

**PROTOCOLO DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD  
DEL AIRE EN CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER**

**JOHAN MANUEL SALAZAR RUIZ**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y  
QUÍMICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA, junio 11 de 2020**

**PROTOCOLO DE MONITOREO Y EVALUACIÓN PARA LA  
CALIDAD DEL AIRE EN CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER**

**JOHAN MANUEL SALAZAR RUIZ**

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director: MARTHA LUCÍA PINZÓN BEDOYA**

Ing. Química, M.Sc., Ph.D. Docente titular Universidad de Pamplona

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y  
QUÍMICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**Pamplona, junio 11 de 2020**

A Emery y Wilson

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Dios por permitirme llegar al final de mi carrera, a mis padres Wilson y Emercy por haberme acompañado a lo largo de mi carrera, su amor y comprensión, a mis hermanos y hermanas que son el motor de mi vida.

Agradezco también al programa de Ingeniería Química de la Universidad de Pamplona y a los docentes que me guiaron a través de todo el proceso formativo y adquirir los saberes que me permiten llegar a este punto de mi carrera, a la Doctora Martha Pinzón, docente de la sede Villa del Rosario por el conocimiento compartido y el apoyo en la realización de este trabajo de monografía.

Finalmente quiero agradecer a Alejandra Quintín, mi mejor amiga y la mejor compañera de carrera que pude tener por su amor y apoyo durante tantos años, y a Hoswa Castro por su colaboración en el desarrollo de esta monografía, su compañía y paciencia, y a cada uno de mis amigos y compañeros que estuvieron ahí a lo largo de este proceso formativo.

## GLOSARIO

**AIRE:** es el fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica (MinVivienda, 2000).

**ATMÓSFERA:** es la capa gaseosa que rodea a la tierra (McNaught & Wikinson, 2005).

**CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA:** es la presencia de sustancias en la atmósfera en altas concentraciones, en un tiempo determinado, como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que pueden ocasionar daños a la salud de las personas o al ambiente.

**SISTEMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE (SVCA):** es un conjunto de procesos, herramientas e instrumentos que tienen como fin determinar los niveles de inmisión que se dan en un área determinada.

**PLANES DE GESTION DE LA CALIDAD DEL AIRE (PGCA):** conjunto de procesos, procedimientos y normas cuyo propósito es reducir el impacto que ocasionan al ambiente atmosférico y la salud pública, diferentes tipos de fuentes, dentro de un marco de mejoramiento continuo.

**EMISIÓN:** descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil (MinAmbiente, 1995).

**INMISIÓN (MinAmbiente, 1995):** transferencia de contaminantes de la atmósfera a un “receptor”. Se entiende por inmisión a la acción opuesta a la emisión. Aire inmiscible es el aire respirable a nivel de la troposfera.

**FUENTE DE EMISIÓN:** actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire (MinAmbiente, 1995).

**NORMA DE EMISION:** es el valor de descarga permisible de sustancias contaminantes, establecido por la Autoridad ambiental competente, con el objeto de cumplir la norma de calidad del aire.

**ÁREA-FUENTE:** es una determinada zona o región, urbana, suburbana o rural, que, por albergar múltiples fuentes de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del aire (MinAmbiente, 1995).

**SUSTANCIA DE OLOR OFENSIVO:** es aquella que, por sus propiedades organolépticas, composición y tiempo de exposición puede causar olores desagradables (MinAmbiente, 1995).

**CONTROL DE CALIDAD:** son técnicas operacionales y actividades que garantizan la calidad de un producto o servicio. El control de calidad también puede ser entendido como Control Interno de Calidad y se ejecuta como chequeos incluidos en los procedimientos normales; por ejemplo: calibraciones periódicas, chequeos dobles, muestreos controlados, etc. (MinAmbiente, 1995).

**MUESTREO:** acción de escoger muestras representativas de la calidad o condiciones medias del aire. Selección de una pequeña parte estadísticamente determinada, utilizada para inferir el valor de una o varias características del conjunto; para el caso de monitoreo de calidad del aire las características a determinar hacen referencia a las concentraciones de los diversos contaminantes.

**ANÁLISIS:** determinación directa de la presencia y/o concentración de contaminantes (gases o material particulado) en la muestra de aire que se hace pasar por el equipo; el análisis puede ser de tipo químico u óptico y permite conocer valores in situ y en tiempo real.

kPa: Unidad de presión, kilo-Pascal. Donde  $101.325\text{KPa} \approx 1 \text{ atm}$

l: Unidad de volumen, litros

ml: Unidad de volumen, mililitros

mm: Unidad de longitud, milímetros

mm Hg: Unidad de presión, milímetros de mercurio. Donde  $760 \text{ mm Hg} \approx 101.325 \text{ KPa}$

N<sub>2</sub> Nitrógeno

NH<sub>4</sub>: Ion amonio

NO: Monóxido de nitrógeno.

NO<sub>2</sub>: Dióxido de nitrógeno.

N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Trióxido de dinitrógeno.

N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Tetróxido de dinitrógeno.

N<sub>2</sub>O: Óxido nitroso.

N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Pentóxido de dinitrógeno.

NO<sub>x</sub>: Óxido de Nitrógeno.

OH<sup>-</sup>: Ion hidroxilo.

Pb: Plomo.

PCBs: Bifenilos policlorinados.

PST: Partículas suspendidas totales.

PM: Material particulado.

PM<sub>2.5</sub>: Material particulado menor o igual a 2.5 micrómetros.

PM<sub>10</sub>: Material particulado menor o igual a 10 micrómetros.

ppm: Unidad de concentración, partes por millón.

SO<sub>x</sub>: Óxidos de azufre.

COVs: Compuestos orgánicos volátiles.

µm: Unidad de longitud, micrómetro.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN .....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
4. ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD DEL AIRE .....	16
4.1 GENERALIDADES.....	16
4.2 ANTECEDENTES.....	16
4.3 NORMATIVIDAD .....	18
5. CONTAMINACIÓN DEL AIRE – CASO DE ESTUDIO.....	21
5.1 CAUSAS .....	21
5.2 CONSECUENCIAS.....	21
6. PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y EVALUACIÓN.....	22
6.1 PGCA.....	22
6.1.1 Etapas de un PCGA .....	23
6.2 SVCA .....	24
6.2.1 Sistemas de vigilancia.....	24
6.2.2 Operación de los sistemas.....	25
6.3 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN .....	26
6.3.1 Contaminantes criterio .....	26
6.3.2 Contaminantes no convencionales con efectos carcinógenos.....	27
6.3.3 Sustancias generadoras de olores ofensivos .....	28
6.3.4 Técnicas para la evaluación de contaminantes criterio.....	28
6.3.4.1 Monitoreo de material particulado (PST, PM10 y PM2.5) por muestreador de alto volumen.....	28

6.3.4.2	Método de referencia para la determinación de dióxido de azufre en la atmósfera (método pararrosanilina) .....	29
6.3.4.3	Principio de medición de monóxido de carbono en la atmósfera (fotometría infrarroja no dispersiva por el método de cilindros múltiples).....	30
6.3.4.4	Medición del dióxido de nitrógeno en la atmosfera (Quimioluminiscencia en fase gaseosa) .....	31
6.3.4.5	Medición de ozono en la atmosfera.....	32
6.3.5	Diagrama de flujo de proceso para la aplicación de las técnicas de muestreo ..	33
6.3.6	Distribución de los equipos de muestreo para la ciudad de Cúcuta Norte de Santander .....	34
7.	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS .....	36
8.	CONCLUSIONES.....	37
9.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	38
10.	Referencias.....	39

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco Normativo de la Calidad del Aire en Colombia.....	19
Tabla 2. Niveles máximos permisibles de los contaminantes criterio .....	26
Tabla 3. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia .....	27
Tabla 4. Niveles máximos permisibles para contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos.....	27
Tabla 5. Niveles máximos permisibles para sustancias generadoras de olores ofensivos.....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Herramientas de un PGCA .....	22
Figura 2. Tipos de SVCA.....	25
Figura 3. PFD para muestreo .....	33
Figura 4. Ruta de acción para niveles calidad del aire.....	34
Figura 5. Mapa de la ciudad de Cúcuta.....	35

## 1. INTRODUCCIÓN

Este documento recopila información sobre la normatividad que regula las condiciones óptimas de la calidad del aire, haciendo énfasis en la Ciudad de Cúcuta, Norte de Santander. Además, se presentan algunas generalidades sobre los aspectos más relevantes desde el punto de vista del monitoreo para su diagnóstico, evaluación y control, trabajos desarrollados en cuanto a la calidad del aire en algunas ciudades de Colombia, así como el marco normativo con base en el cual se reglamenta la calidad del aire en el país.

El propósito de este trabajo se origina a raíz de una situación anómala presentada recientemente en la ciudad de Cúcuta, por el deterioro de la calidad del aire en su entorno, debido básicamente a actividades antropogénicas. Para ello se diagnosticarán las causas y consecuencias de este deterioro y se planteará un protocolo para el monitoreo, evaluación y seguimiento de la calidad del aire. Para establecer los indicadores y los valores de los compuestos contaminantes de la calidad del aire, se utilizará como referente el trabajo realizado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible y el IDEAM en el año 2007. Además, se tendrán en cuenta los aspectos concernientes a la actualización de los valores establecidos mediante Resolución 2254 de 2017. Dentro de este contexto, en el presente trabajo, se actualizan los valores de los indicadores y se contextualiza el protocolo a la problemática ambiental presentada en la ciudad de Cúcuta, denominándose este como Caso de Estudio.

El objetivo del protocolo para el monitoreo y la evaluación del aire es presentar las particularidades del plan de gestión de la calidad del aire (PGCA), así como

del sistema de vigilancia de la calidad del aire (SVCA), en cuanto a las características de los procesos para la medición del material que se encuentra en el aire, los equipos y reactivos necesarios, así como los valores límite permisibles y los valores de prevención, alerta y emergencia, para los contaminantes criterio.

## 2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

Son muchas las problemáticas que existen en torno al ambiente y al saneamiento ambiental, sin embargo, aunque el aire es uno de los principales recursos de la naturaleza, no se evidencia un control estricto en torno a las características del mismo y en algunas ciudades no hay un plan de gestión que permita identificar las condiciones de locales aire. Existen diferentes fuentes que afectan este recurso, siendo las más significativas las fuentes fijas, las cuales pueden puntuales y dispersas o difusas, y las fuentes móviles (Reglamento de Protección y Control de la Calidad del aire - Decreto 948 de 1995) (MinAmbiente, 1995). Dentro de las fuentes fijas puntuales se encuentran las industrias, las cuales producen emisiones que son descargadas directamente a la atmósfera. La quema de basuras está clasificada como una fuente fija dispersa o difusa y dentro de las fuentes móviles se encuentra el sector transporte.

El propósito de este documento es presentar un protocolo para el monitoreo y evaluación de la calidad del aire en la ciudad en Cúcuta, cuya principal motivación fue la problemática de contaminación atmosférica presentada en el área metropolitana durante los meses de abril y marzo de 2020, principalmente, donde la comunidad se quejaba de las pésimas condiciones del aire; evidenciándose la carencia de un sistema de alerta que permita tomar acciones correctivas antes de que se presenten este tipo de situaciones.

La anterior problemática se solucionaría con la aplicación del protocolo para el monitoreo y evaluación de la calidad del aire mediante el PGCA y el SVCA, a partir de los cuales se pueden identificar los focos de contaminación para tomar acciones correctivas. Con ello se garantizaría a la comunidad el disfrute a un aire de calidad en el área metropolitana de Cúcuta, el cual trasciende fronteras.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un protocolo para monitoreo y evaluación (M&E) de la calidad del aire en Cúcuta, Norte de Santander.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Consultar la normativa vigente en Colombia para el monitoreo y control de la calidad del aire en Colombia
- Indicar las posibles causas y consecuencias de la contaminación del aire en la Ciudad de Cúcuta en Norte de Santander.
- Definir un protocolo para el monitoreo y la evaluación de la calidad del aire
- Estructurar un diagrama de flujo para la realización del monitoreo y evaluación de la calidad del aire

## **4. ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD DEL AIRE**

### **4.1 GENERALIDADES**

El aire se constituye como el medio gaseoso, fundamental y necesario para la vida y el mantenimiento de los ecosistemas, al mismo tiempo es el medio en el cual se desarrollan gran parte de los seres vivos, constituido por alrededor de un 78% de N<sub>2</sub>, 21% de O<sub>2</sub>, y pequeñas trazas de CO<sub>2</sub>, y Ar (Álvarez, Menéndez, & Bravo, 2018).

El deterioro de la calidad del aire, definido como contaminación del aire, corresponde a la presencia de compuestos (gaseosos, líquidos o sólidos) que habitualmente no se encuentran en el medio, los mismos se encuentran dispersos en pequeñas cantidades, pero suficientes para afectar el ecosistema, causando efectos nocivos en seres humanos, fauna y flora, y afectando estructuras como edificaciones o monumentos (Álvarez, Menéndez, & Bravo, 2018). La ONU estima que la contaminación atmosférica afecta al 90% de la población mundial, y causa la muerte de 7 millones de personas cada año (ONU, 2019), sin embargo, la OMS estima que 4,2 millones de esas muertes se dan en países de vías de desarrollo, quienes tienen que amortiguar la contaminación producida, principalmente por países desarrollados, los decesos se deben principalmente a la exposición a partículas de P.M 2.5, lo que causa enfermedades cardiovasculares, respiratorias, cáncer, entre otras.

### **4.2 ANTECEDENTES**

La contaminación del aire, es un problema para cada uno de los habitantes de la tierra, ya que, animales, plantas, humanos, industrias requieren de unas condiciones óptimas del aire para poder desarrollarse.

En los primeros milenios el hombre vivió en armonía con el entorno, luego, con el descubrimiento del fuego y el uso de carbón como combustible se dio inicio a la contaminación atmosférica y la liberación de humo y gases (Montero, 2010).

Algunos trabajos a nivel internacional y nacional, han tratado de estudiar la problemática que gira en torno a la calidad del aire y los impactos del mismo.

En el artículo *Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM 10* por Arciniegas, 2012 que estudia el material particulado que es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas.

La presencia en la atmósfera de este contaminante ocasiona variedad de impactos a la vegetación, materiales y el hombre, entre ellos, la disminución visual en la atmósfera, causada por la absorción y dispersión de la luz. Además, la presencia del material particulado está asociada con el incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares en muestras de adultos. Es necesario, además de realizar mediciones de la concentración de este contaminante, evaluar su comportamiento en el espacio y el tiempo, asociándolo con los fenómenos meteorológicos, composición química y origen, los cuales permitan orientar estrategias de control y realizar seguimiento por parte de las autoridades ambientales interesadas. Este artículo presenta una revisión bibliográfica de los impactos asociados con partículas presentes en la atmósfera, los equipos para su monitoreo, aplicaciones tecnológicas complementarias y tecnologías de control (Arciniegas, 2012).

Otro trabajo presenta un estudio de la calidad del aire realizado en cuatro puntos de la ciudad de Manizales, en el cual se analizó la dinámica de dispersión de las dioxinas (PCDD), furanos (PCDFs), dioxin-like PCBs (dl-PCBs) y PM inferior a 10 micrómetros de diámetro (PM10) en el aire ambiente de la ciudad. Las PCDD/PCDFs fueron evaluadas en la fase gaseosa y en la fase particulada, utilizando equipos de monitoreo de aire pasivo (PAS) y equipos de alto volumen (HiVol), respectivamente. El monitoreo pasivo, corresponde a la primera campaña realizada en Colombia para el seguimiento de PCDD/PCDF y dl-PCBs en zona urbana, y participa como fuente de información de la contaminación atmosférica por COPs en Latinoamérica, *Evaluación de la contaminación atmosférica en el ambiente de Manizales por COPs y PM10*, trabajo presentado por De la Paz, 2013, para la Universidad Nacional de Colombia.

El desarrollo de sistemas para monitoreo y evaluación de la calidad del aire en Colombia es una problemática tratada en la mayor parte de las ciudades principales, donde las fuentes de contaminación son mayores y la comunidad que se ve afectada es mucho mayor, como es el

*caso de Sistema para el manejo de la calidad del aire en la ciudad de Cali-Colombia, Se presenta el diseño de un sistema para el manejo de la calidad del aire: caso Cali – Colombia.*

En esta publicación se diseña sistema que facilita a las partes interesadas establecer políticas de emisión e inmisión de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas, definir las prioridades ambientales y sanitarias y adoptar las estrategias para reducir su deterioro. Se utilizaron técnicas de gestión ambiental como la evaluación del riesgo para identificar las fuentes de emisión, evaluar el nivel de emisión y concentración de contaminantes atmosféricos, estimar su efecto en el aire y población y valorar las acciones apropiadas para reducir las emisiones atmosféricas y se estructuró con base a lo establecido en la norma ISO 9000-2008. El sistema permite de una manera integrada y simplificada articular las medidas de control para obtener información de los efectos en la calidad del aire y de la población expuesta considerándolas condiciones tecnológicas, jurídicas y organizacionales de la zona de estudio para adoptar acciones que permitan su mitigación.

### **4.3 NORMATIVIDAD**

A partir del año 1967 se han realizado esfuerzos para controlar la contaminación del aire, El decreto ley 2811 de 1974, es la base sobre la cual se cimienta el uso y disposición de los recursos naturales en Colombia, en se precisa la calidad del aire como indispensable para la salud humana, animal y vegetal y se define la contaminación (del agua, suelo o aire) como la alteración del ambiente con sustancias o formas de energía puestas en él por la actividad humana o de la naturaleza en el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del ambiente de los recursos de la nación o de los particulares, el artículo 9 de este decreto propone la norma de la calidad del aire (MinAmbiente, IDEAM, 2007).

En la tabla 1 se presentan los diferentes decretos y resoluciones que rigen para el control de la calidad del aire en Colombia.

**Tabla 1. Marco Normativo de la Calidad del Aire en Colombia**

Fuente: Elaboración propia

Norma	Año	Disposiciones
Decreto 948	1995	Reglamentación y control de la calidad del aire (MinAmbiente, 1995)
Decreto 2107	1995	Modifica el decreto 948 en cuanto al uso de crudos pesados con contenidos superiores al 1,7% en peso de S (MinAmbiente, 1995)
Decreto 1697	1997	Modifica el decreto 948 en cuanto a que el ministerio de ambiente determinará en qué casos es posible el uso de aceites usados como combustible (MinAmbiente, 1997).
Decreto 2622	2000	Regulación en cuanto al uso de combustibles derivados del petróleo (MinAmbiente, 2000).
Decreto 979	2006	Por el cual se fija que las clases de normas de calidad del aire será fijada para periodos anual, diario, ocho horas, tres horas y una hora (MinAmbiente, 2006).
Resolución 601	2006	Establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, con el propósito de garantizar un ambiente sano y minimizar los riesgos sobre la salud humana que puedan ser causados por la concentración de contaminantes en el aire ambiente (MinAmbiente, 2006).
Resolución 909	2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de admisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones (MinAmbiente, 2008).
Resolución 910	2008	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones (MinAmbiente, 2008).

Resolución 650	2010	Por la cual el ministerio del medio ambiente adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MinAmbiente, 2010).
Resolución 2154	2010	Ajuste del MinAmbiente a la Resolución 650 de 2010 (MinAmbiente, 2010).
Resolución 2254	2017	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones (Resolución Número 2254, 2017).

## **5. CONTAMINACIÓN DEL AIRE – CASO DE ESTUDIO**

### **5.1 CAUSAS**

La contaminación del aire en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, que alcanzó su punto más alto en los meses de abril y marzo pudo deberse, según las autoridades colombianas a quemas de basura en el lado venezolano de la frontera, presentando (El Tiempo , 2020). Sin embargo y para otros efectos, la contaminación al aire puede llegar de diferentes fuentes como lo son: los hogares con las cocinas, la industria que utiliza muchos combustibles fósiles como fuente de energía y así emiten a la atmósfera grandes cantidades de gases contaminantes, la quema de combustibles en la industria del transporte y carga, por el uso de combustibles fósiles y la huella que dejan a lo largo de todo el territorio, la agricultura y ganadería, emiten gran cantidad de productos químicos a la atmósfera así como residuos del metabolismo de los animales que son uno de los principales problemas de las explotaciones extensivas, la producción de gas de efecto invernadero en la quema de residuos, y algunas fuentes naturales como las emisiones volcánicas (El Heraldó, 2020).

### **5.2 CONSECUENCIAS**

Las principales consecuencias de la contaminación atmosférica en los humanos corresponden a enfermedades relacionadas con el sistema respiratorio, sin embargo, otras consecuencias a las que se le presta menor atención son: el efecto invernadero, que calienta la superficie de la tierra y aumenta el calentamiento global, la lluvia ácida que se produce por acumulación en el aire de sustancias como ácido  $H_2SO_4$ , que provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles, variaciones en el comportamiento meteorológico, daño a la capa de ozono, daño a los materiales en los que se encuentran fabricadas las estructuras, reducción en la visibilidad debido a las grandes acumulaciones de humo y demás partículas en suspensión PM, contaminación de los alimentos y las fuentes hídricas (Graus, 2020).

## 6. PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y EVALUACIÓN

El protocolo para el monitoreo y la evaluación de la calidad del aire define los principales contaminantes que deben ser medidos, las técnicas de monitoreo y evaluación para cada uno de ellos, así como los tiempos de exposiciones de cada una de las pruebas y los equipos que se requieren en las técnicas de medición.

El protocolo para el monitoreo y evaluación se constituye de:

1. Manual de elaboración del plan de gestión de la calidad aire: contiene los lineamientos para el diseño de un PGCA
2. Diseño de sistemas de vigilancia de la calidad de la calidad aire: contiene todos los lineamientos y elementos conceptuales para diseñar un SVCA
3. Manual de operación del sistema: Forma y los procedimientos para operar un SVCA.

### 6.1 PGCA



**Figura 1. Herramientas de un PGCA**

Fuente: (MinAmbiente, IDEAM, 2007)

- Inventario de emisiones.
- Estudio de dispersión de contaminantes y creación de modelos a meso-escala.
- Monitoreo de la calidad del aire.
- Evaluación de los riesgos ambientales para la salud (estudios epidemiológicos).
- Evaluación de daños por contaminación.
- Análisis del costo ambiental de la contaminación atmosférica.
- Determinación de opciones de mitigación y control.
- Evaluación costo-beneficio de opciones de mitigación y control.
- Establecimiento de regulaciones y medidas de control.
- Desarrollo de programa educativo.

La medición y los inventarios de emisiones son diseñados con el fin de proveer fundamentos científicos y técnicos para el desarrollo de las políticas y estrategias, y la cuantificación de los impactos generados por la pérdida de la calidad del aire.

#### 6.1.1 Etapas de un PCGA

Un Sistema de Gestión en la Calidad del Aire PGCA se compone de una serie de etapas, que en Colombia están diseñadas bajo el esquema ISO 14000 y buscan determinar los mecanismos, responsabilidades, medidas y recursos.

Se constituye de las siguientes etapas:

- A. Revisión inicial
- B. Compromiso institucional para el mejoramiento de la calidad del aire
- C. Planeación
  - Evaluación de la Calidad del Aire
  - Revisión de requisitos Legales
  - Definición de Objetivos y metas
  - Programas de Gestión de la Calidad del Aire
- D. Implementación
  - Estructura y Responsabilidad
  - Capacitación y Competencia
  - Reporte a la Comunidad

- Documentación
- Control Operacional
- Planes de Emergencia y Contingencia

E. Verificación y acción correctiva

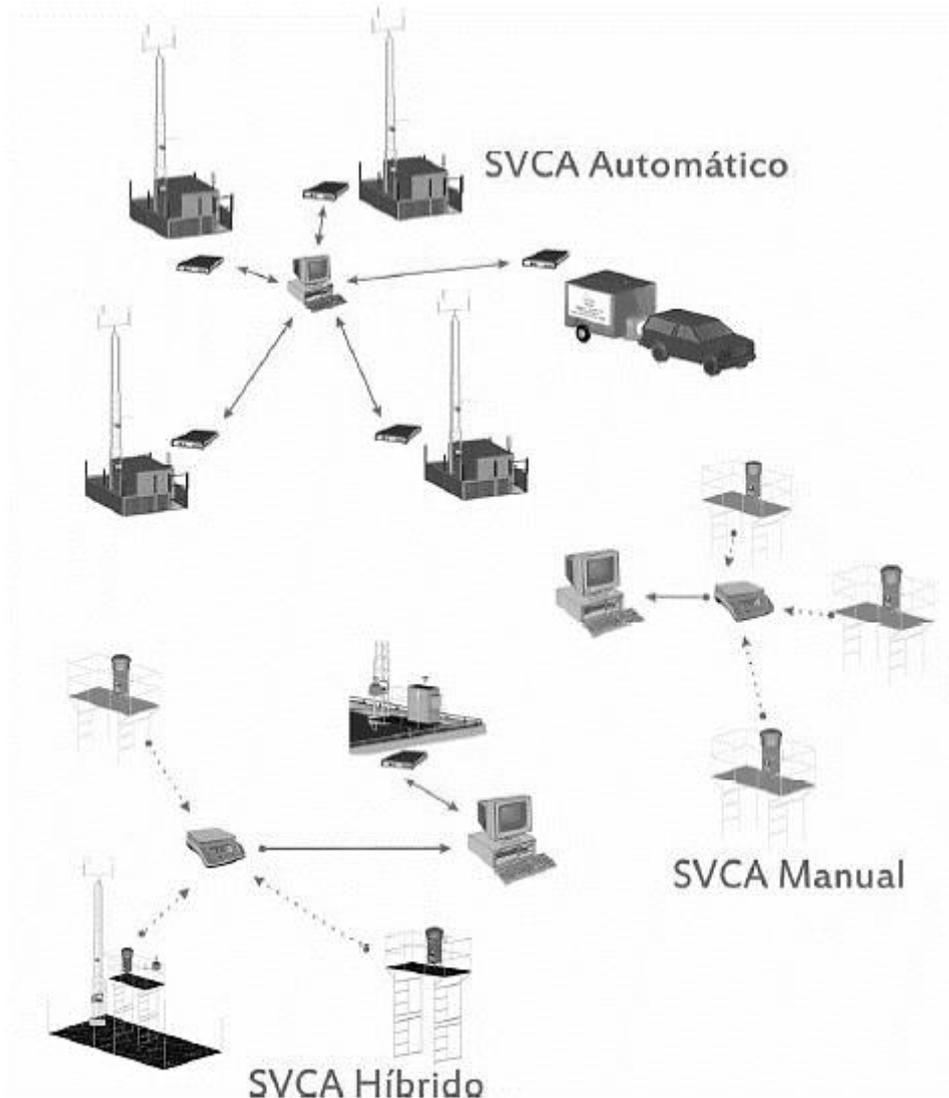
- Seguimiento y Medición
- No Conformidades y Acción Preventiva y Correctiva
- Registros
- Auditoria

F. Revisión de la dirección

## **6.2 SVCA**

### 6.2.1 Sistemas de vigilancia

- SVCA manuales: totalmente manuales, constituidos muestreadores.
- SVCA automáticos: constituidos totalmente por equipos y sistemas automáticos.
- SVCA híbridos: constituidos por la combinación entre equipos manuales y automáticos.



**Figura 2. Tipos de SVCA**

Fuente: (MinAmbiente, IDEAM, 2007)

### 6.2.2 Operación de los sistemas

La toma de muestras, para los diferentes sistemas de recolección se encuentra compuesta por tres momentos clave: premuestreo, muestreo y postmuestreo, los cuales varían dependiendo del material que se va a determinar, la técnica que se utiliza y el tiempo de exposición de la muestra.

## 6.3 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

### 6.3.1 Contaminantes criterio

**Tabla 2. Niveles máximos permisibles de los contaminantes criterio**

Fuente: (MinAmbiente, 2017)

<b>Contaminante</b>	<b>Nivel máximo permisible (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Tiempo de exposición</b>
<b>PST</b>	100	Anual
	300	24 horas
<b>PM10</b>	50	Anual
	75	24 horas
<b>PM2.5</b>	25	Anual
	37	24 horas
<b>SO<sub>2</sub></b>	20	Anual
	50	24 horas
	100	3 horas
<b>NO<sub>2</sub></b>	60	Anual
	120	24 horas
	200	1 hora
<b>O<sub>3</sub></b>	50	8 horas
	100	1 hora
<b>CO</b>	5.000	8 horas

**Tabla 3. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia**

Fuente: (MinAmbiente, 2017)

<b>Contaminante</b>	<b>Tiempo de exposición</b>	<b>Prevención (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Alerta (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Emergencia (µg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>PM10</b>	24 horas	155-254	255-354	> 355
<b>PM2.5</b>	24 horas	38-55	56-150	>151
<b>SO<sub>2</sub></b>	1 hora	198-486	487-797	>798
<b>NO<sub>2</sub></b>	1 hora	190-677	678-1.221	>1.222
<b>O<sub>3</sub></b>	8 horas	139-167	168-207	>208
<b>CO</b>	8 horas	10.820-14.254	14.255-17.688	>17.689

#### 6.3.2 Contaminantes no convencionales con efectos carcinógenos

**Tabla 4. Niveles máximos permisibles para contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos**

Fuente: (MinAmbiente, 2017)

<b>Contaminante</b>	<b>Nivel máximo permisible (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo de exposición</b>
<b>Benceno</b>	5	Anual
<b>Plomo y sus compuestos</b>	0,5	Anual
	1,5	24 horas
<b>Cadmio</b>	0,005	Anual
<b>Mercurio inorgánico (vapores)</b>	1	Anual
<b>Tolueno</b>	260	1 semana
	1.000	30 minutos
<b>Vanadio</b>	1	24 horas
<b>Níquel y sus compuestos</b>	0,18	Anual
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos expresados como Benzo (a) pireno</b>	0,001	Anual

### 6.3.3 Sustancias generadoras de olores ofensivos

**Tabla 5. Niveles máximos permisibles para sustancias generadoras de olores ofensivos**

Fuente: (MinAmbiente, 2017)

<b>Contaminante</b>	<b>Nivel máximo permisible (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
<b>Acetaldehído (<math>\text{C}_2\text{H}_4\text{O}</math>)</b>	380
<b>Acido Butírico (<math>\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2</math>)</b>	4,0
<b>Amoniac (<math>\text{NH}_3</math>)</b>	35,0
<b>Cloro fenol (<math>\text{C}_6\text{H}_5\text{ClO}</math>)</b>	0,1
<b>Dicloruro de azufre (<math>\text{SCL}_2</math>)</b>	4,2
<b>Etil mercaptano (<math>\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}</math>)</b>	0,5
<b>Etil acrilato (<math>\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2</math>)</b>	2,0
<b>Estireno (<math>\text{C}_8\text{H}_8</math>)</b>	200
<b>Monometil amina (<math>\text{CH}_5\text{N}</math>)</b>	27,0
<b>Monometil mercaptano (<math>\text{CH}_3\text{SH}</math>)</b>	4,0
<b>Nitrobenceno (<math>\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2</math>)</b>	24,0
<b>Propil mercaptano (<math>\text{C}_3\text{H}_8\text{S}</math>)</b>	22,0
<b>Butil mercaptano (<math>\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}</math>)</b>	3,0
<b>Sulfuro de dimetilo (<math>\text{C}_2\text{H}_5\text{S}</math>)</b>	5,0
<b>Sulfuro de hidrógeno (<math>\text{H}_2\text{S}</math>)</b>	7,0

### 6.3.4 Técnicas para la evaluación de contaminantes criterio

#### 6.3.4.1 Monitoreo de material particulado (PST, PM10 y PM2.5) por muestreador de alto volumen

##### **Método**

Un equipo muestreador de alto volumen obtiene una cantidad conocida de aire el cual se hace pasar a través de una entrada selectiva y un filtro en exposición. Las partículas son recolectadas en el filtro durante el período especificado por el programa de monitoreo, generalmente de 24 horas. Cada filtro es pesado antes y después del muestreo para determinar el peso neto obtenido de la muestra de material recolectado.

### **Equipo y accesorios.**

- Muestreador de alto volumen PST, PM10 o PM2.5.
- Filtros (PST, PM10 o PM2.5)
- Envoltura y rótulo para filtro.
- Guantes de látex.
- Formato de campo.
- Manómetro diferencial en U.
- Brocha de Limpieza.

### **Procedimiento**

El procedimiento de operación del muestreador de alto volumen consiste en el retiro y custodia de los filtros expuestos y en la instalación de los nuevos filtros que recolectarán las muestras para el siguiente período de medición. Para ello, se implementan los siguientes pasos:

1. Calibrar el HI.VOL (al comienzo de cada punto de toma de muestras).
2. Registrar el flujo y la hora inicial.
3. Colocar el papel de filtro en el muestreador.
4. Encender el muestreador (conexión a 110 volt).

*24 horas después.*

5. Registrar el flujo y la hora inicial.
6. Apagar y retirar el filtro.
7. Guardar y almacenar.
8. Acondicionar y pesar.
9. Anotar todos los datos en los formatos para posteriormente realizar los cálculos y obtener resultados.

6.3.4.2 Método de referencia para la determinación de dióxido de azufre en la atmósfera (método pararrosanilina)

### **Método**

Este método proporciona una medida de la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el ambiente para determinar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de calidad del aire para óxidos de azufre (dióxido de azufre). El método es aplicable a la medición de concentraciones de SO<sub>2</sub> en el ambiente usando períodos de toma de muestra de 30 minutos a 24 horas.

### **Equipo y accesorios.**

- Sonda para toma de muestra.
- Absorbente (toma de muestra de corta y larga duración).
- Dispositivo de control de flujo (combinación de rotámetro calibrado y válvula de aguja).
- Dispositivo de medición de flujo.
- Filtro de membrana para partículas.
- Bomba de vacío.
- Contenedor del tren de toma de muestra.
- Temporizador.
- Contenedor para transporte.
- Espectrofotómetro.
- Guantes de látex.
- Formato de campo.

### **Procedimiento**

1. Ensamblar el equipo.
2. Tomar la muestra (toma de 30 minutos, de 1 hora o de 24 horas)
3. Almacenamiento y envío de la muestra.
4. Análisis de la muestra en laboratorio (espectrofotómetro).
5. Anotar todos los datos en los formatos para posteriormente realizar los cálculos y obtener resultados.

6.3.4.3 Principio de medición de monóxido de carbono en la atmósfera (fotometría infrarroja no dispersiva por el método de cilindros múltiples)

### **Método**

Las mediciones se basan en la absorción de la radiación infrarroja de monóxido de carbono en un fotómetro no dispersivo. Este método utiliza cilindros estándar individuales de CO certificados para cada concentración necesitada.

### **Equipo y accesorios.**

- Cilindros estándar.
- Controladores de flujo.

- Medidores de flujo.
- Reguladores de presión para cilindros estándar de CO.
- Cámara de mezcla.
- Colector de salida.

### **Procedimiento**

1. Ensamble el sistema.
2. Calibrar los flujómetros.
3. Seleccione el rango de funcionamiento del analizador de CO.
4. Conecte la señal de salida del analizador de CO al dispositivo de recolección de datos.
5. Ajuste el sistema de calibración para entregar aire cero en el colector de salida.
6. Ajuste el flujo de aire cero y el flujo de CO.
7. Genere varias concentraciones adicionales.
8. Anotar todos los datos en los formatos para posteriormente realizar los cálculos y obtener resultados.

6.3.4.4 Medición del dióxido de nitrógeno en la atmosfera (Quimioluminiscencia en fase gaseosa)

### **Método**

Las concentraciones atmosféricas de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son medidas indirectamente por fotometría midiendo la intensidad de luz, en longitudes de onda mayor a 600 nanómetros, como resultado de la reacción quimioluminiscente de óxido nítrico (NO) con ozono.

### **Equipo y accesorios.**

- Controladores de flujo de aire.
- Controlador de flujo de NO.
- Flujómetros de aire.
- Flujómetros de NO.
- Regulador de presión para el cilindro con el estándar de NO.
- Secador.
- Cámara de temperatura constante.
- Dispositivo para medir temperatura.
- Válvulas.

- Cámara de mezcla.
- Colector de salida.

### **Procedimiento**

1. Ensamble el equipo.
2. Asegure que todos los flujómetros estén calibrados.
3. Instale el dispositivo de permeación en la cámara de temperatura constante.
4. Seleccione el rango de operación del analizador de NO/NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> a ser calibrado.
5. Conecte los cables de salida del registro del analizador de NO/NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> a los terminales de entrada del registrador de tira.
6. Gire la válvula para ventear el flujo del dispositivo de permeación y ajuste el flujo del aire de dilución.
7. Preparación de las curvas de calibración de NO y NO<sub>x</sub>.
8. Preparación de la curva de calibración de NO<sub>2</sub>.
9. Determinación de la eficiencia del convertidor.

#### 6.3.4.5 Medición de ozono en la atmósfera

Este método está basado en el análisis fotométrico de concentraciones de ozono (O<sub>3</sub>) en un sistema de flujo dinámico.

### **Equipo y accesorios.**

- Fotómetro UV.
- Controladores del flujo de aire.
- Generador de ozono.
- Manifold de salida.
- Válvula de dos vías.
- Indicador de temperatura.
- Barómetro o indicador de presión.

### **Procedimiento**

1. Preparación del fotómetro (calibración).
2. Análisis de las concentraciones de O<sub>3</sub>.
3. certificación de estándares de transferencia.
4. Calibración de analizadores de ozono.

6.3.5 Diagrama de flujo de proceso para la aplicación de las técnicas de muestreo

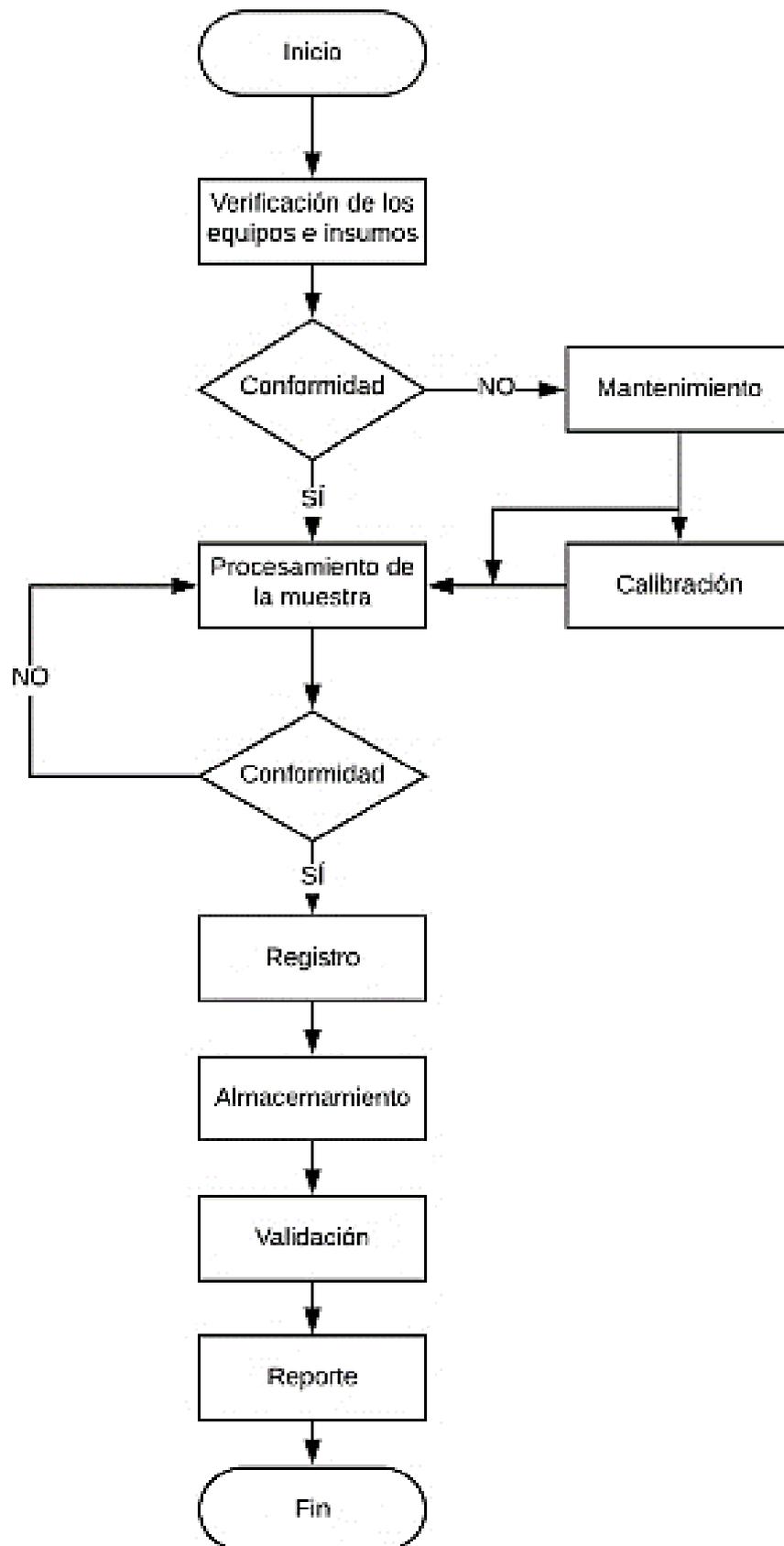
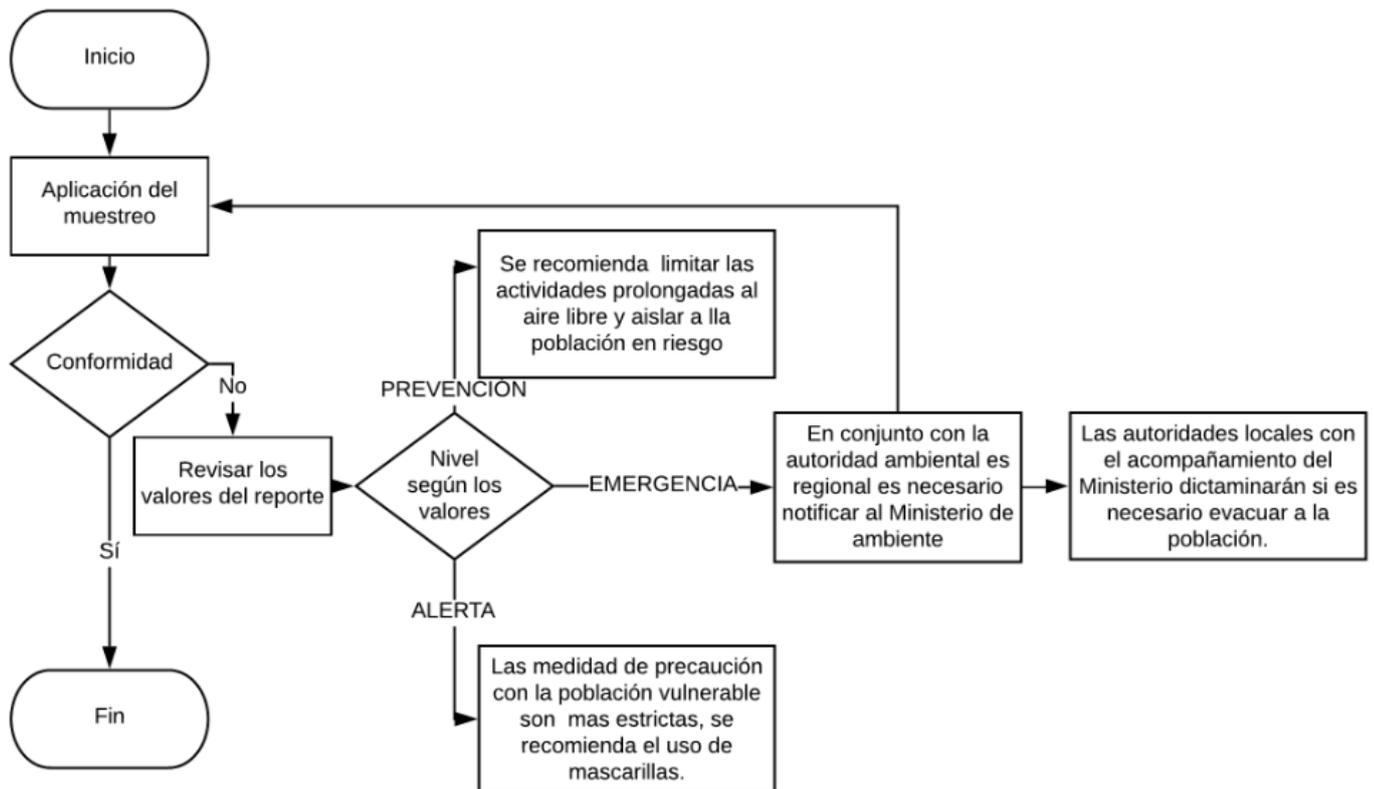


Figura 3. PFD para muestreo

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4. Ruta de acción para niveles calidad del aire**

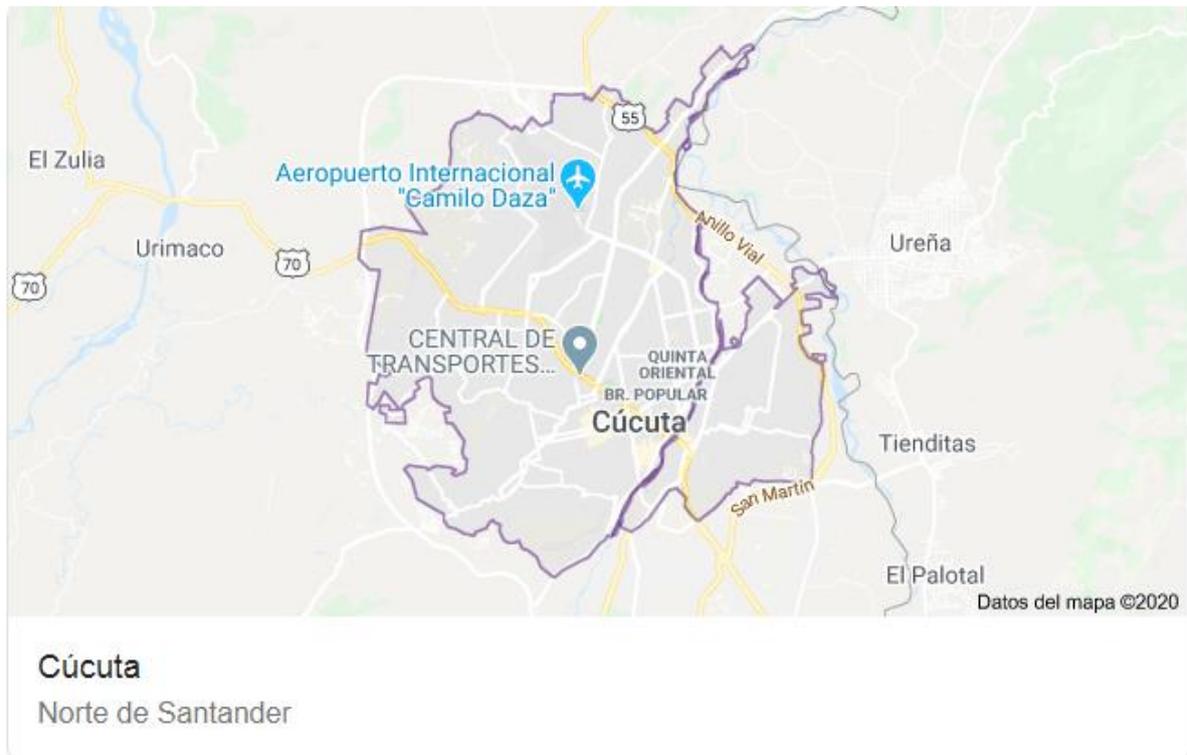
Fuente: Elaboración propia

### 6.3.6 Distribución de los equipos de muestreo para la ciudad de Cúcuta Norte de Santander

Para la distribución de las plataformas para el muestreo se consideran los puntos más importantes del área metropolitana, que cuenta con un área total de 1.250 km<sup>2</sup> distribuidos en los municipios de Cúcuta, Los Patios, Villa del Rosario, siendo estos los más importantes y San Cayetano, Puerto Santander y El Zulia, municipios con un casco urbano más pequeño pero igual pertenecientes al área metropolitana de Cúcuta (Muñoz, 2012), una de las mejores distribuciones para un sistema de monitoreo de la calidad del aire automático ha de involucrar los principales lugares de contaminación, como lo son la zona fronteriza con Venezuela, el centro de la ciudad, y los centros de los municipios de Los Patios y Villa del Rosario. De esta forma se tendría la información de la distribución de los agentes contaminantes como de la dimensión de la problemática, actualmente existe un sistema manual.

### Figura 5. Mapa de la ciudad de Cúcuta

Fuente: (Google, 2020)



## 7. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

El principal resultado encontrado en el rastreo de la información para el desarrollo del protocolo de monitoreo y evaluación de la calidad del aire para la ciudad de Cúcuta, son las denuncias de la comunidad con respecto de la percepción sobre la calidad del aire en la ciudad y las explicaciones del Ministerio de Ambiente, según el cual, la contaminación es debida a quema de basura del lado venezolano de la frontera.

La evolución de la normativa, es otro hallazgo importante ya que en los últimos 10 años los rangos permisibles tanto para PM como para los diferentes contaminantes criterio ha cambiado, y se proyecta que para el año 2030 los rangos permisibles para los contaminantes criterio y no convencionales sea mucho más bajo (MinAmbiente, 2017).

Un verdadero y eficiente control sobre la calidad del aire supone un cambio de paradigma desde la concepción misma del uso de combustibles para el transporte y la generación de energía, así como de las disposiciones de toneladas de desechos que son incinerados diariamente, debido a que estas se constituyen como las principales fuentes de compuestos tóxicos que se encuentran suspendidos en el aire, un verdadero control sobre la calidad de este supondría de hecho que se limita el uso de combustibles con altos contenidos de SO<sub>x</sub>, o que se cambie la forma en la que se disponen los desechos que son incinerados.

## 8. CONCLUSIONES

El diseño de un protocolo para monitoreo y evaluación permite: a) organizar los elementos que pertenecen a una línea de evaluación, b) definir criterios e indicadores y determinar qué elementos son necesarios para el seguimiento y; c) evaluar los indicadores definidos.

En la revisión para este trabajo en cuanto a la normatividad Colombia para el recurso aire, se evidenció que esta se encuentra desactualizada y que a las funciones que debe cumplir la autoridad ambiental en esta región del país, con relación a la calidad del aire, no cuenta con los datos suficientes y necesarios para hacer un diagnóstico preventivo de situaciones atípicas como las presentadas recientemente y fueron objeto del presente trabajo.

Es importante que para el desarrollo del PGCA y para la puesta en marcha SVCA, se evalúen los contaminantes no convencionales en el área metropolitana de Cúcuta, para lo cual la autoridad ambiental deberá realizar las gestiones pertinentes.

Además de la falta de los recursos físicos para la medición de los contaminantes no convencionales, se evidencia una falta de control por parte de la autoridad ambiental regional en cuanto a la actualización de los inventarios de fuentes fijas y móviles en el área metropolitana de la ciudad de Cúcuta.

## **9. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

El presente documento muestra una serie de criterios y las técnicas de análisis, sin embargo, no han sido implementados por el momento; para una etapa de implementación, se recomienda la medición de los contaminantes no convencionales.

Se presentan inmisiones de contaminantes a otros recursos como el agua de los principales afluentes hídricos de la región, sería interesante el diseño de protocolos que permitan evaluar la calidad de diferentes recursos y junto con el monitoreo y evolución de la calidad del aire le brinden a la región una percepción general de las condiciones de todo el medio.

## 10.REFERENCIAS

- Álvarez, E., Menéndez, J., & Bravo, M. (2018). *Calidad del aire*. Recuperado el 10 de Mayo de 2020, de Instituto Vasco de competitividad: <https://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orquestra/calidad-del-aire.pdf>
- Arciniegas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción PM10. *Luna Azul*, 34, 195-215. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- De la Paz, J. (2013). *Evaluación de la contaminación atmosférica en el aire ambiente de manizales por COPs y PM10*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/12171/1/4101005.2013.pdf>
- El Heraldo. (2020). *¿Qué causa la contaminación del aire?* Obtenido de Heraldo.es: <https://www.heraldo.es/branded/causas-de-la-contaminacion-del-aire/>
- El Tiempo . (2020). *MinAmbiente explica las razones de la mala calidad del aire en Cúcuta*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/minambiente-explica-las-razones-de-la-mala-calidad-del-aire-en-cucuta-480674>
- Google. (2020). *Cúcuta, Norte de Santander*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/place/C%C3%BAcuta,+Norte+de+Santander/data=!4m2!3m1!1s0x8e66459c645dd28b:0x26736c1ff4db5caa?sa=X&ved=2ahUKEwjHxJqP2fXpAhVkrN8KHdNjBE4Q8gEwAHoECAAsQAQ>
- Graus. (2020). *Consecuencias de la contaminación del aire*. Obtenido de <https://www.significados.com/causas-y-consecuencias-de-la-contaminacion-del-aire/>
- McNaught, A., & Wikinson, A. (2005). *Compendium of Chemical Terminology*. Obtenido de <https://goldbook.iupac.org/>
- MinAmbiente. (1997). *Decreto 1697 de 1997*. Obtenido de Presidencia de la República: [https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec\\_1697\\_270697.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec_1697_270697.pdf)
- MinAmbiente. (1995). *Decreto 2107 de 1995*. Obtenido de Presidencia de la República: [https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec\\_2107\\_301195.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec_2107_301195.pdf)

- MinAmbiente. (1995). *Decreto 948 de 1995*. Obtenido de Presidencia de la República:  
[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec\\_0948\\_1995.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf)
- MinAmbiente. (2000). *Decreto 2622 de 2000*. Obtenido de Presidencia de la República:  
<http://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2000decreto2622.pdf>
- MinAmbiente. (2006). *Decreto 979 de 2006*. Obtenido de Presidencia de la República:  
[https://www.catorce6.com/images/legal/Decreto\\_979\\_de\\_2006.pdf](https://www.catorce6.com/images/legal/Decreto_979_de_2006.pdf)
- MinAmbiente. (2006). *Resolución Número 601*. Obtenido de Presidencia de la República:  
<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/59-Resoluci%C3%B3n%20601%20de%202006%20-%20calidad%20del%20aire.pdf>
- MinAmbiente. (2008). *Resolución Número 909*. Obtenido de Presidencia de la República:  
<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcd0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9>
- MinAmbiente. (2008). *Resolución Número 910* . Obtenido de Presidencia de la República :  
<http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%C3%93N%20910%20DE%202008.pdf>
- MinAmbiente. (2010). *Resolución Número 2154*. Obtenido de Presidencia de la República:  
[http://legal.legis.com.co/document?obra=legcol&document=legcol\\_9530a04d5ef3b0c0e0430a010151b0c0](http://legal.legis.com.co/document?obra=legcol&document=legcol_9530a04d5ef3b0c0e0430a010151b0c0)
- MinAmbiente. (2010). *Resolución Número 650*. Obtenido de Presidencia de la República:  
<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/fb-Resolucion%20650%20de%202010%20-%20Adopci%C3%B3n%20protocolo%20calidad%20del%20aire.pdf>
- MinAmbiente. (2017). *Por la cual se adopta la norma de la calidad del aire y se dictan otras disposiciones*. Obtenido de Resolución N° 2254 de 2017:  
<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>
- MinAmbiente, IDEAM. (2007). *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del aire*. Obtenido de Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial :  
[https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/calidadAire/protocolo\\_monitoreo\\_calidad\\_aire.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/calidadAire/protocolo_monitoreo_calidad_aire.pdf)
- MinVivienda. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y saneamiento Básico 2000*. Obtenido de

<https://sites.google.com/site/legislacionambientaldecolombia/busqueda-por-asignatura/ras>

Montero, C. (2010). *Pronóstico de la calidad del aire en el área Metropolitana de la Ciudad de México a través del análisis de series de tiempo de los componentes del IMECA.*

Obtenido de Universidad Iberoamericana:  
<http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/015419/015419.pdf>

Muñoz, F. (2012). *El área Metropolitana de Cucuta como mecanismo de implementación del desarrollo sostenible de acuerdo al plan integral de desarrollo metropolitano "Area viva, región sostenible" en el departamento de Norte de Santander.* Obtenido de

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario:  
<https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/13477/1090463877-2017.pdf.pdf?sequence=1>

ONU. (4 de Marzo de 2019). *El aire contaminado es un "asesino silencioso"*. Recuperado el 11 de Mayo de 2020, de Noticias ONU: <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452171>

*Resolución Número 2254.* (2017). Obtenido de Presidencia de la República:  
<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>