en la mitad de los puntos donde se tomaron muestras (Valor de referencia para agua de 0.003 mg/L) (Rodríguez, 2011).

**Figura 5.12.** Valores de cadmio en agua en mg/L de los ríos Tunjuelo y Chicú 2011



**Nota** Fuente: Adaptado por el autor.

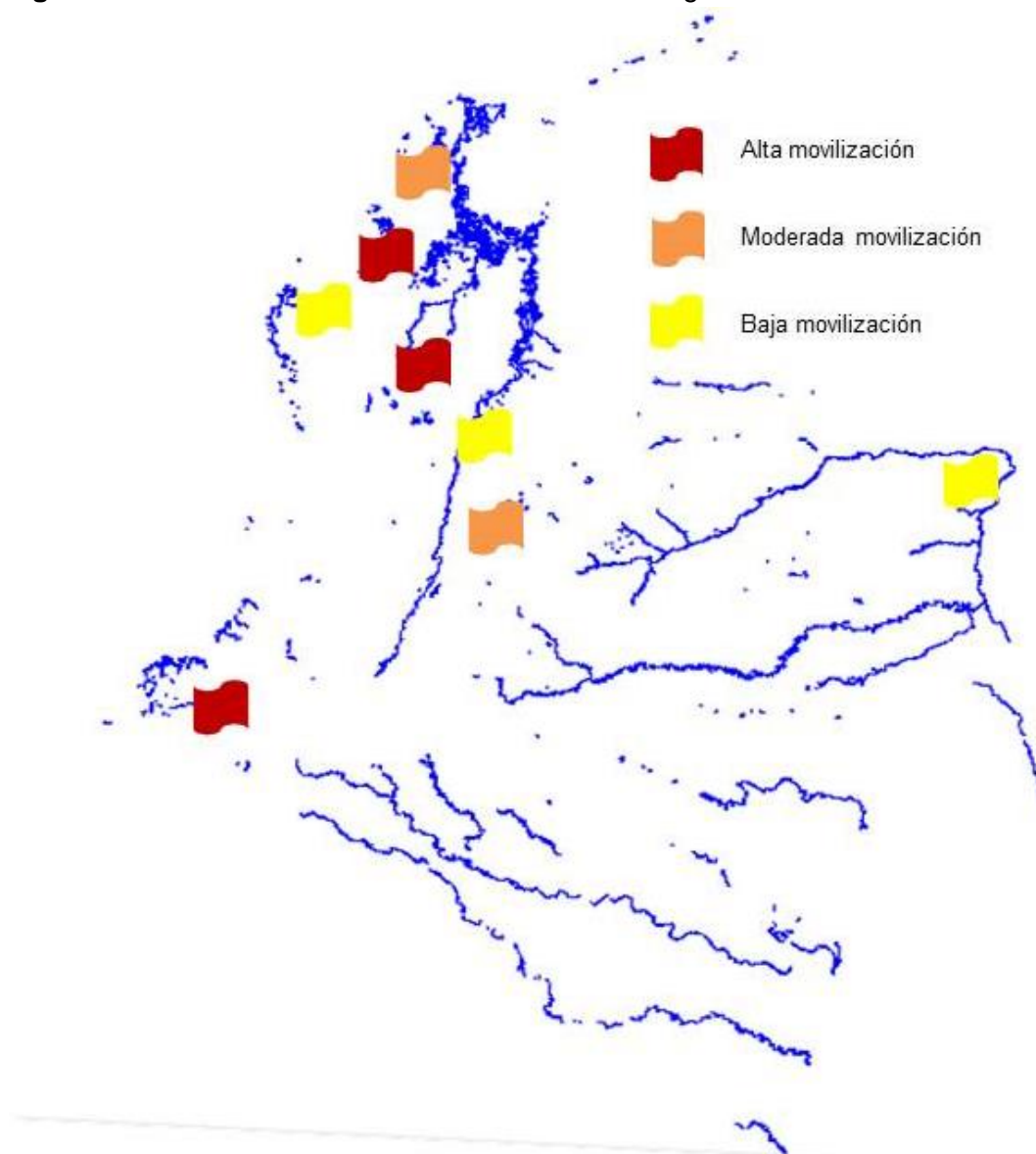
\*Información tomada de Rodríguez 2011; Romero 2011.

En el caso del río Chicú, los niveles de cadmio en agua, suelo y sedimento se encontraron muy por encima de los niveles aceptados presentados anteriormente, con un valor máximo para el agua de 16.66 mg/L en uno de los puntos de muestreo, así como de 23,33 mg/kg.

En el caso de suelo. (Romero, 2011). Llama la atención la diferencia tan marcada para los valores de suelo y sedimento en los dos sectores.

Según Siachoque (2001) los niveles de afectación o movilización de cadmio en los sedimentos de ríos Colombianos son los presentados en la figura 5.13. La movilización hace referencia a las concentraciones del metal alcanzados en las diferentes zonas de acuerdo a la dinámica de arrastre que lleva el metal en suelos y aguas de la región. Estudios de agua y sedimento desarrollados en otras regiones del país, como Tangua Nariño y el Canal Navarro del río Cauca, no han evidenciado presencia de niveles elevados de cadmio (Arias 2003; Baena 2005; Insuasty, 2006).

**Figura 5.13.** Niveles de movilización de cadmio en algunos ríos colombianos.



**Nota** Fuente: Adaptado por el autor.

\*Datos tomados de de Siachoque Y. Distribución de metales en los sedimentos de diferentes cuerpos de agua de Colombia [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2001.

En la tabla 5.17 y 5.18 se presenta la evolución temporal de los niveles de cadmio detectados en los puntos de monitoreo del río Cauca.



**Tabla 5.17.** Cadmio en aguas del río Cauca según punto de monitoreo 1995-2008.

Estación de muestreo	11/15/95		05/22/96		09/04/96		07/30/97	
	mg/kg	%DSR	mg/kg	%DSR	mg/kg	%DSR	mg/kg	%DSR
Juanchito	6.344	37.2	2.177	3.0	4.043	4.9	1.623	6.5
Paso del comercio	7.212	5.9	1.994	4.7	3.785	26.2	1.461	6.1
Puerto Isaacs	7.660	16.9	2.108	5.5	3.994	20.5	1.602	7.3
Paso de la Torre	3.924	3.2	2.020	10.2	3.590	24.2	1.511	10.4
Vijes	8.644	3.0	2.292	30.4	3.878	13.2	1.612	4.7
Yotoco	12.776	4.8	2.029	5.6	3.756	16.6	1.360	14.8
Media Canoa	5.454	2.6	4.240	15.9	2.534	5.5	3.496	5.0

**Nota** Fuente: Rada MP. Estudio y evaluación del grado de contaminación por cadmio, mercurio y plomo en aguas, peces y sedimentos del río Cauca por espectrometría de absorción atómica [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad de Valle;1998.

**Tabla 5.18.** Concentraciones totales de Cadmio por cada punto de muestreo 1995-2008.

Punto de muestreo	Concentración total (ppb)
Puente Hormiguero	4,86 x 10 <sup>-2</sup>
Antes Canal CVC-Sur	0,173
Después Canal CVC-Sur	8,86 x 10 <sup>-2</sup>
Bocatoma Puerto Mallarino	0,142
Puente Juanchito	0,108
Salida A Residuales PTAR-C	8,20 x 10 <sup>-2</sup>
Desembocadura del río Cali en río Cauca	7,50 x 10 <sup>-2</sup>

**Nota** Fuente: Correa WA. Especiación del Plomo, Cromo y Cadmio con resina amberlita XAD-16 y cuantificación de Mercurio en aguas del río Cauca en Santiago de Cali por espectrometría de absorción atómica [Tesis]. Santiago de Cali;2009

El comportamiento observado para los puntos de monitoreo de Yotoco, Vijes, Paso del Comercio y Juanchito es muy semejante, inicia con valores altos para noviembre de 1995, seguido de una caída en los valores para mayo de 1996 y una elevación discreta en septiembre del mismo año, seguida de una disminución en la concentración. En el caso de Media Canoa y Paso de la Torre, los niveles iniciaron también como el valor máximo descrito en la serie de tiempo, seguido por una caída para mayo de 1996 y un aumento progresivo desde este punto.

#### 5.4.2. Estudios de cadmio y efectos en la salud

En una investigación conducida con población expuesta a aguas contaminadas del río Bogotá, no se mostraron niveles de cadmio superiores a los aceptados por la normatividad internacional (<5 µg/L). El valor promedio de cadmio en sangre fue de 14.2 nmol/L para la muestra total con un rango entre 3 y 54.9 nmol/L (Combariza, 2009). Un único estudio

encontrado en la literatura científica, evalúa efectos sobre la salud humana en Colombia; fue una investigación publicada en 1996 donde se buscó relacionar la exposición crónica a cadmio en población con consumo directo de agua del río Magdalena. Se encontraron niveles de cadmio en orina superiores a 1  $\mu\text{mol}$  cd/mol creatinina en el 82% de los individuos estudiados; detectando una asociación significativa entre los niveles de cadmio en orina y la alteración de pruebas de función renal; con un riesgo de alteración renal, caracterizada por la microalbuminuria, dos veces mayor en los sujetos expuestos, en comparación con el control (Aroca, 1996).

***El cadmio es una sustancia tóxica pobremente descrita dentro del escenario colombiano. Es posible que su impacto ambiental y efectos estén subestimados a expensas del pobre control y seguimiento del mismo a nivel nacional.***

## 5.5. Cromo

En Colombia la exposición al cromo es principalmente de origen industrial. Las principales actividades de riesgo relacionadas con la exposición a cromo son el refinado de cromo, la industria del cuero y calzado, industria cementera, artes gráficas, entre otras (Téllez et al, 2004).

Una de las fuentes frecuentes de exposición al cromo son las fábricas de curtiembres, que comprenden la manipulación de pieles animales y su modificación con fines industriales. Se calcula que en el país existen 800 empresas con esta finalidad (Téllez et al, 2004), dentro de las cuales los proceso de manipulación implican actividades artesanales, con pobre protección e inadecuada destinación de residuos, lo cual aumenta el riesgo de exposición directa e indirecta a cromo en el contexto ocupacional y paraocupacional.

La situación anteriormente mencionada se hace evidente en sectores como Tunjuelito y el barrio San Benito, en Bogotá, donde se ubica la gran mayoría de fábricas de la región y donde la disposición inadecuada de desechos a los cuerpos de agua cercanos, agrava el escenario de contaminación (Téllez et al, 2004). Por otra parte, un estudio realizado en 1995 destinado a evaluar los niveles de cromo en sedimento del río Cauca determinó una concentración promedio de 16.21 mg/kg en una fracción de 150 a 400  $\mu\text{m}$ . Variando el punto de muestreo con valores más elevados, según la época del año (Marulanda, 1997). El valor promedio anterior se encuentra dentro de los parámetros de referencias para la protección de la vida acuática 370 mg/kg (Long et al, 1995). Una de las fuentes de contaminación del río Cauca son los lixiviados provenientes del basurero de Navarro el Cali, los cuales en épocas húmedas se desplazan hacia las aguas del río. A continuación se presenta la evolución de las concentraciones de cromo las aguas del río cauca (Tabla 5.19).

El comportamiento de todos los puntos de monitoreo sigue un patrón que inicia con valores más bajos para noviembre de 1995, seguido de aumento para mayo de 1996 y

descenso progresivo desde la fecha. Los niveles más elevados, se hicieron evidentes en Juanchito en mayo del 96. Los puntos de Puerto Isaacs y Paso del Comercio alcanzaron el valor máximo en el control de septiembre del año en mención.

**Tabla 5.19.** Cromo (ppb) en aguas del río Cauca según punto de monitoreo 1995-2008.

Punto de muestreo	Concentración total (ppb)
Puente Hormiguero	9,33
Antes Canal CVC-Sur	12,4
Después Canal CVC-Sur	10,8
Bocatoma Puerto Mallarino	5,91
Puente Juanchito	7,76
Salida A Residuales PTAR-C	6,52
Desembocadura del río Cali en río Cauca	36,6

**Nota** Fuente: Correa WA. Especiación del Plomo, Cromo y Cadmio con resina amberlita XAD-16 y cuantificación de Mercurio en aguas del río Cauca en Santiago de Cali por espectrometría de absorción atómica [Tesis]. Santiago de Cali;2009

**Tabla 5.20.** Concentración de Cr<sup>VI</sup> en los sedimentos del río Cauca.

Estación	Cr <sup>VI</sup> (mg/kg) enlazado a materia orgánica.	Cr <sup>VI</sup> (mg/kg) en la fracción residual.
Navarro	0.00	0.53
Hormiguero	0.24	0.45
Juanchito	0.75	0.91
Paso del comercio	0.45	0.86
Puente Isaacs	0.66	0.75
Vijes	0.09	0.52
Media Canoa	0.30	1.05

**Nota** Fuente: Muñoz MC. Evaluación del grado de contaminación del río Cauca mediante especiación geoquímica del Cromo en sedimentos [Tesis]. Santiago de Cali;1999.

En 2006, se evaluó el comportamiento del cromo en los suelos aledaños al basurero de Navarro en Cali, llamando la atención una escasa variabilidad de las concentraciones de cromo al evaluar diferentes niveles de profundidad en el suelo. Lo anterior es sugestivo de que puede existir una fuente natural subterránea como principal fuente de contaminación de dichos suelos (Salazar, 2006).

Así mismo, diferentes estudios reportados en la literatura colombiana se han encargado de describir los efectos de toxicidad del cromo total sobre plantas acuáticas (Correa 2003; Posada, 2005), sin embargo son pocos los estudios relevantes que evalúan la exposición directa en humanos.

### 5.5.1. Estudios de cromo y efectos en la salud

El cromo se encuentra en diferentes grados de oxidación, siendo el cromo VI la forma más tóxica, produciendo efectos cancerígenos, genotóxicos, entre otros, los cuales han sido pobremente estudiados en nuestro país. En la actualidad encontramos en la literatura disponible dos artículos científicos que buscan evaluar efectos en la salud por la exposición al cromo. Un estudio realizado en 2005 en una población de un sector industrial principalmente caracterizado por curtiembres, evaluó en una muestra superior a 800 sujetos la exposición ocupacional a cromo y sus efectos sobre la salud, detectando niveles promedio de cromo en orina 5.30 µg/L, con un valor máximo de 399 µg/L. En la actualidad, se acepta un valor máximo de 10 µg/L para la población general y 20 µg/L para la población ocupacionalmente expuesta. Como dato relevante la proporción de individuos con niveles superiores a 10 µg/L fue mayor en la población general con exposición paraocupacional en comparación con los trabajadores (9.5 vs 7%) (Cuberos et al, 2009). Así mismo, la proporción de individuos con niveles de cromo en orina superiores a 20 µg/L fue de 4.4 y 3.2% respectivamente. Lo anterior lleva a pensar acerca de las condiciones de exposición paraocupacional que comprometen a la población de esta zona. Así mismo en el estudio encontraron una asociación significativa entre el hecho de residir en la zona y los niveles de cromo en orina, no encontrándose relación directa con la distancia en metros de la vivienda a la zona de desechos industriales (Cuberos et al, 2009).

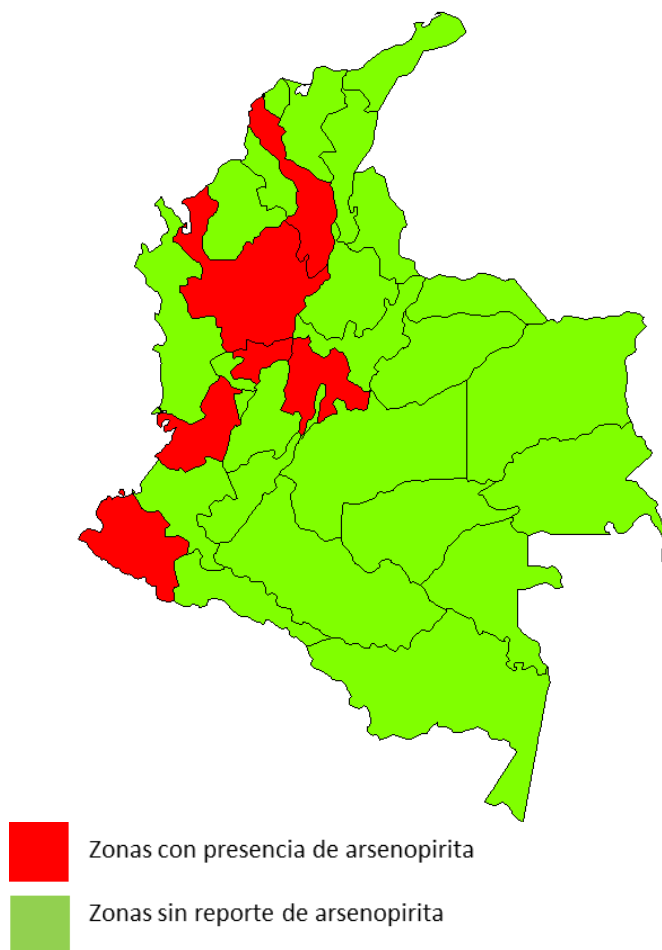
Otra investigación desarrollada en el mismo sector y publicada en 2008, evaluó un grupo de individuos trabajadores de la industria de curtiembres en cuanto a los valores de cromo en sangre, el 16.66% de los sujetos a estudio presentó niveles en sangre superiores a 30 µg/L, nivel máximo permitido, llamando la atención la baja utilización de mecanismos adecuados de protección en la población participante. Al evaluar las enfermedades oculares, no se encontró relación significativa con la exposición al metal (Suarez et al, 2008), pese a esto es importante resaltar el tamaño muestral limitado de esta investigación.

En cuanto a los efectos sobre la salud reportados en Colombia, en el estudio mencionado de 2005 se detectó que el 34.3% de los sujetos presentaba alteraciones sobre la salud que podían guardar alguna relación con la exposición al metal. Con una frecuencia de exposición a cromo cuatro veces mayor en aquellos individuos con enfermedades relacionadas al metal, en comparación con aquellos sujetos sanos o con alteraciones no relacionadas. Las alteraciones clínicas más frecuentemente presentadas fueron la hipertrofia de cornetes e irritaciones de mucosas y dermis (Cuberos et al, 2009).

### 5.6. Arsénico

La contaminación de las aguas por arsénico ha sido detectada en la mayoría de los países latinoamericanos, detectando niveles elevados de arsénico en agua principalmente en la cordillera de los Andes. En Colombia, en diferentes departamentos con actividad minera se ha evidenciado presencia de Arsenopirita (Figura 5.14), sin existir evaluaciones publicadas de niveles de arsénico en agua para todas las zonas descritas. (Bundschuh et al, 2012).

**Figura 5.14.** Regiones de Colombia con presencia de Arsenopirita



**Nota:** fuente: Bundschuh et al, 2012.

En 1997 se publicó un estudio desarrollado en la bahía de Barbacoas en el departamento de Bolívar, se evaluaron niveles de nueve metales en aguas de la zona. Para el arsénico se reportaron niveles promedio de  $500 \pm 120 \mu\text{g/L}$  en la bahía. Sin embargo, en aguas del Canal del Dique los niveles fueron inferiores al valor de detección (Mazo et al, 1997). Así mismo, en un sector de la planta de potabilización de agua que surte el acueducto de la ciudad de Cali, se ha descrito aumento de los niveles de arsénico en agua, principalmente debidos a fuentes naturales y a descargas industriales realizadas en la zona. En 1999 se publicó un estudio que reportó los niveles de arsénico en lodos provenientes de dichas plantas. Los niveles reportados oscilaron entre 1 a  $43 \mu\text{g/ gramo}$  (Orduña, 1999).

Otro estudio realizado en aguas subterráneas que surten el acueducto de Bucaramanga en el departamento de Santander, donde se provee en su totalidad el agua potable y consumible de la región, se detectaron niveles de arsénico de  $0.004 \text{ mg/L}$  en Pozo Grande y  $0.003 \text{ mg/L}$  en Pozo Bucarica, inferiores al valor permisible ( $0.01 \text{ mg/L}$ ) (Cacua, 2004). Los

niveles de arsénico han sido estudiados en relación con la minería; en el municipio de Guachavez, Nariño, se describió en el año 2007 la presencia de arsenopirita (Bustos et al, 2007). Hallazgos similares se presentaron en el estudio de seis distritos mineros de Antioquia, Bolívar, Caldas y Nariño (Prieto et al, 1998).

Un estudio pionero que evaluó la concentración de trazas de metales en carbón en Colombia detectó niveles bajos de metales como el mercurio, plomo y cadmio, con altos niveles de arsénico contenidos en el carbón (Morales, 2007). No se detectaron otras referencias nacionales disponibles que evalúen la exposición al metal en ecosistemas o particularmente en humanos.

### **5.6.1. Estudios de arsénico y efectos en la salud**

En la literatura disponible por revistas electrónicas nacionales e internacionales, así como parte de la revisión de los trabajos de grado desarrollados en las universidades colaboradoras con el diagnóstico actual, no se detectaron artículos científicos relacionados con los efectos de la salud del arsénico en Colombia. En la búsqueda con las palabras claves “Arsenic” AND “Colombia” se encontraron en la Biblioteca Virtual de Salud (BVS) 10 artículos de los cuales 1 es relevante para el tema, no relacionado con efectos en la salud. En Medline se realizó la búsqueda con los mismos parámetros, encontrando 6 artículos de los cuales 2 son relevantes y ninguno trata de exposición en humanos y salud.

Un reporte de caso, de una mujer de 69 años con antecedente de consumo de solución Fowler por un periodo prolongado, la cual contiene arsenito de potasio, fue publicado en 2011. La paciente presentó un porocarcinoma ecrino asociado a dos carcinomas de células basales en piel. Otro reporte de caso con iguales características de exposición fue descrito en 2005 en Taiwán (Chen et al, 2005), sin embargo, no existe evidencia contundente de su asociación como cancerígeno para esta patología.

### **5.7. Flúor**

El flúor es un elemento halógeno que ha tenido relevancia en la historia de la salud pública a nivel mundial, particularmente en el área de la salud oral; lo anterior debido a que a dosis bajas tiene acción preventiva contra la caries dental, por lo que se ha convertido en una herramienta de prevención masiva de caries. En la búsqueda por garantizar la fluoración y la cobertura de esta medida en Colombia, se inició en el año 1953 la fluoración universal del agua, sin embargo, la cobertura inicialmente alcanzada fue del 40% en promedio (Ríos et al, 2001). En los siguientes años y como una alternativa a la fluoración del agua se implementó la fluoración en la sal de consumo humano; desde entonces existe una serie de medidas desde la política pública para la regulación de la fluoración masiva las cuales han sido discutidas (Martínez E et al, 2007a).

En 2001 se realizó una revisión del sistema de vigilancia epidemiológica que regulaba la fluoración de la sal en Colombia, detectando ausencia en la coordinación de las directrices y normativas relacionadas con la determinación y valores permitidos de fluoración en la sal del país (Ríos et al, 2001). La última versión mejorada del Protocolo Nacional de Vigilancia y Control Centinela de la Exposición a Flúor, fue publicado por el Instituto Nacional de Salud en 2011, con el objetivo de estandarizar los procesos de recolección, notificación, análisis y divulgación relacionados con la exposición a flúor y sus efectos sobre la salud oral (Misnaza, 2011). Las fuentes principales de exposición a flúor consideradas comprenden las sustancias fluoradas como el agua, la sal y la crema dental, además de la exposición directa a la sustancia en odontología.

### **5.7.1. Flúor en sal de consumo humano**

Una interesante investigación realizó una descripción comparativa de los niveles de flúor en la sal de consumo humano en Colombia en el periodo comprendido entre 1992 y 2004; las conclusiones permiten ver una mejoría a través del tiempo en cuanto a la calidad química y el cumplimiento de los parámetros regulados para evitar efectos nocivos sobre la salud humana (Bonilla et al, 2006). La proporción de niveles de flúor en sal ha sido evaluada en diferentes regiones. En Sucre el 8.2% de las muestras presentaban niveles superiores a 220 ppm (Consuegra et al, 1997), mientras que en la ciudad de Cartagena el 8.11 y 16.13%, para 1994 y 1995, presentaron niveles superiores a este valor (Álvarez, 2009). En la ciudad de Bucaramanga un reporte de 2003 detectó niveles oscilantes entre 180 y 220 ppm en el 60% de los casos (Ortega et al, 2003). Por otra parte, una investigación desarrollada para evaluar la fluorosis en niños realizada en 2003 y publicada en 2006, mostró que alrededor del 60% de las muestras de sal evaluadas tenían valores superiores de acuerdo con los parámetros regulados para consumo (Ramírez et al, 2006).

### **5.7.2. Flúor en agua de consumo humano**

De igual forma, otras investigaciones han sido dirigidas a evaluar los niveles de flúor en agua. En la investigación previamente mencionada de Ramírez y colaboradores (2006), todas las muestras evaluadas de agua de consumo estuvieron dentro de rangos aceptados (<1.5mg/L), mientras que en la ciudad de Bucaramanga, en una evaluación de agua fuente del acueducto de la ciudad, en Pozo Bucarica, se detectaron niveles en el límite superior (1.51 mg/L) (Cacua, 2004).

### **5.7.3. Flúor en cremas dentales**

Otra de las fuentes de exposición a flúor es la crema dental. Un estudio realizado en la ciudad de Medellín demostró que más del 80% de los niños empleaban crema para adultos para el cepillado de dientes rutinario, con mayor ingesta accidental de crema en el grupo de 1 a



3 años (González et al, 2010). En promedio, las cremas dentales comunes para adultos pueden tener valores de hasta 1500 ppm y para niños menores de 6 años no se recomiendan valores superiores a 600 ppm (Agudelo et al, 2005).

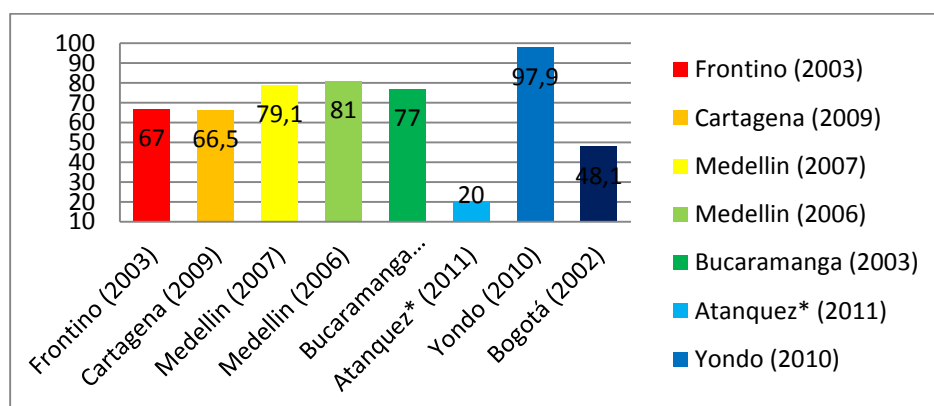
Además, un porcentaje elevado de niños no tiene supervisión cercana de sus padres durante el cepillado dental y usa cantidades elevadas para cada cepillado (González et al, 2010; Arrieta et al, 2011). La ingestión de crema dental de los niños durante el cepillado oscila entre 33 a 52% en los diferentes estudios mencionados, pudiendo ser un valor subestimado. Un estudio en Medellín demostró que el 70.2% de las cremas usadas por niños tienen niveles de flúor superiores a 500 ppm (Ramírez, 2011).

#### 5.7.4. Estudios de flúor y efectos en la salud

La relación entre el flúor y la salud humana depende de la dosificación y de la edad a la cual se reciben las diferentes dosis del fluorado, lo que condiciona el riesgo y el beneficio de su uso. Para dosis bajas como las propuestas para la fluoración del agua por ejemplo (0.2 a 1.5 mg/L), se obtienen efectos positivos sobre la salud con optimización de la salud oral de la población; sin embargo, en el caso opuesto de recibir una cantidad de flúor de forma crónica, no puntual o en niveles superiores a los permitidos (1.5 mg/L en agua o en crema dental 600 ppm), aumenta el riesgo de alteraciones odontológicas en la infancia. En el contexto anterior se han desarrollado en el país una serie de estudios de vigilancia y control de la fluorosis dental, una patología dentaria consistente en estrías de hiperpigmentación dental relacionada a la ingesta de flúor que se desarrolla en escolares.

En la la figura 5.15. se presentan algunos reportes relevantes de la prevalencia de fluorosis en Colombia durante los últimos años, la región y año de presentación.

**Figura 5.15** prevalencia de fluorosis en Colombia durante los últimos años, la región y año de presentación.



**Nota** Fuente: Adaptado por el autor.

\*Datos tomados de los siguientes autores Martignon et al, 2002; Concha et al, 2003; Ramírez et al, 2006; Ramírez et al, 2009; Ramírez et al, 2010; Arrieta et al, 2011; Martínez et al, 2011; Misnaza et al, 2011.

La prevalencia de fluorosis dental parece constante entre la mayoría de las regiones, llamando la atención valores extremos en Yondó, con la mayor prevalencia cercana al 100% y una prevalencia muy por debajo del promedio del 20% para 2008 en Atanquez. La situación de Atanquez resulta un poco particular pues es una región compuesta por una comunidad indígena, resguardo Indígena Kankuamo, la cual recibe atención de salud en un mismo centro médico. El reporte de 2008 fue realizado por la institución prestadora de servicios de la zona (Misnaza, 2011), probablemente es un valor que se encuentra subestimado; posterior a diferentes gestiones para la evaluación de la fluorosis en esta comunidad, se tomaron niveles de flúor en orina de los niños y en agua potable de la zona, detectando el 100% de las muestras dentro de valores aceptables. Para 2011 se realizó un estudio por las autoridades departamentales de salud del Cesar, detectando 445 casos confirmados de fluorosis. De estos datos no es posible calcular la prevalencia pues se desconoce la población base o muestral (Misnaza, 2011).

El problema relacionado con el flúor básicamente compromete a la población pediátrica y es un asunto que poco a poco mediante la regulación específica para el flúor, se ha ido atenuando, sin embargo, como es evidente en la revisión existen aún fuentes de alta concentración de fluor que pueden comprometer la salud de los niños, básicamente provenientes de la sal y la crema dental que se emplea de forma indiscriminada y sin las medidas de precaución recomendables en los menores.

## **5.8. Plaguicidas**

De acuerdo a la Encuesta Nacional de Calidad de Vida 2011, la población entre 16 y 45 años de edad es la que más se expone directamente a los plaguicidas, mientras que solo 7% de los menores de edad entre seis y 15 años se exponen, la exposición se incrementa en el grupo de 16 a 30 años (28%) y 31 a 45 (36%) años de edad; después de esta edad, la exposición se disminuye a 23% en el grupo de 46 a 60 años, y 6% entre mayores de 65 años de edad.

En relación con el nivel socioeconómico, la exposición a plaguicidas es mayor en los estratos bajos, 56.1% en el nivel bajo-bajo, mientras en el nivel bajo la exposición disminuye al 36%, esto contrasta con el estrato medio-bajo (2.6%), medio (0.5%), medio-alto (0.3%) y alto (0.1%) donde la exposición ocurre en muy baja proporción. Esta visión panorámica sugiere un problema de injusticia ambiental en relación a la exposición a plaguicidas.

### **5.8.1. Organoclorados**

El interés por los organoclorados por los investigadores colombianos empezó desde la década de los 70 del siglo XX, un estudio realizado hacia 1973 cuantificó la presencia de organoclorados en productos alimenticios obtenidos en tres expendios de Cali (Gallego, 1973),

los resultados indicaron la presencia generalizada de organoclorados, como se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 5.21.** Organoclorados presentes en alimentos provenientes de expendios en Santiago de Cali, 1973.

Alimento	BHC	Heptacloro	DDT	DDE	TDE	Aldrin	Endrin	Dieldrin	Otro
Tomate	X	X	X	X	X				
Uva			X	X	X	X			
Lulo			X			X			X
Mora		X				X	X		X
Naranja	X		X			X			
Papa		X	X	X	X	X			
Repollo	X		X	X		X			
Lechuga	X			X	X				
Arroz		X	X			X		X	
Maíz			X	X		X		X	

**Nota:** Fuente: Gallego GH. Residuos de pesticidas organoclorados en productos agrícolas de consumo humano en Cali [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad del Valle;1973.

En 1997 un estudio evaluó la presencia de organoclorados y organofosforados en papas sabanera y criolla (*Solanum tuberosum* y *Solanum Phureja*, respectivamente) comercializadas en Manizales; éstas eran procedentes de Páramo, San Félix, Tunja, Sabana de Bogotá y Nariño. Los resultados obtenidos en el laboratorio de toxicología del Instituto Colombiano Agropecuario, fueron negativos para la presencia de los plaguicidas (Arango 1997). Un estudio realizado en 2001 evaluó la presencia de 17 analitos de organoclorados en agua potable de Bucaramanga (diaria durante un mes) y Piedecuesta (semanal durante un mes) en Santander (Navarro 2001). En Bucaramanga se observaron siete organoclorados, mientras en Piedecuesta se encontraron seis, como se resume en la tabla 5.22, en todos los casos donde se detectó la presencia del plaguicida las concentraciones fueron muy bajas.

**Tabla 5.22.** Organoclorados en agua de Bucaramanga y Piedecuesta, 2001.

Plaguicida	Bucaramanga (n=30)			Piedecuesta (n=4)		
	Detectado (%)	IC 95%*	Máximo (ppb)	Detectado (%)	IC 95%*	Máximo (ppb)
α-BHC	70	51 - 85	<0.02	25	1 - 81	<0.02
Lindano	100		<0.02	100		<0.02
δ-BHC	93.3	78 - 99	0.025	100		<0.02
Heptacloro	53.3	34 - 72	<0.02	100		<0.02
Aldrin	63.3	44 - 80	<0.02	50	10 - 93	<0.02

Heptacloro époxido	100		0.44	75	20 - 99	0.14
4,4'-DDE	3.3	0 - 17	<0.02	100		<0.02

**Nota:** Fuente: Navarro GF. Determinación de plaguicidas organoclorados en el agua potable de Bucaramanga y Piedecuesta por HRGC-ECD [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2001.

\* calculado para este informe.

Existen pocos estudios que hayan explorado la exposición humana a insecticidas organoclorados, sin embargo, dado que un par de estudios se hicieron previamente a la prohibición de su uso y otro se hizo años después, es posible conocer si la prohibición fue realmente efectiva. Debe señalarse que los primeros organoclorados fueron prohibidos en la década de los 80 y su número ha aumentado hasta los primeros años del siglo XXI. El primer estudio fue realizado en 1973, y cuantificó varios organoclorados entre 42 campesinos del Valle del Cauca (Guerra et al, 1973), y sus principales hallazgos se encuentran en la tabla 5.23.

**Tabla 5.23.** Concentraciones de algunos organoclorados (ppb) en sangre de campesinos (n=42) del Calle del Cauca, 1980.

Plaguicida	Detectados (%)	Mediana	Mínimo - Máximo
BHC	100	10.5	1 - 109
Heptacloro	28.57	4	2 - 26
Aldrin	4.76	5	4 - 6
DDE	100	33.5	3 - 145
DDT	100	69.5	6 - 470

**Nota:** Fuente: Guerra A, & Hernández L. Niveles sanguíneos de pesticidas organoclorados en población del Valle del Cauca. Acta Médica del Valle;1973;4:4-7.

Otro estudio, realizado en 1980 midió organoclorados a seis grupos de hombres, de los cuales tres estaban ocupacionalmente expuestos y tres grupos no lo estaban. Los grupos expuestos eran formuladores procedentes de Bogotá (n=56), aplicadores de DDT del Servicio de Control de Malaria procedentes de Villavicencio y Puerto Boyacá (n=57), y aplicadores agrícolas procedentes de Espinal, Flandes y Saldaña, Tolima (n=50). Los tres grupos sin exposición ocupacional eran de regiones rurales donde se usaban insecticidas para uso agrícola y control de vectores procedentes de Villavicencio (n=31), regiones donde se usaban insecticidas exclusivamente para uso agrícola procedentes de Espinal y Flandes, Tolima (n=50), o residentes de Bogotá donde no se usaban insecticidas (n=50) (Hernández et al. 1986). Los resultados del aldrin que indican exposición en 97.95% de los participantes se resumen en tabla 5.24; el aldrin, dieldrin, heptacloro epóxido tuvieron los valores promedio más altos entre los formuladores (1.91, 4.89 y 11.4 ppb, respectivamente). El grupo de aplicadores tuvo mayores concentraciones de DDT (promedio de 159 ppb y máximo de 994.6 ppb)

**Tabla 5.24.** Concentraciones (ppb) de aldrin y DDT en sangre en seis grupos poblacionales colombianos, 1980.

Grupo	Aldrin	DDT
Formuladores	ND	39
Aplicadores de DDT	0.86	159
Aplicadores agrícolas	0.17	45.2
Zonas con uso agrícola y sanitario	0.01	21.8
Zonas con uso agrícola	0.11	32.3
Zona sin exposición	0.03	3.7

**Nota:** Fuente: Hernández L, Guerrero E, Cubillos F, & Salazar F. Niveles sanguíneos de insecticidas organoclorados en varios grupos de población colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*;1986;45:49–58.

Más recientemente, además del herbicida glifosato que se usa en la erradicación de coca y amapola, la presencia de plaguicidas organoclorados prohibidos había sido reportada en regiones con este tipo de cultivos (Inter-American Commission for Drug Control of the Organization for American States [OAS/CICAD], 2004). Por tal motivo, entre 2005 y 2006, se realizó un estudio para cuantificar 13 organoclorados en suero de 99 individuos residentes en zonas reconocidas por tener cultivos ilícitos en Antioquia, Guajira, Guaviare, Huila, Magdalena, Putumayo, Santander y Tolima. En las muestras se detectaron heptacloro (72.73%), 4,4-DDE (19.19%), aldrin (15.15%),  $\delta$ -clordano (12.12%), dieldrin (11.11%),  $\alpha$ -clordano (10,10%),  $\alpha$ -endosulfan (8.08%), endosulfan (6.06%),  $\beta$ -endosulfan (5.05%), oxiclordano (3.03%), 4,4-DDT (3.03%) y 2,4-DDT (2.02%) (Varona et al. 2011). Un resumen de las concentraciones observadas se encuentra en la tabla 5.25.

**Tabla 5.25.** Concentraciones (ng/l) de plaguicidas organoclorados en suero de individuos residentes en regiones con cultivos ilícitos.

Plaguicida	Mínimo	Mediana	Máximo
Heptacloro	ND	8.69	43.8
4,4-DDE	ND	ND	41.17
Aldrin	ND	ND	209.34
$\delta$ -clordano	ND	ND	147.68
Dieldrin	ND	ND	90.54
$\alpha$ -Clordano	ND	ND	88.03
$\alpha$ -endosulfán	ND	ND	29.34
Endosulfán	ND	ND	63.41
$\beta$ -endosulfán	ND	ND	23.26
Oxiclordano	ND	ND	10.67
4,4-DDT	ND	ND	284.91
2,4, DDT	ND	ND	28.38
$\beta$ -BHC	ND	ND	ND

**Nota:** Fuente: Varona M, Díaz S, Henao G, et al. Exposure factors to organophosphate and carbamates pesticides in the Putumayo department, 2006. *Pesticides - The Impacts of Pesticides Exposure*. Rijeka: InTech;2011: 91-102.

Como se puede apreciar, a pesar de la prohibición en el país aun se usan varios, organoclorados lo cual ha sido corroborado en encuestas a campesinos y aplicadores en diversos estudios. El más relevante de todos éstos es el heptacloro, el cual es el único de los organoclorados encontrados en este estudio que es un reconocido agente asociado con el cáncer de mama (Khanjani et al. 2007). Por ello se puede afirmar que los organoclorados aún son usados en Colombia y no solo en cultivos ilícitos, sino también en cultivos lícitos. En este momento el Instituto Nacional de Salud está realizando estudios que dimensionarán mejor esta problemática sanitaria.

### 5.8.1.1. Cáncer y organoclorados

Hasta donde conocemos, solo un estudio ha explorado en Colombia la asociación entre plaguicidas organoclorados y cáncer de mama entre mujeres. Este estudio fue pionero en esta temática y fue diseñado como un estudio de casos y controles pareado, en el que participaron 153 casos y 153 controles provenientes de la capital del país. Los resultados mostraron una asociación (OR: 1.95, IC 95% 1.10-3.52) entre los niveles séricos más altos de DDE y el cáncer de mama, aunque no se encontró una relación dosis-respuesta (Olaya et al. 1998). Muchos estudios posteriores han concluido que no hay asociación entre DDT o sus metabolitos y el cáncer de mama, aunque no se descartan asociaciones con otras neoplasias (Calle et al. 2002; Beard et al, 2006).

### 5.8.2. Exposición a piretroides

Un estudio multicéntrico, con participantes de Brasil, Colombia y España, incluyó 27 mujeres lactantes residentes en Santiago de Cali, Valle, provenientes de zonas urbanas, rurales e industriales (cerca a una fábrica de cipermetrina usada como insecticida de ganado). A todas se les cuantificaron 13 piretroides y se estimó la ingesta diaria por parte de lactantes (Corcellas et al. 2012). Los resultados más relevantes se resumen en la siguiente tabla 5.26

**Tabla 5.26.** Concentraciones de piretroides en leche materna de mujeres colombianas (n= 27).

Plaguicida	Detectados (%)	Concentraciones (ng g <sup>-1</sup> lw)*	
		Mediana	Mínimo - Máximo
Cipermetrina	100	2.59	0.70 - 16.4
λ-Cialotrina	100	0.6	0.05 - 4.49
Permetrina	93	0.42	ND - 5.12
Tetrametrina	85	0.83	ND - 14.8
Esfenvalerato/fenvalerato	70	0.22	ND - 3.11
Deltametrina/tralometrina	22	ND	ND - 1.86
Bifentrina	8	ND	ND - 0.48
Ciflutrina	0	ND	
Fenotrina	0	ND	
Resmetrina	0	ND	

Fluvalinato	0	ND
d <sub>6</sub> -trans-permetrina	0	ND
d <sub>6</sub> -trans-cipermetrina	0	ND

**Nota:** Fuente: Corcellas C, Feo ML, Torres JP, et al. Los piretroides en la leche materna humana: la frecuencia y de enfermería estimación de la ingesta diaria. *Environ Int.*;2012: 47:17-22.

ND: No detectable

\* Concentración calculada en peso seco.

Con estos datos se calculó la ingesta diaria estimada (EDI, por su abreviación en inglés) que tendría un lactante, usando la fórmula recomendada por la Organización Mundial de la Salud y los lineamientos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por su abreviación en inglés); los resultados indicaron que un lactante menor, de un mes de edad (4.14 kg) toma en promedio 702 ml/día de leche, esto implica que en Colombia la exposición en  $\mu\text{g}$  por kg de peso corporal al día de un neonato es de máximo 0.30 de bifentrina, entre 0.78 y 4.60 de cipermetrina, máximo 1.30 de deltametrina, entre 0.03 y 0.96 de  $\lambda$ -cialotrina, y máximo 3.19 de permetrina (Corcellas et al. 2012). Estos valores están por debajo de los límites admisibles.

### 5.8.3. Exposición a organofosforados

Este grupo comprende varios insecticidas, todos con acción inhibitoria de las enzimas colinesterasas, que en casos de intoxicación ocasionan una estimulación constante del sistema nervioso (síndrome colinérgico); además incluye al glifosato que se diferencia del resto de organofosforados en que tiene acción herbicida y no presenta los efectos tóxicos sobre las colinesterasas. Dada esta diferencia, se abordarán como un grupo los organofosforados con acción insecticida y posteriormente, el glifosato.

#### 5.8.3.1. Niveles de colinesterasas

El mejor registro sistemático de la exposición a plaguicidas inhibidores de las colinesterasas en Colombia es el del programa de vigilancia epidemiológica de plaguicidas organofosforados y carbamatos (VEO) que coordina el Instituto Nacional de Salud y usa como biomarcador la colinesterasa plasmática cuantificada mediante una modificación al método colorimétrico de Limperos y Ranta, empleando el equipo de campo Lovibond (Edson & Fenwick, 1955; Silva et al, 2000). Este programa inició en 1981 y tiene por objetivos:

- Determinar los valores de actividad de la acetilcolinesterasa en sangre de personas con riesgo de exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos,
- Informar acerca de los plaguicidas más utilizados según el reporte de los trabajadores participantes, y
- Impulsar el desarrollo de acciones de promoción, prevención, seguimiento y control sobre la salud (Cárdenas et al. 2010).



Los principales resultados de este programa han sido publicados en cinco artículos científicos (Varona et al, 1998b; Silva et al, 2000; Cárdenas et al, 2005; Cárdenas et al, 2010; Cárdenas et al, 2012) que sirven de evidencia del incremento en el número de departamentos participantes, hasta llegar en 2012 a todos los departamentos, faltando únicamente la capital colombiana. Los principales resultados se encuentran resumidos en la siguiente tabla 5.27.

**Tabla 5.27.** Resultados del Programa de vigilancia epidemiológica de plaguicidas organofosforados y carbamatos (VEO)

Año	Departamentos	Muestras	Anormales (%)*
1993	17	17.917	4.6
1994	17	16.910	6.8
1995	17	10.182	7.3
1996	14	15.581	7.7
1997	13	8.586	5.6
1998		6.916	
1999		5.608	
2000	7	7.865	7.6
2001		4.853	
2002		6.964	
2003		1.898	
2004	11	9.913	9.3
2005		9.528	
2006		9.184	
2007		11.491	
2008	15	3.218	7.5
2009		3.648	

**Nota:** Fuente: [INS] Instituto Nacional del Salud. Plaguicidas, organofosforados, carbamatos en sangre y agua – picc-veo. Programa de evaluación. Recuperado de: <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Paginas/plaguicidas-organofosforados-y-carbamatos-en-sangre-y-agua-picc-veo.aspx>;2013

\* Colinesterasa menor de 75% de actividad.

Como se puede apreciar ha habido una amplia variabilidad en la participación de los departamentos, lo cual se ve reflejado en el número de individuos de los que se obtienen muestras para determinación de niveles de actividad de colinesterasa. Sin embargo, la tendencia general es el aumento de los departamentos participantes, lo cual resulta positivo junto a que se ha ampliado la capacidad y calidad analítica en varios laboratorios de la red nacional. También ha permitido clarificar que los individuos con mayor riesgo son quienes tienen como ocupaciones, acciones directas con plaguicidas, como mezcladores, tanqueadores, formuladores y equipadores (Cárdenas et al, 2012). Este es un claro ejemplo donde la intoxicación es ocupacional, pero dado que los trabajadores que tienen estas ocupaciones no suelen estar afiliados dentro del sistema de riesgos laborales no suelen ser catalogadas como tal; como se dijo al inicio del informe, por ello optamos por calificarlas como ambientales.

Usando métodos muy similares a los del programa VEO se han realizado estudios regionales que buscan explorar con mayor detalle. Un buen ejemplo fue realizado en

Molagavita, Santander, donde a 77 habitantes de la región se les cuantificó la colinesterasa sérica con el método de Lovibond en tres momentos diferentes, mientras se realizaban charlas informativas sobre el programa VEO y el uso y manejo adecuado de plaguicidas. De las 194 muestras (promedio 2.52 por persona) se encontraron en el primer momento 50.7% resultados anormales; luego disminuyó a 20.6% y finalmente 13.6%. La autora sugiere que ese cambio pudo ser debido a las sesiones educativas (Bayona; 2001).

### 5.8.3.2. Intoxicaciones agudas por organofosforados

Si bien la literatura científica internacional en los últimos años ha privilegiado los efectos por exposición a cantidades mínimas de plaguicidas, olvidando los efectos agudos por exposición a grandes dosis que incluyen hasta la muerte, existen algunos estudios que dan una panorámica general de la situación nacional.

La historia de Colombia registra eventos trágicos donde la exposición a plaguicidas ha ocasionado gran número de intoxicados y muertes, siendo los más notorios los ocurridos en Chiquinquirá (Boyacá) en 1967, Puerto López (Meta) en 1970 y Pasto (Nariño) en 1977 (Idrovo, 1999); de todos éstos solo el primero ha merecido la amplia difusión, hasta incluso llegar a ser motivo de la novela *Pandemónium* (Chillán 2011). Un resumen de su impacto en salud se encuentra en la tabla 5.28.

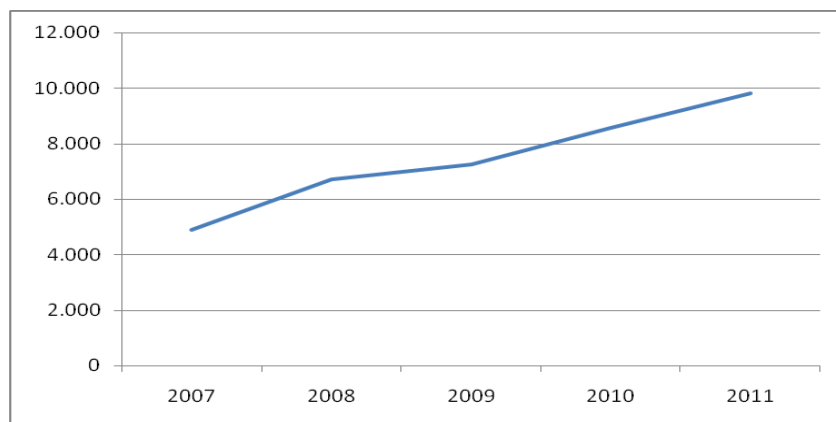
**Tabla 5.28.** Intoxicaciones masivas con alimentos contaminados con plaguicidas organofosforados ocurridas en Colombia.

Lugar	Chiquinquirá	Puerto López	Pasto
<b>Año</b>	1967	1970	1977
<b>Plaguicida</b>	Metil-paratión	No definido	Paratión
<b>Alimento</b>	Pan	Pescado	Pan
<b>Total intoxicados</b>	>500	190	>300
<b>Fallecidos</b>	63	7	15

**Nota:** Fuente: Idrovo AJ. Intoxicaciones masivas con plaguicidas en Colombia. *Biomédica*;1999;19:67-76.

Además de estos casos, en todas las regiones del país existen intoxicaciones agudas que eventualmente llevan a la muerte, no solamente por exposición ocupacional, sino accidental o intentos de suicidio. El SIVIGILA ha reportado un incremento notable en el número de casos, desde 4876 en 2007 a 9800 en 2011, lo que equivale a un incremento anual promedio de 1171 casos (figura 5.16). No es claro si el incremento de casos refleja un aumento de la ocurrencia, o si lo que está mostrando es la consolidación y mayor reporte y cobertura del sistema de vigilancia a nivel nacional.

**Figura 5.16.** Casos de intoxicación por plaguicidas reportados en el SIVIGILA (Colombia 2007-2011)



**Nota:** Fuente: [INS] Instituto Nacional de Salud. SIVIGILA. Recuperado de: <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/sivigila/Paginas/sivigila.aspx> ;2013

### 5.8.3.3. Exposición a glifosato

El glifosato ha llamado especial atención en Colombia dado su uso en las acciones para erradicar los cultivos ilícitos, aunque también es usado en diversos cultivos entre los que sobresale el de la caña de azúcar. La elección del glifosato para las actividades de erradicación de cultivos ilícitos se dio en 1984, después de probar el paraquat y optar por la menor toxicidad, sin embargo, no fue sino hasta 1992 cuando se convirtió en la principal arma contra los cultivos de coca y amapola en Colombia; la forma usada está compuesta por glifosato, Cosmoflux 411F® (aceite mineral y surfactantes no ionizados con agentes de acoplamiento) y el surfactante POEA (Idrovo, 2004).

Estas fumigaciones han causado preocupación por los posibles efectos en la salud de los individuos expuestos, tanto a nivel nacional como internacional (Joyce 1999; Massey 2001; Tenenbaum, 2002). Las investigaciones más relevantes sobre el tema se resumen a continuación.

Un estudio realizado con 112 individuos de Huila, Tolima, Putumayo, Guaviare, Santander, Antioquia, Magdalena y La Guajira, que vivían en zonas donde se realizaban fumigaciones de cultivos ilícitos, informa que hay exposición auto-reportada a mezclas de plaguicidas con alto nivel de peligrosidad (Varona et al, 2009). Los niveles de exposición a glifosato y su principal metabolito encontrados se resumen en la tabla 5.29; no se observaron efectos en salud asociados con las concentraciones de glifosato.

**Tabla 5.29.** Niveles de exposición a glifosato y ácido amino-metil-fosfónico en orina en individuos residentes en zonas con fumigación con glifosato.

Biomarcador	Casos		Concentraciones(µg/L)	
	N	%	Promedio	Min - Max
Glifosato	42	39.6	76	0 - 130
Acido amino-metil-fosfónico	4	3.8	1.6	0 - 56

**Nota:** Fuente: Varona M, Henao GL, Díaz S, et al. Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. *Biomédica*;2009;29:456–475.

#### 5.8.3.4. Estudios citogenéticos del glifosato

En Colombia se han realizado dos estudios explorando el potencial genotóxico del glifosato. El primer estudio fue realizado in vitro, e incluyó la evaluación citotóxica y genotóxica del glifosato, en diferentes concentraciones, sobre células humanas normales (GM38) y en células humanas de fibrosarcoma (HT1080). Los hallazgos de citotoxicidad aguda con ambas células mostraron viabilidad mayor al 80%, a diferentes dosis. Algo similar se observó en los resultados de citotoxicidad crónica, donde hubo un efecto dependiente de la dosis en ambos tipos celulares. El daño del ADN (longitud de la cola en la prueba del cometa) se observó a menores dosis en la células humanas normales (4.0 - 6.5 mM), frente a las células HT1080 (4.75 - 5.75 mM) (Monroy et al, 2005). Esta evidencia, diferente a la observada en estudios realizados en otros países, sugiere que el glifosato tiene efectos en el material genético de plantas y mamíferos.

El segundo estudio evaluó los efectos del glifosato grado técnico y de la mezcla comercial (Roundup®), usada en la erradicación de cultivos ilícitos. Los investigadores expusieron células mononucleares de sangre periférica humana, a glifosato grado técnico en diferentes concentraciones y a Roundup® por 24, 48, 72 y 96 horas. Los métodos usados para evaluar la citotoxicidad fueron el de exclusión con azul de tripano y reducción del reactivo sal sódica de 2,3-bis[2-metoxi-4-nitro-5-sulfofenil]-2H-tetrazolio-5-carboxianilida. Los hallazgos mostraron efectos tóxicos del glifosato grado técnico y del Roundup®, siendo con este último más severos los efectos (Martínez et al, 2007). De esta manera se confirmó la sospecha de que la mezcla comercial usada en la erradicación de cultivos ilícitos es más tóxica que el glifosato en grado técnico, lo cual es consistente con estudios similares realizados con diversas presentaciones comerciales.

#### 5.8.3.5. Glifosato y efectos reproductivos

Con el fin de explorar manifestaciones más concretas sobre la salud, Sanín y colaboradores (2009) decidieron usar el método que cuantifica el tiempo para quedar en embarazo. Este método usa unas pocas preguntas y permite aproximarse de manera válida a la subfecundidad e íntimamente relacionada con pérdidas reproductivas tempranas. En breve, mide, usando como medida los ciclos menstruales, el tiempo requerido para lograr un embarazo

reconocido por la mujer; de esta manera, el alargamiento en el tiempo se considera un indicador de abortos espontáneos tempranos en el embarazo (Idrovo et al, 2005b). Participaron 2751 mujeres provenientes de cinco regiones del país, donde se usa el glifosato de diferentes maneras.

En la Sierra Nevada de Santa Marta no se usa glifosato ni otros plaguicidas sintéticos, pues el manejo de los cultivos es orgánico; en Boyacá el glifosato no es usado para acciones de erradicación de cultivos ilícitos, aunque si se usan varias mezclas de plaguicidas que incluyen el glifosato como un herbicida más; en el Valle del Cauca se usa el glifosato ampliamente en los cultivos de caña en las semanas inmediatas antes de la cosecha. Finalmente, en Nariño y Putumayo el glifosato es usado para actividades de erradicación de cultivos ilícitos, siendo mayor el uso de plaguicidas en las labores agrícolas extensivas en Nariño (Sanín et al, 2009).

Al tomar como referencia el departamento de Boyacá, los resultados mostraron que todas las demás regiones tienen subfecundidad mayor. En Nariño se observó un fOR: 0.53 (IC 95% 0.45 - 0.63), en la Sierra Nevada fOR: 0.36 (IC 95% 0.30 - 0.42), en Putumayo fOR: 0.34 (IC 95% 0.29 - 0.41) y en Valle del Cauca fOR: 0.15 (IC 95% 0.12 - 0.18). Esto, según los autores, no permitió corroborar un efecto adverso de la fumigación para erradicación (Sanín et al, 2009), aunque sí parece sugerir un efecto del glifosato y que no todos los factores asociados con la subfecundidad fueron controlados. Es un área donde se requieren estudios epidemiológicos más específicos, ya que existe gran controversia al respecto (Romano et al, 2012).

### 5.8.3.6. Estudios citogenéticos y mezclas de plaguicidas

El primer estudio citogenético con población colombiana expuesta a plaguicidas fue realizado con 30 cultivadores de papa expuestos, tiempo completo y durante más de cinco años, a fungicidas (principalmente ditiocarbamatos) e insecticidas (organofosforados y carbamatos) y 30 individuos no expuestos ocupacionalmente a plaguicidas; todos eran provenientes de Paletera y Coconuco, en el departamento del Cauca (López, 1994). Se evaluó la presencia de aberraciones cromosómicas y el intercambio de cromátides hermanas (Hoyos et al, 1996), los resultados no mostraron diferencias entre el grupo expuesto a plaguicidas y los que no lo estaban, como se resume a continuación:

**Tabla 5.30.** Resultados de pruebas citogenéticas entre individuos expuestos y no expuestos a plaguicidas en cultivos de papa, en el departamento del Cauca.

Prueba citogenética	Expuestos	No expuestos	Valor p
Rupturas parciales de cromátides*	1.2 ± 0.3	1.5 ± 0.2	>0.05
Rupturas totales de cromátides*	1.7 ± 0.3	2.1 ± 0.2	>0.05
Intercambio de cromátides hermanas <sup>‡</sup>	5.0 ± 1.1	4.8 ± 0.9	>0.05

**Nota:** Fuente: López YS. Monitoreo biológico para detectar riesgos potenciales de salud por exposición ocupacional a plaguicidas por medio de pruebas citogenéticas [Tesis]. Popayán: Universidad del Cauca;1994. \* Por 100 células. <sup>‡</sup>Por célula.

En un estudio realizado con 31 mujeres trabajadoras en la floricultura de la Sabana de Bogotá y 30 mujeres no expuestas a plaguicidas, se realizaron tres pruebas citogenéticas: (frecuencia de aberraciones cromosómicas, frecuencia de micronúcleos y prueba del desafío (challenge assay con rayos gamma). Los resultados mostraron diferencias en el porcentaje de aberraciones y en el número de trabajadores con presencia de micronúcleos, tal como se aprecia en la tabla 5.31 (Varona et al, 2003), lo cual sugiere un incremento en el riesgo de ocurrencia de cáncer.

**Tabla 5.31.** Resultados de pruebas citogenéticas entre individuos expuestos y no expuestos a plaguicidas en cultivos de papa, en el departamento del Cauca.

Prueba citogenética	Floricultura	No expuestos	Valor p
Aberraciones por trabajadora (%)	0.71	0.23	0.02
Trabajadores con micronúcleos*	7/31	1/30	0.05*
Prueba del desafío			
Células aberrantes (%) a 0 cGy	0.68	0.23	0.50
Células aberrantes (%) a 100 cGy	7.50	6.10	

**Nota:** Fuente: Varona M, Cárdenas O, Crane C, Rocha S, Cuervo G, & Vargas J. Alteraciones citogenéticas en trabajadoras con riesgo ocupacional de exposición a plaguicidas en cultivos de flores en Bogotá. *Biomedica*;2003;23:141-52.

\* calculado por los autores de este informe.

Otro estudio realizado con 101 individuos evaluó los daños citogenéticos mediante la prueba del cometa. Participaron 33 agricultores de papa y cebolla de bulbo, provenientes de Samacá, Boyacá, 35 floricultores de Madrid, Cundinamarca y 33 individuos provenientes de ambas regiones y que no tenían exposición ocupacional a plaguicidas (Muñoz AF, 2009). Los resultados mostraron un mayor largo de la cola entre los agricultores al ser comparados con los floricultores y el grupo control, entre los cuales no hubo diferencias; esta evidencia sugiere mayor riesgo de ocurrencia de cáncer entre los agricultores, al compararse con los otros grupos. Estos y otros hallazgos se resumen en la tabla 5.32.

**Tabla 5.32.** Resultados de la prueba del cometa entre individuos expuestos y no expuestos a plaguicidas en la agricultura (cultivos de papa y cebolla) y floricultura.

Prueba	Agricultura	Floricultura	Control	Valor p
Largo de cola ( $\mu\text{m}$ )	62.32 $\pm$ 5.9	25.6 $\pm$ 3.1	23.46 $\pm$ 4.2	<0.001
Núcleos con daño (%)				
Ninguno (<5%)	0.94	7.17	18.03	0.074
Bajo (5-10%)	2.11	25.37	56.73	
Medio (10-40%)	16.38	61.37	22.19	
Alto (40-95%)	80.47	6.09	3.05	
Total (>95%)	0.10	0	0	

**Nota:** Fuente: Muñoz AF. Evaluación del daño en el ADN en dos poblaciones colombianas de agricultores y floricultores. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*;2009;12:7-16.

### 5.8.3.7. Floricultura y eventos reproductivos

La floricultura es un excelente escenario para estudiar los efectos adversos de mezclas de plaguicidas que incluyen principalmente fungicidas (como los ditiocarbamatos), dado que los hongos son una de las principales plagas de las flores ornamentales. Desde que iniciaron las actividades en la Sabana de Bogotá y después en algunos municipios antioqueños, ha habido múltiples quejas por los efectos adversos que genera este sector sobre el ambiente y la salud de los trabajadores. Por el alto porcentaje de mujeres que suelen participar en la floricultura, uno de los temas prioritarios de estudio fueron los efectos reproductivos.

Por ello, a comienzos de los 80 se realizaron estudios pioneros sobre los efectos reproductivos de población expuesta a plaguicidas en la floricultura. El primero de ellos fue una encuesta a 8867 trabajadores (2951 hombres y 5916 mujeres) en la que se indagó sobre abortos espontáneos, prematuridad, mortinatos y malformaciones congénitas (Restrepo et al, 1990). Los hallazgos mostraron varias asociaciones entre los eventos reproductivos adversos y el trabajo en la floricultura, tal cual se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 5.33.** Asociación (odds ratios) entre eventos reproductivos y exposiciones en la floricultura (embarazos antes vs después del ingreso al trabajo).

Exposición	Abortos	Prematuros	Mortinatos	Malformaciones
Floricultura				
Mujeres trabajadoras	2.20*	1.86*	0.99	1.34*
Compañeras de trabajadores	1.79*	2.75*	0.87	1.53*

**Nota:** Fuente: Restrepo M, Muñoz N, Day NE, et al. Prevalence of adverse reproductive outcomes in a population occupationally exposed to pesticides in Colombia. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*;1990;16:232-238.

\*  $p < 0.05$ .

Este estudio fue el punto de partida para un estudio de casos y controles sobre malformaciones congénitas y exposición a plaguicidas. Primero se verificó que el auto-reporte de malformación fuese correcto y los 222 casos verificados por un genetista fueron comparados con 443 de un grupo control seleccionado previamente de manera aleatoria. Los resultados obtenidos sugieren una asociación estadísticamente significativa entre el trabajo en la floricultura y las malformaciones congénitas (OR: 1.8,  $p < 0,05$ ) (Restrepo et al, 1990).

Un poco más de dos décadas después se realizó otro estudio con 2085 mujeres trabajadoras en la floricultura explorando el efecto de las mezclas de plaguicidas sobre la subfecundidad o demora para lograr un embarazo. Sin tener mediciones de los plaguicidas, los resultados permitieron identificar que quienes trabajan menos de dos años (fOR 0.86; IC 95% 0.75–0.98), o dos o más años en la floricultura requieren mayor tiempo para lograr un embarazo reconocido por la mujer (fOR: 0.73; IC 95% 0.63–0.84) en comparación con quienes no habían trabajado en la floricultura (Idrovo et al, 2005). Este efecto de dosis-respuesta sugiere



claramente un efecto del trabajo en la floricultura, aunque no permite inferir efectos directos de los plaguicidas.

Los datos que se recolectaron permitieron, además, realizar un metanálisis de los hallazgos de los estudios previos. Los resultados más importantes indicaron un incremento de abortos espontáneos (OR: 2,24; IC 95%: 1,87-2,68) y malformaciones congénitas (OR: 1,31; IC 95%: 1,05-1,64) entre las mujeres trabajadoras en la floricultura. Al evaluar los prematuros no se observó este mismo efecto (OR: 1,49; IC 95%: 0,91-2,43). Sin embargo, los autores aclaran que los efectos no pueden asociarse directamente a los plaguicidas, dado que existen otras condiciones presentes en el ambiente (actividad física intensa y calor dentro de los invernaderos) que podrían ser responsables de los efectos observados, o actuar sinérgicamente con los plaguicidas (Idrovo & Sanín 2007). Esta conclusión se sustenta en estudios realizados en condiciones similares en países europeos (Jurewicz et al, 2005). Los estudios colombianos arriba resumidos han sido incluidos en diversas revisiones sistemáticas que han llegado a concluir que entre las mujeres sí existe una asociación entre la exposición a plaguicidas y efectos reproductivos adversos, mientras que entre hombres no (Snijder et al, 2012).

#### **5.8.3.8. Floricultura y cáncer**

Un estudio que intentó hacer seguimiento a las mujeres trabajadoras en empresas floricultoras que habían participado en los estudios sobre efectos reproductivos, pudo hacer una descripción de las condiciones de salud después de dos décadas. Sólo se pudieron ubicar 1218 mujeres (23.1% de la cohorte original), entre las que se identificaron 31 casos de cáncer (14 del cuello uterino) que ya habían en su mayoría abandonado el trabajo en la floricultura (Varona et al, 1998). Infortunadamente las pérdidas en el seguimiento impidieron el explorar la asociación entre la exposición a plaguicidas y cáncer. A nivel internacional este tema sigue sin tener clara evidencia sobre esta asociación (Alavanja & Bonner, 2012).

### **5.9. Asbesto**

El asbesto se encuentra en unas pocas regiones de Colombia donde existen rocas ultramáficas serpentinizadas; éstas están localizadas en Bogotá, Búfalo, Cali, La Polca, Las Brisas, Las Nieves, Medellín, Sabanalarga (Barrera, 1987) y Yarumal (Isaza et al, 2005). Sin embargo solo la mina Las Brisas, localizada en la vereda Norizal (Campamento, Antioquia) se considera relevante desde el punto de vista económico, cubriendo cerca de la mitad de la demanda nacional. Pese a esto, en Tolima y Caldas a mediados de los años 80 se describió la explotación clandestina de asbesto (Barrera, 1987). Al respecto, las recomendaciones internacionales sugieren que todos los yacimientos de asbesto que no son adecuados para actividades mineras con réditos económicos, deberían ser evaluados y regulados para asegurar que no tengan efectos adversos sobre la población (Lee et al, 2008).

La presencia de asbesto en Las Brisas se conoce desde la primera mitad del siglo XX (Alvarado et al, 1939), pero solo se empezó a extraer desde 1982 (Barrera, 1987); durante más de dos décadas se hizo por una empresa privada y en los últimos años por los propios trabajadores, debido a los problemas de seguridad relacionados con el conflicto armado. Sin embargo, la mina fue cerrada en 2011 y en agosto de 2012 fue comprada por Coal Caribe e Ideas Proyectos y Negocios, quienes empezaron nuevamente la extracción a gran escala. Infortunadamente no se pudieron identificar estudios que indiquen el impacto en la salud de los habitantes que residen en las cercanías de la mina, aunque es de esperar que se incremente el cáncer un par de décadas después, tal cual se ha visto en otras regiones del mundo con exposiciones similares (Senyigit et al, 2004; Reid et al, 2008).

La población expuesta en las fábricas de asbesto-cemento son los trabajadores de Eternit Atlántico, Pacífico y Bogotá (Novoa 1985; Marsili et al, 2010). Barrera en 1987, informaba que en la empresa de Bogotá se habían realizado cinco estudios de salud ocupacional, cuyos principales resultados fueron que en 1957 había una prevalencia de asbestosis de 18% y en 1973 aumento hasta una cuarta parte de los trabajadores, y que la aparición más temprana de asbestosis ocurre después de 5 años de exposición; adicionalmente se reportó que en el Hospital Santa Clara, especializado para la época en enfermedades respiratorias, se habían registrado 20 casos de mesotelioma pleural, de los cuales la mitad se tuvo plena certeza del antecedente ocupacional a asbesto. Para 1984 el Instituto Nacional de Cancerología reporto 5 casos de mesotelioma pero no se registró su relación o no con el asbesto (Barrera, 1987).

Más recientemente, en la Universidad del Bosque se han realizado dos tesis con población que estuvo ocupacionalmente expuesta a asbesto; dado que el Sistema General de Riesgos Laborales no suele reconocer los mesoteliomas como enfermedad ocupacional, esto lleva a la necesidad de incorporarlos en la categoría de enfermedad ambiental. En el primer estudio se tuvo como población objeto a todos los trabajadores que laboraron por lo menos un año en la fábrica de cemento-asbesto entre 1942 y 1988, se logró obtener información de 1401 trabajadores (73% del total) que fueron clasificados como alta (n= 757) o bajamente expuestos (n= 644), de acuerdo a la fecha de ingreso (antes o después de 1975), año en que se implementaron medidas ambientales (Espinosa, 1991). Los hallazgos más relevantes se encuentran en la tabla 5.34, donde se puede observar que existe una evidente mayor ocurrencia de enfermedades entre los individuos que habían estado altamente expuestos al asbesto.

**Tabla 5.34.** Incidencia (por 1000 años/persona) de diagnósticos relacionados con la exposición al asbesto entre trabajadores de una empresa colombiana de cemento-asbesto.

Diagnóstico	Exposición	
	Alta	Baja
Asbestosis	5.8	0
Sospecha de asbestosis	9.4	1.0

Engrosamiento pleural	2.4	0.8
Borramiento ángulo costofrénico	2.4	0.6
Atelectasia	3.8	0.2
Mesotelioma maligno	0.6	0

**Nota:** Fuente: Espinosa MT. Impacto de las medidas de control ambiental sobre la incidencia de patologías relacionadas con la exposición a asbesto en una empresa de cemento-asbesto de Santafé de Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad El Bosque; 1991.

El segundo estudio fue una encuesta a 155 pensionados de una empresa de asbesto-cemento de Bogotá, de los cuales a una sub-muestra se les realizó radiografía de tórax. Los hallazgos más relevantes fueron que 89.1% no refirió el diagnóstico de cáncer y 90.1% no tuvo antecedentes de asbestosis. Sin embargo, 1% refirió pleuritis y 6% bronquitis o bronconeumonía. En 73.9% de las radiografías se observaron opacidades irregulares tipo "s", en ambas bases pulmonares, lo que sugiere la presencia de asbestosis (Flórez & Molano 1998). Estos resultados parecen ser consecuencia de un sesgo de selección ("efecto del trabajador sano"), frecuente en estudios retrospectivos, debido a que ya habían sido reportados casos de enfermedad ocupacional en este tipo de empresas (Barrera, 1987), por lo que ya no suelen encontrarse en la empresa los trabajadores que presentan la enfermedad.

Otro grupo ocupacionalmente expuesto a altas concentraciones de asbesto, y mucho más extendido por el territorio nacional, es el de mecánicos que reparan frenos que tienen asbesto crisotilo. Las mediciones en el aire de estos talleres localizados en Bogotá variaron entre 0.006 a 3.493 fibras/cm<sup>3</sup> para TWA de 8 horas, y de 0.015 a 8.835 fibras/cm<sup>3</sup> para muestras de 30 minutos (Cely et al, 2012). Estas mediciones resultan importantes ya que muestran la problemática de un importante grupo trabajador del sector informal. De otro lado, después de una extensa revisión no se encontraron reportes de individuos con asbestosis o mesotelioma en Colombia, si hay evidencia de un perro de propiedad de un mecánico automotriz, residente en Villavicencio, con exposición al asbesto presente en frenos que tuvo mesotelioma invasivo epitelial y mesotelioma mixto maligno (Ochoa & Hernández 2008). En este caso el animal puede considerarse como un evento centinela que sirve de alerta de lo que puede estar sucediendo en humanos.

Al revisar la ocurrencia de mesotelioma en los registros de consulta y mortalidad del 2010 y del 2011, se observó el reporte de algunos casos en los RIPs, como se muestra en la siguiente tabla. Esto sugiere que estos eventos son consecuencias de las exposiciones ocurridas años atrás, debido al periodo de latencia propio de la enfermedad.

**Tabla 5.35.** Consultas y mortalidad por mesotelioma en Colombia (2009-2011).

Presentación	Consultas (año)		Mortalidad (año)	
	2010	2011	2009	2010
Mesotelioma pleural	4	11	12	13
Mesotelioma peritoneal	1	14	15	16

Nota: Fuente: RIPs

Más allá de los efectos sobre las personas expuestas ocupacionalmente, el asbesto producido e importado, es usado como material de construcción, principalmente tejas, de una importante proporción de viviendas (principalmente de estratos bajos) en Colombia. Esta práctica ha sido descrita en países como México, donde tampoco se ha legislado la prohibición total del asbesto (Aguilar et al, 2003), siendo permitido el uso del asbesto crisotilo solamente y no de anfíboles.

### 5.10. Sustancias tóxicas en la minería

Si bien en Colombia desde épocas prehispánicas han habido actividades mineras, en los últimos años ha tenido un auge mucho mayor, lo que amerita considerar de manera especial el potencial impacto que tiene la minería en la salud de las poblacionales expuestas (Ponce, 2012). Los productos mineros más importantes en el país, de acuerdo a la cantidad producida, son en orden decreciente: caliza para cemento, carbón, mineral de hierro, sal marina, sal terrestre, ferroníquel, cobre, oro, platino y esmeraldas (Ministerio de Minas y Energía, 2011). Los dos primeros de éstos tienen importancia para la salud ambiental porque durante su extracción o transporte se pueden generar polvos que son dispersados en el ambiente, generando contaminación del aire; los efectos en la salud suelen ser en los trabajadores, aunque también se han reportado en varios lugares del mundo efectos en residentes que viven cerca a las minas o a los lugares de transporte (Yu et al, 2011), entre los que sobresalen el deterioro de la función pulmonar, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), la enfermedad pulmonar restrictiva, la neumoconiosis y, posiblemente, algunas neoplasias de los pulmones, el estómago y el colon (Meo, 2008).

Desde el punto de vista de las sustancias tóxicas, tienen importancia especial las minas de carbón, mineral de hierro, ferroníquel, cobre, oro y platino, que son reconocidas internacionalmente como lugares donde se han reportado efectos adversos en la salud de las comunidades circunvecinas. Los principales lugares de extracción de estos productos en Colombia, de acuerdo con la información suministrada por Ingeominas, se describen en la tabla 5.36 (Ingeominas, 2012); a éstos lugares, se debe sumar el ferroníquel que se produce en Cerro Matoso (Monte Libano, Córdoba) y el hierro en Minas Paz del Río (Boyacá).

**Tabla 5.36.** Lugares donde se extrae carbón en Colombia (tercer trimestre, 2012).

Departamento	Minas
Guajira	Cerrejón Zona Norte
	Consortio Cerrejón Área Patilla
	Carbones Colombianos del Cerrejón Área La Comunidad
	Carbones del Cerrejón Área La Comunidad
	Carbones del Cerrejón Área Oreganal
Cesar	Drummond Ltda - Área La Loma
	Drummond Ltda - El Descanso
	Carbones El Tesoro S.A.
	Carbones de La Jagua
	Consortio Minero Unido S.A.
	C.I. Prodeco S.A.
	Compañía carbones del Cesar S.A.
	Comercializadora Internacional
	Colombian Natural Resources I SAS
	Norcarbon S.A. - Area La Divisa
	Emcarbon S.A.- Diamond Ltda-Vale
Carbones del Caribe Área La Guacamaya y Mina Bijao	
Antioquia	Antioquia
Boyacá	Boyacá
Casanare	Casanare
Cauca	Cauca
Cundinamarca	Cundinamarca
Santander	Santander
Norte de Santander	Norte de Santander
Valle del cauca	Valle del Cauca

**Nota:** Fuente: Ingeominas,2012.

### 5.10.1. Estudios en minas de carbón

Infelizmente no hay muchos estudios que exploren los efectos en la salud humanas asociados a la exposición a minas de carbón. El único que se pudo localizar es un estudio que exploró los efectos citogenéticos entre individuos expuestos a residuos de carbón, procedentes de la mina de El Cerrejón, en La Guajira (León et al, 2011). Participaron 100 individuos no expuestos y 100 expuestos, que realizaban actividades en los procesos de transporte del carbón extraído, mantenimiento, pelado del carbón o embarque del carbón. Las pruebas citogenéticas incluyeron el ensayo del cometa y la frecuencia de micronúcleos. Los resultados más importantes se resumen en la tabla 5.37.

**Tabla 5.37.** Resultados de pruebas citogenéticas entre individuos expuestos y no expuestos a residuos del carbón, el Cerrejón.

Grupos	Ensayo del cometa (100 linfocitos/individuo)			Micronúcleos X 2000 células binucleadas / individuo
	Longitud de cola	ADN de la cola (%)	Índice de daño	
No expuestos	14.3 ± 2.5	2.9 ± 1.5	9.0 ± 6.4	2.9 ± 4.40
Expuestos	23.4 ± 6.5	13.1 ± 7.9	60.0 ± 39.5	8.6 ± 4.8
Extracción	22.9 ± 7.1	12.0 ± 7.9	55.9 ± 40.1	7.9 ± 4.2
Mantenimiento	23.6 ± 6.0	13.5 ± 7.7	62.7 ± 38.2	8.6 ± 5.0
Pelado	25.1 ± 7.1	16.5 ± 9.4	74.0 ± 45.9	8.5 ± 4.7
Embarque	22.2 ± 3.7	11.8 ± 6.1	53.8 ± 31.0	11.0 ± 5.8

**Nota:** fuente: León G, Espitia L, Hoyos LS, Da Silva J, Hartmann A, Henriques JA, et al. Assessment of DNA damage in coal open-cast mining workers using the cytokinesis-blocked micronucleus test and the comet assay. *Science of the Total Environment*;2011;409:686-691.

Como se puede apreciar, en todas las pruebas los grupos expuestos tuvieron mayor daño que los no expuestos; los hallazgos también sugieren que el trabajo en las actividades de pelado del carbón presentan mayor daño en la prueba de ensayo del cometa, y en el embarque en la prueba de micronúcleos.

### 5.10.2. Estudios de minas de metales preciosos

En los alrededores de minas de metales preciosos se ha reportado la presencia natural de arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc, entre otros minerales (Lim et al, 2008), los cuales pueden llegar a través de diferentes medios a la población residente en las cercanías e incluso ocasionar efectos nocivos sobre la salud. Esto es adicional a las sustancias tóxicas que el hombre incorpora al ambiente en alguna etapa del proceso extractivo, como lo son el mercurio y el cianuro. En la siguiente tabla se encuentran los principales lugares del país donde hay extracción de metales preciosos.

**Tabla 5.38.** Lugares donde se extraen minerales preciosos (oro, plata o platino) en Colombia (tercer trimestre, 2012).

Departamento	Municipios
Amazonas	La Pedrera, Leticia, Puerto Arica, Puerto Santander, Tarapaca
Antioquia	Antioquia, Abejorral, Abriaquí, Alejandría, Amaga, Amalfi, Andes, Angostura, Anorí, Anza, Apartado, Argelia, Barbosa, Bello, Belmira, Betania, Bolívar, Briceño, Buriticá, Cáceres, Caicedo, Caldas, Campamento, Cañasgordas, Caracolí, Caramanta, Carepa, Caucasia, Chigorodo, Cisneros, Cocorna, Concepción, Concordia, Copacabana, Dabeiba, Don Matías, Ebejico, El Bagre, Entrerrios, Envigado, Fredonia, Frontino, Giraldo, Girardota, Gomez Plata, Guadalupe, Guarne, Guatapé, Heliconia, Hispania, Itagüí, Ituango, Jardín, Jericó, La Ceja, La Pintada, La Estrella, Liborina, Maceo, Marinilla, Medellín, Montebello, Mutata, Nariño, Nechi, Necoclí, Peñol, Puerto Berrio, Puerto Nare, Puerto Triunfo, Remedios, Retiro, Rionegro, Sabanalarga,

	Salgar, San Andrés, San Carlos, San Francisco, San Jerónimo, San José de La Montaña, San Luis, San Pedro, San Rafael, San Roque, San Vicente, Santa Bárbara, Santa Fe de Antioquia, Santa Rosa de Osos, Santo Domingo, Segovia, Sonson, Sopetran, Taraza, Titiribí, Toledo, Turbo, Uramita, Urrao, Valdivia, Valparaiso, Vegachi, Venecia, Yali, Yarumal, Yolombo, Yondo, Zaragoza
Arauca	Arauca
Atlántico	Barranquilla
Bolívar	Arenal, Barranco de Loba, Cartagena, El Peñón, Hatillo de Loba, Magangué, Margarita, Mompo, Montecristo, Morales, Norosí, Pinillos, Rivoviejo, San Fernando, San Jacinto del Cauca, San Martín de Loba, San Pablo, Santa Rosa Sur, Simití, Tiquisio
Boyacá	Puerto Boyacá, Sogamoso
Caldas	Aguadas, Anserma, Chinchina, Filadelfia, La Dorada, La Merced, La Victoria, Manizales, Marmato, Neira, Norcasia, Pacora, Palestina, Pensilvania, Rio Sucio, Risaralda, Samaná, Supia, Villa María.
Caquetá	Albania, Florencia, Puerto Rico, San José de La Fragua, Solano.
Cauca	Argelia, Bolívar, Buenos Aires, Caldono, Caloto, El Tambo, Guachene, Guapi, Inza, La Sierra, López de Micay, Patia, Popayan, Puerto Tejada, Santander De Quilichao, Santa Rosa, Suarez, Timbiquí, Toribio
Cesar	Valledupar
Chocó	Acandí, Alto Baudó, Atrato, Bagadó, Bahía Solano, Bajo Baudó, Bojaya, Cantón De San Pablo, Carmen De Atrato, Certeguí, Condoto, Istmina, Litoral Del San Juan, Lloro, Medio Atrato, Medio Baudó, Medio San Juan, Novita, Quibdó, Riosucio, Río Iro, Río Quito, San José Del Palmar, Sipí, Tadó, Unguía, Unión Panamericana
Córdoba	Ayapel, Buenavista, La Apartada, Montelibano, Montería, Planeta Rica, Pueblo Nuevo, Puerto Libertador, Sahagún, San Antero, San Carlos, San José de Ure.
Cundinamarca	Girardot, Pacho
Guainía	Puerto Inírida
La Guajira	Riohacha
Guaviare	San José del Guaviare
Huila	Agrado, Aipe, Gigante, Iquira, Neiva, Palermo, Pitalito, Tarquí, Tesalia
Magdalena	Aracataca, Ciénaga, El Banco, Fundación, Santa Marta
Meta	Puerto Rico
Nariño	Barbacoas, Buesaco, Cumbal, Cumbitara, El Charco, Ipiales, La Llanada, Los Andes, Magui Payan, Mallama, Mosquera, Pasto, Policarpa, Roberto Payan, Samaniego, Santa Bárbara, Santa Cruz De Guachavez, Tumaco.
Norte de Santander	Cúcuta, Villa Del Rosario
Putumayo	Valle del Guamuez, Colon, Mocoa, Orito, Puerto Caicedo, Puerto Guzmán, Puerto Leguizamo, Sibundoy, Villa Garzón
Quindío	Armenia, Buenavista, Genova, La Tebaida, Quimbaya, Salento
Risaralda	Apia, Belén de Umbria, Marsella, Mistrato, Pereira, Pueblo Rico, Quinchia, Santa Rosa De Cabal
Santander	Barbosa, Barrancabermeja, Bucaramanga, California, San Gil, Vetás
Sucre	San Marcos, Sampues, Sincelejo
Tolima	Armero, Ataco, Cajamarca, Casablanca, Chaparral, Coello, Coyaima, Falán, Fresno, El Libano, Ibagué, Lerida, Mariquita, Ortega, Roncesvalles, San Luis, Santa Isabel, Valle De San Juan, Venadillo
Valle	Argelia, Bolívar, Buenaventura, Buga, Cali, Calima, Candelaria, Cartago, Dagua, El Cerrito, El Dovio, Ginebra, Guacarí, Jamundi, Palmira, Restrepo, Sevilla, Tuluá, Tumbo
Vaupés	Mitu, Taraira



**Nota:** Fuente: Lim HS, Lee JS, Chon HT, & Sager M. Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea. *Journal of Geochemical Exploration*;2008;96:223-230.

La extracción de los metales preciosos facilita que se movilicen muchas sustancias tóxicas, de manera que el suelo y el agua se contaminan, permitiendo que los residentes de la región se expongan a través de múltiples rutas (Miller et al, 2004; Miller et al, 2007). Los efectos en la salud pueden ser variados dada la variedad de sustancias y las mezclas, que son específicas de cada región e, incluso, temporalidad. Este es un tema que requiere estudios especializados, no disponibles en la actualidad.

### 5.10.3 Níquel: el caso de Cerro Matoso

Cerro Matoso es una mina productora de ferroníquel, aleaciones de hierro y níquel, ubicada en Montelibano, Córdoba (Gleeson et al, 2004), muy cerca del poblado La Unión Matoso; es la mina a cielo abierto más grande del continente americano dedicada a la extracción de níquel. En diversas publicaciones periodísticas se han denunciado problemas de salud entre los trabajadores o ex-trabajadores y en la comunidad de la Unión Matoso, que la población percibe como asociados con la presencia de la mina. Los más sobresalientes son las dermatosis, los problemas respiratorios y el cáncer.

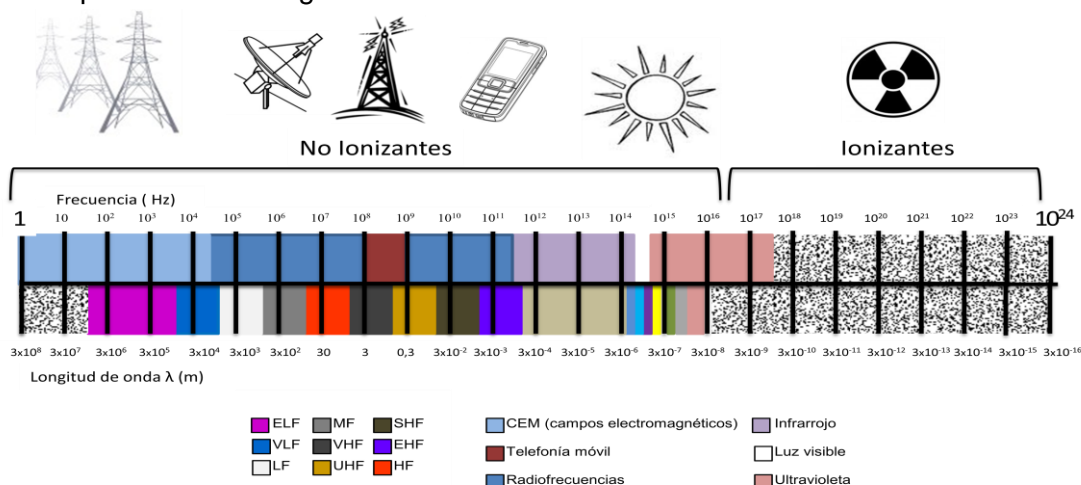
Si bien no se pudieron encontrar estudios con calidad sobre el problema sanitario de Cerro Matoso, existe evidencia científica de algunos problemas de salud asociados con la presencia de minas de níquel. El mismo níquel se considera asociado con cáncer del tracto respiratorio, bajo condiciones específicas (Lightfoot et al, 2010), mismas que aún no han sido estudiadas en la mina colombiana. Los problemas sanitarios en minas de níquel no son exclusivos de Colombia, y existen varios alrededor del mundo, uno de los más conocidos es en Noruega donde se reportó extrema contaminación del agua, caracterizada por alta acidez (pH cercanos a 3.7) y contenidos elevados de azufre, principalmente como ácido sulfúrico (Storesund & Rønning, 2001); estos compuestos azufrados son usados en los procesos de extracción de Cerro Matoso. Al respecto, se sabe que las altas concentraciones de ácido sulfúrico pueden producir quemaduras en piel (Bond et al, 1998); además, su inhalación también puede ocasionar problemas respiratorios por irritación (Roto, 1980). Otro caso conocido es el de Soroako, Indonesia, donde se relaciona la presencia de la mina con problemas con el agua y las basuras, problemas nutricionales (Robinson, 1985).

## 6. RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS NO IONIZANTES (REM-NI)

La exposición a toda forma de energía, es un aspecto tan natural como necesario para el desarrollo y evolución de la vida. De hecho, la existencia de vida en el planeta se debe, entre otras, a la capacidad que desarrollaron los seres vivos para poder utilizar esa energía en su propio beneficio, ya sea como alimento (energía química) o para desarrollar mejor otras actividades de subsistencia (v.gr. uso del fuego) (Strahler y Strahler, 1974). La energía se manifiesta de diferentes formas, una de ellas es por medio de radiaciones electromagnéticas (REM).

El sol es una de las fuentes naturales más importantes de REM que recibe la Tierra. Existe también el campo magnético terrestre (geomagnético), al que todos estamos constantemente expuestos; además en la superficie terrestre, se generan campos eléctricos a partir de la distribución de cargas en las capas atmosféricas. Algunas investigaciones han evidenciado que el campo geomagnético puede inducir ciertas respuestas de comportamiento en organismos biológicos, tales como la magnetotaxis (en bacterias) y la orientación migratoria en mariposas y algunos vertebrados (aves, tortugas, etcétera), por la presencia de pequeños cristales intracraneales de magnetita (mineral ferromagnético) (Bardassano y Elorrieta, 2000).

**Figura 6.1.** Espectro electromagnético.



**Fuente:** Elaboración del autor.

\*Imágenes tomadas de internet.

Debido a la naturaleza ondulatoria de la REM, es común caracterizarla a través de su frecuencia (cuya unidad es el Hertz, Hz). Cuando la frecuencia de la onda EM es muy alta, los campos eléctricos (CE) y los campos magnéticos (CM) generados están unidos y se consideran como campos electromagnéticos (CEM); en cambio, a frecuencias muy bajas (como las generadas a nivel industrial), los CE y CM se encuentran desacoplados y conviene manejarlos de forma separada (Aponte et al., 2003).

En la actualidad, la exposición a los CE, CM y CEM resulta un hecho frecuente en la vida cotidiana de las personas que habitan sobre todo en los centros urbanos e industriales. La exposición ambiental a estos campos ha venido en aumento con el desarrollo de las tecnologías de comunicación y en general desde que la industria eléctrica hizo su aparición en los albores de la Revolución Industrial de finales del siglo XIX.

Los CEM pueden ser ordenados en un espectro electromagnético (EM) de acuerdo a su frecuencia y/o longitud de onda (figura 6.1). Dado que todo ser vivo es en esencia un conjunto sistematizado de células, tejidos, órganos y aparatos, cuyo funcionamiento requiere del uso y emisión de energía a diferentes niveles, eminentemente está sujeto a la acción y efecto de REM a diferentes frecuencias del espectro, provocando respuestas variadas.

En Colombia, como en el resto del mundo, la creciente demanda de servicios de telecomunicaciones por parte de la población, ha generado la necesidad de construir un elevado número de instalaciones que emiten REM en diferentes frecuencias (Espinosa y Reveiz, 2009). Este aumento en la infraestructura responde a la necesidad de ampliar la cobertura del servicio con mejor calidad, por lo que son instaladas a menudo en zonas habitacionales o cercanas a escuelas y centros de trabajo. Sin embargo, paralelamente ha crecido la preocupación debido al aumento en el número de antenas de telefonía móvil y en general de la infraestructura de las telecomunicaciones, por las posibles consecuencias que pudieran afectar a la salud de la población, sobre todo porque la mayor parte de la tecnología aun es de importación y su adaptación a los espacios nacionales no necesariamente es la más adecuada desde el punto de vista técnico y cultural (Torres y Ochoa, 2007).

En un estudio reportado por la Comisión de Regulación de las Telecomunicaciones (2002), Bogotá contaba con 6475 antenas en el 2000, de las cuales casi el 90% se localizaban en la zona urbana. Esta situación puede derivar además en un problema urbano debido a que algunas de las antenas instaladas carecen de los permisos para operar, sobre todo las de telefonía móvil. Por ejemplo, el periódico El País reportaba en 2004 que Cali tenía instaladas 182 antenas de telefonía celular de manera irregular.<sup>1</sup> Similarmente, Troya y Zabala (2007) señalan que en Bogotá, el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DANE) registraba que en el año 2006, sólo 416 antenas estaban legalmente instaladas de un total aproximado de 15.000 antenas de telefonía móvil.

---

<sup>1</sup> Periódico El País, Santiago de Cali, del miércoles 25 de agosto de 2004.

Es evidente que la industria de la telefonía móvil ha crecido considerablemente en los últimos años, registrando en promedio un crecimiento anual de usuarios del 44.7% (Asomóvil, 2012). En la tabla 6.1 se puede observar la cantidad de cabeceras municipales por Departamento donde hay por lo menos una antena de alguno de los 3 proveedores de servicios de telefonía móvil en Colombia (Comcel, TIGO y Movistar), de acuerdo a la Asociación de la Industria Móvil de Colombia. Se evidencia que en los 1122 municipios considerados, se tiene una cobertura de casi el 99% con el servicio GSM, lo cual representa aproximadamente 34.721 personas por antena (tomando en cuenta una población total de 38.505.969 habitantes en esos municipios).

**Tabla 6.1.** Cobertura de red celular por departamento y municipios con antena.

Departamento	Municipios	Tecnología móvil GSM	Personas por antena GSM
Amazonas	11	10 (90.91%)	7.202
Antioquia	125	124 (99.20%)	48.918
Arauca	7	7 (100%)	35.363
Atlántico	23	23 (100%)	100.628
Bolívar	46	44 (95.65%)	44.995
Boyacá	123	123 (100%)	10.306
Caldas	27	27 (100%)	36.236
Caquetá	16	16 (100%)	27.983
Casanare	19	19 (100%)	17.137
Cauca	42	42 (100%)	31.404
Cesar	25	25 (100%)	38.657
Choco	30	30 (100%)	15.872
Córdoba	30	29 (96,67%)	54.576
Cundinamarca	116	116 (100%)	21.354
Guainía	9	3 (33.33%)	12.776
Guajira	15	15 (100%)	43.730
Guaviare	430	4 (100%)	270.800
Huila	37	37 (100%)	27.067
Magdalena	30	30 (100%)	40.046
Meta	29	29 (100%)	30.030
Nariño	64	64 (100%)	25.618
Norte de Santander	40	40 (100%)	48.760
Putumayo	13	13 (100%)	25.084
Quindío	12	12 (100%)	45.802
Risaralda	14	14 (100%)	66.079
San Andrés	2	2 (100%)	36.660
Santander	87	87 (100%)	23.108
Sucre	26	26 (100%)	31.179
Tolima	47	47 (100%)	29.524
Valle de Cauca	42	42 (100%)	104.356
Vaupés	6	6 (100%)	6.922
Vichada	4	4 (100%)	15.918
Bogotá	1	1 (100%)	ND

**Nota** Fuente: [ASOMOVIL] Asociación de la Industria Móvil de Colombia. Informe telefonía móvil de Colombia. Bogotá: ASOMOVIL;2012.

## 6.1. Clasificación de la radiación electromagnética

El espectro EM, se extiende desde frecuencias extremadamente bajas ( $<10^2$  Hz) hasta valores exponencialmente muy superiores ( $10^{20}$  Hz) pertenecientes a la radiación gamma ( $\gamma$ ) y cósmica. El espectro EM se encuentra dividido en regiones limitadas, sea por la tecnología o por los fenómenos físicos que estén bajo consideración. De esta manera, el espectro EM se divide en dos regiones: ionizante (a partir de  $10^{15}$  Hz) y no-ionizante (por debajo de  $10^{15}$  Hz) cuya diferencia principal es que en la segunda, los efectos de la radiación son demasiado débiles para romper los enlaces que mantienen unidas a las moléculas en las células. En la tabla 6.2 se describe el espectro EM, donde se indican los servicios que pertenecen a cada banda de frecuencias (Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, 2002).

**Tabla 6.2.** Rangos de frecuencias y su clasificación por tipos de servicios.

Rango de Frecuencias	Banda	Descripción	Longitud de Onda	Tipos de Servicios
30-300 KHz	LF	Frecuencias Bajas	10-1 Km	Radio de Onda Larga, Transmisores de LF
300-3000 KHz	MF	Frecuencias Medias	1-0.1 Km	Radio AM, Radio Navegación
3-30 MHz	HF	Frecuencias Altas	0.1-0.01 Km	Radio CB, Aficionados, Comunicaciones de Radio HF
30-300 MHz	VHF	Muy Altas Frecuencias	0.01-0.001 Km	Radio FM, TV VHF, Servicios de Emergencias, Aficionados
300-3000 MHz	UHF	Ultra Altas Frecuencias	0.001-0.0001 Km	Radio FM, TV VHF, Servicios de Emergencias, Aficionados
3-30 GHz	SHF	Super Altas Frecuencias	0.0001-0.00001 Km	Micro-ondas, comunicaciones satelitales, radar, micro-ondas punto a punto
30-300 GHz	EHF	Extremadamente Altas Frecuencias	0.00001-0.000001 Km	Radar, Radio Astronomía, Enlaces de Micro-ondas cortas

**Nota:** Fuente: [ICNIRP] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health physics;1998;74:494-522.

\* Adaptado de [www.icnirp.de](http://www.icnirp.de)

## 6.2. Características de la radiación electromagnética no ionizante (REM-NI)

En general, las fuentes electromagnéticas producen tanto energía radiante (radiación) como no radiante (campos). Se le llama REM a la emisión de energía en forma de fotón a la velocidad de la luz o muy cercana a ella. Por ejemplo, la energía que escapa de un circuito o equipo eléctrico se considera energía electromagnética radiante, la cual generará un CEM que podrá a su vez ejercer influencia con cualquier partícula presente que esté eléctricamente cargada.

La tabla 6.3 contiene información de las unidades del sistema internacional (SI) para diferentes mediciones de los CE, CM y CEM. De otro lado, los campos estáticos ( $f = 0$  Hz) no emiten ondas. En la gama de frecuencias de REM-NI encontramos desde aquellas bajas a extremadamente bajas (LF/ELF) menores a los 300 kHz, hasta el orden de los THz (correspondientes a radiaciones infrarrojas, luz visible y ultravioleta, donde se acostumbra referirlas por las longitudes de onda y ya no por su frecuencia), pasando por las radiofrecuencias (hasta 300 MHz) y las microondas (hasta los 300 GHz).

**Tabla 6.3.** Mediciones eléctricas, magnéticas y electromagnéticas y sus unidades correspondientes.

Mediciones	Símbolo	Unidades
Conductividad	$\sigma$	Siemens por metro ( $S m^{-1}$ )
Corriente	$I$	Amperio (A)
Densidad de corriente	$J$	Amperio por metro cuadrado ( $A m^{-2}$ )
Frecuencia	$f$	Hertz (Hz)
Campo eléctrico	$E$	Voltio por metro ( $V m^{-1}$ )
Campo magnético	$H$	Amperio por metro ( $A m^{-1}$ )
Densidad de flujo magnético	$B$	Tesla (T)
Permeabilidad magnética	$\mu$	Henrio por metro ( $H m^{-1}$ )
Permisividad	$\epsilon$	Faraday por metro ( $F m^{-1}$ )
Densidad de potencia	$S$	Watt por metro cuadrado ( $W m^{-2}$ )
Absorción específicas de energía	SA	Joule por kilogramo ( $J Kg^{-1}$ )
Tasa de absorción específica de energía	SAR	Watt por kilogramo ( $W Kg^{-1}$ )

**Nota:** Fuente: [ICNIRP] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health physics;1998;74:494-522.

### 6.2.1. Frecuencias extremadamente bajas (ELF).

Ondas que están entre 1 Hz y 300 Hz; generadas en las instalaciones de transporte y distribución de energía eléctrica que actúan a 60 Hz para nuestro país, por lo que son también llamados de frecuencia industrial. Los CEM más significativos son debidos a líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión y subestaciones eléctricas. En estas últimas, los CEM más intensos son generados por líneas entrantes y salientes. En general los CE

generados por líneas de transmisión tienen poca capacidad de penetrar edificios aledaños y su efecto disminuye con la distancia, mientras que los CM pueden atravesar mejor barreras físicas, pero están determinados por la intensidad de corriente y también disminuyen su efecto en los organismos a medida que se alejan de la fuente que los genera (Torres H, 2005).

### **6.2.2. Radiofrecuencias (Rf).**

Frecuencias comprendidas entre 3 KHz a 300 MHz, e incluyen las fuentes de alimentación conmutadas, las estaciones de radiodifusión de amplitud modulada AM (525–1 735kHz), las estaciones de radiodifusión de frecuencia modulada FM (88–108 MHz), las estaciones de televisión “por aire” en las bandas de frecuencias muy altas (VHF) y ultraaltas (UHF) y los sistemas de comunicación móviles por celdas (800 y 1 900 MHz) (Skvarca y Aguirre, 2006).

### **6.2.3. Microondas (mW).**

Frecuencias superiores a 300 MHz hasta 300 GHz, son producidas por telefonía móvil, hornos microondas, radares y sistemas de comunicación; la telefonía móvil o celular actualmente emplea bandas entre 800 MHz a 1.900 MHz (microondas), con transmisión directa. Los elementos básicos de este sistema son dos: el terminal o teléfono móvil y la estación base. Para los terminales la potencia varía entre 0.6 W a 2 W.

Las principales fuentes de generación artificial de REM-NI identificadas en Colombia se caracterizan por tener mayor grado de coherencia que una fuente natural (es decir, las frecuencias están bien definidas) y son las líneas de distribución y transmisión de energía eléctrica, las subestaciones de energía eléctrica, la telefonía móvil y los electrodomésticos (Torres y Ochoa, 2007c). Estos últimos son equipos que forman parte de nuestra vida diaria y son generadores de contaminación electromagnética (llamada también electro-contaminación). Pueden presentar mayor riesgo que las subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, dado que su uso es cotidiano, se da a una mayor cercanía del organismo y por su construcción algunos no presentan parámetros de protección apropiados. Los electrodomésticos que presentan los CM más altos son aquellos que requieren intensidades altas de corriente, como las aspiradoras, hornos de microondas, lavadoras, etcétera.

De otro lado, la telefonía móvil y la infraestructura necesaria para su operación destacan en el contexto nacional dada su relevancia. En teoría, la tecnología celular y la internet surgen como un medio para facilitar la comunicación entre personas que se encuentran a grandes distancias, ya sea por medio de la voz o la transmisión de datos. No obstante, este uso es ya simplemente la forma básica de ambos, ya que con el paso del tiempo se han desarrollado nuevos usos y nuevos significados (Espinosa y Reveiz, 2009).

Las redes de telefonía móvil o celular se dividen en áreas geográficas denominadas células o celdas, con una superficie hexagonal aproximada de 26 Km<sup>2</sup>. Cada una de ellas



cuenta con alrededor de 56 canales de voz disponible (es decir, en cualquier celda pueden estar hablando 56 personas por sus teléfonos celulares al mismo tiempo, aunque la transmisión digital puede triplicar esta capacidad) a través del servicio que ofrece una estación base que identifica a cada célula. Para comunicarse, el usuario se conecta con la estación base de telefonía móvil a través de la terminal y el sistema asegura que la conexión se mantenga si el usuario pasa de una célula a otra. Cuando se enciende un teléfono móvil, responde a ciertas señales de control de las estaciones base de telefonía móvil más cercanas. Cuando ha localizado una estación base de telefonía móvil idónea, el celular inicia una conexión a la red con intensidades de bajo poder (0.6 W y 3.0 W). El teléfono permanece en reposo, excepto por alguna actualización ocasional, hasta que se realiza o se recibe una llamada.

### **6.3. Estudios de exposición a radiaciones no ionizantes**

Los primeros reportes relacionados con la medición y efectos potenciales de la exposición a CEM datan de finales del siglo pasado, y estaban sobre todo orientados a la necesidad de contar con normatividad que regulara la exposición de los trabajadores en ambientes ocupacionales y del público en general en Colombia. Es importante hacer distinción entre estas dos poblaciones potencialmente expuestas, ya que si bien es frecuente que los trabajadores pueden estar expuestos a intensidades más altas de REM según la actividad que realicen y el giro de la empresa, el tiempo de exposición es menor y lo hacen en la mayoría de las veces con cierta protección, mientras que el público general es el que puede pasar inadvertido de exposiciones ambientales crónicas. La población en general (la cual es mucho más numerosa que la población expuesta a las radiaciones por razones laborales) puede correr riesgos que por lo general no se pueden controlar individualmente. Por ello se establece que los valores límite de exposición de la población en general deben ser en promedio una quinta parte de los valores límite aceptados para la exposición ocupacional en la mayor parte del espectro (de 10 MHz a 300 GHz) y equivale a la densidad de potencia de una onda plana incidente necesaria para producir una tasa de absorción específica promedio de cuerpo completo de 0,08 W/kg (Skvarca y Aguirre, 2006).

En Colombia, los pocos estudios realizados sobre la exposición de la población a REM-NI se concentran en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Pereira, Manizales y Bucaramanga (Llamosa et al., 2010; Álvarez y Tamayo, 2004; Londoño et al., 1997). De acuerdo con Torres JI y Agudelo (2007), existe un problema subyacente respecto a la exposición potencial a REM-NI en el país: la falta de entidades acreditadas que certifiquen niveles de exposición de manera confiable. Lo anterior aunado al hecho de que es prácticamente inexistente un registro de quejas ciudadanas entorno a la potencial exposición de REM-NI, a pesar de que existen evidencias en la prensa local y nacional de las denuncias públicas realizadas.

### 6.3.1. Normatividad.

Las primeras normas de protección ambiental emitidas en Colombia datan del siglo pasado mediante la promulgación del Código Nacional de Recursos Naturales Decreto 2811 de 1974. Sin embargo, la contaminación por REM aun era tema incipiente incluso a nivel internacional y había pocas instancias pretendiendo su regulación. La contaminación EM no-ionizante es un subproducto de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, para uso doméstico e industrial y también de actividades de telecomunicación. Este tipo de contaminación genera a su vez conflictos ambientales urbanos derivados justamente de aplicaciones incorrectas de la poca normatividad existente (Torres y Ochoa, 2007).

En Colombia se empezó a trabajar desde el año 2003 en la búsqueda de normar la protección contra la exposición a CEM por parte del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC).

Sólo once países latinoamericanos poseen normas que regulan las dosis de exposición permitida a las REM-NI: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, México, Perú y Venezuela, las cuales fueron basadas en las recomendaciones de la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP por sus siglas en inglés) o del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE por sus siglas en inglés).

Sin embargo, ya desde finales del siglo pasado el Gobierno en su intento de regulación adoptó los límites de exposición de las personas a CEM determinados por la ICNIRP "Recomendaciones para limitar la exposición a CEM", de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T K.52) "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición a los CEM" y la Recomendación 1999/519/EC del Consejo Europeo "Por la cual se establece los límites de exposición del público en general a CEM"; legalizándolo en el Decreto 195 de 2005, expedido por el Gobierno Nacional y elaborado por los Ministerios de Comunicaciones, de la Protección Social y del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, "por el cual se adoptan límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones". La regulación para Rf se obtiene mediante resolución del Ministerio de Comunicaciones, número 001645 del 29 de julio de 2005, el cual reglamenta los límites permisibles de exposición a radiaciones de Rf basado en recomendaciones de la UIT antes mencionada. Asimismo, se emite el Decreto distrital 061 del 31 de enero de 1997 "por el cual se establecen las normas urbanísticas y arquitectónicas necesarias para la aprobación del diseño y la ocupación temporal o permanente del espacio donde se instalarán los elementos que conforman una estación de la red de telecomunicaciones inalámbricas, y se dictan otras disposiciones", finalmente derogado y sustituido por el Decreto 676 de 2011.

**Decreto 195 de 2005.** Es aplicable a quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones en la gama de frecuencias de 9 KHz a 300 GHz, en el territorio colombiano. Las disposiciones de este decreto no aplican para los emisores no intencionales, las antenas receptoras de radiofrecuencia, fuentes inherentemente conformes y los equipos o dispositivos

radioeléctricos terminales del usuario. El Decreto 195 de 2005 establece límites de exposición por tipo de población expuesta, es decir, en público en general y aquella ocupacionalmente expuesta (tabla 6.4).

**Tabla 6.4.** Límites máximos de exposición según frecuencia de operación.

Tipo de exposición	Gama de frecuencia	Intensidad del campo eléctrico E (V/m)	Intensidad del campo magnético B (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m <sup>2</sup> )
<b>Ocupacional</b>	9-65 KHz	610	24,4	-
	0,065-1 MHz	610	1,6/f	-
	1-10 MHz	610/f	1,6/f	-
	10-400 MHz	61	0,16	10
	400-2.000 MHz	3f <sup>1/2</sup>	0,008f <sup>1/2</sup>	f/40
	2-300 MHz	137	0.36	50
	9-150 MHz	87	5	-
	0,15–1 MHz	87	0.73/f	-
<b>Público en general</b>	1-10 MHz	87f <sup>1/2</sup>	0.73/f	-
	10-400 MHz	28	0,073	2
	400-2.000 MHz	1,375f <sup>1/2</sup>	0.00037 f <sup>1/2</sup>	f/200
	2-300 GHz	61	0,16	10

**Nota** Fuente: Decreto 195 de 2005. Bogotá DC: [MAVDT] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial / Presidente de la república;2005.

Por lo regular, la presencia de antenas de transmisión-retransmisión obedece a necesidades técnicas de eficiencia operativa, las cuales deben cumplir además con criterios de tipo urbanístico. Antes del Decreto 195 de 2005, desde el punto de vista ambiental, las antenas de telecomunicaciones eran solamente consideradas elementos de posible contaminación visual, por lo que debían armonizar con el entorno una vez que garantizaran la seguridad de la infraestructura civil y de conformidad con la normativa aeronáutica. Esto último obedece a que la operación de equipos de telecomunicación podría llegar a interferir seriamente con el equipo de navegación de aeronaves durante el despegue y aterrizaje.

**Reglamento Técnico para Instalaciones Eléctricas (RETIE) de 2005.** (MINMINAS, 2005) Define requisitos para valores máximos permisibles de CE y CM para frecuencias extremadamente bajas (25 Hz – 1000 Hz), en zonas donde pueda permanecer el público. El valor máximo de la intensidad del CE es de 10 KV/m, mientras que para el CM, medido como densidad de flujo magnético (B), es de 0,6 mT.

El RETIE establece que “debe entenderse que ningún sitio donde pueda estar expuesto el público debe superar estos valores. Para líneas de transmisión estos valores no deben ser superados dentro de la zona de servidumbre y circuitos de distribución a partir de distancias de seguridad (2,3 m horizontal)”. Sin embargo, el RETIE en el capítulo II define estas distancias de seguridad para contacto y no define explícitamente si cubren el riesgo por REM. Sería

recomendable una revisión del artículo 14 de dicho reglamento, con el fin de definir el límite sobre la cual se considera riesgosa la exposición a REM-NI (Torres y Ochoa, 2007).

**Recomendación UIT-T K.52 Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos.** Es un documento elaborado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (organismo especializado de la ONU) en el año 2000. La recomendación señala que su finalidad es facilitar el cumplimiento por las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad cuando existe exposición de las personas a campos electromagnéticos (CEM). Esta recomendación no establece límites de seguridad, ya que su objetivo es presentar técnicas y procedimientos para evaluar el cumplimiento por las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad nacional (Decreto 195 de 2005) e internacionales (ICNIRP, 1998).

**ICNIRP (1998).** La Comisión Internacional para la Protección contra Radiación No Ionizante es un órgano independiente avalado por la Organización Mundial de la Salud. En 1998 terminó de elaborar un documento donde se establecían límites sugeridos de exposición máxima a CE, CM y CEM. Las recomendaciones de la ICNIRP cubren la banda de frecuencia más amplia y es actualmente el referente a nivel Unión Europea para la toma de decisiones en medidas de seguridad al respecto. De acuerdo a la ICNIRP, en la actualidad sólo se puede concluir que no hay una evidencia convincente de efectos cancerígenos y que los datos no se pueden usar como base para desarrollar recomendaciones de exposición.

#### 6.4. Estudios sobre REM-NI en Colombia

La mayoría de los estudios responden a motivaciones relacionadas por la preocupación generalizada debido a la proliferación de antenas de transmisión-retransmisión de telefonía celular y la cercanía de subestaciones eléctricas y torres de alta tensión a zonas habitacionales, más que por las características intrínsecas de las radiaciones emitidas (Troya y Zabala, 2007). Es importante señalar, empero, que las recomendaciones de seguridad están más enfocadas a establecer límites de exposición más que de emisión, por lo que la medida más sencilla es restringir el acceso a las fuentes de exposición. Esto obedece a que la densidad de potencia recibida por un individuo es dependiente de su posición relativa a la fuente, reduciéndose el efecto a medida que aumenta la distancia.

Las Encuestas Nacionales de Calidad de Vida (ENCV) permiten tener una aproximación al número de personas expuestas a diferentes fuentes de emisión de REM-NI. De manera extra-domiciliaria, un poco más de la décima parte de la población reporta vivir cerca de una línea de alta tensión; entre éstos sobresalen las regiones más apartadas (Orinoquía y Amazonía, Pacífica sin Valle y Atlántica), lo que sugiere un patrón de urbanización que aglomera a la población (tabla 6.5).

**Tabla 6.5.** Individuos que reportan que su vivienda se encuentra cerca de una línea de alta tensión (LAT).

Región	% de individuos cerca de una LAT	IC 95%
Atlántica	13.25	11.72 - 14.77
Oriental	10.7	9.31 - 12.09
Central	9.69	8.40 - 10.98
Pacífica (sin Valle)	15.34	13.81 - 16.88
Bogotá	11.84	9.96 - 13.72
Antioquia	9.56	8.25 - 10.86
Valle del Cauca	10.84	9.46 - 12.21
San Andrés y Providencia	2.32	1.16 - 3.48
Orinoquía y Amazonía	16.23	13.30 - 19.16
Global	11.4	10.88 - 11.93

**Fuente:** [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas en Colombia. Encuesta Nacional de Calidad de Vida. Encuesta Nacional. Bogotá DC: DANE;2011.

Las mismas ENCV también informan sobre la tenencia de electrodomésticos que emiten radiaciones no ionizantes (tabla 6.6). Lo más sobresaliente en este caso, es que Bogotá es la región que concentra mayor número de electrodomésticos en el hogar; también es evidente que los televisores son los electrodomésticos a los cuales mayor número de individuos se exponen, y que el horno microondas es el que menos se adquiere en los hogares colombianos, entre los explorados. Esto resulta contrario a lo observado con la cercanía a las líneas de alta tensión.

**Tabla 6.6.** Tenencia de electrodomésticos generadores de REM-NI.

Región	% individuos con electrodomésticos que generan REM-NI			
	Televisión por cable	Nevera o refrigerador	Horno microondas	Televisión a color
Atlántica	28.01	61.73	7.78	83.04
Oriental	31.09	66.30	9.72	86.56
Central	40.56	77.26	9.46	87.76
Pacífica (sin Valle)	31.49	51.81	5.78	81.27
Bogotá	70.51	84.11	35.34	97.01
Antioquia	43.59	77.72	16.23	87.33
Valle del Cauca	54.20	86.42	12.58	93.35
San Andrés y Providencia	37.40	90.85	24.16	97.67
Orinoquía y Amazonía	48.84	79.26	10.57	91.35
Global	37.96	67.87	11.13	86.40

**Fuente:** [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas en Colombia. Encuesta Nacional de Calidad de Vida. Encuesta Nacional. Bogotá DC: DANE;2011.

Finalmente la exposición a celulares, que corresponde a una exposición más individual que las anteriores, también puede ser evaluada poblacionalmente con los datos de la ENCV (tabla 6.7). Lo más notorio al respecto es el amplio uso de teléfonos celulares entre la población colombiana, siendo un poco menor en la región Pacífica (sin Valle) y la Atlántica.

**Tabla 6.7.** Tenencia de teléfonos celulares en Colombia.

Región	Individuos con teléfono celular	
	%	IC 95%
Atlántica	83.72	82.75 - 84.65
Oriental	89.53	88.56 - 90.45
Central	91.07	89.71 - 92.31
Pacífica (sin Valle)	80.80	79.79 - 81.78
Bogotá	94.65	93.21 - 95.87
Antioquia	88.31	86.80 - 89.70
Valle del Cauca	92.05	90.79 - 93.19
San Andrés y Providencia	89.63	86.91 - 91.96
Orinoquía y Amazonía	92.36	90.02 - 94.29

**Fuente:** [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas en Colombia. Encuesta Nacional de Calidad de Vida. Encuesta Nacional. Bogotá DC: DANE;2011.

#### 6.4.1. Exposición a campos electromagnéticos (CEM) y a radio-frecuencias (Rf)

Los cálculos de exposición a CE están basados en intensidades de campo no perturbados, es decir, la intensidad de campo medida removiendo a la persona del área de influencia. En una tormenta, los CE son de alrededor de 50 KV/m, mientras que cerca del suelo el CE es en promedio de 200V/m. Se tienen registros que el humano es capaz de percibir sensorialmente en promedio CE con intensidades que van de 7 KV/m a 27 KV/m (Torres H, 2005).

En seres vivos, los CM pueden inducir pequeños flujos de corriente eléctrica en los organismos expuestos, dependiendo de su magnitud, mientras que los CE pueden ejercer fuerzas en moléculas cargadas principalmente, y en las estructuras celulares de un tejido (Jaimes y Vázquez, 1996).

A frecuencias altas (300 MHz – 300 GHz), es decir, a frecuencias mayores a la resonancia del cuerpo humano, el parámetro de referencia para medir CEM es la densidad de potencia (es decir, el flujo de energía de la onda EM), ya que en este caso la absorción de energía es superficial (Skvarca y Aguirre, 2006). De otro lado, los CEM de frecuencia industrial son poco eficientes como fuentes de radiación. Por ejemplo, Torres H (2005) señala que la potencia típica máxima radiada por una línea de transmisión de energía eléctrica de alta tensión

sería menor de  $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , mientras que la luna llena deposita sobre la superficie terrestre alrededor de  $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  en una noche despejada.

Mientras que los CE se ven afectados por la distancia, la tensión y el diseño de la fuente, los CM por su parte, además dependen de la intensidad de corriente. En Colombia se tienen registradas magnitudes de CM del orden de  $2 \mu\text{T}$  para líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 KV y de  $0,6 \text{ T}$  para líneas de 115 KV, valores muy similares a los obtenidos en otras partes del mundo (Aponte et al., 2003). Es importante señalar que la intensidad de un CEM disminuye a medida que aumenta la distancia, por lo que es preferible regular la exposición de los individuos aislando la fuente de emisión, que tratar de regular la potencia de emisión, ya que muchas veces esto último resulta impráctico o técnicamente inconveniente.

En estudios llevados a cabo por el grupo de alta tensión de la Universidad del Valle (GRALTA,2005), se determinó en subestaciones y líneas de 115 KV de la empresa Energía del Pacífico (EPSA,2013), que la densidad del flujo magnético era de  $0,6 \text{ T}$ , mientras que para la línea de 230 KV la densidad era de  $2 \mu\text{T}$ .

Este grupo de investigadores, realizó mediciones en 50 puntos distribuidos en distintas zonas de la ciudad de Cali, con el propósito de conocer y cuantificar los niveles de inmisión de CEM empleando un medidor isotrópico (Aponte et al., 2007). En general, los valores encontrados fueron inferiores al 0,5% del límite establecido por la ICNIRP ( $0.2 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ), excepto en 2 sitios, cuya situación era fácilmente corregible colocando un encerramiento alrededor de las estaciones base.

En un estudio posterior, se aumentó a 110 el número de sitios de muestreo en la misma ciudad para caracterizar los CEM por antenas de radio, televisión y estaciones base de telefonía celular, encontrándose valores ligeramente más altos en promedio que los obtenidos en el estudio anterior, pero aun muy por debajo de lo establecido en la normatividad (Escobar et al., 2010).

Anteriormente, otro estudio llevado a cabo en Cali en el 2009, determinó que en 70 antenas de telecomunicación de telefonía móvil, la emisión de densidad de potencia generada en su operación se encontraba dentro de los límites permitidos para la población general de acuerdo al Decreto 195 de 2005 (Espinosa y Reveiz, 2009).

En otro estudio similar esta vez realizado en Bucaramanga, se midieron los niveles de exposición humana para el rango de frecuencias de 10 KHz hasta 3 GHz de acuerdo a la recomendación Internacional UIT-T K.52, encontrando que los niveles en los 3 sitios muestreados estaban a menos del 0,01% del valor de norma establecido (Rugeles et al., 2007). Posteriormente, otro grupo realizó mediciones de campos en banda ancha (inmisión) en la misma ciudad, obteniendo valores que no sobrepasaron los límites de exposición permitidos para público general que establece la UIT-T K.52 y el Decreto 195 de 2005 (Rodríguez CC et al., 2010).



Como se dijo antes, estos estudios se han realizado por lo general en respuesta a la creciente preocupación de la población debida a la proliferación de antenas de comunicación. Este crecimiento se ha observado no sólo en Bogotá sino en todo el país, ya que se reportaba que un número importante era instalado de manera ilegal. Coadyuvando a mantener la transparencia en el uso de la información en este sentido, la Asociación de la Industria Móvil de Colombia (Asomóvil, 2012) publicó recientemente el número de antenas de telefonía móvil identificadas en cada departamento (tabla 6.8).

**Tabla 6.8.** Distribución de antenas de telefonía móvil por departamento y ciudad.

Departamento	Ciudad	Total de antenas	Antenas por compañías
Antioquia	Medellín	88	Comcel 3GSM (62) TIGO 3.5G (18) FI SONERA (1) Aircel (1) AIS Thailand (1)
Atlántico	Barranquilla	2	Movistar (1) Play (1)
Bolívar	Cartagena	6	TIGO 3.5G (6)
Caldas	Manizales	45	Movistar (44) Vivo (1)
Caquetá	Florencia	4	Movistar(4)
Cauca	Popayan	24	Movistar (24)
Cundinamarca	Bogota	100	TIGO 3.5G (32) Movistar (11) Comcel 3GSM (46) Oi (1) Bite (2)
Huila	Neiva	5	Movistar (5)
Meta	Villavicencio	7	TIGO 3.5G (2) Comcel 3GSM (5)
Nariño	Pasto	7	TIGO 3.5G (7)
Quindío	Armenia	3	Comcel 3GSM (3)
Risaralda	Pereira	42	TIGO 3.5G (16) Comcel 3GSM (13) Movistar (13)
Santander	Bucaramanga	12	Movistar (9) Comcel 3GSM (3)
Tolima	Ibagué	17	Movistar (1) Comcel 3GSM (16)
Valle de Cauca	Cali	100	Movistar (86) T-Mobile (4) Comcel 3GSM (9) TIGO 3.5G (1)

**Nota** Fuente: [ASOMOVIL] Asociación de la Industria Móvil de Colombia. Informe telefonía móvil de Colombia. Bogotá: ASOMOVIL;2012.

### 6.4.2. Exposición a radiación ultravioleta (RUV)

Del espectro EM, la radiación ultravioleta (RUV) es la de mayor energía (o frecuencia) que incide sobre la superficie terrestre proveniente del sol, aun así la energía de la RUV no es suficiente para provocar la ionización espontánea de sustancias irradiadas, es decir, está considerada en la frontera de las REM-NI. Sin embargo, existe una excepción en esta clasificación correspondiente al tipo C de RUV (las otras son el tipo A y el B), la cual está clasificada ya en los umbrales de las radiaciones ionizantes (figura 6.1). Afortunadamente, la RUV tipo C (con longitudes de onda entre 100 y 280 nm) junto a otras radiaciones ionizantes (como los rayos X, gamma y cósmicos), son retenidas totalmente por la capa de ozono estratosférica y no llegan a tocar la superficie de la Tierra (González et al, 2009). La clasificación más aceptada de los tipos de RUV y sus correspondientes longitudes de onda se presentan en la tabla 6.9.

**Tabla 6.9.** Clasificación de las radiaciones ultravioleta.

Tipo de RUV		Longitud de onda (nm)
UVA	Radiación de envejecimiento o “luz negra”	400-315
UVB	Radiación de quemaduras	315-280
UVC	Radiación germicida y genotóxica	280-100

**Nota** Fuente: González M, Vernhes M, & Sánchez- A. La radiación ultravioleta. Su efecto dañino y consecuencias para la salud humana. *Theoria*;2009;19:69-80.

De la luz solar que llega a la Tierra, poco más del 5% es RUV (UVA y UVB) y de esta cantidad aproximadamente el 5% es UVB, la RUV de origen natural entonces mayormente responsable de los efectos biológicos observados. No obstante, la inminente reducción de la capa de ozono estratosférico aumenta cada vez el riesgo de exposición a UVC, lo que conlleva a potenciales efectos genotóxicos (Upton, 2010). El efecto de la exposición a RUV se mide por la dosis efectiva mínima necesaria para producir enrojecimiento de la piel, por medio del MED/hora (minimum erythemat dose por sus siglas en inglés), cuya unidad equivale a 5,83  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (Bohórquez y Pérez, 2007). Otro indicador de exposición a RUV lo constituye el Índice UV (IUV), el cual describe la capacidad de la RUV de causar quemaduras o eritemas en la piel dentro de las 24 horas siguientes a la exposición y determinan el tiempo permisible de exposición a la radiación solar, sin riesgos de afectación para diferentes tipos de piel (IDEAM, 2005). Los IUV son valores adimensionales en una escala entre 0 y 15, indicando mayor peligro de lesión conforme su valor aumenta (tabla 6.10).

**Tabla 6.10.** Índice UV y su correspondiente riesgo de exposición.

IUV	Nivel de Riesgo
0-2	Mínimo
3-4	Bajo
5-6	Moderado
7-9	Alto
10 y más	Muy Alto

**Nota** Fuente: [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Atlas de radiación solar de Colombia. Producto de Información: Bogotá DC: IDEAM;2005.

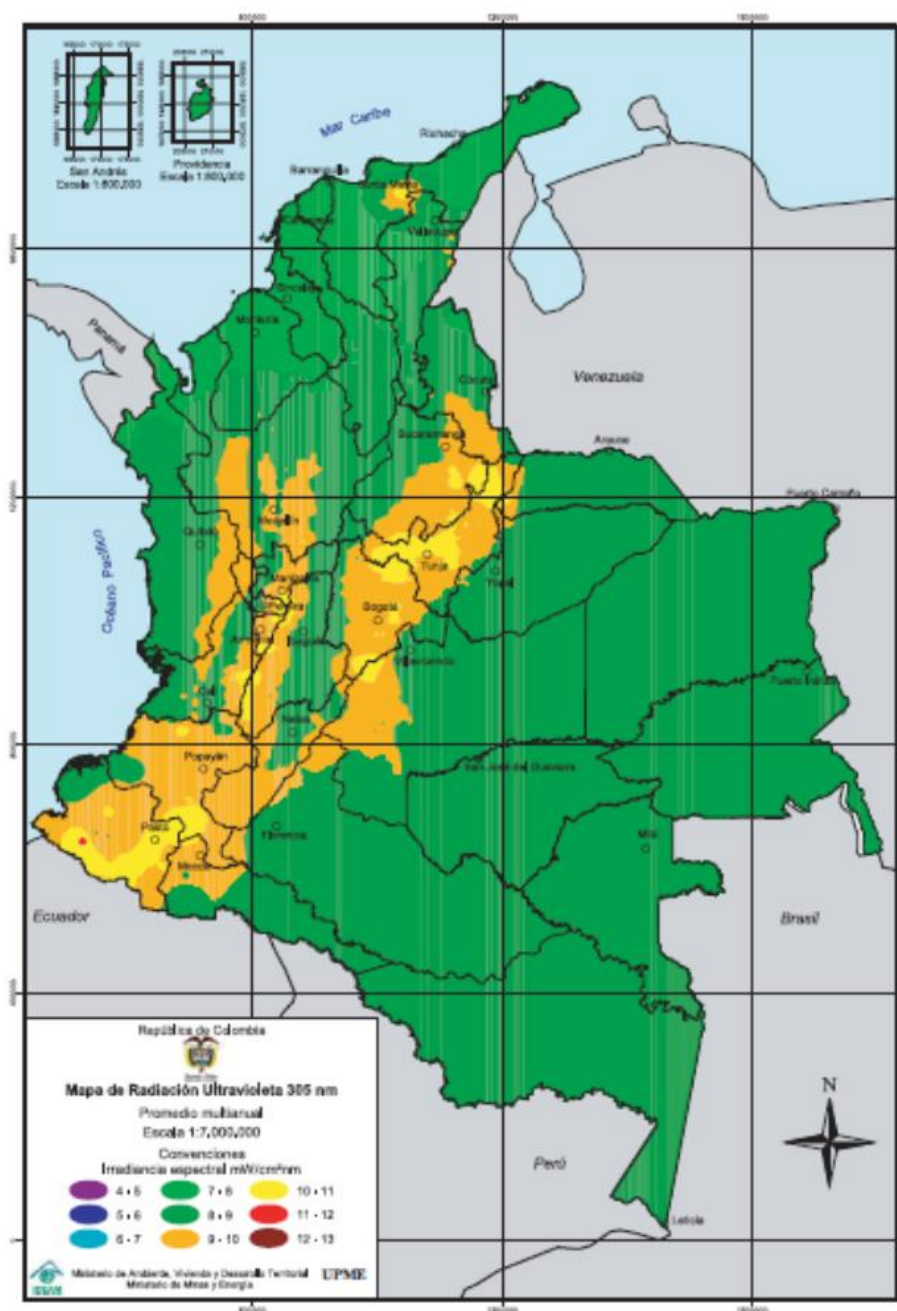
Algunos autores proponen una reclasificación de los IUV, estableciendo que a partir de un valor de 11 el nivel de riesgo es “extremadamente alto”, ya que cualquier valor por encima de 3 ya tiene un efecto perjudicial en la piel (Sanclemente y Hernández, 2010). En las figuras 6.2 y 6.3 se observan los mapas elaborados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales para valores de RUV (a longitud de onda de 305 nm) y el IUV promedio a nivel nacional.

La RUV incidente varía con la latitud, altitud y las estaciones del año (v.g presencia de nubes). Colombia se encuentra localizada en una región con alta radiación UV proveniente del sol, y sus índices UV están entre los más altos del planeta (Lucas et al., 2006). La región de mayor radiación solar en el país es la península de La Guajira y sus valores máximos se presentan en el mes de julio, con promedios superiores a  $315 \text{ W/m}^2$  (reportado como  $650 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ ). Este valor desciende gradualmente hasta diciembre, mes en que se presenta el valor mínimo de  $256,8 \text{ W/m}^2$  (reportado como  $530 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ ) (IDEAM, 2005)

En Bogotá se llevó a cabo un estudio en el 2004-2005 para determinar la radiación solar promedio sin considerar la nubosidad (Forero et al., 2007). Los resultados obtenidos en dicho estudio evidenciaron que los meses cuando hay más radiación solar en promedio son enero y febrero ( $335,6 \text{ W/m}^2$ ), mientras que en los meses de abril y mayo es cuando la radiación solar es menor ( $297,7 \text{ W/m}^2$ ).

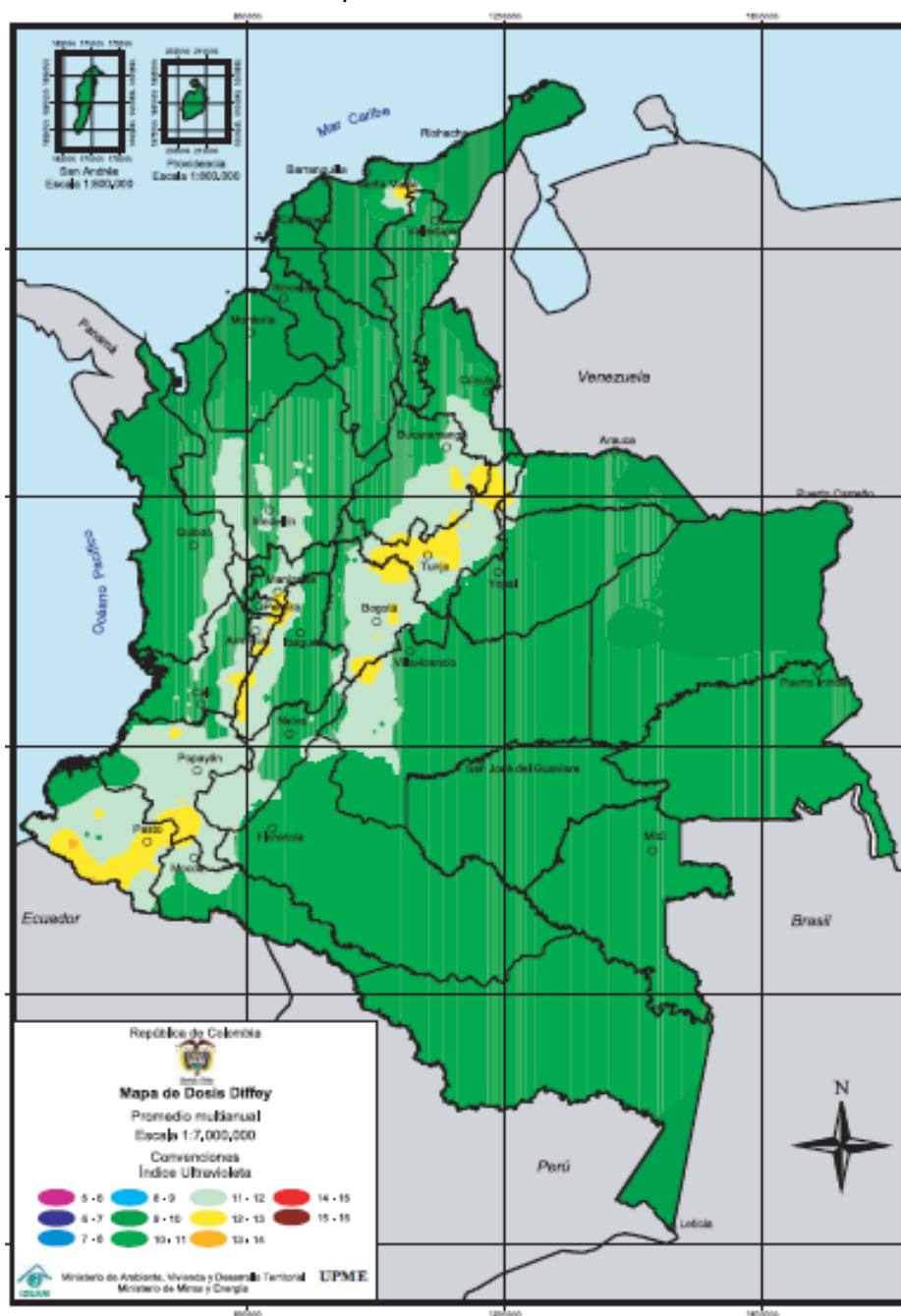
Se estima que por cada 1.000 m de aumento en la altitud, la intensidad de la RUV se incrementa en promedio 5,6% (Rivas et al., 2004). Solórzano y colaboradores (2000) determinaron que prácticamente toda la población del país está anualmente expuesta a valores extremos de RUV, por lo que sería recomendable utilizar siempre protección con prendas de vestir adecuadas, sombrero de ala ancha, uso de protector solar, aprovechamiento de la sombra o evitar salidas al aire libre alrededor del mediodía (10:00AM – 3:00 PM). En un estudio llevado a cabo en 2 comunidades Antioqueñas (Medellín en 2000 y El Retiro en 2003), se evidenció que al menos en algunos días del año sus valores de IUV oscilan entre “muy altos” y “extremadamente altos” para Medellín y El Retiro respectivamente (Sanclemente y Hernández, 2010). Dada la estabilidad climatológica del país, estos resultados son indicadores de la alta exposición a RUV de la población colombiana y los potenciales riesgos a la salud que conlleva.

**Figura 6.2.** Mapa de radiación ultravioleta en Colombia.



**Fuente:** [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Atlas de radiación solar de Colombia. Producto de Información: Bogotá DC: IDEAM;2005.

**Figura 6.3.** Mapa del Índice UV multianual promedio de Colombia.



**Fuente:** [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Atlas de radiación solar de Colombia. Producto de Información: Bogotá DC: IDEAM;2005.

## 6.5. Estudios sobre efectos en la salud

El estudio de los efectos en la salud por la exposición a radiaciones no ionizantes tiene dos polos opuestos; por un lado hay suficiente evidencia de efectos por exposición crónica a la

luz solar, tanto en la piel (neoplasias) o sobre estructuras intraoculares. Esto contrasta con los otros efectos donde hay mayor discusión entre la comunidad científica.

Recientes hipótesis sustentadas en evidencias empíricas poblacionales sugieren que la electricidad está asociada con la ocurrencia de enfermedad cardiovascular, cáncer, diabetes mellitus y suicidio (Milham, 2010).

### **6.5.1. Efectos térmicos de las REM-NI**

Ante la falta de resultados contundentes, no es de extrañar que se generen temores sobre los riesgos potenciales de la exposición a REM-NI de Rf y frecuencias industriales, muchos de ellos, cabe decir, basados en especulación (Aponte et al., 2003). El tema resulta complejo no sólo por las limitaciones éticas de utilizar al ser humano como experimento, sino que las disciplinas científicas que intervienen en su estudio tienen evidentemente diferentes niveles de desarrollo, añadiendo información sesgada con frecuencia manipulada por los medios informativos (Torres, 2005). Esto sin dejar de admitir que existen intereses a favor y en contra del uso de tecnología que genera REM-NI.

Cuando un ser vivo se expone a un CEM, se produce una interacción entre la potencia del campo, la corriente eléctrica inducida y las cargas del tejido corporal. Los CEM inducen la formación de momentos de fuerza sobre las moléculas que pueden ocasionar el desplazamiento de iones situados en posiciones sin perturbación, vibraciones en cargas unidas y la rotación de moléculas bipolares. El efecto biológico deriva en una lesión si y sólo si son superadas las propiedades de compensación del organismo o la adaptación a los cambios impuestos por el estímulo físico (Torres y Alzate, 2006).

Los efectos biológicos de la REM-NI pueden dividirse en 3 partes: i) efectos ópticos de la radiación, donde puede darse la excitación del electrón (luz visible, IR y UV cercano); ii) longitudes de onda más pequeñas que el cuerpo humano que provocan calentamiento por corrientes inducidas (mW y VHF) y iii) por campos estáticos, donde la longitud de onda es mucho mayor que el cuerpo humano (Torres, 2005).

De existir un efecto por exposición crónica a CEM, es más probable que sea el CM antes que el CE el responsable, ya que la piel evita la penetración de gran parte de este último, más no del CM. Además, los CE son fácilmente atenuables mediante el aislamiento físico de las personas expuestas, a diferencia de los CM cuyo efecto no se minimiza con esas mismas estrategias (Amórtegui, 2007).

Es por eso necesario establecer ciertos límites umbrales por debajo de los cuales se espera que no exista ningún efecto adverso en los seres humanos. La dosimetría resulta entonces crucial para determinar si ciertas personas o poblaciones están expuestas a niveles de alto riesgo. En realidad no se sabe con certeza si es el nivel medio de exposición diario, o si sólo son importantes las exposiciones que son superiores a un cierto valor umbral o sí, por el



contrario, lo que hay que tener en cuenta es el número de veces que se entra y se sale de un CEM dado para determinar el riesgo de exposición (Torres y Alzate, 2006).

En exposiciones agudas, la mayoría de las recomendaciones coinciden en establecer niveles aproximadamente iguales para la banda del espectro EM comprendida entre 100 MHz y 10 GHz, la cual corresponde a la banda de resonancia del cuerpo humano, es decir, donde ocurre la mayor absorción de energía. En esta región, la banda del espectro EM de mayor peligro se observa entre los 30 MHz y los 300 MHz, donde en promedio todo cuerpo humano está en resonancia. A frecuencias más altas, el parámetro de referencia es la densidad de potencia ( $W/m^2$ ), porque en este caso la absorción de energía es superficial (CRT, 2002). En términos de densidad de corriente al contacto con material conductor, los efectos en los nervios y estimulación muscular se observan a densidades de  $1 A/m^2$ . A niveles más altos (del orden de  $3 A/m^2$ ) se dan contracciones involuntarias de los músculos y la posibilidad de fibrilación cardíaca.

Se sabe que el principal mecanismo por medio del cual la radiación en Rf y las mW producen un efecto biológico es por calentamiento, al igual que la radiación infrarroja (RIR). Este efecto térmico puede matar células en número suficiente para ser observadas a nivel tisular como quemaduras, o bien alterar de manera permanente el funcionamiento de tejidos y órganos. La exposición a una intensidad de campo muy elevada se produce en sólo ciertas actividades industriales (v.g. los calentadores Rf), aunque de forma directa otras industrias emplean en sus procesos temperaturas muy altas como en la industria siderúrgica y en la fabricación del vidrio, que a su vez emiten RIR. También se tiene documentado que exposiciones crónicas a RUV pueden provocar eritema, edema, hipertermia y quemaduras, hiperplasia, inmunosupresión, fotoenvejecimiento y melanogénesis, todas ellas directa o indirectamente relacionadas con posible desarrollo de cáncer en la piel (González et al., 2009).

De otro lado, los efectos en la salud por exposición crónica aun no son concluyentes, pero la normatividad colombiana se guía bajo el principio precautorio establecido en el numeral 6 del Art. 1 de la Ley 99 de 1993, que a la letra dice: “cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no podrá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente”.

De acuerdo al portal de “Información sobre los Efectos de Campos Electromagnéticos” (EMF por sus siglas en inglés), había a principios de 2012 más de 1.800 publicaciones relacionadas con estudios sobre exposición a CEM y Rf y sus potenciales efectos en la salud a nivel mundial. La Organización Mundial de la Salud tiene clasificado a los CM como posiblemente carcinogénicos para los humanos (Grupo 2B según la IARC, Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer por sus siglas en inglés), una categoría empleada cuando una asociación causal es potencialmente creíble, pero hay ausencia importante de evidencia consistente, por lo que no pueden clasificarse ni como cancerígenos ni como probables cancerígenos (Díaz, 2008).



En virtud de esta preocupación, nacida desde que en 1979 un estudio llevado a cabo en los EE.UU. encontró asociaciones significativas entre la exposición a CM con densidades de flujo de 0,3  $\mu$ T y leucemia infantil, se han venido realizando estudios en Colombia para medir exposiciones a CEM, sin encontrar evidencia hasta el momento, de que la población se encuentre en riesgo alto de desarrollar leucemia (Aponte et al., 2003).

En un trabajo de tesis de la Universidad Pontificia Javeriana, se realizó la revisión documental de 10 artículos internacionales donde se detectaron efectos en la salud relacionados con el desarrollo de leucemia, alteraciones del semen y cambios neuroconductuales (Troya y Zabala, 2007). El estudio utilizó datos obtenidos con exposiciones a antenas de telecomunicaciones y líneas eléctricas de alta tensión, sin considerar la posible exposición a la radiación generada por equipos que utilizan incluso mayores frecuencias, como son láseres biomédicos, lámparas halógenas, lámparas infrarrojas de hospitales, lámparas fluorescentes, soldadura y corte, etcétera. A pesar de no tener datos concluyentes, la distribución de casos de muerte por leucemias en los departamentos del país muestra que el mayor número tiende a presentarse en los lugares de mayor urbanización, tal cual muestran los registros del DANE (2011)(tabla 6.11).

**Tabla 6.11.** Casos de muerte por leucemias en Colombia durante 2009 y 2010.

Departamento	2009			2010		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Bogotá	394	199	195	299	170	129
Antioquia	214	120	94	197	104	93
Valle del Cauca	200	115	85	206	93	113
Atlántico	123	56	67	94	60	34
Santander	86	48	38	85	47	38
Bolívar	54	31	23	51	25	26
Nariño	50	26	24	52	29	23
Córdoba	49	23	26	52	30	22
Huila	45	23	22	44	28	16
Norte de Santander	45	27	18	38	15	23
Tolima	39	20	19	63	29	34
Cundinamarca	38	21	17	99	53	46
Quindío	36	23	13	33	15	18
Risaralda	36	18	18	38	21	17
Magdalena	32	13	19	17	9	8
Caldas	29	17	12	60	30	30
Cesar	26	9	17	28	14	14
Cauca	25	14	11	40	23	17
Sucre	25	10	15	29	12	17
Meta	24	13	11	37	20	17

Boyacá	21	15	6	48	31	17
Caquetá	6	3	3	14	7	7
La Guajira	5	4	1	9	7	2
Chocó	3	1	2	5	0	5
Arauca	3	3	0	7	3	4
Casanare	3	0	3	6	3	3
Putumayo	3	3	0	3	2	1
San Andrés y Providencia	2	1	1	0	0	0
Guainía	1	1	0	0	0	0
Guaviare	1	1	0	0	0	0
Vichada	1	0	1	1	1	0
Amazonas	0	0	0	2	2	0
Vaupés	0	0	0	3	2	1

**Fuente:** Adaptación del autor.

\*Datos tomados de la información proporcionada por el Ministerio de Salud para el presente estudio.

Algo similar se observa con el número de consultas por los mismos diagnósticos, según RIPS, tal cual se muestra en la tabla 6.12.

**Tabla 6.12.** Consultas por leucemias en Colombia durante 2009 y 2010.

Departamento	Leucemia
Antioquia	34
Bogotá	121
Bolívar	12
Boyacá	3
Caldas	10
Caquetá	1
Cauca	1
Cesar	4
Cundinamarca	66
Choco	1
Huila	2
La Guajira	6
Magdalena	24
Meta	3
Nariño	53
Norte de Santander	15
Quindío	3
Risaralda	35
Santander	46

Sucre	8
Tolima	35
Valle del Cauca	69
Vaupés	5
Atlántico	24
Córdoba	5
Arauca	5
Amazonas	0

**Fuente:** Adaptación del autor.

\*Datos tomados de la información proporcionada por el Ministerio de Salud para el presente estudio.

### 6.5.2 Efectos de la RUV en la piel y en los ojos

**Daño ocular.** De los órganos del cuerpo humano mayormente expuestos a RUV son los ojos. La mayor parte de la RUV que recibe el ojo es absorbida por la córnea, la esclerótica y la conjuntiva, sólo las de mayor longitud de onda (UVB y UVA) son capaces de penetrar a la cámara anterior y al cristalino.

Los tejidos que más se alteran son los que tienen un mayor porcentaje de agua (v.g. globo ocular) y si existe poca o nula circulación sanguínea, el daño puede ser mayor, puesto que la pérdida de calor es más lenta. Los mecanismos normales de protección ocular (tales como los párpados, pestañas y el iris) resultan insuficientes contra la RUV de mayor energía, ya que se activan cuando la radiación incidente es excesiva, pero sólo en la banda visible del espectro (Pérez Mogollón & Bohórquez-Ballén, 2007).

En un estudio de 249 casos realizado en el servicio de oftalmología del Hospital Universidad del Valle “Evaristo García” de Cali, con pacientes diagnosticados con quemadura ocular en 2005 y 2006, se determinó que el 6.8% correspondían a lesiones por exposición a RUV, secundarios a accidentes laborales (Ocampo et al, 2008), este último resultado contrasta con los observados para quemaduras oculares por sustancias químicas, las cuales ocurren principalmente como consecuencia de accidentes en casa.

La exposición ocupacional que puede provocar quemaduras se debe al uso de maquinaria industrial que emite RUV (de los 3 tipos), y no necesariamente es atribuible a la luz solar cuando se realiza el trabajo a cielo abierto. En las actividades agrícolas o de construcción donde la exposición solar es frecuente, de hecho es parte de los riesgos laborales de la población ocupacional, el daño ocular podría ser causado por radiación UVA por su capacidad de llegar a la retina. Sin embargo, en un estudio realizado con trabajadores de la floricultura del Departamento de Cundinamarca, no se pudo evidenciar que la exposición a RUV natural ocasionara discromatopsia (Amado Zárate et al., 1997).

Otras lesiones oculares son atribuidas a la exposición prolongada de RUV solar, como la generación de opacidades en el cristalino, es decir, cataratas que obstaculizan la capacidad visual hasta llegar a la ceguera cuando no es atendida a tiempo. Si bien no hay estudios disponibles que dimensionen la ocurrencia de cataratas en el país, sí hay encuestas recientes en países de América Latina que pueden servir como aproximación.

En un estudio participaron 30.544 personas mayores de 50 años de edad, procedentes de Argentina, Brasil, Cuba, Chile, Guatemala, México, Paraguay, Perú y Venezuela (Limburg et al, 2009). Los resultados indicaron una amplia variabilidad en la prevalencia de cataratas, en ocho de los nueve países fue la principal causa de ceguera y se observó mayor prevalencia entre las mujeres. El hecho de que Venezuela haya sido uno de los 2 países cuya muestra tuvo representatividad nacional, sugiere que la prevalencia global estimada de ceguera de 1,9 (IC95% = 1.4-2.3) podría ser parecida al valor esperado promedio en Colombia, dada la similitud con la realidad contextual entre ambos países.

Otra encuesta realizada en 50 países, incluida Colombia, muestra que aunque hay un relativo alto número de oftalmólogos en el país realizando cirugías de cataratas, la tendencia global es que se llega al tratamiento quirúrgico cuando la agudeza visual está bastante afectada (Shah et al, 2011). Este tipo de desigualdades ya había sido descrita con datos del estudio mundial de carga de la enfermedad (Ono et al, 2010).

De otro lado, también es posible que las exposiciones frecuentes a RUV causen la fotosensibilización de la conjuntiva, provocando reacciones alérgicas que inflaman el tejido ocular dando origen a la conjuntivitis actínica. En un estudio realizado en el Departamento de Cundinamarca, se seleccionaron 3 comunidades (incluyendo a Bogotá) en las que se monitoreó a lo largo de un año la prevalencia de conjuntivitis actínica y la dosis de RUV (en J/m<sup>2</sup>). Los resultados obtenidos, indican que la prevalencia de conjuntivitis actínica aumenta conforme lo hace la altitud del sitio (Pérez Mogollón & Bohórquez-Ballén, 2007).

**Cáncer de piel.** El cáncer de piel del tipo no melanocítico es el más común de los carcinomas dermatológicos que padecen las personas de piel blanca en el mundo (Armstrong & Kricger, 1995). Este tipo se subdivide a su vez en carcinoma epidermoide y en carcinoma basocelular, este último de mayor incidencia respecto al primero. El carcinoma basocelular se origina en las células de la capa basal de la epidermis incluyendo a los folículos pilosebáceos. En Colombia se ha observado un incremento constante en la incidencia de carcinoma basocelular desde 2003, el cual, de mantenerse esta tendencia y las condiciones actuales, se estima que podría quintuplicarse para el año 2020, alcanzando preocupantes niveles de 102 casos por cada 100.000 habitantes (Sánchez et al, 2011). Sin embargo, al parecer la baja tasa de mortalidad del cáncer de piel ha sido un obstáculo para llamar la atención de las autoridades sanitarias, a pesar de representar una carga para la salud pública debido a los costos que genera la atención de cada paciente. Los mayores riesgos asociados a padecer carcinoma basocelular son la exposición a RUV y el fototipo de piel de las personas expuestas, aunque en este último es importante manejar un sistema de clasificación apropiado al tipo de población estudiada (Sanclemente et al, 2008).

En un estudio de casos y controles con 406 participantes, Sánchez et al. (2012) identificaron factores de riesgo asociados al carcinoma basocelular en pacientes del Centro Nacional de Dermatología de Colombia, ubicado en la capital del país. Cerca de la mitad de los casos del estudio había desarrollado el carcinoma en nariz y mejilla principalmente. Asimismo, se determinó que los fototipos I al III son los factores de riesgo mayor comparado con los fototipos del IV al VI (es decir, la asociación es mayor cuando la sensibilidad cutánea a la RUV también es mayor). De igual forma, el tener antecedentes familiares de cáncer de piel, antecedentes de queratosis y conjuntivitis actínicas y haber experimentado al menos 10 quemaduras solares en la vida también fueron identificados como factores de riesgo. Otros factores identificados relacionados con los llamados “estilos de vida”, como vivir en el área rural, practicar deporte al aire libre y no utilizar sombrero durante la infancia.

La ubicuidad de estos factores hace pensar que el problema de cáncer de piel puede estar presente en otras partes del país, sobre todo en aquellos lugares con IUUV mayores a los observados en Bogotá; en Medellín también existen registros en el Hospital Universitario San Vicente de Paul que indican que la principal causa de consulta dermatológica es por cáncer de piel (Sanclemente et al, 2008).

De otro lado, el melanoma es un cáncer de piel con una incidencia menor que el carcinoma basal pero con una mortalidad mayor, representando a nivel mundial hasta el 75% de todas las muertes por cáncer cutáneo (Parkin et al, 2005). Aunque se tienen registros de que la incidencia de melanoma es ligeramente mayor en mujeres que en hombres, la mortalidad es más alta en estos últimos. De acuerdo al Registro de Cáncer de Cali, la incidencia promedio anual de melanoma aumentó de 1,0 a 3,2 en mujeres durante el periodo de 1966 a 2007, mientras que para el mismo periodo, en hombres el aumento fue de 1,6 a 3,5 (Schmerling et al, 2011). Entre los factores de riesgo de melanoma que se han determinado, algunos son similares a los asociados con carcinoma basocelular (ancestros europeos, piel y ojos claros, cabello rubio o pelirrojo, exposición frecuente a luz solar e historia de varias quemaduras solares), pero además se encuentran la presencia de pecas, nevos melanocíticos e historia familiar de melanoma. En un estudio retrospectivo realizado en el Departamento de Caldas, se encontró que 2/3 de los pacientes con melanoma eran residentes de zonas urbanas, mientras que el tercio restante provenía del área rural (Mesa et al, 2008).

Los registros de mortalidad del DANE permiten tener una panorámica de la presencia de enfermedades reconocidas y potencialmente asociadas con la exposición a radiaciones no ionizantes, tal cual se aprecia en la siguiente tabla:

**Tabla 6.13.** Casos de muerte por melanoma y otros tumores malignos de la piel en Colombia durante 2009 y 2010.

Departamento	2009			2010		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Bogotá	115	62	53	99	51	48
Antioquia	111	66	45	86	42	44
Valle del Cauca	74	27	47	80	45	35
Santander	34	18	16	47	25	22
Cundinamarca	31	18	13	48	28	20
Atlántico	26	12	14	26	15	11
Tolima	26	17	9	31	15	16
Norte de Santander	21	12	9	20	7	13
Nariño	20	6	14	18	9	9
Caldas	17	7	10	23	13	10
Cauca	17	9	8	12	4	8
Huila	17	12	5	24	13	11
Magdalena	17	11	6	6	2	4
Risaralda	16	11	5	16	9	7
Boyacá	15	6	9	31	14	17
Córdoba	14	9	5	7	3	4
Bolívar	10	6	4	19	9	10
Cesar	9	4	5	6	2	4
Quindío	9	8	1	10	8	2
Sucre	6	5	1	3	2	1
Meta	5	1	4	15	7	8
Putumayo	5	2	3	0	0	0
Caquetá	4	4	0	6	4	2
Arauca	4	1	3	4	3	1
La Guajira	3	1	2	2	1	1
Casanare	3	1	2	7	3	4
Guaviare	2	2	0	1	1	0
Choco	0	0	0	4	1	3
San Andrés y Providencia	0	0	0	1	1	0
Amazonas	0	0	0	0	0	0
Guainía	0	0	0	0	0	0
Vaupés	0	0	0	0	0	0
Vichada	0	0	0	0	0	0

**Fuente:** Adaptación del autor.

\*Datos tomados de la información proporcionada por el Ministerio de Salud para el presente estudio.

Los RIPS también muestran que las anteriores causas de muerte, junto a las cataratas, melanoma y carcinoma basocelular son motivos de consulta en el sistema de salud colombiano, como se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 6.14.** Consultas por enfermedades asociadas con la exposición a RUV en Colombia durante 2010 y 2011.

Departamento	Cataratas	Melanoma	Carcinoma basocelular
Antioquia	245	18	16
Bogotá	1216	50	99
Bolívar	94	0	2
Boyacá	5	3	3
Caldas	20	0	1
Caquetá	8	0	0
Cauca	19	1	0
Cesar	1	0	0
Cundinamarca	32	9	8
Choco	0	0	0
Huila	26	0	2
La Guajira	1	0	0
Magdalena	21	3	2
Meta	43	1	3
Nariño	1	2	1
Norte de Santander	7	4	2
Quindío	22	1	2
Risaralda	41	4	3
Santander	142	3	7
Sucre	7	1	0
Tolima	33	2	8
Valle del Cauca	128	23	42
Vaupés	0	0	0
Atlántico	278	0	8
Córdoba	28	2	3
Arauca	5	0	0
Amazonas	1	0	0

**Fuente:** Adaptación del autor.

\*Datos tomados de la información proporcionada por el Ministerio de Salud para el presente estudio.



Un estudio ecológico con datos de 45 países alrededor del mundo, entre los que no se incluyó Colombia, determinó los tipos de radiaciones ultravioleta que se relacionan más con la mortalidad por melanoma. Los resultados, después de ajustar por el ozono estratosférico, la latitud y la pigmentación de la piel mayoritaria en cada país, mostraron que la mortalidad por melanoma se asocia significativamente con la radiación UVA entre hombres y una tendencia similar no significativa entre mujeres (Garland et al., 2003). Estos hallazgos tienen especial importancia para Colombia dado que el país tiene una exposición similar a la de los países que participaron en el estudio y tuvieron los mayores valores de radiaciones ultravioleta A.

## 7. CONCLUSIONES

Este primer diagnóstico nacional de salud ambiental representa una valiosa herramienta de información que se constituye en la fuente más completa y resumida de información sobre salud humana y agentes ambientales en agua, aire, residuos sólidos y peligrosos, sustancias tóxicas y radiaciones no ionizantes en Colombia.

El primer hallazgo de este informe es que Colombia presenta un perfil mixto en relación a las exposiciones ambientales. Por un lado existe contaminación nociva para la salud humana originada en actividades plenamente reconocidas; en esta categoría entran el inadecuado manejo de basuras, la contaminación del agua, del aire y actividades como la minería, la industria y la agricultura. Esto se acompaña de las exposiciones propias del país, dada su localización geográfica que tiene en el entorno mundial; es así como la radiación ultravioleta y sus efectos nocivos que tienen presencia "natural" en el perfil epidemiológico nacional.

De acuerdo con Smith y Ezzati (2005) este tipo de perfil donde hay superposición de exposición a contaminantes genera tres posibles tipos de interacciones. La primera corresponde a la aparición de nuevos riesgos, como es el caso de sustancias tóxicas presentes en basureros de desechos sólidos (Majumdar y Srivastava, 2012); esta mezcla de contaminantes puede tener efectos sobre la salud muy diferentes a la simple sumatoria de efectos de cada agente contaminante. Una segunda interacción es la transferencia de riesgos, donde los intentos de controlar un agente conllevan a generar exposiciones a nuevos agentes. El ejemplo más común es el uso de plaguicidas contaminantes para controlar enfermedades transmitidas por vectores, donde se cambia de un perfil infeccioso a un perfil con intoxicaciones agudas y efectos adversos de aparición tardía. La última forma de interacción es el sinergismo de riesgos, en la que la exposición a un agente incrementa la susceptibilidad ante otro contaminante; esto se presenta en situaciones en las comunidades habitan con pobres condiciones sanitarias y exponerse a sustancias químicas (Nweke y Sanders, 2009), lo cual parece ser frecuente en Colombia. Si bien, en este informe se pudieron evidenciar algunas de estas interacciones, es un tema que amerita un estudio más detallado y está fuera del alcance de este informe.

## 7.1. Perfiles regionales de salud ambiental

Pese a las limitaciones de este informe, fue posible identificar unos perfiles generales de contaminación ambiental y efectos sobre la salud, que conllevan inherente subjetividad dado que no hay suficiente evidencia disponible. Un resumen esquemático se encuentra en la siguiente tabla, donde el color verde representa que es mínima la problemática y rojo, donde es de un nivel muy alto (por exposición muy alta o muy alto riesgo de efectos); en un nivel intermedio y decreciente entre los dos polos anteriores se encuentran el color naranja y amarillo, que sirven para representar exposición o riesgo alto y exposición o riesgo intermedio, respectivamente.

**Tabla 7.1.** Perfiles de salud ambiental en las diversas regiones del país.

Región	Desechos sólidos y peligrosos	Agua contaminada	Aire contaminado	Sustancias tóxicas	Radiaciones no ionizantes
Atlántica	Red	Red	Red	Red	Ambar
Oriental	Red	Ambar	Ambar	Red	Ambar
Central	Ambar	Ambar	Ambar	Red	Ambar
Pacífica (sin Valle)	Red	Red	Ambar	Red	Ambar
Bogotá	Red	Ambar	Red	Red	Red
Antioquia	Ambar	Ambar	Red	Red	Red
Valle del Cauca	Red	Ambar	Red	Red	Red
San Andrés y Providencia	Ambar	Ambar	Ambar	Ambar	Ambar
Orinoquía y Amazonía	Ambar	Ambar	Ambar	Red	Ambar

**Nota:** Fuente: El autor

Como se puede apreciar, ninguna región del país puede considerarse libre de los efectos adversos del ambiente evaluados en este informe. El análisis sugiere que la región Atlántica, Bogotá, Antioquia y el Valle del Cauca son lugares que concentran la exposición a agentes ambientales de mayor número de individuos, con efectos nocivos para la salud. De manera contraria San Andrés y Providencia, la Orinoquía y la Amazonia son los que menos problemas de salud ambiental tienen, aunque esto no quiere decir que no existan dentro de estas regiones zonas puntuales contaminadas que requieren análisis individualizados.

## 7.2. Morbilidad y mortalidad asociada a factores ambientales

Los perfiles generales arriba esbozados no necesariamente se pueden correlacionar con los perfiles epidemiológicos, expresados en términos de morbilidad y mortalidad. Esto es consecuencia de la multicausalidad inherente a las enfermedades, y que la importancia de las enfermedades ambientales no radica en su alta ocurrencia, sino en su potencial prevención mediante acciones en el ambiente (uso de tecnología y otras acciones y políticas de salud pública), y no sobre cambios conductuales de los individuos (Prüss y Corvalán, 2006).

Sin embargo, dado que los desechos sólidos y la contaminación hídrica se asocian con enfermedades infecciosas, es posible tener algunas aproximaciones parciales. Por ejemplo, un estudio reciente clasifica el perfil epidemiológico de la morbilidad nacional en enfermedades transmisibles y no transmisibles en los últimos años (Bernal et al., 2012). Los resultados muestran que hay una tendencia global a disminuir las enfermedades transmisibles, aunque en los departamentos de Putumayo, Nariño, Bolívar, Norte de Santander, Atlántico, Meta y Valle del Cauca presentan tendencias contrarias. Esto resulta acorde con los perfiles expresados previamente. A continuación se puede ver esto con datos de mortalidad nacionales (tabla 7.2).

**Tabla 7.2.** Mortalidad en Colombia por enfermedades asociadas con agentes ambientales (2010).

Enfermedades	Casos		% del total nacional		
	Total	Hombres	Total	Hombres	Mujeres
Isquémicas del corazón	29.394	16.285	14,66	14,25	15,20
Cerebrovasculares	13.661	6.227	6,81	5,45	8,62
Crónicas de las vías respiratorias inferiores	11.226	5.967	5,60	5,22	6,10
Neumonía	6.475	3.334	3,23	2,92	3,64
Tumor maligno de tráquea, bronquios o pulmón	3.994	2.375	1,99	2,08	1,88
Otras del aparato respiratorio	2.894	1.513	1,44	1,32	1,60
Leucemia	1.678	893	0,84	0,78	0,91
Infecciosas intestinales	716	362	0,36	0,32	0,41
Melanoma y otros tumores malignos de la piel	655	339	0,33	0,30	0,37
Pulmonares debidas a agentes externos	513	260	0,26	0,23	0,29
Otros tumores malignos del aparato respiratorio	145	81	0,07	0,07	0,07
Por exposición al humo, fuego y llamas	88	59	0,04	0,05	0,03
Intoxicaciones	135	106	0,07	0,09	0,03
Exposición a electricidad, radiaciones, temperaturas y presiones extremas	243	224	0,12	0,20	0,02

Fuente: El autor.

Estos datos muestran un perfil similar al presentado en los dos estudios nacionales sobre costos asociados con la contaminación ambiental (Larsen, 2004; Golub y Sánchez,

2012), donde los altos costos son resultado de la alta ocurrencia de muertes por enfermedades cardíacas, cerebrovasculares y del aparato respiratorio; éstas suman conjuntamente cerca a una tercera parte del total nacional. Las otras enfermedades, en comparación, no representan sino una mínima fracción del total nacional.

Los retos que plantea una situación tan disímil, y que se distribuye diferencialmente entre los departamentos y municipios del país, son de una gran envergadura. Esto resulta más complejo ya que toda esta problemática ambiental se encuentra inmersa en una dinámica social compleja caracterizada por un conflicto armado (Fjeldsa et al., 2005) que dificulta la realización de estudios (Varona et al., 2010; Fernández et al., 2012), el acceso de las poblaciones afectadas a servicios de salud y las posibles intervenciones sobre el ambiente que minimicen su impacto negativo sobre la salud humana. Por ello, si bien se requieren directrices generales que guíen las políticas de salud ambiental, es importante que también se consideren las problemáticas específicas de regiones o micro-regiones. Las acciones desde otros sectores podrán tener impactos benéficos importantes; en especial el mejoramiento de las viviendas, con servicios sanitarios básicos adecuados, puede ser una de las acciones que mayor repercusión tendrá en inmediato y largo plazo en el perfil epidemiológico de morbilidad y mortalidad.

### **7.3. Problemas de calidad de los registros**

La experiencia durante la realización de este diagnóstico permitió conocer, en una perspectiva amplia, la disponibilidad de información disponible útil para conocer las condiciones de salud ambiental de la población colombiana. Es así como se consultaron bases de datos de registros oficiales de monitoreo ambiental y efectos en la salud, observando que si bien hay carencia de información, también es cierto que hay algunos registros de calidad que infortunadamente no han sido aprovechados de manera adecuada; esto último es el caso de las ENCV que incorporan algunas variables interesantes, lo cual contrasta con encuestas que tienen por objetivo primario el conocimiento de la salud de los colombianos, tal cual es el caso de la Encuesta Nacional de Demografía y Salud (ENDS). Dado que se realiza anualmente, éste es un espacio que podría ser utilizado a futuro para monitorear la relación entre salud y ambiente si se incorporan algunas preguntas. Sin embargo, debe promoverse que futuras ENDS indaguen explícitamente sobre los eventos centinela en salud ambiental tipo I más frecuentes (v.gr. intoxicaciones agudas), e incorporen información sobre fuentes de exposición ambiental en el hogar y la comunidad donde residen los participantes (eventos de salud ambiental tipo II).

También es importante mejorar la calidad de los datos de los sistemas de información disponibles. Por ejemplo, en el caso de las redes de monitoreo de la calidad del aire, la experiencia permitió identificar que las instituciones regionales que generan información ambiental tienen bases de datos que no corresponden plenamente a las que compila el ente nacional encargado. Ante esta dificultad, que impidió tener una aproximación autónoma del equipo consultor al análisis de la contaminación atmosférica en el país, se sugiere reforzar el SISAIRE (Sistema de Información Sobre Calidad del Aire) mediante la consulta a los entes

territoriales que tienen buenas experiencias en el manejo de datos. La flexibilidad y adaptación del ente nacional a los formatos manejados regionalmente es importante en este proceso de mejoría. Todo esto confluye para que el análisis de los registros disponibles haya sido mínimo, lo que conlleva a que el conocimiento sea superficial. Ante esto se recomienda que las instituciones que colectan esta información hagan alianzas estratégicas con centros de investigación que apoyen su análisis y difusión del conocimiento. Esto puede ser acompañado con indicadores simples que brinden información más oportuna y no requieran de análisis complejos realizados por especialistas; este debería ser uno de los retos del sistema de información en salud ambiental.

Un vacío importante de información surgió al evidenciar que el INVIMA (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos) indicó no tener registros de contaminantes presentes en alimentos, cosméticos y productos de aseo doméstico. Es posible que esto se presente debido a los altos costos requeridos para tener laboratorios con esta capacidad analítica, que si bien han ido en aumento en el país, aún son pocos los que pueden hacerlo. Si bien hay una limitada información en los estudios realizados por investigadores en diversas regiones del país, resulta prioritario contar con una fuente gubernamental confiable sobre esta temática, ya que los objetivos de las investigaciones no necesariamente siguen los lineamientos propios de la vigilancia de las sustancias a las que se puede exponer la población colombiana.

#### **7.4. Sub-registro de enfermedades de origen ambiental**

Los análisis de registros de consultas y mortalidad pusieron en evidencia la presencia de enfermedades de origen ambiental. Dado que existe un sub-registro, del cual algunas evidencias fueron identificadas para este informe, y la calidad de la información no consideramos apropiado calcular medidas de ocurrencia poblacional que podrían llevar a interpretaciones inapropiadas. Sin embargo, el hecho de permitir su identificación dentro del panorama epidemiológico nacional resulta ser un primer paso en el reconocimiento de su importancia. Esto contrasta con el último informe de costos asociados a problemas de salud ambiental, *Environmental health in Colombia. An economic assessment of health effects* (Golub E y Sánchez G, 2012) que sólo incluyó la contaminación atmosférica, intra y extramuros, y los problemas relacionados con el consumo de agua no potable y la inadecuada sanidad e higiene (Golub y Sánchez, 2012), asumiendo supuestos para la atribución causal del ambiente.

Respecto a los eventos centinela tipo I, o que más fácilmente se pueden relacionar causalmente con un agente ambiental, resaltan las intoxicaciones con plaguicidas y los eventos relacionados con el asbesto. En el primer caso es notoria la frecuencia de eventos registrados en el SIVIGILA, con una tendencia creciente; esto parece sugerir que el sistema está mejorando el cubrimiento nacional, pero que aún no se tiene una dimensión real de la problemática. A pesar de este sub-registro es prioritario actuar sobre este evento dada su morbilidad y mortalidad asociada. En relación con el asbesto, si bien no son muy numerosos los casos este tema es una clara evidencia de la problemática de la salud ambiental en el país; el asbesto es

un agente cancerígeno plenamente comprobado, por lo que organismos multinacionales han insistido en su prohibición total. Sin embargo, Colombia al tener una mina activa y presencia en talleres automotrices muestra la necesidad de reforzar los mecanismos legales para su control. La no prohibición pone al país en el mismo nivel que países con legislaciones ambientales mucho menos robustas.

Con relación a las otras enfermedades, dado su carácter multicausal, no fue posible en esta aproximación tener una estimación de su fracción atribuible al ambiente. Para este informe se asumió que tenían relación, o estaban participando en la red causal, con fundamento mayoritario en conocimiento científico internacional. Esto nuevamente contrasta con los dos estudios previos que han intentado aproximarse a los costos asociados con la contaminación ambiental partiendo de datos internacionales y múltiples supuestos (Larsen, 2004; Golub y Sánchez, 2012) de no claro cumplimiento en Colombia. Si bien ese tipo de supuestos pueden ser válidos desde una perspectiva exploratoria que permita acciones políticas, desde el punto de vista de la salud ambiental pueden mejorarse los datos para tener estimaciones más precisas. Por ejemplo, es bien conocido que los efectos de la contaminación atmosférica extramuros son variables dependiendo de la edad de los individuos (Bentayeb et al., 2012), la composición de las partículas, la susceptibilidad de los individuos expuestos (Anderson et al, 2012), entre otros.

Adicionalmente, si bien no eran objeto de este informe, es importante señalar que para conocer la real ocurrencia de enfermedades y muertes por agentes ambientales resulta importante incorporar otros determinantes. Al respecto se considera fundamental conocer los efectos de las radiaciones ionizantes, el cambio climático, la biodiversidad y trastornos psicológicos de origen ambiental. Estos dos últimos van en consonancia con aproximaciones modernas del concepto de salud, que sobrepasan la no enfermedad e incorporan la capacidad de adaptación y el auto-manejo (Huber et al., 2011), aunque son limitados al incorporar su determinación social, tal cual ha sido evidenciado en múltiples estudios y establecido en el informe de la comisión sobre determinantes sociales de la salud de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2008).

## **7.5. Recursos humanos en salud ambiental**

Un factor subyacente a los problemas previamente descritos es el relacionado con los recursos humanos capacitados en salud ambiental. Si bien existen carreras técnicas y profesionales que de una u otra manera se relacionan con la salud o el ambiente, no hay evidencias claras de las competencias en salud ambiental. Actualmente en el país sólo existe un programa de maestría en salud ocupacional y ambiental, del cual no hay graduados aún, y un programa de especialización. Esto permite afirmar que los estudios en salud ambiental están siendo realizados por profesionales con evidente interés en el tema, cuya formación de posgrado suele ser en alguna área de la salud pública, toxicología, ciencias ambientales o biológicas, principalmente.



Es importante que las instituciones donde se ofertan programas de salud incorporen decididamente el tema de salud ambiental dentro de sus currículos académicos. Especial énfasis debería hacerse en profesiones con enfoque preventivo, como son enfermería, nutrición y las ingenierías, entre otras, mientras se enseña el diagnóstico adecuado a profesionales de la medicina, odontología, enfermería, psicología, de las enfermedades y alteraciones de origen ambiental. Algo similar debería ocurrir en los programas de ingeniería, ciencias básicas o biológicas donde el ambiente y su relación con el bienestar humano resulta ser uno de sus objetivos.

## **7.6. Algunas recomendaciones**

En relación con los residuos sólidos y peligrosos, si bien es cierto que Colombia muestra significativos avances en la gestión de los residuos sólidos convencionales y peligrosos con respecto a otros países del continente, los estudios realizados por la SSPD y el DANE evidencian todavía las opciones de mejora respecto de la disposición final de los residuos sólidos en áreas rurales y municipios, en donde todavía se encuentran problemas por disposición inapropiada de residuos sólidos y falta de cobertura de los servicios de saneamiento básico. La inapropiada disposición de residuos sólidos afecta de manera directa o indirecta la calidad del recursos hídrico, litosférico y atmosférico, con relaciones sinérgicas para el deterioro del medio ambiente y por ende la salud de las comunidades.

Si bien se sabe que el país tiene importantes diferencias en el manejo de los residuos sólidos y peligrosos entre las zonas urbanas y las rurales, la evidencia disponible ha enfatizado su estudio en ambientes urbanos. Los estudios que se han realizado se focalizan en tres ciudades del país, Bogotá, Medellín y Cali, creando una incertidumbre en lo que puede estar aconteciendo con esta temática en las demás regiones del país. Lo que si queda más claro es que dado que esta fuente de contaminación se relaciona fuertemente con los hogares (Smith y Ezzati, 2005), los menores de 5 años de edad y las mujeres son los grupos más vulnerables a sus efectos. A estas características debe sumarse el nivel socioeconómico, pues fue evidente que los estratos socioeconómicos más bajos son los que viven cerca y/o tienen actividades laborales directamente con los residuos sólidos y peligrosos.

Respecto a la contaminación del aire, los estudios llevados a cabo en diferentes distritos y ciudades del país sugieren que los principales contaminantes atmosféricos que tienen mayor importancia son el material particulado (PST,  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) y el ozono. Estos han sido objeto de medición y modelación con el fin de establecer su comportamiento tanto diario como anual. Si bien las concentraciones diarias de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en pocas ocasiones exceden el valor norma establecido en la Resolución 610 de 2010 (MAVT, 2010), estos valores al ser comparados con las guías de la Organización Mundial de la Salud superarían los valores límite más frecuentemente. Este problema resulta más evidente ya que las concentraciones de estos mismos contaminantes superan la norma anual. Por ello es recomendable que Colombia adopte los valores internacionales.

Es indispensable que los sistemas de vigilancia de calidad del aire existentes en el territorio nacional integren dentro de sus equipos la medición de  $PM_{2.5}$ , ya que sus efectos en salud son mayores y las fuentes de emisión, representadas en el creciente parque automotor, producirán mayores concentraciones del mismo, razón por la cual deben vigilarse sus valores en el aire ambiente. Algo similar ocurre con el ozono, pues pocas estaciones tienen la capacidad de medirlo pese a que el parque automotor que utiliza gasolina y gas natural sigue en aumento.

Aunque no en todos los lugares se observan excedencias de la norma horaria u octohoraria de monóxido de carbono, es relevante continuar con su monitoreo, ya que sus efectos agudos son de mayor trascendencia comparado con otros contaminantes del aire. Es importante resaltar que el monóxido de carbono, como contaminante interno del aire, tiene una mayor trascendencia por el uso de gasodomésticos, que en muchas ocasiones son adoptados como combustibles que disminuyen la exposición a otros tipos de contaminantes del aire, pero que en este caso sino se cuenta con una buena ventilación de área o recinto, puede acarrear intoxicaciones que llevan rápidamente a la muerte. También debe continuarse el monitoreo de los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre en todos los sistemas de vigilancia de calidad del aire que así lo ameriten, sin importar que sus concentraciones sean muy bajas.

En aquellos lugares que no se disponga de los equipos para un monitoreo adecuado de los contaminantes, la cuantificación de lluvia ácida permitiría tener una línea base sobre posibles concentraciones del contaminante en el ambiente. Otras opciones son el uso de bioindicadores como líquenes u hongos que son sensibles a los efectos de los contaminantes del aire. La caracterización de los componentes del material particulado resulta ser una tarea promisoria en investigación y monitoreo. La presencia de metales pesados, compuestos aromáticos policíclicos, compuestos orgánicos volátiles, dioxinas y furanos, por ejemplo, permitirán conocer mejor el origen de los contaminantes y los efectos en la salud potencialmente asociados. Sin embargo, hay lugares con problemáticas específicas donde se hace necesario optimizar los recursos y reforzar los sistemas de vigilancia de calidad del aire; por ejemplo en la zona de Cerro Matoso se debe proveer a la autoridad ambiental de equipos para la medición de material particulado y a su vez montar las técnicas necesarias para el análisis de los filtros utilizados en el monitoreo, con el fin de establecer las concentraciones de metales pesados, como por ejemplo el níquel, que es explotado en esta zona del país. Estudios sobre esta temática son de gran importancia ya que en el país hay evidencia suficiente sobre efectos plenamente reconocidos internacionalmente, pero estos casos específicos aún requieren mayor investigación sobre sus efectos en salud.

La calidad del aire intramural está afectada por diferentes prácticas o procesos que se llevan a cabo dentro de la vivienda. Los factores clásicos de exposición tales como el humo de tabaco, el barrido y limpieza de polvo en casa, la humedad, el hacinamiento, el uso de biomasa para la cocción de alimentos y la quema de basura, han sido abordados, sin embargo aún siguen siendo factores importantes en la generación de enfermedades respiratorias. Por lo tanto se deben reforzar las actividades tendientes a mejorar estos aspectos e integrar en ellas las condiciones anexas a la vivienda, tales como el estado de las vías y el tipo de tráfico vehicular

que circula por las mismas, ya que son fuentes de emisiones de contaminantes del aire que se incorporan al ambiente intramural.

Es pertinente mencionar que la contaminación de aire y sus efectos en salud no pueden desligarse de las condiciones socioeconómicas de la población; es evidente que la gran mayoría de los grupos estudiados o que se localizan en zonas con altas concentraciones de contaminantes del aire, también registran condiciones de pobreza, donde una mala alimentación y la ausencia de infraestructura sanitaria interactúan en la ocurrencia de enfermedades respiratorias. Es por ello que para dar solución a esta problemática debe abordarse no solamente el control y vigilancia de las fuentes de emisión, sino que deben articularse con políticas de estado tendientes a mejorar las condiciones de vida de estas poblaciones.

Finalmente la información obtenida en los estudios realizados sobre los impactos en la salud de la contaminación ambiental debería ser tomada en cuenta en las políticas de otros sectores, debe ser una herramienta fundamental para la toma de decisiones en cuanto a políticas públicas y relacionadas con el control de contaminantes atmosféricos; un ejemplo de ello es lo evidenciado en cuanto a que los ciclistas que hacen uso de las ciclorutas, tienen una mayor exposición a las emisiones vehiculares anexas, lo cual se evidencia totalmente en Bogotá. Teniendo en cuenta que dentro de las políticas públicas de movilidad y de calidad de vida, se hace énfasis en el uso de estos corredores, es imperativo que se diseñen teniendo en cuenta estos hallazgos que finalmente se traducen en una menor carga de morbilidad que debe atender el sistema de salud del distrito.

Las sustancias tóxicas merecen especial atención en Colombia y, en gran medida, se asocian con dos actividades principales: la minería y la agricultura. En la minería se genera una gran cantidad de materiales que ocasionan por un lado, contaminación del aire por material particulado y, por otro lado, gran cantidad de sustancias tóxicas. Dada la importancia de la minería de metales preciosos, el mercurio usado para su extracción es el metal que más exposición directa e indirecta genera, tanto que se puede considerar un metal ubicuo en toda la geografía nacional. La exposición vía aérea se presenta cerca a las minas, mientras la exposición por ingesta de agua o alimentos resulta ser generalizada entre la población. El país debería asumir una posición que llegue a prohibir totalmente el uso de asbesto.

El uso de las sustancias tóxicas y sus efectos adversos deben entenderse desde una óptica amplia desde la salud pública. No es un asunto del número de casos, sino un tema de una enfermedad evitable y por lo tanto no debería existir un sólo caso. El asbesto debe ser entendido y considerado como un agente ambiental que debe dejar de ser usado, como lo han recomendado la Organización Mundial de la Salud y otros organismos internacionales. Su uso es evidencia del subdesarrollo del país, ya que un buen número de países con ingresos económicos altos y que en décadas pasadas vieron los efectos nocivos y carcinogénicos del asbesto, han decidido prohibirlo y usar tecnologías más limpias y saludables (Park et al 2012).

La agricultura es la otra actividad altamente relacionada con sustancias tóxicas; en este caso éstas corresponden a la amplia variedad de plaguicidas usados para combatir, insectos, hongos, hierbas u otras plagas. Dos facetas importantes deben incluirse para comprender la problemática de salud ambiental asociada con los plaguicidas; primero hay plaguicidas de alta toxicidad aguda que están ocasionando un elevado número de intoxicaciones y muertes evitables. Segundo, existe un amplio uso de plaguicidas prohibidos, principalmente organoclorados, que se siguen usando en las actividades agrícolas. Dado que su comercio es ilegal, es muy probable que haya comercio ilegal desde el exterior, por lo que se debería mejorar su control en zonas fronterizas.

El plomo es un metal que ha sido estudiado, pero que sigue teniendo uso en actividades informales que generan exposición paraocupacional, lo cual puede conllevar a efectos adversos en individuos especialmente susceptibles como los menores de edad. Las otras sustancias tóxicas si bien pueden presentar efectos tóxicos requieren estudios más específicos; en especial se sugiere una evaluación más detallada del arsénico, el cadmio y el cromo.

En relación a las radiaciones no ionizantes, es importante partir de la evidencia internacional que sugiere que el potencial cancerígeno de los CM es muy bajo; inclusive a altos niveles de exposición, aunque la ausencia completa de riesgo no ha podido ser probada. Por ello resulta inapropiado definir de manera racional una “distancia de seguridad” o un “nivel de exposición seguro”. Como medida de seguridad, es importante tener buenas prácticas de ingeniería para el aterrizaje cuidadoso de cercas, tuberías y otros objetos metálicos grandes en un CE intenso, para disminuir el riesgo de descargas accidentales.

Respecto a los efectos a corto plazo de corrientes inducidas mayores a 10 mA en ELF e inducción de calor con aumentos de temperatura superiores a 1° C por Rf o mW, de los cuales existe evidencia científica, no se encontraron estudios específicos realizados en Colombia. Esto es más complejo dada la historia natural de enfermedades como el cáncer, con largos periodos de latencia (incluso mayores a diez años) y dado el relativo poco tiempo que lleva el uso de la telefonía móvil, existe la duda acerca de los efectos a largo plazo. Afortunadamente las estaciones base de la telefonía móvil muestran que usan radiotransmisores de baja potencia para reducir las interferencias con otras instalaciones cercanas. Por ello las pocas mediciones reportan niveles de exposición a las ondas de radio de las estaciones base van desde el 0,002% al 2% de los niveles de exposición de las recomendaciones internacionales, dependiendo de una variedad de factores tales como la proximidad a la antena y las características del entorno. En general se debería propiciar que los operadores eviten el acceso público a zonas donde estén las antenas, colocándolas en los extremos de mástiles o en las azoteas de los edificios. De otro lado, la evidencia de cáncer asociado a las RUV y la alta exposición en casi todo el país requiere que se realicen campañas de prevención en poblaciones rurales y en menores de edad, principalmente, dado que son grupos vulnerables con poco uso de elementos de fotoprotección frente a la RUV. Las evidencias disponibles han mostrado la efectividad de este tipo de acciones (Sanclémente y Díaz, 2009).

Un hallazgo importante de este trabajo diagnóstico, es el señalar que si bien existen estudios de diversas características del ambiente que pueden afectar la salud humana realizados principalmente por ingenieros y químicos, existe un número muy limitado de estudios de salud ambiental, entendidos como aquellos que directamente relacionan las exposiciones a agentes ambientales y los desenlaces en la salud humana. Esto puede ser debido al escaso número de personal especializado en el área y de programas académicos nacionales (solo se tiene conocimiento de una especialidad en salud ambiental, y una maestría en salud ocupacional y ambiental, en dos universidades colombianas). Gran parte de los estudios en salud ambiental es realizada por un limitado número de químicos o médicos, principalmente, con estudios de posgrado en salud pública (generalmente epidemiología o salud ocupacional) o toxicología. Sin embargo, diversas temáticas aún no son de interés para los investigadores colombianos. Esto es algo similar a lo que ocurre en el campo de la salud ocupacional, donde pese a existir muchos programas de posgrado en el área, aún hay insuficiencia en las áreas de higiene y seguridad industrial (Varona et al., 2012). Esto no resulta extraño dado que la salud ocupacional es una sub-especialidad de la salud ambiental.

Una tendencia evidente es que la mayor parte de las investigaciones de mayor nivel se realizan sobre sustancias tóxicas y contaminación atmosférica extra-muros; las que abordan los temas de residuos sólidos o peligrosos, y sobre contaminación del agua no son frecuentes, y más bien se encuentran relacionados con las condiciones de pobreza. Es así que, por ejemplo, la descripción del manejo de desechos suele convertirse en una variable que ayuda a describir las condiciones socioeconómicas. Al respecto, si bien la población económicamente más desfavorecida es la más afectada resulta importante para la salud ambiental hacer mayor claridad sobre este punto porque la forma en que se lleva la investigación puede incluso tener tintes de estigmatización; se recomienda que, en lo posible, se busque identificar si las condiciones ambientales favorecen la pobreza o al revés. Finalmente, la investigación sobre las radiaciones no ionizantes resulta ser la menos desarrollada en el país, pese a la creciente preocupación de la sociedad civil sobre la temática.

La revisión realizada también permitió identificar un importante número de estudios que han aportado al acervo mundial de conocimiento sobre agentes ambientales de los que nos son claros los efectos adversos. Quizá el mejor ejemplo de esto son los estudios sobre plaguicidas, donde los estudios nacionales están en concordancia con lo reportado en otros países. Esto sin duda muestra que en el país es posible tener estudios innovadores de calidad internacional. Sin embargo, es prioritario actuar sobre problemáticas ambientales que afectan la salud humana y ya hay suficiente evidencia científica al respecto. En estos casos la investigación epidemiológica sobre efectos en la salud, si bien es importante, recomendamos la realización de intervenciones que tengan como objetivo disminuir las emisiones de contaminantes (v.gr. intervenciones de higiene ambiental) y acciones comunitarias que conlleven a disminuir la exposición. Tal es el caso del mercurio del cual se conocen efectos adversos, y que si se quiere saber el impacto sobre poblaciones específicas es posible simularlo mediante métodos reconocidos como el de evaluación de riesgos (Hallenbeck, 1993). Esto es importante porque los efectos nocivos en muchas ocasiones tardan tiempo en aparecer y los métodos usados, en

muchos casos no llegan a conclusiones inequívocas y deben ser contextualizadas como parte del acervo científico sobre el tema.

Otro tipo de investigaciones importantes de realizar a futuro son aquellos que exploren la presencia de otros contaminantes aun no plenamente estudiados en Colombia, y los que evalúen el efecto conjunto de varios contaminantes al mismo tiempo. En esta categoría se incluyen los estudios de mezclas de sustancias y los que evalúan los efectos sinérgicos de diversos tipos de contaminantes, dependiendo de condiciones sociales, nutricionales, genéticas, entre otras. Este tipo de estudios serán muy útiles para la realidad nacional, además de que aportarán al conocimiento científico dado que no son muchos los estudios de este tipo disponibles.

En conclusión, este diagnóstico nacional de salud ambiental pone en evidencia la importancia del ambiente físico como determinante de la salud individual y poblacional en Colombia. Las condiciones ambientales del país en conjunto con las problemáticas sociales se entremezclan, convirtiendo al país en un claro ejemplo de cómo el ambiente físico y social se interrelacionan afectando la salud humana (Donohoe, 2003). Colombia requiere más estudios utilizando los sistemas de información disponible y con datos recolectados *ad hoc*, para poder tener un diagnóstico nacional de salud ambiental más completo. En este proceso debería evitarse que quienes contaminen se conviertan en quienes midan y evalúan si los niveles de contaminación generados están por debajo de los límites permisibles; los estudios autónomos realizados por investigadores idóneos resulta una prioridad para poder salvaguardar la salud de los colombianos. Por ello la formación de personal especializado en salud ambiental es urgente para poder cubrir la amplia demanda de las comunidades afectadas.

## REFERENCIAS

- [AACAP] American academy for Child and adolescent psychiatry. Lead Exposure in Children Affects Brain and Behavior. Monografía en Internet. Consultado: 10 Diciembre 2012. Recuperado de: [http://www.aacap.org/galleries/FactsForFamilies/45\\_lead\\_exposure\\_in\\_children\\_affects\\_brain\\_and\\_behavior.pdf](http://www.aacap.org/galleries/FactsForFamilies/45_lead_exposure_in_children_affects_brain_and_behavior.pdf)
- [ALUNA] Aluna Consultores Ltda, investigación y desarrollo experimental en el campo de las ciencias sociales y las humanidades. Historia del reciclaje y los recicladores en Colombia. Estudio nacional del reciclaje y los recicladores. Bogotá: ALUNA;2001.
- [AMVA] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, [UNAL] Universidad Nacional de Colombia. Evaluar los niveles de contaminación del aire en las zonas urbanas del Valle de Aburrá mediante la operación de la Red De Monitoreo de la Calidad del Aire en El Valle de Aburrá (Convenio 538/2004). Informe. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá;2004.
- [AMVA] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, [UDEA] Universidad de Antioquia. Evaluación de los niveles de contaminación atmosférica en las zonas urbanas del Valle de Aburra. Caracterización y análisis de la contribución de fuentes de material particulado PM<sub>2.5</sub> en tres (3) zonas del Valle de Aburrá (Convenio 5434 de 2008). Investigación. Medellín;2010.
- [AMVA] Área Metropolitana del Valle de Aburrá; [UPB] Universidad Pontificia Bolivariana. Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá, con georeferenciación de estas (convenio 323/2005). Medellín: AMVA;2005a.
- [ASOMOVIL] Asociación de la Industria Móvil de Colombia. Informe telefonía móvil de Colombia. Bogotá: ASOMOVIL;2012.
- [ATSDR] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Resúmenes de Salud pública. Recuperado de: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs5.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html); 2008.
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Interaction profile for: benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX). Retrieved from <http://www.atsdr.cdc.gov/interactionprofiles/ip-btex/ip05.pdf> ;2004.
- [BIRF] Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Programa de Gestión Urbana, [MINSALUD] Ministerio de Salud de Colombia, [MINAMBIENTE] Ministerio de Ambiente de Colombia, & [OPS] Organización Panamericana de la Salud. Análisis sectorial de residuos sólidos en Colombia. Washington: BIRF, MINSALUD, MINAMBIENTE, 6 OPS;1996.
- [CDMB] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Informe 2011 del Sistema de Vigilancia de calidad del aire del Área Metropolitana de Bucaramanga. Informe anual. Bucaramanga: CDMB;2012.



- [CEPAL] Comisión Económica para América Latina. Panorama social de América Latina, 1998. Documento informativo. Santiago de Chile: CEPAL;1999.
- [CNUMAD] Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo. Programa de acción de las naciones unidas de Rio. Sección II, Capítulo 21, Parágrafo 21.7. Rio de Janeiro: CNUMAD;1997.
- [CORANTIOQUIA] Corporación Autónoma Regional del Centro de Anquioquia, [UPB] Universidad Pontificia Bolivariana. Evaluación de la Calidad del aire en zonas rurales del Valle de Aburrá. Medellín: CORANTIOQUIA/UPB;2005b.
- [CORPOCESAR] Corporación Autónoma Regional del Cesar/ UIS Universidad Industrial de Santander. Informe de operación del sistema especial de vigilancia de calidad de aire en la zona carbonífera del departamento del Cesar, año 2011. Informe Mensual. La Jagua de Ibirico;2012.
- [CRT] Comisión de Regulación de Telecomunicaciones. Proyecto estudio de los límites de la exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno. Informe Final. Bogotá DC: Pontificia Universidad Javeriana;2002.
- [CVC] Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2009. Tercer informe de avance Convenio 041 de 2008 CVC - ASOHAZMAT, Cali: s.n.
- [DAGMA] Departamento Administrativo de Gestión Medio Ambiente. Informe anual de calidad del aire estaciones: Escuela República de Argentina y Éxito la Flora, periodo Enero – Noviembre 2011. Santiago de Cali: DAGMA;2012.
- [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas en Colombia. Encuesta Nacional de Calidad de Vida. Encuesta Nacional. Bogotá DC: DANE;2011.
- [EMF-PORTAL] [Information on the Effects of Electromagnetic Fields](http://www.emf-portal.de/). Recuperado de: <http://www.emf-portal.de/>; 2013.
- [EPA] Establecimiento Público Ambiental Cartagena. Diagnóstico de la calidad del aire y diseño del sistema de vigilancia de calidad del aire de la ciudad de Cartagena de Indias DT y C, Departamento de Bolívar. Informe de gestión. Cartagena: EPA;2010.
- [EPA] United States Environmental Protection Agency. Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures. Informe. Washington DC: EPA;2008.
- [EPA] United States Environmental Protection Agency. Salud ambiental infantil. Informe 2006. Washington DC: EPA; 2006.
- [FAO]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Código Internacional de Conducta para el uso de plaguicidas. Publicación. Roma: FAO;1998.
- [FOSCAL] Fundación Oftalmológica de Santander - Clínica Carlos Ardila Lulle. Proyecto de investigación de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de poblaciones sensibles con el propósito de determinar alertas epidemiológicas-ambientales y orientar los planes de mejoramiento de la calidad del aire a mediano y largo plazo en la ciudad de Bucaramanga (Fase II). Convenio especial de cooperación científica y tecnológica No. 033 de 2009 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Investigación. Bucaramanga, Santander:FOSCAL;2010.

- [ICNIRP] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health physics;1998;74:494-522.
- [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Informe. Bogotá DC: IDEAM; 2011.
- [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Estudio Nacional del Agua 2010. Documento final. Bogotá DC: IDEAM;2010a.
- [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe del estado del medio ambiente y de los recursos naturales renovables. Informe. Bogotá DC: IDEAM;2010b.
- [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Atlas de radiación solar de Colombia. Producto de Información: Bogotá DC: IDEAM; Recuperado de <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/019649.htm>;2005.
- [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007 – 2010. Informe. Bogotá DC: IDEAM;2012a.
- [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire, 2007. Informe Actualizado Bogotá DC:2012b.
- [IIRB-AvH] Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Informe sobre el estado de los recursos naturales renovables y del ambiente, componente de biodiversidad, 2010-2011. Bogotá: IIRB-AvH; 2012.
- [INGEOMINAS] Instituto Colombiano de Geología y Minería. Visita a la mina de mercurio La Esperanza, municipio de Aranzazu, departamento de Caldas. Investigación. INGEOMINAS;1960.
- [INGEOMINAS] Instituto Colombiano de Geología y Minería. Mina de mercurio La Esperanza, municipio de Aranzazu, departamento de Caldas. Investigación. Wokittel R. INGEOMINAS;1958.
- [INGEOMINAS] Instituto Colombiano de Geología y Minería. Relación contratos de concesión dirección servicio minero 2009. Recuperado de: <http://www.ingominas.gov.co/Mineria/Titulos-Mineros.aspx>;2009.
- [INS] Instituto Nacional de Salud. Estado de la vigilancia de la calidad de agua para consumo humano en Colombia 2007-2011. Bogotá DC: Instituto Nacional de Salud;2012.
- [INS] Instituto Nacional de Salud. SIVIGILA. Recuperado de: <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/sivigila/Paginas/sivigila.aspx;2013>
- [INS] Instituto Nacional de Salud. Vigilancia en red de Salmonella spp., Shigella spp. y Vibrio cholerae. Colombia: Instituto Nacional de Salud - Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA);2007.
- [INS] Instituto Nacional del Salud. Plaguicidas, organofosforados, carbamatos en sangre y agua – picc-veo. Programa de evaluación. <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Paginas/plaguicidas-organofosforados-y-carbamatos-en-sangre-y-agua-picc-veo.aspx;2013>

- [MAVDT] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plástico, vidrio, papel y cartón. Informe. Bogotá DC: MAVDT;2008.
- [MAVDT] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política de Prevención y control de la Contaminación del Aire. Documento final. Bogotá DC: MAVDT;2010a.
- [MAVDT] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución número 610 del 24 de marzo de 2010. [En línea]. Colombia. Recuperado de:[http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/resolucion/res\\_0610\\_240310.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/resolucion/res_0610_240310.pdf) ;2010b.
- [MAVT] Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Desarrollo Territorial; Ministerio de Minas y Energía. Índices de radiación UV para Colombia;2010.
- [MINMINAS] Ministerio de Minas y Energía/República de Colombia. Boletín estadístico de minas y energía 1990 - 2010. Bogotá: MINMINAS;2011.
- [MINMINAS] Ministerio de Minas y Energía/República de Colombia. Reglamento Técnico para Instalaciones Eléctricas. Bogotá: MINMINAS;2005.
- [MINSALUD] Ministerio de Salud y Protección Social. Informe de enfermedad profesional en Colombia años 2001-2002 “Una oportunidad para la prevención”. Informe. Bogotá: MINSALUD;2004.
- [MINSALUD] Ministerio de Salud y Protección Social. Primera Encuesta Nacional de Condiciones de Salud y Trabajo en el Sistema General de Riesgos Profesionales. Informe. Bogotá: MINSALUD;2007.
- [MINTIC] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Radiaciones electromagnéticas, salud pública e instalación de infraestructura de telecomunicaciones. Reporte Técnico. Bogotá: MINTIC;2013.
- [OAS/CICAD] Inter-American Commission for Drug Control of the Organization for American States. The toxicology of chemicals used in the production and refining of cocaine and heroin: A tier-one assessment. Technical report. Washington DC: OAS/CICAD; 2004.
- [OMS] Organización Mundial de la Salud. Estadísticas Sanitarias Mundiales 2012. Ginebra: OMS;2012a.
- [OMS] Organización Mundial de la Salud. Guías para calidad del aire. Ginebra: OMS;2004.
- [OMS] Organización Mundial de la Salud. Hepatitis A. Nota descriptiva. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs328/es/index.html>;2012b.
- [OPS] Organización Panamericana de la Salud. Evaluación de los efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe. Washington DC: OPS;2005b.
- [OPS] Organización Panamericana de la Salud. Guías de Calidad del Aire Actualización Mundial 2005. Washington DC: OPS;2005a.
- [OPS] Organización Panamericana para la Salud. Indicadores básicos 2011: situación de salud en Colombia. Washington, DC: 2012a.
- [OPS] Organización Panamericana para la Salud. Sobre Tracoma. Recuperado de: [http://new.paho.org/col/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1478&Itemid=100017](http://new.paho.org/col/index.php?option=com_content&view=article&id=1478&Itemid=100017);2012b.

- [PNUMA] Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Estudio sobre los posibles efectos en la salud humana y el medio ambiente en América Latina y el Caribe del comercio de productos que contienen cadmio, plomo y mercurio. Informe. México: PNUMA;2010.
- [PROFAMILIA] Asociación Probienestar de la Familia Colombiana. Encuesta Nacional de Demografía y Salud. Resultados. Bogotá, DC: PROFAMILIA;2010.
- [SDA] Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (2010-2020). Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá DC;2010.
- [SDA] Secretaría Distrital de Ambiente. Informe Anual Calidad del Aire de Bogotá. Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá;2012.
- [SIVIGILA] Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública. Estadísticas. Recuperado de <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/sivigila/Estadisticas%20SIVIGILA/Forms/public.aspx> ; 2010.
- [SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2009.
- [SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2011.
- [UDEM] Universidad de Medellín, & [UDEA] Universidad de Antioquia. Consultoría para la evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular de la ciudad de Medellín. Informe 1. contrato nº 470018171 - 470018172 de 2005. Medellín: UDEM/UDEA;2006.
- [ULS] Universidad de la Salle. Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas (Contrato 2062394). Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT);2008.
- [UN] United Nations. Sustainable Development in Latin America and the Caribbean:Trends, Progress, and Challenges in Sustainable Consumption and Production, Mining, Transport, Chemicals and Waste Management. Report to the eighteenth Session of the Commission on Sustainable Development of the United Nations. Santiago de Chile: UN;2010.
- [UNAL-MED] Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Evaluar y monitorear la calidad del aire en el Valle de Aburrá: Partículas, gases y meteorología, Abril de 2011 a mayo de 2012. Informe Final. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá;2012a.
- [UNAL-MED] Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Evaluar y monitorear la calidad del aire en el Valle de Aburrá con medidores pasivos (Contrato interadministrativo No. Cd 185 de 2011). Medellín: Subdirección Ambiental, Área Metropolitana del Valle de Aburrá;2012b.
- [UN-HABITAT] United Nations Human Settlements Programme. Solid waste management in the world's cities. Water and sanitation in the world's cities 2010. London: UN HABITAT;2010.
- [UNIANDES] Concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire en inmediaciones de una vía de transporte público colectivo. Investigación. Bogotá DC: UNIANDES;2007.
- [UNIANDES] Universidad de los Andes. Caracterización de la exposición a contaminantes atmosféricos en ambientes intramurales. Contrato de consultoría No. 867 MAVDT. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial;2010.

- [UNIANDES] Universidad de los Andes. Evaluación de la actualización de los estándares de emisión normativos para vehículos de carga. Investigación. Bogotá DC: UNIANDES;2013.
- [UNICEF] United Nations Children's Fund, & [WHO] World Health Organization. Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation. New York: UNICEF, Geneva: WHO;2008.
- [UNIMAGDALENA] Universidad de Magdalena. Efectos sobre la salud por la contaminación del aire proveniente del sector portuario carbonífero (Drummond, Carbosan y Prodeco de Santa Marta). Convenio No. 85 Ministerio de Ambiente. Investigación. Santa Marta: UNIMAGDALENA;2010.
- [UNISALLE] Universidad de la Salle. Evaluación de la contaminación por material particulado menor a 10  $\mu\text{m}$  a nivel extradomiciliario, intradomiciliario y la exposición personal al mismo contaminante, proyecto piloto en las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón. Investigación. Bogotá DC: UNISALLE;2008.
- [UNIVALLE] Universidad del Valle. Evaluación de los efectos sobre la salud debido a la contaminación del aire proveniente del sector industrial de ACOPI – Yumbo. Proyecto piloto en el municipio de Cali. Investigación. Cali: UNIVALLE;2009.
- [UPB] Pontificia Universidad Bolivariana Sede Medellín. Lineamientos Técnicos para el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Informe. (Convenio 543 de 2008). Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá;2010.
- [UPB] Universidad Pontificia Bolivariana, [GIA] Grupo de investigaciones ambientales. Evaluación de la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista. Medellín:GIA;2006.
- [UPB] Universidad Pontificia Bolivariana. Estudio de la formación de contaminantes fotoquímicos mediante la modelización matemática y sus efectos en la salud (Contrato 340 de 2001). Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá;2001.
- [UPB] Universidad Pontificia Bolivariana. Identificación de episodios de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá (Contrato 1787 de 2002). Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2002.
- [UPME] Unidad de Planeación Minero Energética. Distritos Mineros: exportaciones e infraestructura de transporte. Informe. Bogotá DC: UPME;2005.
- [UPME] Unidad de Planeación Minero Energética. Noticias del sector. Recuperado de: <http://www1.upme.gov.co/index.php/servicios-de-informacion/noticias-del-sector/510-en-la-mineria-si-somos-potencia-afirmo-ministro-de-minas-y-energia-carlos-rodado.html>; 2010.
- [WHO] World Health Organization. Combating waterborne disease at the household level. Geneva: WHO Press; 2007.
- [WHO] World Health Organization. Commission on Social Determinants of Health. Closing the gap in a generation: health equity through action on the social determinants of health. Geneva: WHO;2008.
- [WHO] World Health Organization. Country profiles of environmental burden of disease.[On line] Retrieved from: [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/national/countryprofile/en/index.html](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/en/index.html) ;2009a.



- [WHO] World Health Organization. Database: outdoor air pollution in cities. [On line] Retrieved from:[http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en/;2012a](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/;2012a).
- [WHO] World Health Organization. Ecosystems and human well-being: Health Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment. Geneva: WHO;2005a.
- [WHO] World Health Organization. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Geneva: WHO Press;2009b.
- [WHO] World Health Organization. Global of Burden Diseases Report. Informe. Geneve: WHO;2002.
- [WHO] World Health Organization. Health and environment in sustainable development: Five years after the earth Summit. Executive Summary. Geneva: WHO;1997.
- [WHO] World Health Organization. World health statistics 2012. Geneva: WHO Press;2012b.
- Abraham N, Caicedo DM, & Mendez F. Sources of indoor airborne Cd and Pb in a cohort of pregnant women in Cali, Colombia. Memorias: 23rd annual conference of the International Society of Environmental Epidemiology (ISEE);2011b.
- Abrahams N, Filigrana PA, & Méndez F. Source apportionment of air pollution in an urban area influenced by local industries. 23<sup>rd</sup> Annual Conference of the International Society of Environmental Epidemiology: ISEE; 2011.
- Abrahams N, Lasso A, Filigrana P, et al. PM<sub>2.5</sub> and Heavy Metals Outdoor Concentrations at a School Near to an Industrial Zone in Cali, Colombia. Epidemiology Abstracts, 21<sup>st</sup> Annual Conference. Dublin, Ireland: ISEE;2009;20:S69-S70.
- Ackers ML, Quick RE, Drasbek CJ, Hutwagner L, & Tauxe RV. Are there national risk factors for epidemic cholera? The correlation between socioeconomic and demographic indices and cholera incidence in Latin America. International Journal of Epidemiology;1998;27:330-334.
- Acosta de Armas MM, & Montilla JX. Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluente del río Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad de La Salle; 2010.
- Acosta JP, & Castañeda KI. Determinación de las posibles relaciones entre trazas de metales pesados (Pb, Ni, Fe, Cr) encontrados en el material particulado PM<sub>10</sub> – PM<sub>2.5</sub> y las especies bacterianas presentes en el aire en las localidades de Tunjuelito, Kennedy y Puente Aranda [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle; 2011.
- Acurio G, Rossin A, Texeira PF, & Zepeda F. Diagnosis of municipal solid waste management in Latin America and the Caribbean Pan. Washington DC: [IDB] Inter-American Development Bank;1998.
- Agudelo C. Guía para la protección específica de la caries y la enfermedad gingival. Bogotá: Ministerio de salud y protección social, [POS] Plan obligatorio de salud; 2005.
- Agudelo S, Gomez L, Coronado X, Orozco A, Valencia CA, Restrepo LF, et al. Prevalencia de Parasitosis Intestinales y Factores Asociados en un Corregimiento de la Costa Atlántica Colombiana. Revista de Salud Pública;2008;10:633-642.
- Aguilar G, Juárez CA, Markowitz S, Hernández M, Sanchez FR, & Vázquez JH. Globalization and the transfer of hazardous industry: asbestos in Mexico, International Journal of Occupational and Environmental Health;2003;9:272-279.
- Aguilera M. Ciénaga de Ayapel: Riqueza en biodiversidad y recursos hídricos. Documento de trabajo. Cartagena de Indias: Banco de la República;2009.

- Aguzzi A, Virga C, & Ricco V. Riesgos en la práctica odontológica: Uso del Mercurio. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica; 2010;29:51-55
- Alarcón MA, Beltrán M, Cárdenas ML, & Campos MC. Recuento y determinación de viabilidad de Giardia spp. y Cryptosporidium spp. en aguas potables y residuales en la cuenca alta del río Bogotá. Biomédica;2005;25:353-365.
- Alavanja MC, Bonner MR. Occupational pesticide exposures and cancer risk: a review. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B Critical Reviews;2012;15:238-263.
- Albalak R, Frisancho AR, & Keeler GJ. Domestic biomass fuel combustion and chronic bronchitis in two Bolivian villages. Thorax;1999;54:1004-1008.
- Alonso D, Pineda P, Olivero J, et al. Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Environmental Pollution;2000;109:157-163.
- Alvarado B, Palau C, & Paba F. Informe sobre los yacimientos de asbesto de Nodrizal, Antioquia. Boletín Minas y Petróleo;1939:121-144:37-49.
- Alvarado BE, & Vásquez LR. Determinantes sociales, prácticas de alimentación y consecuencias nutricionales del parasitismo intestinal en niños de 7 a 18 meses de edad en Guapi, Cauca. Biomédica;2006;26:81.
- Álvarez HI, & Tamayo DA. Estudio sobre la intensidad del campo electro-magnético en el centro de la ciudad de Medellín. Radiaciones Electromagnéticas Medellín;2004;1:1-6.
- Álvarez R. Efectos del aprovechamiento de metales preciosos en Colombia: los metales pesados en las aguas continentales, estuarinas y marinas. Segundo congreso internacional sobre geología y minería en la ordenación del territorio y en el desarrollo, Universidad de Manizales. Revista Utrillas;2009;06:67-84.
- Álvarez S, Jessick A, Palacio J, & Kolok A. Methylmercury Concentrations in Six Fish Species from Two Colombian Rivers. Bulletin Environmental Contamination Toxicology;2012;88:65-68.
- Alvis N, Alvis L, & Orozco J. Costo Efectividad del Gas Natural Domiciliario como Tecnología Sanitaria en Localidades Rurales del Caribe Colombiano. Revista de salud pública 2008;10:537-549.
- Alvis N, Pérez B, Narvaez J, Velandia M, & De La Hoz F. Estimación del impacto de la infección por Hepatitis A en zonas urbanas de Colombia 2008: Un análisis a partir de datos secundarios. Revista médica de Chile;2010;138:994-999.
- Alzate LM. Intoxicación crónica con mercurio en mineros del oro y frecuencia de malformaciones congénitas, abortos y muertes perinatales en el municipio de Quinchía departamento de Risaralda [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;1996.
- Álzate LM. Intoxicación crónica con mercurio en mineros del oro y frecuencia de malformaciones congénitas, abortos y muertes perinatales en el municipio de Quinchía departamento de Risaralda [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;1996.
- Amarillo MF, & Pastrana E. Estudio de la calidad del aire al interior de los hogares en los sectores de Puente Aranda, Salazar Gómez y San Rafael en la localidad de Puente Aranda [Tesis]. Bogotá DC: Universidad de Salle;2005.
- Amaya ML, & Rueda M. Aislamiento e identificación de microorganismos en el aire como bioindicadores de la contaminación ambiental en zonas del área metropolitana del área de Bucaramanga [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;1999.



- Amórtegui FJ. Los campos electromagnéticos y la salud humana: Una controversia vigente. *Mundo Eléctrico*;2007;21:34-36.
- Anderson JO, Thundiyil JG, & Stolbach A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *Journal of Medical Toxicology*;2012;8:166-175.
- Angel VE, Franco L, Jaramillo JC, Medina LA, Ochoa LF, Velez AM, et al. Cryptosporidiosis en Medellín; prevalencia de *Cryptosporidium* en muestras fecales diarreicas en 6 laboratorios de Medellín: estudio de 10 casos. *Biomédica*;1985;5:53-61.
- Angulo J, Mahecha L, Yepes SA, Yepes AM, Bustamante G, & Jaramillo H. Quantitative and nutritional characterization of fruit and vegetable waste from marketplace: a potential use as bovine feedstuff?. *Journal of Environmental Management*;2010;95:203-209.
- Angulo LC, Huertas JI, & Restrepo GM. Caracterización de Partículas Suspendidas (PST) y Partículas Respirables (PM10) producidas en Áreas de Explotación Carbonífera a Cielo Abierto. *Información Tecnológica*;2011;22:23-34.
- Antonovsky A. Health, stress and coping. San Francisco: Jossey-Bass Publishers;1979.
- Aponte G, Cadavid H, & Moncada ME. Los campos magnéticos de 60 Hz y sus posibles efectos en la salud. *Ingeniería y Competitividad*;2003;5:44-52.
- Aponte G, Escobar A, Pinedo CR, & Arizabaleta G. Medición de campos electromagnéticos en la ciudad de Cali, Colombia. *Información Tecnológica*;2007;18:39-47.
- Arango LM, Ramírez C, & Villegas LM. Determinación de insecticidas organoclorados en la papa de consumo de la ciudad de Manizales [Tesis]. Manizales: Universidad de Antioquia / Universidad de Caldas;1997.
- Arango M, Rodríguez DA, & Prada NE. Frecuencia de *Cryptosporidium* spp en materia fecal de niños entre un mes y trece años en un hospital local colombiano. *Colombia Médica*;2006;37:121-125.
- Arango MC, Álvarez LF, Arango GA, Torres OE, & Monsalve ADJ. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*;2008;9:121-141.
- Arboleda LE. Estado del sector agua potable y saneamiento básico en la zona rural de la isla de San Andrés en el contexto de la reserva de biosfera [Tesis]. San Andrés Isla: Universidad Nacional de Colombia;2010.
- Arciniegas A, Rodríguez C, & Pachón J. Estudio de la morbilidad en niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá; *Acta Nova*;2006;3:145-154.
- Arévalo D, Lozano J, & Sabogal J. 2011. Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. *Revista internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*;2011;6:101-126.
- Arias J, & Marciales C. Analisis de cadmio y plomo en aguas superficiales por potenciometria de stripping. *Revista colombiana de química*;2003;32:113-129
- Arias JA, Guzmán GE, Lora FM, Torres E, & Gómez JE. Prevalencia de protozoos intestinales en 79 niños de 2 a 5 años de edad de un hogar infantil estatal en Circasia, Quindío. *Infectio*;2010;14:31-38.
- Aristizabal B, Cobo M, Hoyos A, Montes de Correa C, Abalos M, Martínez K, et al. Baseline levels of dioxin and furan emissions from waste thermal treatment in Colombia;2008;73:S171-S175.

- Aristizabal G. Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda [Tesis]. Santa fe de Bogotá: Universidad del Bosque,1997.
- Aroca G, Podlesky E, Ortiz J, et al. Daño renal asociado con exposición ambiental crónica al cadmio [Tesis]. Barranquilla: Universidad del Norte;1996.
- Arrazola AM. Determinación de los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas en Cartagena, Colombia [Tesis] Cartagena: Universidad Nacional de Colombia; 2011.
- Arrázola AM. Determinación de los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas en Cartagena, Colombia [Tesis]. Cartagena: Universidad Nacional de Colombia;2011.
- Arrieta K, González F, Luna L. Exploración del riesgo para fluorosis dental en niños de las clínicas odontológicas, universidad de Cartagena. Revista de Salud Pública;2011;13:672-683.
- Ault SK. Pan American Health Organization's Regional Strategic Framework for addressing neglected diseases in neglected populations in Latin America and the Caribbean. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz; 2007;102:99-107.
- Ávila De Navia SL, & Estupiñán SM. Calidad bacteriológica del agua del humedal de Jaboque Bogotá, Colombia;Caldasia;2006;28:67-78.
- Baena LM. Informe de evaluación de metales pesados en los sedimentos del canal navarro (Canal interceptor sur). Santiago de Cali: [CVC] Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca;2005.
- Ballesteros V, Cuadros Y, Botero S, & Lopez Y. Factores de riesgo biológicos en recicladores informales de la ciudad de Medellín, 2005. Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública;2008;2:169-177.
- Bardassano J, Elorrieta J. Bioelectromagnetismo. Ciencia y Salud. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana;2000.
- Barrera C. Los problemas de salud asociados a la exposición ocupacional y ambiental al asbesto en Colombia. En: Mitastein (Ed.), Memorias reunión sobre asbesto y salud en América Latina, México D.F; México: ECO;1987:117-132.
- Barret R, Kuzawa C, McDade T, & Armelagos G. Emerging and reemerging infectious diseases: the third epidemiologic transition. Annual Review of Anthropology;1998;27:247-71.
- Bautista F. Caracterización de la población ocupacionalmente expuesta a plomo en Colombia. [Tesis]. Bogota: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de enfermería;2003.
- Bayona M, Avendaño C, & Amaya Á. Caracterización epidemiológica de la criptosporidiosis en población infantil de la región sabana centro (Cundinamarca). Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica;2011;14:7-13.
- Bayona S. Estudio de la población expuesta a plaguicidas organofosforados y carbamatos inhibidores de colinesterasas en el municipio de Molagavita [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2001.
- Beard J. Australian Rural Health Research Collaboration. DDT and human health. The Science of the Total Environment;2006;355:78-89.
- Bedoya J, & Martínez E. Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia – Colombia. Dyna;2008;76:7-15.

- Bedoya J. Concentración de monóxido de carbono presente en el aire y la intensidad de ruido en el centro de la ciudad de Medellín. (Convenio 4800000064 de 2003). Informe Final. Medellín: Universidad Nacional Sede Medellín;2003.
- Bell ML, Cifuentes LA, Davis DL, Cushing E, Telles AG, & Gouveia N. Environmental health indicators and a case study of air pollution in Latin American cities. *Environmental Research*;2011;111:57-66.
- Bentayeb M, Simoni M, Baiz N, et al. Adverse respiratory effects of outdoor air pollution in the elderly. *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*;2012;16:1149-1161.
- Bernal C, Zapata CT, Durango HE, & Álvarez CM. Agentes etiológicos de diarrea en niños atendidos en la Unidad de Capacitación para el Tratamiento de la Diarrea del Hospital Universitario San Vicente de Paúl de Medellín. *Infectio*;2011;6:204-211.
- Bernal O, Forero JC, Villamil MP, & Pino R. Disponibilidad de datos y perfil de morbilidad en Colombia. *Revista Panamericana de Salud Pública*;2012;31:181–187.
- Betancur HY. Análisis de calidad del aire en el área metropolitana del Valle de Aburrá durante el primer semestre del año 2009 [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2009.
- Blanco J, Malato S, Estrada CA, Bandala ER, Gelover S, & Leal T. Purificación de aguas por fotocatalisis heterogénea: Estado del arte. Consultado el 22 de agosto de 2013; Recuperado de: <http://horus.psa.es/webeng/solwater/files/CYTED01/08cap03.pdf>.
- Blanco LC, Miranda V, Barraza A, et al. Efecto del Nivel Socioeconómico (SES) sobre la asociación contaminación atmosférica y mortalidad en Bogotá, Colombia. *Salud Pública de México*. (Manuscrito aceptado para publicación);2012a.
- Blanco LC, Miranda V, Hernández L, et al. Efecto del material particulado menor a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) sobre la mortalidad en Bogotá, Colombia: un análisis de series de tiempo 1998 – 2006. *Salud Pública México*. (Manuscrito aceptado para publicación);2012b.
- Blanco LC. Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda, Bogotá DC, Colombia. *Acta Nova*;2006;3:257-284.
- Boeke CE, Mora M, Forero Y, & Villamor E. Intestinal Protozoan Infections in Relation to Nutritional Status and Gastrointestinal Morbidity in Colombian School Children. *Journal of Tropical Pediatrics*;2010;56:299-306.
- Bohórquez J, & Pérez JF. Radiación Ultravioleta. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*;2007;9:97-104.
- Bolívar N, & Jaramillo LJ. Niveles de material particulado y mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas Medellín 1980 – 2006 [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2012.
- Bond SJ, Schnier GC, Sundine MJ, Maniscalco SP, & Groff DB. Cutaneous burns caused by sulfuric acid drain cleaner. *Journal of Trauma-Injury infection & Critical Care*;1998;44:523-526.
- Bonilla AE. Calidad de la sal para consumo humano, de acuerdo con los análisis realizados en el Laboratorio de Salud Pública de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, D.C. 1992-2004. *Revista de Investigaciones en Seguridad Social y Salud*;2006;8:152-185.
- Bonilla C, García A, & Castillo L. Adsorción de cadmio, cromo y mercurio en suelos del valle del cauca a varios valores de ph. *Acta Agronomica*;1991;41:1-4.

- Botero L, & Mancera J. Síntesis de los cambios de origen antrópico ocurridos en los últimos 40 años en la ciénaga de santa marta. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales*;1996;20:465-473.
- Briceño GD, Vera JF, Vélez S, Tovar MB, López C, & Céspedes J. Manejo de diarrea aguda de origen bacteriano: estudio de casos y controles. *Médica Sanitas*;2010;13:40-50.
- Brome JC, Vélez ML, & Linero ML. Alteraciones en el espermograma de trabajadores expuestos a plomo inorgánico en una fábrica de baterías [Tesis]. Medellín (Antioquia): Universidad de Antioquia;1993.
- Bruce N, Perez R, & Albalak R. Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. *Bulletin of the World Health Organization*;2000;78:1067–1071.
- Bundschuh J, Litter MI, Parvez F, et al. One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries. *The science of the Total Environment*;2012;429:2–35.
- Bustos H, Oyola D, Rojas Y, et al. Mineralogical analysis of auriferous ores from the El Diamante mine, Colombia. *Hyperfine Interactions*;2007;175:195–206.
- Cabarcas M, Olivero J, & Corrales H. Genotoxic effects in blood cells of *Mus musculus* and *Iguana iguana* living near coal mining areas in Colombia. *Science of the Total Environment*;2012;416:208–214.
- Cabezas L, Salas S, Matiz MI, Jaramillo JF, Sarmiento D, & Olano VA. Residuos sólidos como criaderos potenciales de *Aedes aegypti* en escuelas y viviendas aledañas en el área rural del municipio de Apulo, Cundinamarca. *Biomédica*;2011;31:24-25.
- Cáceres DC, Estrada E, Deantonio R, & Peláez D. La enfermedad diarreica aguda: un reto para la salud pública en Colombia. *Revista Panamericana de Salud Pública*;2005;17:6-14.
- Cacua IC. Caracterización fisicoquímica y microbiológica para aguas subterráneas en zona de influencia del acueducto metropolitano de Bucaramanga e implementación de los métodos para análisis de arsénico, selenio y fluor [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2004.
- Caicedo DM, Fonseca J, Pena M, et al. Lead and cadmium exposure among a cohort of pregnant women in Cali-Colombia: the GEMA study. *Memories: 23<sup>rd</sup> annual conference of the International Society of Environmental Epidemiology. Spain:ISEE*;2011.
- Camargo JA, & Alonso A. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio. *Ecosistemas*; 2007;16:98-110.
- Campos C, Cárdenas M, & Guerrero A. Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá, Colombia. *Universitas Scientiarum*;2008;13:103-108.
- Cárdenas JJ, Lenis JF, & Amaya LF. Exposición a material particulado de un grupo similar de exposición de amas de casa que utilizan leña como combustible para la cocción de alimentos en la vereda Palmitas del municipio de El Santuario, durante el primer semestre del año 2012 Colombia [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2012.
- CárdenasO, Silva E, & Nava G. Actividad de la acetilcolinesterasa en trabajadores e individuos con riesgo de exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en algunas regiones de Colombia, 2006-2009. *Salud & Trabajo*;2012;14:120-128.

- Cárdenas O, Silva E, & Ortiz JE. Uso de plaguicidas inhibidores de acetilcolinesterasa en once entidades territoriales de salud en Colombia, 2002-2005. *Biomédica*;2010;30:95-106.
- Cárdenas O, Silva E, Morales L, & Ortiz JE. Estudio epidemiológico de exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en siete departamentos colombianos, 1998-2001. *Biomédica*;2005;25:170-180.
- Cárdenas O, Varona M, Núñez S, et al. Correlación de protoporfirina zinc y plomo en sangre en trabajadores de fábricas de baterías de Bogotá, Colombia. *Revista de Salud pública de México*;2001;43:203-210.
- Cardona NM, Sánchez MM, Usuga LY, Arboleda M, Garzón E, Vélez A, et al. Caracterización de dos brotes de fiebre tifoidea en Apartadó, Antioquia, 2005. *Biomédica*;2007;27:236-243.
- Carmona J. Malaria, desnutrición y parasitosis intestinal en los niños colombianos: interrelaciones. *Latreia*;2004;17:354-369.
- Carranza LP. Cuantificación de micronúcleos en células de sangre periférica de mototaxistas que trabajan en la ciudad de Cartagena de Indias [Tesis]. Cartagena: Universidad Nacional de Colombia;2011.
- Carreño AC, & Prieto GP. Determinación y correlación del material particulado y gases con los principales microorganismos patógenos existentes en los ambientes intramural y extramural presentes en tres jardines infantiles ubicados en las localidades de Fontibón, Puente Aranda y Kennedy [Tesis]. Santa fe de Bogotá: Universidad de la Salle;2008.
- Casadiego G. Evaluación de factores de riesgo ambiental relacionados con la vivienda que inciden en la presencia de enfermedad diarreica aguda e infección respiratoria aguda en el municipio de San Gil, Santander [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2011.
- Castaño HL, & Mendez J. Pobreza y desigualdad en Colombia, Diagnóstico y estrategias. Bogotá: [DNP] Departamento Nacional de Planeación;2007.
- Cely MF, Sánchez M, Breysse PN, & Ramos JP. Personal exposures to asbestos fibers during brake maintenance of passenger vehicles. *Annals of Occupational Hygiene*;2012;56:985-999.
- Chen I, Kuo H, Eng HL. Porocarcinoma in a patient with chronic arsenism and multiple Bowen's disease: case report. *Dermatologic Surgery*;2005;31:1149-1151.
- Chen X, Geng Y & Fujita T. An overview of municipal solid waste management in China. *Waste Management*;2010;30:716-724.
- Chillán Y. Pandemónium. Bogotá: D´Vinni impresos;2011.
- Chin J. El control de las enfermedades transmisibles. Informe oficial de la Asociación Estadounidense de Salud Pública. Washington DC: [OPS] Organización Panamericana de la Salud;2001
- Cogan AM, & Saavedra IC. Diagnóstico, análisis y planteamiento de alternativas ambientales para minimizar la contaminación originada por los residuos tóxicos y peligrosos en el vertedero municipal El Carrasco, Bucaramanga [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2000.
- Cointreau S. Occupational and environmental health issues of solid waste management. Special emphasis on middle-and lower-income countries. Washington DC: The World Bank;2006.
- Collins C, Saldana M. Mercury exposure and its implications for visual health. *Canadian Journal of Ophthalmology*;2007;42:660-662.



- Colombia, Diario Oficial. Año CXXIX. Ley 99 de 1993. 22 de diciembre de 1993, Bogotá DC. Recuperado de: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ley/ley\\_0099\\_221293.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ley/ley_0099_221293.pdf) ; 1993
- Combariza D. Contaminación por metales pesados en el embalse del muña y su relación con los niveles en sangre de plomo mercurio y cadmio y alteraciones de salud en los habitantes del municipio de Sibaté, Cundinamarca [Tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia;2007.
- Combariza DA. Contaminación por metales pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de plomo, mercurio y cadmio y alteraciones de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) 2007 [Tesis] Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2009.
- Concha S, Celedón Y, Vera W, et al. Prevalencia de fluorosis dental en escolares de 6 a 15 años de edad de la zona urbana de Bucaramanga. Revista Ustasalud Odontología;2003;2:73-82.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social /República de Colombia/ Departamento Nacional de Planeación. Documento Conpes 3344. Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire. Bogotá: Departamnto Nacional de Planeación;2005.
- Consuegra A. Evaluación del Contenido de Yodo y Flúor en la Sal para Consumo Humano Distribuida en el Departamento de Sucre [Tesis] Cartagena: Universidad de Cartagena;1996.
- Corcellas C, Feo ML, Torres JP, et al. Los piretroides en la leche materna humana: la frecuencia y de enfermería estimación de la ingesta diaria. Environ Int.;2012: 47:17-22.
- Cordy P, Veiga MM, Salih I, Al-Saadi S, De consola S, García O, et al. Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. Science of the Total Environment:2011;410-411:154-160.
- Corrales LC, Angel V, & Caicedo DK. Identificación de Salmonella y Escherichia coli en manos y guantes de manipuladores en planta de sacrificio y faenado de un municipio de Cundinamarca. Nova Publicación Científica en Ciencias Biomédicas;2008;6:101-212.
- Correa IC. Efecto del Cromo, Mercurio y Cadmio Sobre el Crecimiento Poblacional de Chlorella vulgaris [Tesis]. Envigado, Antioquia: Escuela de Ingeniería de Antioquia;2003.
- Correa WA. Especiación del Plomo, Cromo y Cadmio con resina amberlita XAD-16 y cuantificación de Mercurio en aguas del río Cauca en Santiago de Cali por espectrometría de absorción atómica [Tesis]. Santiago de Cali;2009.
- Cote M, Prieto E, Gutiérrez M, & Sandoval Y. Alteraciones neurocomportamentales en personas Expuestas a mercurio en la actividad minera del oro en el municipio de Segovia (Antioquia) 2005. Bogotá DC: [UPME] Unidad de Planeación Minero Energética;2006.
- Cotruvo JA, Dufour A, Rees G, Bartram J, Carr R, Cliver DO, et al. Waterborne zoonoses: identification, causes, and control. London: IWA Publishing;2004.
- Cuao EA, Álvarez L, & Vargas MM. Comportamiento de la enfermedad respiratoria de niños entre 5 y 14 años en la ciudad de Santa Marta en el primer trimestre de 2008 y 2009. Duazary;2012;1:33-41.

- Cuberos E, Rodríguez A, & Prieto E. Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia. *Revista de Salud Pública*;2009;11:278-289.
- Cureton S. Environmental victims: environmental injustice issues that threaten the health of children living in poverty. *Environmental Health*;2011;26:141-147.
- Cussioli NA, Rocha GH, & Lange LC. Quantificação dos resíduos potencialmente infectantes presentes nos resíduos sólidos urbanos da regional sul de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*;2006;22:1183-1191.
- Dai XD, Lin CY, Sun XW, Shi YB, Lin YJ. The etiology of lung cancer in nonsmoking females in Harbin, China. *Lung Cancer*;1996;14:S85–S91.
- Dávalos-E. La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?. *Desarrollo y sociedad*;2007;59:117-164.
- De Koning H, Cantanhez A, & Benavides L. Desechos peligrosos y salud en América Latina y El Caribe. Washington DC: [CEPIS] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente;1994.
- De la Pava E, Salguero B, & Fernández O. Modelación matemática de la relación PM<sub>10</sub>-enfermedades pulmonares en la Ciudad de Cali. *Scientia et Technica*;2008; 38:347-352.
- De los ríos R. Implicaciones oculares de la contaminación por mercurio en la población minera de Cauca [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;1991.
- Decreto 195 de 2005. Bogotá DC: [MAVDT] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial / Alcaldía Mayor de Bogotá;2005.
- Decreto 2811 de 1974. Bogotá DC: [MAVDT] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial / Presidente de la república;1974.
- Decreto 4741 de 2005. Artículo 2. Bogotá DC: [MAVDT] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial / Presidente de la república;2005.
- Dennis RJ, Maldonado D, Norman S, Baena E, & Martinez G. Woodsmoke exposure and risk for obstructive airways disease among women. *Chest*;1996;109:115–119.
- Díaz AD. Alteraciones Neurológicas por Exposición a Plomo en Trabajadores de Procesos de Fundición, Soacha [Tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia;2009.
- Díaz PA. Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la función pulmonar de adultos [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2010.
- Díaz RR. Los campos electromagnéticos de frecuencia industrial y los riesgos para la salud. *Investigación y Desarrollo*;2008;29:1-11.
- Donohoe M. Causes and health consequences of environmental degradation and social injustice. *Social Science & Medicine*;2003;56:573-587.
- Døssing M, Khan J, & al-Rabiah F. Risk factors for chronic obstructive lung disease in Saudi Arabia. *Respiratory Medicine*;1994;88:519–522.
- Duarte H, & Idrovo AJ. Biodiversity and mental health. *Intech*;2012;9:211-232.
- Dupont HL, Formal SB, Hornick RB, Snyder MJ, Libonati JP, Sheahan DG, et al. Pathogenesis of *Escherichia coli* diarrhea. *New England journal of medicine*;1971;285:1-9.
- Durán JA, & Acuña JD. Contribución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles con la calidad del aire en los corredores viales de la calle 170 entre carreras séptima y autopista, carrera 11 entre calles cien y ochenta y cinco y avenida ciudad de Cali entre calles



- veintiséis y trece de la ciudad de Bogotá DC [Tesis]. Santa fe de Bogotá: Universidad de la Salle;2003.
- Durango J, Arrieta G, & Mattar S. Presencia de Salmonella spp. En un área del Caribe colombiano: un riesgo para la salud pública. Biomédica;2004;24:89-96.
- Echeverri CA, & Maya GJ. Relación entre las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) y Respirables (PM<sub>10</sub>) en la ciudad de Medellín. Revista ingenierías universidad de Medellín;2008;7:23-42.
- Echeverría RG. Opciones para reducir la pobreza rural en América Latina y el Caribe. Revista de la CEPAL;2000;70:47-160.
- Edelman R, & Levine MM. Summary of an international workshop on typhoid fever. Reviews of infectious diseases;1986;8:329-349.
- Edson EF, & Fenwick ML. Measurement of cholinesterase activity of whole blood. British Medical Journal;1955;1:1218.
- Eisler R. Health risk of gold miners a synoptic review. Environmental geochemistry and health;2003;25:325-345.
- Emerson JW, Hsu A, Levy MA, De Sherbinin A, et al. Environmental Performance Index and pilot trend environmental performance index. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy;2012:1-98
- EPSA [Empresa de Energía del Pacífico SA]. [En línea]. Colombia. Recuperado de: <http://www.epsa.com.co>;2013.
- Eriksson O, Carlsson M, Frostella B, Björklunda A, Assefaa G, Sundqvistb JO, et al. Municipal solid waste management from a systems perspective. Journal of Cleaner Production;2005;13:241-252.
- Escobar A, Cadavid H, & Aponte G. Caracterización de campos electromagnéticos de alta frecuencia en ambientes urbanos. Revista de Ingeniería;2010;31:40-46.
- Escobar C. La exposición a Mercurio Metálico. Biosalud;2006;1:31-36.
- Espinal P, Prieto E, Oter V, & Máttar S. Presencia del gen de invasividad inv A en cepas de Salmonella spp. aisladas de alimentos del Caribe Colombiano. Revista Cubana de Salud Pública;2006;32:1-11.
- Espinosa DM, & Reveiz DF. Estado actual de las antenas fijas de telefonía móvil frente a las normas de seguridad de las radiaciones no ionizantes en Santiago de Cali [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente;2009.
- Espinosa M, Rojas NY, & Gómez R. Caracterización del material particulado en dos vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá. Acta Nova;2006;32:323-335.
- Espinosa MT. Impacto de las medidas de control ambiental sobre la incidencia de patologías relacionadas con la exposición a asbesto en una empresa de cemento-asbesto de Santafé de Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad El Bosque;1991.
- Estévez JA. Exposición laboral a contaminación atmosférica: material particulado y efectos respiratorios en la salud de policías de tránsito de Bogotá, Colombia 2008-2009 [Tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia;2010.
- Estupiñán SM, & Avila SL. Calidad físicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. Nova Publicación Científica en Ciencias Biomédicas;2010;8:121-240.

- Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Vander S, & Murray CJ. Comparative Risk Assessment Collaborating Group. Selected major risk factors and global and regional burden of disease. *The Lancet infectious diseases*;2002;360:1347-1360.
- Fajardo OA, & Rojas NY. Particulate matter exposure of bicycle path users in a high-altitude city. *Atmospheric Environment*;2012;46:675-679.
- Fernández JA, Idrovo AJ, Cucunubá ZM, Reyes P, Guerra ÁP, Moncada LI, et al. Paradoxical associations between soil-transmitted helminths and Plasmodium falciparum infection. *Transaction of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*;2012;106:701-708.
- Feurman, A. Los residuos sólidos (la basura) un enfoque basado en los derechos de propiedad. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/basura.pdf> ;2002.
- Fewtrell L, Kaufmann RB, Kay D, Enanoria W, Haller L & Colford JM. Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet infectious diseases*;2005;5:42-52.
- Filigrana P, Gómez OL, & Méndez F. Impacto de un sitio de disposición final de residuos sólidos en la salud respiratoria de los adultos mayores. *Biomédica*;2011a;31:322-34.
- Filigrana P, Jiménez L, Abrahams NC, et al. Association between particulate matter (PM), O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub> and emergency room (ER) visits and hospital. *Memorias: 23rd annual conference of the International Society of Environmental Epidemiology. Spain: ISEE*;2011b.
- Filigrana P, Luna M, & Méndez F. Respiratory Effects in Schoolchildren Exposed to Industrial Sources of Particulate Material (PM). *Abstracts: 21st Annual conference of the International Society of Environmental Epidemiology. Dublin, Ireland: ISEE*;2009;20:S192-S193.
- Fjeldsa J, Alvarez MD, Lazcano JM, & León B. Illicit crops and armed conflict as constraints on biodiversity conservation in the Andes region. *Ambio*;2005;34:205-211.
- Flórez RE, & Molano SM. Estudio de morbilidad en un grupo de pensionados de una fábrica de asbesto-cemento de Santafé de Bogotá 1997-1998 [Tesis]. Bogotá: Universidad El Bosque;1998.
- Forero AM. Presencia de coinfección entre Rotavirus y Enterobacterias en niños menores de cinco años que acuden al servicio de urgencias por gastroenteritis aguda en Chia, Colombia. [Tesis]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana;2009.
- Forero NL, Caicedo LM, Gordillo G. Correlation of global solar radiation values estimated and measured on an inclined surface for clear days in Bogotá. *Renewable Energy*;2007;32:2590-2602.
- Franco JF, Rojas NY, Sarmiento OL, Hernandez LJ, Zapata E, Maldonado A, & et al. Niveles de material particulado en colegios distritales ubicados en vías con alto tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá: estudio piloto. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*;2009;49:101-111.
- Franco MC. Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí [Tesis]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia;2012.
- Franco PA, López LA, & Orozco ME. Calidad microbiológica del agua destinada para consumo humano en siete municipios de la región Caribe Colombiana. *CIENCIAACTUAL*;2012;1:46-60.

- Frumkin H. Salud Ambiental: de lo global a lo local. Washington, DC: Howard Fremkin;2010:364-366.
- Gaitán M, Cancino J, & Behrentz E. Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá 2007. Dossier: Ingeniera y medio ambiente;2007;26:81-92.
- Gallego GH. Residuos de pesticidas organoclorados en productos agrícolas de consumo humano en Cali [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad del Valle;1973.
- Galofre MD. Caracterización epidemiológica de intoxicaciones en el Hospital Infantil Napoleón Franco Pareja de la ciudad de Cartagena de 2009 a 2010 [Tesis] Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2011.
- García H, Antolínez A, & Díaz C. Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida-húmeda y seca-en el norte de Bogotá DC. Meteorología Colombiana;2004;8:37-42.
- García LF, & Muñoz LF. Percepción y conocimientos sobre daños a la salud y medidas de protección de personas expuestas ocupacionalmente al mercurio en la minería del oro [Tesis]. Segovia, Antioquia: Universidad de Antioquia;2011.
- García R, Agudelo G, & Jiménez J. Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia. Revista Facultad Nacional de Salud Pública;2006;24:73-82.
- Garland CF, Garland FC, & Gorham ED. Epidemiologic evidence for different roles of ultraviolet A and B radiation in melanoma mortality rates. Annals of Epidemiology;2003;13:395-404.
- Gary H. Ingeniería Ambiental. (2 Ed.). México: Prentice Hall;1999:44.
- Gavio B, Palmer S, & Mancera JE. Historical analysis (2000–2005) of the coastal water quality in San Andrés Island, SeaFlower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia. Marine Pollution Bulletin;2010;60:1018-1030.
- Gaviria A, & Monsalve EY. Análisis para la Gestión de residuos peligrosos domiciliarios en el municipio de Medellín. [Tesis] Caldas, Antioquia: Coporación Universitaria Lasallista;2012.
- Gaviria CF, Benavides PC, & Tangarife C. Contaminación por material particulado (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). Revista Facultad Nacional de Salud Pública;2011;29:241-250.
- Gaviria CI, Velásquez VR, & Zuluaga EP. Calidad del aire en la Vereda El Ajizal del Municipio de Itagüí [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;2007.
- Ghose MK, & Majee SR. Assessment of the impact on the air environment due to opencast coal mining an Indian case study. Atmospheric Environment;2000;34:2791-2796.
- Girón SL, Mateus JC, & Méndez F. Impacto de un botadero a cielo abierto en el desarrollo de síntomas respiratorios y en costos familiares de atención en salud de niños entre 1 y 5 años en Cali, Colombia. Biomédica;2009;29:392-402.
- Gleeson SA, Herrington RJ, Durango J, Velasquez CA, & Koll G. The mineralogy and geochemistry of the Cerro Matoso SA Ni laterite deposit, Montelibano, Colombia. Economic Geology;2004;99:1197-1213.
- Gochfeld M. Framework for gender differences in human and animal toxicology. International Journal of Environ Research and Public Health;2007;104:4-21.
- Golub E, & Sánchez G. Environmental health in Colombia. An economic assessment of health effects. Sustainable Development Department Latin America and the Caribbean Region

Colombia and Mexico Country Management Unit. Report Prepared for the World Bank; 2012.

- Gómez A, & Martínez JL. Evaluación de la concentración de mercurio en material particulado PM 10 en siete ciudades del país [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2008.
- Gómez A, Henao E, Molina E, & Molina F. Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM<sub>10</sub>) en la zona de guayabal, Medellín, Colombia. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia;2003;30:24-33.
- Gómez AM, Naranjo D, Martínez AA, & Gallego DJ. Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado (Giardota - Antioquia, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía;2007;60:3735-3749.
- Gómez FA, Aguirre NJ, Betancur J, & Toro FM. Distribución de dos indicadores bacterianos de calidad de agua en el Golfo de Urabá, Caribe Colombiano. Gestión y Ambiente;2008;11:87-95.
- Gómez JA, Agudelo AA, Sarmiento JI, & Ronda E. Condiciones de trabajo y salud de los recicladores urbanos de Medellín (Colombia). Archivos de Prevención de Riesgos Laborales;2007;4:181-187.
- Gómez M, Saldarriaga J, Correa M, Posada E, & Castrillon FJ. Modelación estadística de los aportes de las Vías como fuentes de emisión a las Partículas Totales en Suspensión según modelo MCF, zona Centro de Medellín, Antioquia, Colombia. Dyna;2004;74:35-40.
- Gómez OG, Arzuza O, Urbina D, Bai J, Guerra J, Montes O, et al. Detection of Escherichia coli enteropathogens by multiplex polymerase chain reaction from children's diarrheal stools in two Caribbean-Colombian cities. Foodborne pathogens and disease;2010;7:199-206.
- Gómez RM, Filigrana PA, & Méndez F. Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia. Colombia Medica;2008;39:245-52.
- González CM. Calidad del aire en la zona centro y oriente de la ciudad de Manizales: influencia del material particulado (PM<sub>10</sub>) y lluvia ácida [Tesis]. Manizales: Universidad Nacional Sede Manizales;2012a.
- González CM, Aristizábal BH. Acid rain and particulate matter dynamics in a mid-sized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging. Atmospheric Environment 2012b;60:164-171.
- González D, & Rojas W. Relación entre la exposición crónica ocupacional al plomo y los efectos neurocomportamentales, revisión documental [Tesis]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana;2008.
- González M, Vernhes M, & Sánchez- A. La radiación ultravioleta. Su efecto dañino y consecuencias para la salud humana. Theoria;2009;19:69-80.
- Gracia L, Marrugo J, Erasmo M, & Alvis R. Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. Revista Facultad Nacional de Salud Pública;2010;28:118-124.
- Grajales DA. Análisis preliminar de la relación entre el uso de la biogasolina y su impacto en las emisiones de los principales gases deteriorantes de la calidad del aire bogotano [Tesis]. Bogotá: Universidad El Bosque;2009.
- GRALTA [Grupo de Investigación en Alta Tensión]. [En Línea]. Cali, Colombia. Universidad del Valle. Recuperado de: <http://gralta.univalle.edu.co/>;2005.

- Granados G, & Peña S. Determinación de mercurio en agua potable, sangre y orina en el municipio de Vetas, Santander por espectrometría de absorción atómica de vapor frío [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2001.
- Grandjean P, & Landrigan PJ. Developmental neurotoxicity of industrial chemicals. *The Lancet infectious diseases*;2006;368:2167-2178.
- Grupo de Investigación en Aerosoles. Caracterización del Material Particulado Menor a 10 Micras MP10, Procesamiento y Análisis de la Información de Algunas Ciudades del País. Informe. Contrato 2062394. Bogotá: Universidad de la Salle Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria/ MAVT;2007.
- Guernier V, Hochberg ME, & Guégan JF. Ecology drives the worldwide distribution of human diseases. *PLOS Biology*;2004;2:740-746.
- Guerra A, & Hernández L. Niveles sanguíneos de pesticidas organoclorados en población del Valle del Cauca. *Acta Médica del Valle*;1973;4:4-7.
- Gupta BN, & Mathur N. A study of household environmental risk factors pertaining to respiratory diseases. *Energy Environment Monitor*;1997;13:61-67.
- Gute D, Siqueira E, Goldberg JS, et al. The Vida Verde Women's Co-Op: Brazilian immigrants organizing to promote environmental and social justice. *American Journal of Public Health*;2009;99Suppl3:S495-498.
- Gutierrez JO, Hernández Y, Jaramillo JF, et al. Diarrea persistente en menores de dos años Fundación Clínica Infantil Club Noel, Cali-Colombia. *Revista Colombiana Salud Libre*; 2008;3:164-170.
- Gutiérrez MF, Matiz A, Trespacios AA, Parra M, Riaño M, & Mercado M. Virus diversity of acute diarrhea in tropical highlands. *Revista Latinoamericana de Microbiología*;2006;8:17-23.
- Hallenbeck WH. Quantitative risk assessment for environmental and occupational health. (2a Ed.). USA: CRC Press;1993.
- Halpern BS, Longo C, Hardy D, et al. An index to assess the health and benefits of the global ocean. *Nature*;2012;488:615-622.
- Hernández L, Guerrero E, Cubillos F, & Salazar F. Niveles sanguíneos de insecticidas organoclorados en varios grupos de población colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*;1986;45:49-58.
- Hernández LJ. Prevalencia de enfermedad respiratoria en niños menores de 10 años residentes en seis municipios mineros del Cesar, Colombia, 2012. Informe final. Bogotá: Instituto de Salud Pública Universidad Nacional de Colombia/Gobernación del Cesar;2012.
- Hernandez L, Duarte M, & Marciales C. Evaluación de plomo en el ambiente ocupacional de una industria de baterías. *Revista colombiana de química*;2001; 30:7-15.
- Herrera AB, Rodríguez LA, & Niederbacher J. Contaminación biológica intradomiciliaria y su relación con síntomas respiratorios indicativos de asma bronquial en preescolares de Bucaramanga, Colombia. *Biomédica*;2011;31:357-371.
- Heymann DL. El control de las enfermedades transmisibles (18 Ed.) Washington DC: Pan American Health Organization;2005.



- Hipócrates. Aires, aguas y lugares. W.H.S. Jones (Ed.). Cambridge, Harvard University Press, 1948. En: Buck C, Llopis A, Najera E, Terris M. El desafío de la epidemiología. Washington DC: Organización Panamericana de la Salud;1991;505-1077.
- Hoyos LS, Carvajal S, Solano L, et al. Cytogenetic Monitoring of Farmers exposed to pesticides in Colombia. *Environmental Health Perspectives*;1996;104:535-538.
- Huber M, & Knottnerus JA, Green L, et al. How should we define health? *British Medical Journal*;2011;343:d4163.
- Hurtado C, Gutiérrez M, Echeverry J. Aspectos clínicos y niveles de plomo en niños expuestos de manera para ocupacional en el proceso de reciclaje de baterías de automóviles en las localidades de Soacha y Bogotá, D.C. *Biomédica*;2008;28:116-25.
- Idrovo AJ, Manotas LE, Villamil de García G, Romero SA, Ortíz J, Azcárate CE, et al. Niveles de mercurio y percepción del riesgo entre una población minera aurífera del Guainía, Orinoquía colombiana. *Biomédica*;2001;21:134-141.
- Idrovo AJ, Romero WM, Silva E, Villamil G, & Ortíz JE. Determinación de mercurio en muestras biológicas prehispánicas colombianas: Primeras experiencias y perspectivas de investigación. *Biomédica*;2002;22:67-70.
- Idrovo AJ, Sanín LH, & Cole DC. Tiempo para quedar en embarazo: Consideraciones generales y metodológicas. *Biomedica*;2005b;25:398-411.
- Idrovo AJ, Sanín LH. Resultados adversos en la procreación en mujeres trabajadoras en la floricultura colombiana: un resumen de la evidencia mediante metanálisis. *Biomédica*;2007;27:490-497.
- Idrovo AJ. Estimación de la incidencia de enfermedades ocupacionales en Colombia, 1985-2000. *Revista de Salud Pública*;2003;5:263-271.
- Idrovo AJ. Intoxicaciones masivas con plaguicidas en Colombia. *Biomédica*;1999;19:67-76.
- Idrovo AJ. Physical environment and life expectancy at birth in Mexico: an eco-epidemiological study. *Cadernos Saude Pública*;2011b;27:1175-1184.
- Idrovo AJ. Plaguicidas usados en la fumigación de cultivos ilícitos y salud humana: ¿una cuestión de ciencia o política?. *Revista de Salud Pública*;2004;6:199-211.
- Insuasty Liliana, Burbano H, & Menjivar J. Movilidad del cadmio en suelos cultivados con trigo en Tangua, Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*;2006;23:145-154.
- Isaza L, Mesa JA, & Tobón JI. Estudio preliminar de blanqueamiento del talco de La Unión, Antioquia. *Revista Dyna*;2005;72:1-11.
- Jaimés JI, & Vázquez W. Contaminación electromagnética. Monografía acerca de los efectos de los campos eléctricos y magnéticos de muy baja frecuencia sobre la salud humana [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana;1996.
- Jaramillo M, González DE, Núñez ME, Portilla GE, & Garcia JH. Análisis de series de tiempo univariante aplicando metodología de Box-Jenkins para la predicción de ozono en la ciudad de Cali, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería*;2007;39:79-88.
- Jaramillo M, Núñez M, Ocampo W, Perez DD, & Portilla G. Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes puntuales en la zona Cali-Yumbo, Colombia. *Ingeniería & Desarrollo*;2005;17:115-129.
- Jaramillo MM, & Boter LR. Comunidades liquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburra. *Gestión y ambiente*;2010;13:97-110.

- Joyce S. Environmental casualties of the war on the drugs. *The Environmental Health Perspectives*;1999;107:A74-A77.
- Jurewicz J, Hanke W, Makowiec T, & Sobala W. Exposure to pesticides and heavy work in greenhouses during pregnancy: Does it affect birth weight?. *International Archives of Occupational and Environmental Health*;2005;78:418-426.
- Khanjani N, Hoving JL, Forbes AB, & Sim MR. Systematic review and meta-analysis of cyclodiene insecticides and breast cancer. *Journal of Environmental Science and Health. Part C, Environmental Carcinogenesis & Ecotoxicology Reviews*;2007;25:23–52.
- Kossove D. Smoke-filled rooms and lower respiratory disease in infants. *South African Medical Journal*;1982;61:622–624.
- Landrigan PJ, Kimmel CA, Correa A, & Eskenazi B. Children's health and the environment: public health issues and challenges for risk assessment. *Environmental Health Perspectives*;2004;112:257-265.
- Larsen B. Cost of environmental damage: A socio-economic and environmental health risk assessment, Colombia. Final report. Cairo: Ministry of Environment, Housing and Land Development Republic of Colombia;2004.
- Lastra SM. Análisis epidemiológico de presentación de casos de intoxicaciones agudas en adultos en el Hospital Universitario del Caribe de la ciudad de Cartagena durante los años 2009 y 2010 [Tesis] Cartagena: Universidad Nacional de Colombia; 2011.
- Lee RJ, Strohmeier BR, Bunker KL, & Van Orden DR. Naturally occurring asbestos - A recurring public policy challenge. *Journal of Hazardous Materials*;2008;153:1-21.
- Leguía CP. Sustancias peligrosas en las partículas suspendidas totales en un área de influencia vehicular de Bogotá DC [Tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia;2004.
- León G, Espitia L, Hoyos LS, Da Silva J, Hartmann A, Henriques JA, et al. Assessment of DNA damage in coal open-cast mining workers using the cytokinesis-blocked micronucleus test and the comet assay. *Science of the Total Environment*;2011;409:686-691.
- Lightfoot NE, Pacey MA, & Darling S. Gold, nickel and copper mining and processing. *Chronic Diseases in Canada*;2010;29Suppl2:101-24.
- Lim HS, Lee JS, Chon HT, & Sager M. Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea. *Journal of Geochemical Exploration*;2008;96:223-230.
- Llamosa LE, Torres JI, & Villada JF. Aspectos fundamentales para la verificación de niveles de intensidad de CEMs en telefonía celular. *Scientia et Technica*;2010;16:280-285.
- Londoño B, Ospina CM, & Bedoya DL. Medición del campo eléctrico y magnético producido por las instalaciones del sistema de energía eléctrica colombiano. *Energética*;1997;17:23-40.
- Long ER, MacDonald DD, Smith SL, & Calder FD. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*. 1995;19:81-97.
- López A, Suarez OJ, Hoyos M, & Montes C. Perfil nacional de sustancias químicas en Colombia (2a Ed.) Bogotá DC: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible; [UNIDO] United Nations Industrial Development Organisation;2012.
- López A, Suarez OJ, Hoyos M, & Montes C. Perfil nacional de sustancias químicas en Colombia: Bogotá: [ONUDI] Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial/Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Segunda edición;2012.



- López MP, & Espinosa J. Informe de evento de cólera, periodo epidemiológico XIII. Colombia 2011. Instituto Nacional de Salud, subdirección de Vigilancia y Control en Salud Pública; 2011.
- López MP, & Martínez J. Informe de evento cólera, año 2010. Colombia: [INS] Instituto Nacional de Salud;2011.
- López WS, Duarte L & Siliva P. Influence of inoculum on performance of anaerobic reactors for treating municipal solid waste. *Bioresource Technology*;2004;94:261-266.
- López YS. Monitoreo biológico para detectar riesgos potenciales de salud por exposición ocupacional a plaguicidas por medio de pruebas citogenéticas [Tesis]. Popayán: Universidad del Cauca;1994.
- Lora F, Marin C, Loango N, Gallego M, Torres E, Gonzalez M, et all. Giardiasis in children living in post-earthquake camps from Armenia, Colombia. *BMC Public Health*;2002;2:5.
- Lozano N. Air Pollution in Bogotá, Colombia: A Concentration-Response Approach. *Desarrollo y sociedad*;2004;54:133-177.
- Lucas R, McMichael T, Smith W, & Armstrong BK. Solar ultraviolet radiation: global burden of disease from solar ultraviolet radiation. Prüss A, Zeeb H, Mathers C, & Repacholi M. (Ed.). *Environmental Burden of Disease Series, N° 13*. Geneva: [WHO] World Health Organization;2006.
- Mackey TK, & Liang BA. Integrating biodiversity management and indigenous biopiracy protection to promote environmental justice and global health. *American Journal Public Health*;2012;102:1091-5.
- Madero A, & Marrugo J. Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los ríos Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*;2011;16:2391-2401.
- Madriñan CE. Compilación y análisis sobre contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar, *saccharum officinarum L*, en el valle geográfico del río Cauca [Tesis]. Palmira: Universidad Nacional de Colombia sede Palmira;2002.
- Magglora DC, & López JA. Vulnerability to air pollution in Latin America and the Caribbean Region. Washington DC: World Bank;2006.
- Majumdar D, & Srivastava A. Volatile organic compound emissions from municipal solid waste disposal sites: a case study of Mumbai, India. *Journal of the Air & Waste Management Association*;2012;62:398-407.
- Maldonado W, Baldiris I, & Díaz J. Evaluación de la calidad del agua en la Ciénaga de la Virgen, Cartagena, Colombia durante el período 2006-2010. *Revista Científica Guillermo de Ockam*;2011;9:79-87.
- Malm O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*;1998;77:73-78.
- Mandelli S. Variáveis que interferem no comportamento da população urbana no manejo de resíduos sólidos domésticos no âmbito das residências. [Tese]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos;1997.
- Manjarres G, Manjarres G, & Linero J. Composición y concentración de material particulado en el aire de un sector del área urbana de Santa Marta, Magdalena, Colombia. *Revista Intropica*;2005;2:23-33.

- Manrique FG, Billon D, Bello SE, & Ospina JM. Agentes causantes de Diarrea en Niños Menores de 5 Años en Tunja, Colombia. *Revista de Salud Pública*;2006;8:88-97.
- Marín CE. Determinación de mercurio y plomo en organismos marinos y su correlación con los niveles de estos metales en la población expuesta [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad del Valle;1996.
- Marrugo J, Benitez LN, & Oliverol J. Distribution of mercury in several environmental compartments in an aquatic ecosystem impacted by gold mining in northern Colombia. *Archives environmental contamination toxicology*;2008;55:305-316.
- Marrugo J, Benitez LN, Olivero J, et al. Spatial and seasonal mercury distribution in the Ayapel Marsh, Mojana region, Colombia. *International Journal of Environmental Health Research*;2010;20:451-459.
- Marrugo J, Lans E, & Benítez L. Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*;2007;12:878-886.
- Marsili D, Comba P, Bruno C, Calisti R, Marinaccio A, Mirabelli D, et al. La prevención de las patologías del asbesto: perspectivas operativas de la cooperación italiana con los países de América Latina. *Revista de Salud Pública*;2010;12:682-692.
- Martignon S, & Granados OL. Prevalencia de fluorosis dental y análisis de asociación a factores de riesgo en escolares de Bogotá. *Revista Científica/Universidad del Bosque*.2002;8:19-27.
- Martínez A, Reyes I, & Reyes N. Citotoxicidad del glifosato en células mononucleares de sangre periférica humana. *Biomedica*;2007;27:594-604.
- Martínez E, Agudelo A, Viñas Y, et al. Alcances y limitaciones del flúor dentro de la política pública en salud bucal en Colombia. *Revista de Gerencia y Política de Salud*;2007a;6:34-44.
- Martínez E, Quiroz CM, Daniels F, & Montoya A. Contaminación Atmosférica y efectos en la salud de la población de Medellín y su área metropolitana. Medellín: Universidad de Antioquia, Alcaldía de Medellín, Alcaldía de Itagui, & Área Metropolitana del Valle de Aburra;2007b.
- Martínez E. Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*;2011;29:454-460.
- Martínez JA, & Varela SM. Modelo de valoración ambiental del impacto de la contaminación atmosférica por fuentes móviles en el municipio de Pereira. [Tesis]. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira;2012.
- Martínez JA. Concentración de sustancias peligrosas en material particulado recolectado en estaciones de monitoreo de la CAR-Cundinamarca [Tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia;2005.
- Martínez L, Marulanda E, Noreña M, et al. Prevalencia de fluorosis y experiencia de caries dental en un grupo de escolares en el área urbana del Municipio de Yondó, Antioquia, Colombia, 2010. *Revista CES de Odontología*;2011;24:9-16.
- Martínez O, & López M. Prevalencia de alteraciones hematológicas en intoxicación ocupacional por plomo. *Acta Médica Colombiana*;1997;22:233-239.
- Marulanda D. Determinación de cromo total y disponible en diferentes fracciones granulométricas de sedimento del río Cauca por espectrometría de absorción atómica con llama [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad del valle;1997.

- Massey R. The "drug war" in Colombia: Echoes of Vietnam. *Journal of Public Health Policy*;2001;22:280-285.
- Mattar S, & Vásquez E. Escherichia coli O157: H7 Infection in Colombia. Facultad de Ciencias, Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. *Emerging Infectious Diseases Letters*;1998;4:126-127.
- Mazo V, Sbriz L, & Alvarez M. Determination of traces of heavy metals in estuarine waters of Barbacoas Bay, Colombia, by X-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrom*;1997;26:57-64.
- Medina SM, Gutierrez MF, Liprandi F, & Ludert JE. Identification and Type Distribution of Astroviruses among Children with Gastroenteritis in Colombia and Venezuela. *Journal of Clinical Microbiology*;2000;38:3481-3483.
- Mejía F, Mesa O, Poveda G, Vélez J, Hoyos C, Mantilla R, et al. Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. *Dyna*;1999;127:7-26.
- Meléndez I, Martínez ML, Quijano A. Actividad mutagénica y genotóxica en el material particulado fracción respirable MP<sub>2.5</sub> en Pamplona, Norte de Santander, Colombia. *IATERIA*;2012;25:347-356.
- Méndez F, Gómez OL, Girón S, Mateus JC, Mosquera J, Filigrana P, & et al. Evaluación del impacto del relleno sanitario Doña Juana en la salud de grupos poblacionales en su área de influencia. Informe final. Proactiva Doña Juana ESP SA/Universidad del Valle/ Escuela de Salud Pública/Grupo de Epidemiología y Salud Poblacional;2006.
- Méndez IA, Badillo CA, Parra GO, & Faccini ÁA. Caracterización microbiológica de Salmonella en alimentos de venta callejera en un sector universitario de Bogotá, Colombia. *Médicas VIS*;2010;24:26-32.
- Méndez M, López P, Campos G, et al. Pleural mesothelioma in paraoccupational, environmental and occupational patients exposed to asbestos. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*;2010;48:361-366.
- Mendoza DL, Castillo L, Lozano S, et al. Factores de riesgo asociados con asma alérgica en niños de 4 a 16 años de Santa Marta, Colombia. *Duazary*;2008;1:9-14.
- Meo SA. Health hazards of cement dust. *Saudi Medical Journal*.;2004;25:1153-1159.
- Mesa JI, Jaramillo F, & Benjumea MV. Factores relacionados con la consulta tardía a dermatología por cáncer de piel: prueba piloto. Departamento de Caldas. *Hacia la Promoción de la Salud*;2008;13:178-194.
- Mesa JL. Lineamientos de política de residuos sólidos. Bogotá DC: [MAVDT] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial;2008.
- Milham S. Historical evidence that electrification caused the 20th century epidemic of "diseases of civilization". *Medical Hypotheses*;2010;74:337-345.
- Miller H, Gallego G, & Rodríguez G. Evidencia clínica de tracoma en indígenas colombianos del departamento de Vaupés. *Biomédica*;2010;30:432-439.
- Miller JR, Hudson KA, Lechler PJ, Preston D, & Macklin MG. Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of the Río Pilcomayo basin, Bolivia. *Science of the Total Environment*;2004;320:189-209.
- Miranda D, Carranza C, Rojas C, et al. Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*;2008;2:180-191.

- Misnaza S. Protocolo de vigilancia y control centinela de la exposición a flúor. Vigilancia y control en salud pública. Colombia: [INS] Instituto Nacional de Salud;2011.
- Misnaza SP, & Campo A. Investigación de campo, confirmación de casos de fluorosis dental, Resguardo Indígena Kankuamo – Atánquez, Cesar, 2011. Informe Quincenal Epidemiológico Nacional;2011;16:111-22.
- Mitra AK, & Rodriguez G. Latin America and the Caribbean: assessment of the advances in public health for the achievement of the Millennium Development Goals. International Journal of Environmental Research and Public Health;2010;7:2238-2255.
- Mitra S. Mercury in ecosystem, its dispersion and pollution today. Transtetch Publications, Suiza.; 1986.
- Monroy CM, Cortés AC, Sicard DM, & De Restrepo HG. Citotoxicidad y genotoxicidad en células humanas expuestas in vitro a glifosato. Biomedica;2005;25:335-345.
- Montaño SR, & Ortiz JN. Estudio preliminar del impacto ambiental de contaminación por mercurio y níquel en agua, suelo, sedimento y tejido vegetal en la microcuenca embalse del Muña [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2011.
- Montoya ML, & Zapata P. Contaminación extra e intradomiciliaria por material particulado respirable y su relación con la función pulmonar La Sierra-Puerto Nare, Antioquia. I Congreso Internacional y del Caribe en Salud Ambiental y Ocupacional: Salud, Trabajo y Ambiente. Medellín: Universidad de Antioquia;2010.
- Montoya MR, Morales A, & Olaya J. Estimación no-paramétrica de curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en Santiago de Cali. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente;2005;2:23-27.
- Morales W, & Carmona I. Estudio de algunos elementos traza en carbones de la cuenca cesar – Ranchería, Colombia. Boletín de ciencias de la tierra;2007;20:75-88.
- Moreno OL, & Salazar MT. Nociones de basura y prácticas de Manejo de residuos sólidos [Tesis]. Cali: Universidad del Valle;2009.
- Moreno S, Alvarado MV, Bermúdez A, & Gutiérrez MF. Análisis filogenético de las cepas de rotavirus y virus de la hepatitis A encontradas en agua de consumo en el municipio de Quibdó, Chocó. Biomédica;2009;29:209-217.
- Mukerjee D. Assessment of risk from multimedia exposures of children to environmental chemicals. Journal of the Air & Waste Management Association;1999;48:483-501.
- Muñoz AF. Evaluación del daño en el ADN en dos poblaciones colombianas de agricultores y floricultores. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica;2009;12:7-16.
- Muñoz AM, Quiroz CM, & Paz JJ. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en adultos que laboran a diferentes niveles de exposición. Revista Facultad Nacional de Salud Pública;2006;25:85-94.
- Muñoz FA. Determinación del mercurio en suelos de Bucaramanga, utilizando un prolizador acoplado a un detector de mercurio basado en espectroscopía de absorción atómica diferencia del Zeeman [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2006.
- Muñoz K, & Bedoya A. El papel de los residuos sólidos. Recuperado de <http://www.eumed.net/rev/ea/03/mvbo.htm>;2009.
- Muñoz MC. Evaluación del grado de contaminación del río Cauca mediante especiación geoquímica del Cromo en sedimentos [Tesis]. Santiago de Cali;1999.

- Muñoz N, Agudelo CI, Ovalle MV, Realpe MH, et al. Vigilancia en red de los serotipos y la susceptibilidad antimicrobiana de *Salmonella* spp., *Shigella* spp. y *Vibrio cholerae* O1, 1997 – 1999. *Biomédica*;2000;20:210-217.
- Nash, L. Water quality and health. En Gleick PH, (Ed.). *Water in crisis: A guide to the world's fresh water resource*. Oxford University Press, New York, USA;1993.
- Navarro GF. Determinación de plaguicidas organoclorados en el agua potable de Bucaramanga y Piedecuesta por HRGC-ECD [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2001.
- Nieves E. Disposición Final de Residuos Sólidos en Colombia. En Superintendencia de Servicios públicos domiciliarios (Ed.), *II Conferencia Internacional Gestión de Residuos en América Latina*. Colombia, Cali: Superintendencia de Servicios públicos domiciliarios;2009.
- Noguera KM, & Olivero JT. Los rellenos sanitarios en América Latina: caso colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*;2010;132:347-356.
- Novoa J, & Demmer J. La industria del asbesto en Colombia. En Mitastein (Ed.). *Memorias reunión sobre asbesto y salud en América Latina*, Mexico DF;1985:33-46.
- Numpaqué J. Diferencias significativas en el estado viso-motor y viso-perceptual en niños de 10 a 15 años expuestos o no expuestos a plomo y mercurio en aire en tres localidades de Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2010.
- Nweke OC, & Sanders WH. Modern environmental health hazards: a public health issue of increasing significance in Africa. *Environmental Health Perspectives*;2009;117:863-870.
- O'Dempsey T, McArdle TF, Morris J, Lloyd N, Baldeh I, & Laurence BE. A study of risk factors for pneumococcal disease among children in a rural area of West Africa. *International Journal of Epidemiology*;1996;25:885-893.
- Ocampo CE, Pradilla A, & Mendez F. Impacto de un depósito de residuos sólidos en el crecimiento físico infantil. *Colombia Médica*;2008;39:253-259.
- Ocampo D, Pareja CP, & Pareja MV. Efectos neuropsicotoxicos y ototoxicos ocasionados por mercurio en la minería artesanal, Vereda Minas del Vapor. Puerto Berrio 2003-2004 [Tesis]. Antioquia: Universidad de Antioquia;2004.
- Ochoa AJ, & Hernández AG. Mesotelioma invasivo de un canino: Citología, clínica y hallazgos patológicos. *International Journal of Morphology*;2008;26:103-112.
- Olaya P, Rodríguez- J, Posso HJ, & Cortez JE. Organochlorine exposure and breast cancer risk in Colombian women. *Cadernos de Saude Publica*;1998;148Suppl3:125-132.
- Olivero J, Caballero K, Torres N. Assessment of mercury in muscle of fish from Cartagena Bay, a tropical estuary at the north of Colombia. *International Journal of Environmental Health Research*. 2009;19:343–355.
- Olivero J, Duarte D, Echenique M, et al. Blood lead levels in children aged 5–9 years living in Cartagena, Colombia. *Science of the Total Environment*;2007;372:707–716.
- Olivero J, Johnson B, Baldiris R, et al. Human and crab exposure to mercury in the Caribbean coastal shoreline of Colombia: Impact from an abandoned chlor-alkali plant. *Environmental International*;2008a;34:476–482.
- Olivero J, Mendoza C, & Mestre J. Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia. *Revista de Saude Publica*;1995;29:376-379.



- Olivero J, Padilla C, & De la Rosa O. Relationships between physicochemical parameters and the toxicity of leachates from a municipal solid waste landfill. *Ecotoxicology and Environmental Safety*;2008b;70:294-299.
- Olivero J, Solano B, & Acosta I. Total Mercury in Muscle of Fish from Two Marshes in Goldfields, Colombia. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*;1998;61:182-187.
- Olivero J, Johnson B, & Arguello E. Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Sci Total Environ*;2002;Apr 22;289:41-7.
- Onatra W, Vargas S, Páez E, Rojas D, & López A. Correlación entre la enfermedad respiratoria aguda (ERA) en mujeres embarazadas y la calidad del aire. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*;2009;12:27-37.
- Ordovas JM. Gender a significant factor in the cross talk between genes. *Environment and health*;2007;4:111-222.
- Orduña J. Determinación de arsénico total en lodos provenientes de plantas de potabilización de puerto mallarino y san Antonio [Tesis]. Santiago de Cali:Universidad del Valle;1999.
- Ortega J, Ferrís T, Claudio L, et al. Pediatric environmental health specialty units in Europe: from theory to practice. *Anales Españoles de Pediatría*;2005;63:143-251.
- Ortiz CH, Escobar J, & García D. Contaminación atmosférica y salud: estimación de una función dosis-respuesta para Cali. Centro de investigación y documentación socioeconómica;2000.
- Ortiz JM. Epidemiología de las intoxicaciones agudas en adultos atendidas en la Clínica San Juan de Dios de Cartagena en el periodo de 2009 – 2010 [Tesis] Cartagena: Universidad Nacional de Colombia; 2011.
- Ostro B. Outdoor air pollution: assessing the environmental burden at national and local levels, Geneva: [WHO] World Health Organization;2004
- Pacheco JD. Determinación de la toxicidad aguda (CL<sub>50</sub>) del extracto de polvillo de carbón frente a larvas de artemia franciscana [Tesis]. Cartagena: Universidad Nacional de Colombia;2011.
- Pachón J, & Sarmiento H. Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*;2008;43:120-133.
- Pachón J, García H, Bustos M, Bravo H, & Sosa R. Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en muestras de partículas atmosféricas en la zona metropolitana de la ciudad de Bogotá, Colombia. *Meteorología Colombiana*;2004;8:27-35.
- Panadero M. El proceso de urbanización de América Latina durante el periodo científico técnico. *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*;2001;298:742-98.
- Pandey MR, Boleij JS, Smith KR, & Wafula EM. Indoor air pollution in developing countries and acute respiratory infection in children. *The Lancet infectious diseases* 1989;333:427–429.
- Parascandola M, & Weed DL. Causation in epidemiology. *Journal of Epidemiology and Community Health*;2001;55:905-912.
- Park EK, Takahashi K, Jiang Y, Movahed M, & Kameda T. Elimination of asbestos use and asbestos-related diseases: An unfinished story. *Cancer Science*;2012;103:1751-1755.
- Parra J, & Espinosa L. Distribución de metales pesados (pb, cd y zn) en perfiles de sedimento asociado a rhizophora mangle en el río Sevilla - Ciénaga Grande de Santa Marta,

- Colombia. Revista de la Académica Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales;2008;31:347-354.
- Patiño C, et al. Aspectos neuropsicológicos en memoria, atención, rapidez y destreza manual en población ocupacionalmente expuesta e intoxicación por plomo. [Tesis] Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana;1999.
- Poirier M, Izurieta R, Malavade S, & McDonald M. Re-emergence of cholera in the Americas: Risks, susceptibility, and ecology. Journal of Global Infectious Diseases;2012;4:162.
- Ponce A. ¿Cuál locomotora? El desalentador panorama de la minería en Colombia. Bogotá: Debate; 2012.
- Posada MI. Estudio descriptivo sobre los efectos de algunos metales pesados (Cadmio, cromo y mercurio) en plantas acuáticas de ecosistemas tropicales [Tesis]. Envigado, Antioquia: Escuela de Ingeniería de Antioquia;2005.
- Poveda G. La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales;2004;28:201-222.
- Prada GD, & Robayo MA. Evaluación del incremento en carbono orgánico (OC) y carbono elemental (EC) en el material particulado generado por quema de biomasa en el valle geográfico del río Cauca [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2010.
- Pradilla G. Estudio neuroepidemiológico y toxicológico de los contaminantes del río Surata [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;1992.
- Prieto G, & Gonzalez M. Diagnosis of environmental problems related to vein goldmining in Colombia. Environmental Geochemistry in the Tropics. Lecture Notes Earth Sciences;1998;72:185–191.
- PROFAMILIA. Encuesta Nacional de Demografía y Salud. Bogotá, Colombia;2010.
- Proshansky HM. The field of environmental psychology: securing its future. In: Stokols D, Altman I (Editors). Handbook of environmental psychology. New York: John Wiley & Sons;1987:1467–88.
- Prüss A, & Corvalán C. How much disease burden can be prevented by environmental interventions?. Epidemiology;2007;18:167-178.
- Prüss A, & Corvalán C. Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease. Geneva: [WHO] World Health Organization;2006.
- Qdais HA, Abdulla F, & Qrenawi L. Solid waste landfills as a source of green energy: case study of Al Akeeder landfill. Jordan journal of mechanical and industrial engineering;2010;1:69-74.
- Quevedo E. Los tiempos del cólera: orígenes y llegadas de la peste a Colombia. Credencial Historia;1992;29:
- Quijano A, & Orozco JA. Monitoreo de Material Particulado fracción respirable (PM<sub>2.5</sub>) en Pamplona, Colombia. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas;2005;3:1-11.
- Quijano A, Quijano MJ, Henao JA. Caracterización fisicoquímica del material particulado-fracción respirable PM<sub>2.5</sub> en Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal;2010;8:1-20.
- Quijano A. Promedios geométricos de material particulado fracción respirable (PM<sub>10</sub>) y detección de metales en el aire de Bucaramanga. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas;2004;2:21-32.



- Rachiotis G, Papagiannis D, Markas D, et al. Hepatitis B virus infection and waste collection: prevalence, risk factors, and infection pathway. *American Journal of Industrial Medicine*;2012;55:650-655.
- Rada MP. Estudio y evaluación del grado de contaminación por cadmio, mercurio y plomo en aguas, peces y sedimentos del río Cauca por espectrometría de absorción atómica [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad de Valle;1998.
- Ramírez B, Franco A, & Ochoa E. Fluorosis Dental en Escolares de 6 a 13 Años de Instituciones Educativas Públicas de Medellín, Colombia 2006. *Revista de salud pública*;2009;11:631-640.
- Ramírez B, Franco A, Gómez A, et al. Fluorosis dental en escolares de instituciones educativas privadas, Medellín, Colombia 2007. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia*;2010;21:170-176.
- Ramírez B, Puerta Á, Franco E, et al. Hábitos de consumo y uso de la crema dental de niños y niñas asistentes a los hogares comunitarios del ICBF y centros infantiles del programa buen comienzo. Medellín: Secretaría de salud del municipio de Medellín/Universidad de Antioquia;2011.
- Ramírez S, Franco A, Sierra J, et al. Fluorosis dental en escolares y exploración de factores de riesgo, municipio de Frontino, 2003. *Revista Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia*;2006;17:26-33.
- Raphael D, Curry A, & Bryant T. Barriers to addressing the social determinants of health: insights from the Canadian experience. *Health Policy*. 2008;88;2:222-35.
- Raudsepp C, Peterson G, Tengö M, et al. Untangling the environmentalist's paradox: why is human well-being increasing as ecosystem services degrade?. *BioScience*;2010;60:576-589.
- Rauh VA, Landrigan PJ, & Claudio L. Housing and health: intersection of poverty and environmental exposures. *Annals of the New York Academy Sciences*;2008;1136:276-288.
- Rego R, Moraes L, & Dourado L. Diarrhoea and garbage disposal in Salvador, Brazil. *Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*;2005;99:48-54.
- Reid A, Heyworth J, De Klerk NH, & Musk B. Cancer incidence among women and girls environmentally and occupationally exposed to blue asbestos at Wittenoom, Western Australia. *International Journal of Cancer*;2008;122:2337-2344.
- Resolución 1390 de 2005. Bogotá DC: [MAVDT] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial;2005.
- Restrepo M, Muñoz N, Day NE, et al. Prevalence of adverse reproductive outcomes in a population occupationally exposed to pesticides in Colombia. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*;1990;16:232-238.
- Rey I, & Fula YM. Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos patógenos en los bioaerosoles, en una zona de alta actividad industrial y flujo vehicular de la localidad de Puente Aranda, en Bogotá DC [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2005.
- Ríos MJ, & Bermudez EM. Descripción y análisis del sistema de vigilancia epidemiológica del programa de fluoruración de la sal en Colombia (A)/ Description and analysis of the epidemiological surveillance system from the salt fluoridation program in Colombia (A). *Revista de la Federación Odontológica Colombiana*;2001;60:57-72

- Ripoll J. La Basura no tiene por qué ser un problem. [Monografía en Internet]. Ciudad???: Editorial???. [Fecha de Consulta]. Disponible en: [http://www.fsa.ulaval.ca/rdip/cal/lectures/societe\\_ecolo/basura\\_no\\_tiene\\_porque\\_ser.htm](http://www.fsa.ulaval.ca/rdip/cal/lectures/societe_ecolo/basura_no_tiene_porque_ser.htm); 2003.
- Rivas M, Rojas E, Cortés J, & Madronish S. Aumentos de la irradiancia solar ultravioleta debido al efecto altitudinal. Memorias del XIV Simposio Chileno de Física. Chile;2004.
- Robinson K. The Soroako nickel project: a healthy development?. *International Journal of Health Services*;1985;15:301-19.
- Rodríguez A, González JF, & Martínez RS. Accumulation of Lead, Chromium, and Cadmium in Muscle of Capitán (Eremophilus mutisii), a Catfish from the Bogota River Basin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*;2009;57:359–365.
- Rodríguez J, Meléndez L, Pacheco W, et al. Análisis comparativo de los niveles de mercurio en la sangre de individuos con y sin restauraciones en amalgamas. *Ustasalud*;2005;4:29-37.
- Rodríguez L, & Sierra D. Evaluación preliminar del impacto ambiental por contaminación de plomo y cadmio en agua, suelo y sedimento en 4 puntos de la sub-cuenca del río Tunjuelo [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2011.
- Rodríguez LA, Castro H, & Rey JJ. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de población susceptible: un estudio multinivel en Bucaramanga, Colombia. *Cadernos de Saúde Pública*;2012;28:749-757.
- Rodríguez LA, Herrera AB, Castro, et al. Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel. *Cadernos de Saúde Pública*;2010b;26:1411-1418.
- Rodríguez LA, Rey JJ, Herrera AB, Castro H, Niederbacher J, Vera L, et al. Prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma y asociación con contaminación atmosférica en preescolares de Bucaramanga, Colombia. *Biomédica*;2010a;30:15-22.
- Rojas NY, Abel F, & Rodríguez AM. Evaluación de la medición de emisiones con fines regulatorios en Colombia: dos estudios de caso. *Dossier Ingeniera y medio ambiente*;2009;30:112-121.
- Rojas R. Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. Curso internacional. Brasil:Cepis;2002.
- Romano MA, Romano RM, Santos LD, et al. Glyphosate impairs male offspring reproductive development by disrupting gonadotropin expression. *Archives of Toxicology*;2012;86:663-673.
- Romero S, & Guevara L. Evaluación de los impactos ambientales ocasionados por la contaminación de cadmio y plomo en suelo, agua y sedimento, de los municipios Tabío y Tenjo, pertenecientes a la Sub-Cuenca del río Chicú [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2011.
- Romieu I, Álamo U, Pérez L, et al. Tendencias de la contaminación atmosférica en la Américas: impactos y políticas. Washington DC: Mc Graw-Hill Interamericana;2010.
- Rothman KJ. Causes. *American Journal of Epidemiology*;1976;104:587-592.
- Rothwell C, Hamilton C, & Leaveron P. Identification of sentinel health events as indicators of environmental contamination. *Environmental Health Perspectives*;1991; 94:261-263.
- Roto P. Asthma, symptoms of chronic bronchitis and ventilatory capacity among cobalt and zinc production workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*;1980;6:1-49.

- Rugeles JJ, Jaimes A, Sánchez VH, Mantilla OA, & Sastoque E. Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga. *Revista Ingeniería e Investigación*;2007;27:149-158.
- Ruiz J, Gómez G, Durán C, et al. Contribución de las condiciones locativas y ambientales al riesgo de contaminación con mercurio en las entidades odontológicas de Antioquia. *Revista Facultad Nacional de salud pública*;2008;26:164-168.
- Ruiz J, Pérez J, Gómez G. et al. Riesgo en el manejo de la amalgama dental en las entidades odontológicas medianas y pequeñas en el departamento de Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de salud pública*;2009;27:187-197.
- Salamanca LE. Diagnóstico ambiental asociado al manejo de residuos sólidos urbanos en el municipio de Arauca [Tesis]. Arauca: Universidad Nacional de Colombia;2005.
- Salazar A, & Álvarez L. Los efectos del material particulado 10 (PM 10) y de las variables climatológicas en las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en niños en la ciudad de Santa Marta, Colombia, 2008-2009. *DUAZARY*;2011;2:127-142.
- Salazar CA. Distribución espacial y dinámica de cromo y plomo en los suelos vecinos al basurero de Navarro de la ciudad de Cali [Tesis]. Santiago de Cali: Universidad del Valle;2006.
- Samet JM, Marbury MC, & Spengler JD. Health effects and sources of indoor air pollution. Part I. *The American Review of Respiratory Disease*;1987;136:1486-508.
- Sánchez C, Ramírez J, Calderón E, et al. Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del municipio de Ricaurte y los barrios Brisas del Bogotá y La Victoria del municipio de Girardot [Tesis]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana;2010.
- Sanchez CL. Una mirada a las enfermedades parasitarias en el país; An overview to parasites diseases in the country. *NOVA Publicación científica*;2006;4:100-103.
- Sánchez CM, & Espinosa J. Informe del evento hepatitis A, hasta el 08 periodo epidemiológico del año 2012 - Colombia. Instituto Nacional de Salud. 2012.
- Sánchez E, Kulsum A, & Yewinda A. Environmental Priorities and Poverty Reduction: A Country Environmental Analysis for Colombia. Washington DC: The World Bank;2007.
- Sánchez JM. Evaluación de la concentración de mercurio en diversas marcas de atún enlatado comercializadas en la ciudad de Cartagena de Indias. [Tesis] Cartagena. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Medicina Departamento de Toxicología Convenio Universidad de Cartagena de Indias;2011.
- Sánchez LE. Control de la contaminación de las aguas. Consultado el 22 de agosto de 2013, Recuperado de: <http://www.ciefa.org/acrobat/modulos/LECTURA%20DOS%20%20MODULO%20DOS%20GAOT.pdf>
- Sanclemente G, & Díaz A. Impact of a sun protection campaign in Medellín, Colombia. *International Journal of Dermatology*;2009;48:1296-1302.
- Sanclemente G, & Hernández GE. Altos índices de radiación ultravioleta en Medellín y en una localidad del oriente antioqueño, Colombia. *Iatreia*;2010;23:119-126.

- Sanín LH, Carrasquilla G, Solomon KR, Cole DC, & Marshall EJ. Regional differences in time to pregnancy among fertile women from five Colombian regions with different use of glyphosate. *Journal of Toxicology Environmental Health part A*;2009;72:949-60.
- Sarmiento MI, Idrovo AJ, & Restrepo M. Determinación de arsénico total en cabello de individuos expuestos al embalse contaminado del Muña (Sibaté, Cundinamarca). *Revista de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia*;1999;47:205-209.
- Schlosberg D. *Defining environmental justice: theories, movements, and nature*. New York: Oxford University Press;2007.
- Senado de la República de Colombia. *La basura: Un recurso renovable*. Debate comisión V del Senado de la República. Bogotá DC: Senado de la República de Colombia;2004.
- Senyigit A, Dalgic A, Kavak O, & Tanrikulu AC. Determination of environmental exposure to asbestos (tremolite) and mesothelioma risks in the southeastern region of Turkey. *Archives of Environmental Health*;2004;59:658-662.
- Serpa D. *Análisis epidemiológico de las intoxicaciones agudas atendidas en la Clínica Cartagena del Mar entre 2009 y de 2010 [Tesis]* Cartagena: Universidad Nacional de Colombia; 2011.
- Shah N, Ramankutty V, Premila PG, & Sathy N. Risk factors for severe pneumonia in children in south Kerala: a hospital-based case-control study. *Journal of Tropical Pediatrics*;1994;40:201-206.
- Shy C, Greenberg R, & Winn D. Sentinel health events of environmental contamination: a consensus statement. *Environmental Health Perspectives*;1994;102:316-317.
- Siachoque Y. *Distribución de metales en los sedimentos de diferentes cuerpos de agua de Colombia [Tesis]*. Bogotá: Universidad de la Salle;2001.
- Silva E, Morales L, & Ortiz J. Evaluación epidemiológica de plaguicidas inhibidores de acetilcolinesterasa en Colombia, 1996-1997. *Biomédica*;2000;20:200-209.
- Skvarca J, & Aguirre A. Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: Guía para los límites de exposición y los protocolos de medición. *Revista Panamericana de Salud Pública*;2006;20:205-212.
- Smith K, & Ezzati M. How environmental health risks change with development: the epidemiologic and environmental risk transitions revisited. *Annual Review of Environmental And Resources*;2005;30:291-333.
- Smith K, Corvalan C, & Kjellstrom T. How much global ill health is attributable to environmental factors?. *Epidemiology*;1999;10:573-584.
- Smith KR. *Biofuels, air pollution and health: A global review*. Nueva York: Plenum Press;1987.
- Smith KR. Fuel combustion, air pollution and health: the situation in developing countries. *Annual Review of Energy and Environment*;1993;18:529-566.
- Snijder CA, Te Velde E, Roeleveld N, & Burdorf A. Occupational exposure to chemical substances and time to pregnancy: a systematic review. *Human Reproduction Update*;2012;18:284-300.
- Solarte I, Caicedo M, & Restrepo S. *Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños en Bogotá*, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 1999.
- Solórzano L, Hernandez G, & Jaramillo D. Colombia: 40 million people exposed to extreme ultraviolet radiation during the whole year. *Radiation Protection Dosimetry*;2000;91:325-328.

- Soto C, Gutiérrez S, Rey A, & González E. Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo. *NOVA Publicación Científica*;2010;8:121–240.
- Storesund A, & Rønning F. Miljørettet helsevern og industriforurensning i 1890-årene. *Tidsskrift for den Norske Lægeforening*;2001;121:3561-5.
- Strahler A, & Strahler AH. *Introduction to environmental science*. Hamilton Publishing. USA;1974.
- Suárez CI, & Gomez W. Residuos peligrosos en Colombia. *Revista de Ciencias Administrativas y Sociales, Universidad Nacional*;2000;15:41-52.
- Suarez D, Albarracín A. Problemas visuales y oculares asociados al trabajo con cromo en curtiembres de san Benito en una empresa de Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2008.
- Susser M. What is a cause and how do we know one? A grammar for pragmatic epidemiology. *American Journal of Epidemiology*;1991;133:635-648.
- Tauxe RV, Mintz ED, & Quick RE. Epidemic cholera in the new world: translating field epidemiology into new prevention strategies. *Emerging Infectious Diseases*;1995;1:141.
- Taylan V, Dahiya RP, & Sreekrishnan TR. State of municipal solid wastemanagement in Delhi the capital of India. *Waste Management*;2008;6:1276-1287.
- Tchobanoglous G, Theisen H, & Vigil SA. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. (2 Ed.) México: Mc Graw Hill;1998.
- Téllez JA, Carvajal RM, Gaitán AM. Aspectos Toxicológicos Relacionados con la Utilización del Cromo en el proceso Productivo de Curtiembres. *Revista Facultad de Medicina Universidad Nacional de Colombia*;2004;52:50-61.
- Téllez JA. Toxicidad crónica por plomo en menores trabajadores de mecánica automotriz Barrio Girardot Bucaramanga [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia;1987.
- Tello P, Martínez E, Daza D, Soulier M, & Terraza Horacio. Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y El Caribe 2010. Recuperado de: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>;2010.
- Tenembaum D. Coca-killing controversy. *Environmental Health Perspectives*;2002;110:A236.
- Thomas E. *Solid Waste Management. Critical Issues for Developing Countries*. Toronto: Hignell Ltd;1998.
- Tirado O, Manjarrez G, & Díaz C. Caracterización ambiental de la ciénaga de la Quinta localizada en Cartagena de Indias, Colombia 2009 - 2010. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*;2011;14:131-139.
- Tirado V, García M, Moreno L, et al. Alteraciones neuropsicológicas por exposición ocupacional a vapores de mercurio en el Bagre, Antioquia, Colombia. *Neurología*;2000;31:712-716.
- Toro MV, Molina E, Serna J, Fernández M, & Ramírez GE. Plan de descontaminación del aire en la región metropolitana del Valle de Aburrá Producción + Limpia;2010;5:10-26.
- Torres H. Efectos biológicos por exposición a campos. *Innovación y Ciencia*;2005;12:48-54.
- Torres JE. Análisis de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica en Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad de los Andes;2002.
- Torres JI, & Alzate LH. Efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en sistemas biológicos. *Revista Médica de Risaralda*;2006;12:44-54.



- Torres JI, Ochoa MC. Criterios técnicoambientales para el análisis del riesgo por contaminación electromagnética no ionizante en Colombia. *Revista Luna Azul*;2007;24:8-14.
- Troya MC, & Zabala J. Influencia en la salud de la población expuesta a radiaciones no ionizantes con frecuencias comprendidas entre 0 Hz a 300 GHz [Tesis]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana;2007.
- Universidad de la Salle/ Fundación Neumológica de Colombia. Efectos de la quema de Caña de Azúcar sobre la salud respiratoria de la población del valle geográfico del Rio Cauca. Investigación. Cali: Universidad de la Salle/ Fundación Neumológica de Colombia;2012.
- Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). Evaluación de la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista. Medellín: Grupo de investigaciones ambientales, GIA, 2006.
- Upton A. Radiación. En: Frumkin H (Ed.), *Salud Ambiental (747-787)*. Washington: Organización Panamericana de la Salud;2010.
- Urban P, Gobba F, Nerudova J, et al. Color discrimination impairment in workers exposed to mercury vapor. *Neurotoxicology*;2003;24:711-716.
- Urbina D, Arzuza O, Young G, Parra E, Castro R, & Puello M. Rotavirus type A and other enteric pathogens in stool samples from children with acute diarrhea on the Colombian northern coast. *International Microbiology*;2003;6:27-32.
- Urbina D, Mendoza K, Puello M, Baena N, Young G, Flechas LA, et al. Cólera en Bolívar de 1991 a 1997. *Biomédica*;1997;17:313-20.
- Vahter M, Akesson A, Lidén C, et al. Gender differences in the disposition and toxicity of metals. *Environmental Research*;2007;104:85-95.
- Valbuena JJ, Duarte M, & Marciales C. Evaluación de plomo en sangre de trabajadores de industrias de baterías. *Revista Colombiana de Química*;200;30:17-25.
- Valencia JA, Espinosa A, Parra A, & Peña M. Percepción del riesgo por emisiones atmosféricas provenientes de la disposición final de residuos sólidos. *Revista de salud pública*;2011;13:930-941.
- Valera M, López C, López J, & Sáez JM. Medio ambiente, medio social y epidemias: topografía médica de Cartagena y la epidemia de cólera de 1885 según Federico Montaldo y Peró. Lull: *Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*;2004;27:165-190.
- Vargas FA, & Rojas NY. Composición química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogotá. *Ingeniería e investigación*;2010;30:105-115.
- Vargas FA, Rojas NY, Pachon JE, & Russell AG. PM<sub>10</sub> characterization and source apportionment at two residential areas in Bogota. *Atmospheric Pollution Research*;2012;3:72-80.
- Vargas ML, & Quiroz CA. Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de mercurio medioambiental, Colombia, 2008-2009. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*,2011;29:461-468.
- Varona M, Cárdenas O, Crane C, Rocha S, Cuervo G, & Vargas J. Alteraciones citogenéticas en trabajadoras con riesgo ocupacional de exposición a plaguicidas en cultivos de flores en Bogotá. *Biomedica*;2003;23:141-52.
- Varona M, De la Hoz F, Peña G, & Cárdenas O. Seguimiento de una cohorte de mujeres trabajadoras en cultivos de flores de la Sabana de Bogotá. *Biomédica*;1998a;18:30-6.

- Varona M, Díaz S, Henao G, et al. Exposure factors to organophosphate and carbamates pesticides in the Putumayo department, 2006. *Pesticides - The Impacts of Pesticides Exposure*. Rijeka: InTech;2011: 91-102.
- Varona M, Henao GL, Díaz S, et al. Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. *Biomédica*;2009;29:456–475.
- Varona M, Morales L, Ortiz J, Sánchez J, Cárdenas O, & De la Hoz F. Panorama epidemiológico de exposición a plaguicidas inhibidores de colinesterasa en 17 departamentos país. *Biomédica*;1998b;18:22-29.
- Varona ME, Lancheros AR, Murcia AL, et al. Organochlorine pesticide exposure among agricultural workers in Colombian regions with illegal crops: an exploration in a hidden and dangerous world. *International Journal of Environmental Health Research*;2010;20:407-414.
- Varona ME, Torres CH, Díaz SM, Palma RM, Checa DM, & Conde JV. Estado de la oferta técnica de servicios de higiene y seguridad industrial, Colombia 2010. *Biomédica*;2012;32:60-70.
- Vasquez A. Evaluación por espectrometría de absorción atómica de mercurio en aguas del tramo sur del río Cauca [Tesis]. Santiago de Cali;2001.
- Veiga M. El lugar más contaminado con mercurio en el mundo: impresiones de dos visitas de campo. [ONUDI ] Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial: Antioquia, Colombia;2010.
- Veiga M. Mercury in Artisanal Gold Mining in Latin America: Facts, Fantasies and Solutions. Vienna: [UNIDO] Expert Group Meeting;1997b.
- Velasco M. La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales [Tesis]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales;2005.
- Vesga C, & Prez H. Prospección y Génesis del Mercurio en el Flanco Occidental de la Cordillera Central de Colombia, Municipios de Aranzazu, Salamina y Pácora. Departamento de Caldas: [INGEOMINAS] Instituto Colombiano de Geología y Minería;1979.
- Vivas I. Gestión integral del mercurio generado en centros de atención de salud vinculadas al convenio de producción limpia del DAMA y centros odontológicos en Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad de la Salle;2005.
- Wasserman E. Environment health and gender in Latin America: trends and research issues. *Environmental Research*;1999;80:253-273.
- Webster PC. Not all that glitters: mercury poisoning in Colombia. *The Lancet infectious diseases*;2012;379:1379-1380.
- Winchester L. El desarrollo sostenible de los asentamientos humanos en América Latina y el Caribe. *Medio ambiente y desarrollo*;2006;99:5-40.
- Wing S, Cole D, & Grant G. Environmental injustice in North Carolina's hog industry. *Environ Health Perspect*;2000;108:225-31.
- Wolff E. Entrada y circuito del mercurio en el ecosistema debido a la minería aurífera. Caso río surata, Santander, Colombia [Tesis]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander;2000.
- Wu AH, Dai XD, Blot W, Xu ZY, Dom XW, Xiaoe HP, et al. Lung cancer among women in north-east China. *British Journal of Cancer*;1990;62:982–987.



- Yepes DL, Gómez M, Zárate C, et al. Niveles de ruido y concentraciones de monóxido de carbono-CO- en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid de Medellín. *POLITÉCNICA*;2008;72:19–32.
- Yepes U, Rodríguez L, Gómez Y, Olaya L, & Rodríguez S. Aislamientos de patógenos comunes asociados con enfermedad diarreica aguda en menores de cinco años, Bucaramanga, Colombia. *MedUNAB*;2010;12:74-79.
- Yu CH, Fan Z, McCandlish E, Stern AH, & Liroy PJ. Characterization of spatial impact of particles emitted from a cement material production facility on outdoor particle deposition in the surrounding community. *Journal of the Air & Waste Management Association*;2011;61:1015-1025.
- Zarante I, Franco L, Lopez C, et al. Frecuencia de malformaciones congénitas: evaluación y pronóstico de 52.744 nacimientos en tres ciudades colombianas. *Biomédica*;2010;30:65-71.
- Zerbock O. Urban Solid Waste Management: Waste Reduction in Developing Nations. School of Forest Resources & Environmental Science. Master's International Program, p. 23. 2003.