



Sistema para el manejo de la calidad del aire en la ciudad de Cali – Colombia

System for managing air quality in Cali - Colombia

Luis Felipe Granada-Aguirre^I, Ileana Pérez-Vergara^I, Marino Valencia-Rodríguez^{II}, Ronald Rojas-Alvarado^I, Israel Herrera-Orozco^{III}

^I Universidad de San Buenaventura Seccional Cali. Cali, Colombia.

E-mail: lfgranada@usbcali.edu.co, igperez@usbcali.edu.co, rjrojas@usbcali.edu.co

^{II} Universidad Libre. Seccional Cali, Colombia

E-mail: marinval5@yahoo.com

^{III} Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Ministerio de Ciencia e Innovación de España. Madrid, España.

E-mail: israel.herrera@ciemat.es

Recibido: 04/03/2013

Aprobado: 20/11/2013

Resumen

Se presenta el diseño de un sistema para el manejo de la calidad del aire: caso Cali – Colombia. Este sistema 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.

Palabras clave: calidad del aire, contaminación del aire, políticas de emisión e inmisión.

Abstract

This research presents the design of a system for air quality managing: case Cali - Colombia. This structure facilitates to the interested parts to establish policies of emission and unmission of atmospheric pollutants of mobile and stationary sources, to define the environmental and sanitary priorities and to adopt the strategies to reduce his spoilage. It was used concepts of environmental management were in use as the evaluation of the environmental risk for identifying the emission sources, for evaluating the level of emission and concentration of atmospheric pollutants, for

estimating his effect in the air and population and for valuing the actions adapted to reduce the atmospheric emission. Equally, there it was use concepts of management of the quality. The structure

allows in a simplified way to articulate the control measures to obtain information of the effects in the quality of the air and of the exposed population considering the technological, juridical and organizational conditions of the zone of study.

Key words: *air quality, air pollution, emission and immission policies.*

I. INTRODUCCIÓN

Las toneladas de partículas y gases emitidas por las fuentes móviles, fijas, de área y las biogénicas al aire entran en contacto con las variables meteorológicas de la zona, inicia su etapa de mezcla y dispersión, se transforma en horas o días en contaminantes secundarios y reduce la calidad del aire en los ecosistemas urbanos. La persistencia de algunos de estos contaminantes en el aire provocan su bioacumulación y posterior biomagnificación en los ecosistemas urbanos, reduciendo la esperanza de vida e incrementando la mortalidad infantil en los cinco continentes del mundo de acuerdo con los estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Banco Mundial (BM) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) [1; 2; 3]. Esta situación ambiental y sanitaria impulsó que se realizaran estudios epidemiológicos desde la década de los años 80's y 90's en Europa y Estados Unidos, permitiendo a las entidades citadas anteriormente establecer los niveles máximos de concentración de **contaminantes criterio** en el aire urbano como línea base ambiental y sanitaria. En el año 2006, la OMS revisó el estado de la calidad del aire en algunas ciudades de los cinco continentes, existiendo una marcada diferencia entre los países industrializados, en transición y desarrollo, situación que limita una eficiente gestión sobre la calidad y manejo del aire, debido a las condiciones políticas, socioeconómicas, a la ausencia y/o incapacidad técnica por el no uso o uso de tecnologías obsoletas y por la ausencia de sistemas de control de la contaminación [1; 2; 3; 4].

La OMS (2006), Haq (2002) y Schwela (2004) proponen sistemas complejos para el manejo de la calidad del aire urbano; los mismos carecen de procedimientos para su implementación [1; 4; 5]. Sin embargo, en principio los citados autores aducen que dichas estructuras pueden implementarse en cualquier región o ciudad del mundo, dificultándose su implementación directa debido a la brecha tecnológica existente entre los países desarrollados y en vías de desarrollo, en relación a la calidad y/o insuficiencia de datos sobre calidad del aire, ausencia y/o baja implementación de medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas y a la no disponibilidad de procedimientos para la gestión de medidas de control de contaminantes atmosféricos [3; 4; 5; 6].

Aún cuando los sistemas propuestos para el manejo de la calidad del aire consideran los efectos en la salud pública y el ambiente, los mismos son genéricos y complejos, ya que establecen las acciones y los resultados a realizar, sin establecer una secuencia lógica que facilite a las instituciones involucradas gestionar adecuadamente y emplear el ciclo planear, hacer, verificar y actuar (PHVA) de manera eficiente y eficaz.

Martínez y Bergonzoli (2004), proponen un Sistema de Información Sanitario (SIS) basado en cuatro preguntas que no tienen una secuencia definida para su implementación, pero las etapas propuestas para la generación de información pueden ser empleadas conjuntamente con las acciones y resultados propuestos por la OMS (2006), Haq (2002) y Schwela (2004), y pueden responder a las necesidades y demandas organizacionales, sectoriales, sociales y del estado por la información sobre la calidad del aire que puede suministrar, es decir, la integración de las acciones y de los resultados de los sistemas de la calidad del aire y de las preguntas del sistema de información sanitario en un ciclo PHVA garantizará la obtención de la información ambiental y sanitaria necesaria para tomar decisiones políticas en esta materia [1; 4; 5; 7].

A continuación, se realiza una descripción de la revisión teórica realizada en los temas de gestión ambiental, sistemas para el manejo de la calidad del aire y sistemas de información sanitarios.

SISTEMA PARA EL MANEJO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CALI – COLOMBIA

La gestión ambiental minimiza y/o evita la contaminación desde su origen, es decir, es una acción antrópica orientada a optimizar las relaciones de respeto y responsabilidad de los seres humanos con la naturaleza. Es una metodología amplia que integra conceptos como la Producción más Limpia (P+L), técnicas de análisis como: la Evaluación del Riesgo Ambiental, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y técnicas de procedimiento y/o evaluación como la Evaluación del Impacto Ambiental. Estos elementos de gestión ambiental facilitan la identificación de la fuente de emisión, la evaluación, estimación y valoración del riesgo e impacto de las emisiones y la toma de decisiones, para minimizar las emisiones y reducir el riesgo e impacto ambiental y sanitario en el territorio [6].

Sistema para el manejo de la calidad del aire

Autores como Granada (2010), Carnevale (2012), Everard (2012), Kelly (2012) constatan que en más de 50 ciudades del mundo y en organizaciones y/o entidades internacionales (EEA, USEPA, BM, OMS) que trabajan en el manejo de la calidad del aire, los sistemas de calidad del aire más utilizados son los propuestos por la OMS, Haq y Schwela [6; 8; 9; 10].

Otros autores como, Koo (2012), Naiker (2012), Thambiran Y Diab, R. (2011), Vlachokostas (2011), resaltan las implicaciones de los niveles de desarrollo territoriales y regionales en las medidas de control de contaminantes [11; 12; 13; 14].

Estos sistemas dividen acciones y resultados que permiten tomar decisiones políticas para la planificación de las emisiones en el territorio, esencialmente de las fuentes móviles y fijas [4; 5; 7; 15]. Estas emisiones, en el caso de Cali, representan un 80 y 14% respectivamente según Jaramillo citado por Granada (2010) [6].

Algunas de las acciones propuestas más comunes en los sistemas para el manejo de la calidad del aire de la OMS (2006), Haq (2002) y Schwela (2004) son [1; 4; 5]:

- Analizar la relación dosis - respuesta.
- Establecer los daños ideales o económicos.
- Tomar decisiones políticas.
- Realizar medidas de control.
- Comparar el estándar de emisión y de calidad del aire.
- Simular la dispersión de contaminantes.
- Modelar la dispersión.

Los resultados esperados de estas acciones son:

- Estudios epidemiológicos/tóxicos.
- Estimados de efectos ambientales no humanos.
- Inventario de Emisiones Atmosféricas (IEA).
- Inventario de concentraciones de contaminantes al aire.
- Información de los efectos sobre la salud pública y ambiental.
- Estimados de la exposición de la población.
- Información de daños ideales o económicos.
- Establecimiento de normas por parte del poder ejecutivo.
- Estándares primarios y secundarios de calidad del aire.
- Estándares de emisión.
- Costos de medidas de control.
- Indicadores de logros.

Sistema de Información Sanitario (SIS)

El Sistema de Información Sanitario (SIS) de cada ciudad aporta al análisis de la situación sanitaria del territorio. El sistema arroja datos del comportamiento de las Enfermedades Respiratorias Agudas (ERAS) relacionadas con la contaminación atmosférica. De acuerdo con Martínez y Bergonzoli (2004), este sistema (SIS), responde a las necesidades y demandas organizacionales, sectoriales, sociales y del estado por el tipo de información suministrada [7]. El SIS responde a preguntas tales como:

- ¿Qué debe hacerse? Políticas, prioridades, estrategias y compromisos

- ¿Cómo se está modificando? La situación actualmente en el territorio.
- ¿Qué se está haciendo? Seguimiento, supervisión y control.
- ¿Cómo hacerlo? Planes, programación y normativas.

Estas preguntas se pueden considerar como la base para el diseño de un sistema para el manejo de la calidad del aire, porque facilitan la obtención y generación de la información sobre la calidad del aire urbano a partir del conocimiento de la modificación de su calidad.

La literatura consultada define las aproximaciones al sistema del manejo de la calidad del aire y se centran en la toma de decisiones políticas, las medidas de control y el inventario de emisiones atmosféricas; como un documento que contiene la cualificación, cuantificación, ubicación y variación en espacio y tiempo de las fuentes y sus emisiones. Sin embargo, los sistemas de la calidad del aire propuestos adolecen en sus acciones de un Sistema de Información Sanitario que facilite el manejo de la información. La revisión teórica realizada, evidencia las deficiencias en los países en desarrollo en términos de la implementación de acciones y el logro de resultados, encontrando que las ciudades revisadas en Europa, Estados Unidos y Canadá implementan todas las acciones, mientras que las ciudades consultadas en países de África, Asia y Latinoamérica presentan deficiencias en las acciones encaminadas al establecimiento de la Relación Dosis/Respuesta (el 100% de las consultadas) y en la modelación a excepción de cuatro ciudades Latinoamericanas como Santiago de Chile, Sao Pablo, Bogotá y Medellín [11; 12; 13; 14]. En el caso de Cali, las deficiencias encontradas por Granada fueron [6]:

- Falencias en el manejo técnico y ausencia de los datos obtenidos en las medidas de control adoptadas, sólo el 30 y el 40% de los datos de fuentes móviles y fijas están disponibles.
- Ausencia de instrumentos estandarizados e informático para la colección de datos de fuentes móviles en los Centro de Diagnóstico Automotriz y solo el 50% de los datos son útiles.
- Deterioro de la calidad del aire de moderada a insalubre en el PM₁₀.
- Ausencia de procedimientos de gestión que permitan la retroalimentación interna y entre las partes interesadas de los resultados obtenidos en las medidas de control.
- Ausencia de una toma de decisión política integral o intersectorial.
- Toma de decisiones políticas desde el punto de vista económico y no ambiental.
- Ausencia de indicadores de resultado sobre el manejo de la calidad del aire.
- No implementan *software* para modelar y estimar factores de emisión de fuentes móviles y fijas.
- Ausencia de un inventario de emisiones atmosféricas desde el año 2003.
- Ausencia de un plan de acción sobre el manejo de la calidad del aire.
- Ausencia de los resultados alcanzados por las acciones de reducción adoptadas en la ciudad.

Teniendo en consideración todo lo anterior, en este artículo se presenta el diseño de una estructura simplificada para el manejo de la calidad del aire urbano que integra elementos propuestos por la OMS (2006), Haq (2002) y Schwela (2004) y los propuestos por Martínez y Bergonzoli (2004) en lo referente a información sanitaria, enfocada en las medidas de control de contaminantes atmosféricos para fuentes móviles y fijas, ello permitirá obtener información para la toma de decisiones políticas mediante la articulación de las condiciones locales, tecnológicas, jurídicas y organizacionales de las partes interesadas en los países en desarrollo [1; 4; 5; 7].

II. MÉTODOS

Para desarrollar el Sistema para el Manejo de la Calidad del Aire, que fue implementado en la Ciudad de Cali – Colombia, se empleó el método científico apoyado en técnicas cualitativas y cuantitativas. Se diseñó se soportó en técnicas de gestión ambiental y de la calidad y en su concepción teórica se integraron las cuatro preguntas del Sistema de Información Sanitaria y las acciones (representadas en cuadros) y resultados (representados en círculos), que más se ajustaban a las condiciones jurídicas, tecnológicas y organizacionales de la población objeto de estudio [4; 5; 6; 7]. Se organizó en cuatro etapas: decisión política, la verificación del cumplimiento de la norma de emisión e inmisión, las medidas de control y las acciones para mejorar la calidad del aire. Se utilizó la gestión

SISTEMA PARA EL MANEJO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CALI – COLOMBIA

de calidad para establecer en el sistema propuesto, los componentes de Planeación (Etapa I), Verificación (Etapa II), Hacer (Etapa III) y Actuar (Etapa IV) simplificando la realización de las tareas de las partes interesadas.

III. RESULTADOS

Como elementos de salida de la planeación, se definieron tres indicadores de resultado: Índice de Calidad el Aire (ICA), Factor de Carga Ambiental de Fuentes Móviles (FCA_{fm}) y Factor de Carga Ambiental de Fuentes Fijas (FCA_{ff}); así como las normas locales de concentración de contaminantes (NLC) y emisión de fuentes móviles (NL_{fm}) y fijas (NL_{ff}), terminología empleada en el esquema del sistema.

El esquema para el diseño del sistema para el manejo de la calidad del aire: caso Cali, se muestra en la figura 1.

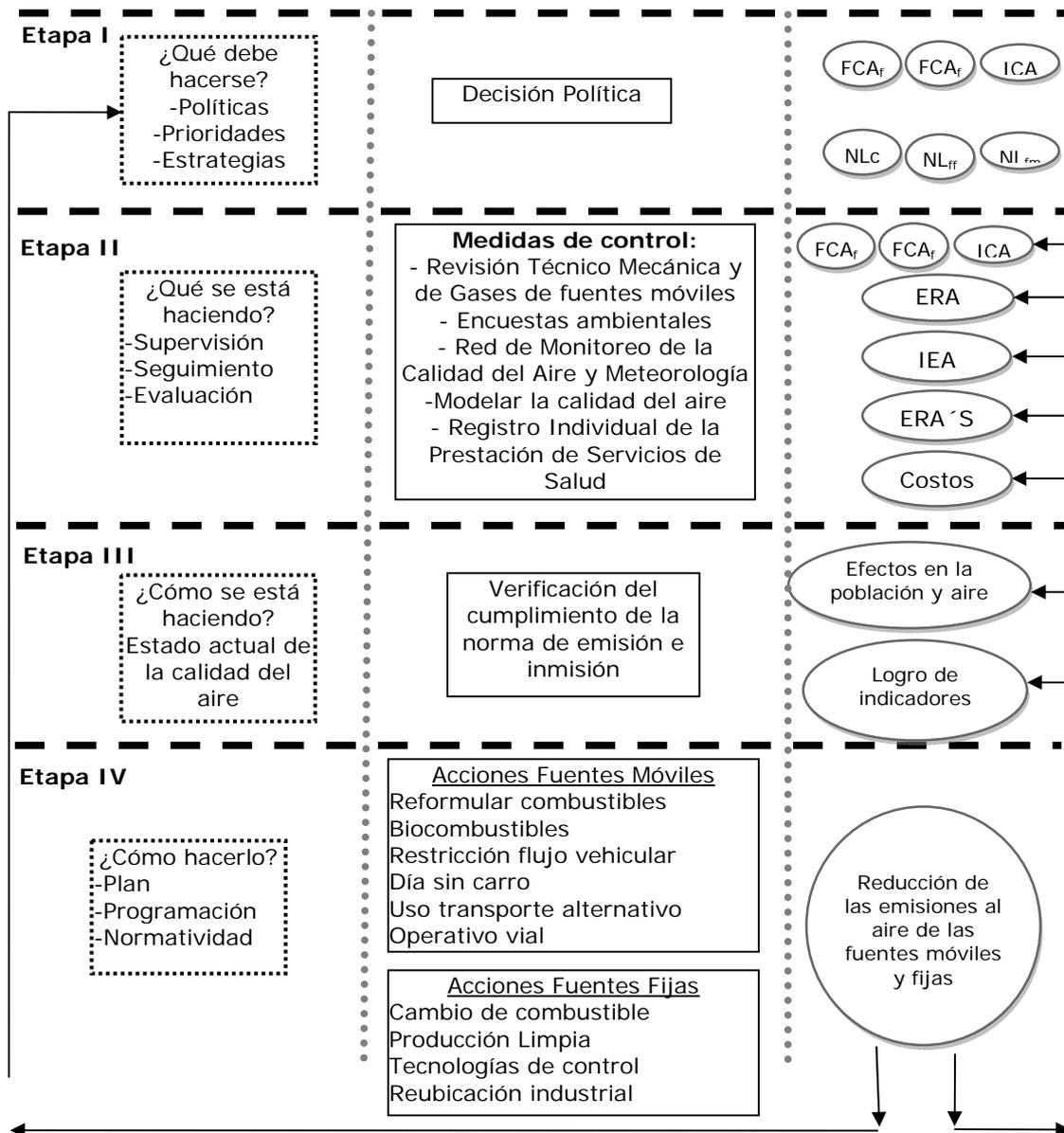


Figura 1. Sistema para el manejo de la calidad del aire urbano.
Fuente: Adaptada de Granada (2010) y Granada y Valencia (2010) [6; 15].

Antes de ofrecer una descripción ordenada de cada etapa del sistema, es necesario establecer una propuesta de la relación entre las partes interesadas y las responsabilidades asignadas a cada una. En la tabla 1 se muestra, de acuerdo a la experiencia obtenida en el caso Cali, las partes interesadas: Autoridad de Tránsito y/o Movilidad, Transporte, Sanitaria, Ambiental, la Alcaldía y/o Municipalidad tienen responsabilidad en las cuatro etapas del sistema, mientras, que las organizaciones privadas (como laboratorios de medición ambiental, hospitales, centros de diagnóstico automotriz, sector industrial, sector transporte, universidades, entre otros), tienen asignadas tareas en las etapas de medidas de control y acciones para el mejoramiento de la calidad del aire del sistema.

Tabla 1. Funciones y responsabilidades asignadas por actor en el sistema.

Actor	Decisión Política	Cumplimiento de la norma de Emisión e Inmisión	Medidas de Control	Acciones para mejorar la calidad del aire
Autoridad de Tránsito	✓	✓	✓	✓
Autoridad de Transporte	✓	✓	✓	✓
Autoridad Sanitaria	✓	✓	✓	✓
Autoridad Ambiental	✓	✓	✓	✓
Alcaldía	✓			
Sector Industrial			✓	✓
Sector Transporte			✓	✓
Laboratorio ambiental			✓	
Hospitales			✓	
Centros de Diagnóstico Automotores (CDA's)			✓	
Universidades			✓	

Etapa I. Decisión política

La figura 2 muestra el proceso de planeación utilizado; se definieron tres indicadores de resultado: Índice de Calidad el Aire (ICA), Factor de Carga Ambiental de Fuentes Móviles (FCAfm) y Factor de Carga Ambiental de Fuentes Fijas (FCAff), así como las normas locales de concentración de contaminantes (NLc) y emisión de fuentes móviles (NLfm) y fijas (NLff). Los indicadores y normas se alcanzan mediante la ejecución de las medidas de control adoptadas para fuentes móviles y fijas y para la calidad del aire tomando como base las Políticas Estatales de emisión e inmisión (elementos de entrada de la figura 2).

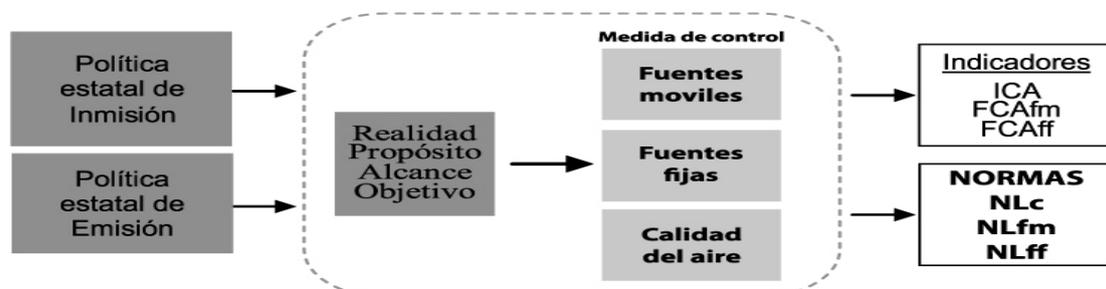


Figura 2. Elementos considerados en la planeación.

Fuente: Granada (2010) [6].

▪ **Elementos de entrada en el proceso de planeación:**

- Política estatal de inmisión (calidad del aire)

SISTEMA PARA EL MANEJO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CALI – COLOMBIA

— Política estatal de emisión de fuentes móviles y fijas.

▪ **Proceso de planeación:**

— Propósito: para países donde la deficiencia e insuficiencia de datos es notable, se sugiere el siguiente propósito: “identificar las fuentes de emisión para obtener un inventario de emisiones atmosféricas que facilite la toma de decisiones políticas y la gestión de las medidas de control a mediano plazo”.

— Alcance y objetivo: según la experiencia del caso Cali, seleccionarlos de la tabla 2.

Tabla 2. Objetivo y alcance del procedimiento.

Objetivos
Reducir el deterioro de la calidad del aire.
Determinar la emisión de gases efecto invernadero y cambio climático.
Determinar riesgo e impacto ambiental, sanitario y en el ecosistema.
Alcances
Implementar una base de datos tipo Sistema de Información Geográfica (SIG) de las diferentes fuentes existentes en la zona de estudio.
Diseñar un procedimiento para las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas.
Determinar áreas con características y/o problemas ambientales.
Obtener indicadores de calidad del aire, con el fin de establecer un mapa de riesgo e impacto ambiental, sanitario y ecológico.
Diseñar un sistema de control para determinadas fuentes de emisión que tienen un especial interés para la autoridad ambiental y comunidad en general.
Facilitar la aplicación de modelos de dispersión del aire.
Proveer información para la innovación, investigación y desarrollo de la problemática ambiental local de acuerdo con las fuentes generadoras y tipo de emisión.

Fuente: Adaptado de Granada (2010) [6].

▪ **Elementos de salida de la planeación:**

— Normas locales: concentración de contaminantes (NLc), fuentes móviles (NLfm) y fuentes fijas (NLff).

— Indicadores: son el Índice de Calidad del Aire (ICA) representado en la ecuación 1, Factor de Carga Ambiental de fuentes móviles (FCAfm) expresado en la ecuación 2 y Factor de Carga Ambiental de fuentes fijas (FCAff) descrito en la ecuación 3, las dos últimas propuestas por Granada [4; 19].

$$ICA = \frac{Cc}{NLc} * 100$$

[1]

Donde:

ICA: Índice de Calidad del Aire.

Cc: Concentración del Contaminante.

NLc: Norma Local del Contaminante.

$$FCAfm = \frac{FCAfmr}{FCAfmp} * 100 \quad [2]$$

Donde:

FCAfm: Indicador Factor de Carga Ambiental fuentes móviles.

FCAfmr: Factor de Carga Ambiental real de las fuentes móviles de la zona de estudio.

FCAfmp: Factor de Carga Ambiental proyectado para fuentes móviles.

$$FCAff = \frac{FCAffr}{FCAffp} * 100 \quad [3]$$

Donde:

FCAff: Indicador Factor de Carga Ambiental fuentes fijas.

FCAffr: Factor de Carga Ambiental real de las fuentes fijas de la zona de estudio.

FCAffp: Factor de Carga Ambiental proyectado para fuentes fijas.

Etapa II. Medidas de Control

Las medidas de control se soportan en la utilización de la técnica de análisis de gestión ambiental Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA) [20].

Primero, se cuantifican las fuentes de emisión móviles tomando la información de la Revisión Técnico Mecánica y de Gases (RTM&G) y de las fuentes fijas (industria manufacturera), tomando la información de la encuesta denominada Declaración Ambiental (DA). En la tabla 3 se muestran los datos que se proponen recolectar de dichas fuentes.

Tabla 3. Datos recolectados de las fuentes móviles, fijas y contaminantes.

Fuentes móviles	Fuentes fijas	Contaminantes modelados
Modelo del vehículo	Actividad económica	Compuestos Orgánicos Volátiles No
Tipo del vehículo	Tipo de producto elaborado	Metánicos (NMVOC)
Velocidad del vehículo	Materia prima utilizada	Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)
Distancia promedio recorrida	Turnos de trabajo	Hidrocarburos (HC)
Trafico promedio	Tipo de combustible	Monóxido de Carbono (CO)
Longitud de las vías	Tipo de fuente emisora	Oxidos de Nitrógeno (NO _x)
Tipo de Vía	Puntos de descarga	Partículas de escape
Variables meteorológicas	Equipos de control	Dióxido de Azufre (SO ₂)
Tipo de combustible	Caudal de gases	Amoníaco (NH ₃)
Consumo de combustible	Información de tanques	Dióxido de Carbono (CO ₂)
Cantidad de combustible vendido	Fluido almacenado	Partículas Suspendidas Totales (PST)
Porcentaje de emisión de gases por tubo de escape	Ubicación del tanque	Metano (CH ₄)
Factor de emisión del contaminante estimado	Variables meteorológicas	
Desgaste de los neumáticos		
Desgaste de los freno		

Fuente: Adaptado de Granada (2010) [6].

Segundo, se propone la evaluación del riesgo, para cuantificar el nivel de emisión de las fuentes móviles a través de la RTM&G y de las fuentes fijas a través de los resultados de las pruebas isocinéticas presentadas por las industrias en las DA. Con estos dos instrumentos y con la modelación en los *software* MOBILE 6.0, PCA 1.0 y RVGA 1.0 se pueden cuantificar las emisiones de gases de las dos fuentes como lo muestra la tabla 3 y también se podrá determinar el riesgo de las emisiones de

SISTEMA PARA EL MANEJO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CALI – COLOMBIA

estas fuentes en las diferentes barrios, áreas, colonias, regiones, comunas de la ciudad utilizando el *software* SIPECA para representar su ubicación espacial tomando los datos del Registro Individual de Prestación de Servicio de Salud (RIP'S) [6; 16; 17]. Igualmente, se obtendrá en función del tiempo la dosis (se refiere al valor Cc del indicador ICA) a la que está expuesta la población de Cali utilizando los datos arrojados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire (RMCA) operada por la autoridad ambiental de la ciudad de Cali, ello se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Datos recolectados de la RMCA.

Datos medición			Contaminantes criterio					Meteorología						
Estación	Fecha	Hora	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO ₂	O ₃	T°	RS	HR	Precipitación	Rosa de vientos	Patm y Eatm	Altura de mezcla

Fuente: Adaptado de Granada (2010) [6].

Tercero, los datos recolectados se pueden presentar en un Inventario de Emisiones Atmosféricas (IEA) que contiene adicionalmente un análisis de los aspectos sanitarios en términos de la morbilidad por Enfermedades Respiratorias Agudas y cuyo contenido se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Contenido del inventario de emisiones atmosféricas de fuentes móviles y fijas para la ciudad de Cali.

<p>I Generalidades del IEA</p> <p>1.1. Equipo de Trabajo 1.2. Antecedentes 1.3. Listado Maestro de Documentos 1.4. Ficha Técnica del IE 1.4.1. Propósito 1.4.2. Alcances 1.4.3. SVCA Asociado 1.4.4. Dominio 1.4.5. Ámbito temporal 1.4.6. Contaminantes considerados 1.4.7. Tipo de fuentes 1.4.8. Fuentes no consideradas 1.4.9. Particularidades del Inventario 1.5 Descripción sde la Base de Dato</p>	<p>1. Proceso de elaboración del IEA</p> <p>2. Cálculos 2.1 Fuentes móviles 2.2 Fuentes fijas 2.3 Fuentes de Área</p> <p>3. Análisis de resultados del IEA 3.1 Inventario Total de Emisiones 3.2 Emisiones por contaminante 3.2.1. Emisiones en el territorio 3.2.2. Emisiones por tipo de fuente</p> <p>4. Conclusiones 5. Recomendaciones 6. Bibliografía</p>
--	--

Fuente: Adaptado de Granada (2010) [6].

Esta etapa permitirá establecer las oportunidades de mejora en lo que se está haciendo en cuanto a la supervisión, seguimiento y evaluación de las medidas de control de la calidad del aire.

Etapa III. Cumplimiento de la norma de emisión e inmisión

La obtención de la información de la etapa II permitirá verificar si las medidas de control están cumpliendo con lo planeado en la etapa I, así como determinar el estado actual de la calidad del aire y los logros alcanzados por las acciones implementadas en el mejoramiento de la calidad del aire en

el territorio, mediante los indicadores ICA, FCA_{fm} y FCA_{ff} y mediante las normas de emisión NL_{ff} y NL_{fm}.

Etapas IV. Acciones para controlar las emisiones de fuentes fijas y móviles para reducir las emisiones al aire

La tabla 6 muestra el objetivo de cada una de las acciones que se pueden implementar para el mejoramiento de la calidad del aire en la ciudad de Cali. La implementación de estas acciones permitirá establecer cómo planear, programar, emitir o consolidar las normas que mejorarán la calidad del aire en la ciudad, en términos de emisión (para las fuentes y combustibles) e inmisión (para el receptor como la población y el aire).

Tabla 6. Objetivos de las acciones para controlar las fuentes móviles y fijas.

Acción	Objetivo
Fuentes móviles	
Reformulación de combustibles	Reducir las emisiones de plomo, azufre y otros compuestos.
Biocombustibles	Reducir el consumo de combustibles fósiles y emisión de azufre, monóxido de carbono y dióxido de carbono.
Restricción de flujo vehicular y/o Pico y Placa	Reducir el consumo de combustibles fósiles y de emisiones.
Día sin carro	Reducir consumo combustibles fósiles y emisiones.
Uso de transporte masivo	Reducir el consumo de combustibles fósiles, emisiones y mejorar la movilidad.
Carril preferencial para vehículos con más de tres pasajeros	Reducir el uso de vehículos, combustibles fósiles y emisiones.
Transporte alternativo	Reducir el consumo de combustibles fósiles, emisiones y de vehículos por el uso de la bicicleta por ejemplo.
Fuentes Fijas	
Objetivo	
Producción limpia	Optimizar el uso de materias primas, energía, agua y demás elementos de entrada al proceso productivo para minimizar la generación de contaminantes.
Tecnología de control	Controlar las emisiones que no se pueden reducir en la fuente evitando la generación de contaminantes secundarios y disponerlos de forma segura.
Cambio de combustible	Utilizar combustibles con bajo contenido de azufre y que generan menos emisiones de gases atmosféricos como CO, CO ₂ , SO _x , HC y PM ₁₀ .

Fuente: Adaptado de Granada (2010) [6].

IV. DISCUSIÓN

El sistema diseñado integra las técnicas de los Sistema de Información Sanitario y de la Calidad más relevantes de las propuestas de la literatura consultada sobre temas de manejo ambiental. Este

SISTEMA PARA EL MANEJO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CALI – COLOMBIA

sistema se diferencia de los existentes en su estructura, ya que se basa en el ciclo de mejora continua, y se soporta en un procedimiento que facilita su implementación.

Su implementación permite relacionar a los actores para identificar las funciones y responsabilidades de cada uno, identificar las fuentes de emisión de mayor impacto, establecer los indicadores a evaluar y su forma de cálculo, definir los datos a recolectar de cada tipo de fuente y definir un plan de acción identificando los objetivos de cada una.

Propone acciones relacionadas con el cuidado del medio ambiente incluidas cambio de tipos de combustibles, producción más limpia entre otras, lo que contribuye a crear una conciencia en el tema ambiental.

V. CONCLUSIONES

1. El sistema diseñado dotó a las partes interesadas de una herramienta ágil y simplificada para manejar la calidad del aire considerando sus aspectos jurídicos, tecnológicos y organizacionales del área de estudio. Igualmente, creó las bases para planear las normas de emisión, inmisión, medidas de control y acciones para reducir las emisiones atmosféricas de la ciudad de Cali mediante el diseño de indicadores de calidad del aire y Factores de Carga Ambiental de fuentes móviles y fijas para la toma de decisiones políticas.
2. Se articularon las medidas de control existentes en la ciudad de Cali como la Revisión Técnico Mecánica y de Gases de fuentes móviles, las Encuestas ambientales, la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire y Meteorología y el Registro Individual de la Prestación de Servicios de Salud con el sistema propuesto mediante la obtención de los Factores de Carga Ambiental de fuentes móviles y fijas a través de la aplicación de técnicas de gestión ambiental como la Evaluación del Riesgo Ambiental que permitió obtener el Inventario de Emisiones Atmosféricas, el número de Enfermedades Respiratorias Agudas en la población sus costos y verificar el cumplimiento de los indicadores de calidad aire y los Factores de Carga Ambiental propuestos.
3. Finalmente, se articularon y propusieron para el sistema diseñado nuevas acciones para reducir el deterioro de la calidad del aire de la ciudad de Cali a través del cambio de combustible, implementación de programas de producción limpia, tecnologías de control de emisiones, reubicación de las industrias y cambio de combustibles en las fuentes fijas. Entre tanto, en las fuentes móviles el uso de biocombustibles, la restricción del flujo vehicular, el día sin carro, el uso de transporte masivo y alternativo y los operativos de control vial para reducir las emisiones en el territorio. 🚗

VI. REFERENCIAS

1. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, «Air Quality Guidelines: Global update», [en línea], 2006, [consulta: Disponible en: <http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf>
2. WORLD BANK, «Toward Cleaner Urban Air in South Asia: Tackling Transport Pollution, Understanding Sources», *UNDP/World Bank Energy Sector Management Assistance Program* [en línea], 2004, vol., [consulta: ISSN. Disponible en: <www.esmap.org/.../FR_SouthAsia_UrbanAirfinal524>
3. EPA, «Direct Emissions From Mobile Combustion Sources. Climate Leaders Greenhouse Gas Inventory Protocol, Core Module Guidance», *revista* [en línea], 2004, vol., no., pp. [consulta: 15-05-2006], ISSN. Disponible en: <http://www.epa.gov/stateply/documents/resources/mobilesource_guidance.pdf>
4. HAQ, G.; HAN, W.; VALLACK, H., «Benchmarking Urban Air Quality Management and Practice in Major and Mega Cities in Asia, Korea Environment Institute», [en línea], 2002, [consulta: 15-10-2012], ISSN. Disponible en: <http://www.unep.org/PDF/APMA_Benchmarking_report.pdf>
5. SCHWELA, D., «Manejo de la Calidad del Aire: Transporte Sostenible», *revista* [en línea], 2004, vol., no., pp. [consulta: 25-10-2012], ISSN. Disponible en: <http://www.giz.de/Themen/en/dokumente/es_5a_AQM.pdf><<http://www.giz.de/Themen>>

6. GRANADA, L. F., «Procedimiento para las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas en Cali - Colombia», [tesis de doctorado], La Habana, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ingeniería Industrial, 2010.
7. MARTÍNEZ, F.; BERGONZOLI, G., *Vigilancia Epidemiológica*, España, Mc Graw Hill, 2004, ISBN 84486024-55 1ra. ed.
8. CARNEVALE, C., «An Integrated Assessment Tool to Define Effective Air Quality Policies at Regional Scale», *Environmental Modelling & Software* [en línea], 2012, vol. 38, no., pp. 306-315 [consulta: 25-01-2013], ISSN 1364-8152. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815212002022>>
9. EVERARD, M., «Air as a Common Good», *Environmental Science and Policy* [en línea], 2012, vol., no., pp. [consulta: 21-01-2013], ISSN 1462-9011. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901112000627>>
10. KELLY, A., «Adaptative Policy Mechanisms for Transboundary Air Pollution Regulation: Reasons and recommendations», *Environmental Science & Policy* [en línea], 2012, vol. 21, no., pp. 73-83 [consulta: 25-01-2013], ISSN 1462-9011. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901112000536>>
11. KOO, Y., «Performance Evaluation of the Updated Air Quality Forecasting System for Seoul predicting PM10», *Atmospheric Environment* [en línea], 2012, vol. 58, no., pp. 56-69 [consulta: 18-01-2012], ISSN 1352-2310. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012001197>>
12. NAIKER, Y., «Introduction of Local Air Quality Management in South Africa: Overview and Challenges», *Environmental Science & Policy* [en línea], 2012, vol. 17, no., pp. 62-71 [consulta: 20-01-2013], ISSN 1462-9011. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901111001808>>
13. THAMBIRAN, T.; DIAB, R., «The Case for Integrated Air Quality and Climate Change Policies», *Environmental Science and Policy* [en línea], 2011, vol.14, no. 8, pp. 1008-1017 [consulta: 23-01-2013], ISSN 1462-9011. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901111001353>>
14. VLACHOKOSTAS, C., «Multicriteria Methodological Approach to Manage Urban Air Pollution», *Atmospheric Environment* [en línea], 2011, vol. 45, no. 25, pp. 4169-4169 [consulta: 18-01-2013], ISSN 1352-2310. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011005036>>
15. GRANADA, L.; VALENCIA, M., «La modelación y la gestión en el mejoramiento de la calidad del aire», *Revista Libreempresa* [en línea], 2010, vol. 7, no. 2, pp. 63-87 [consulta: 25-11-2012], ISSN 1657 -2815. Disponible en: <http://www.unilibrecali.edu.co/libre-empresa/images/stories/pdf_articulos/volumen7/volumen7_2/La_modelacion_y_la_gestion_e_n_el_mejoramiento_de_la_calidad_del_aire.pdf>
16. GRANADA, L.; CABRERA, B., «Estimación de las emisiones de fuentes móviles utilizando el MOBILE 6.0 en Cali - Colombia», *Avances Investigación en Ingeniería* [en línea], 2009, vol. 6, no. 11, pp. 6-11 [consulta: 25-04-2010], ISSN 1794 -4953. Disponible en: <www.revistaavances.co/objects/...6/a6_art2_estimacion_emisiones.pdf>
17. GRANADA, L.; HERRERA, I.; YELA, A., «Aplicación del software PCA 1.0 para reducir el deterioro de la calidad del aire en Cali – Colombia (Fase I)», *Avances Investigación en Ingeniería* [en línea], 2009, vol. 5, no. 2, pp. 80-91 [consulta: 25-04-2010], ISSN 1900 - 3803. Disponible en: <http://www.unilibrecali.edu.co/entramado/index.php?option=com_content&view=article&id=139%3Avol-5-no-2-julio-diciembre-de-2009&catid=49&Itemid=176>