



CALIDAD

PROCEDIMIENTO PARA LAS MEDIDAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE FUENTES MÓVILES Y FIJAS / *PROCEDURE FOR THE CONTROL MEASURES OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS FROM MOBILE AND STATIONERY SOURCES*

Dr. Luis Felipe Granada-Aguirre. Universidad Libre Seccional Cali. Cali, Colombia.

E-mail: lfgranada70@hotmail.com

Dra. Ileana Pérez-Vergara. Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba.

E-mail: ileper@ind.cujae.edu.cu

Dr. Israel Herrera-Orozco. Departamento de Energía, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Universitat Rovira i Virgili (URV). Madrid, España.

E-mail: israel.herrera@ciemat.es

Recibido: 26/01/2011

Aprobado: 27/04/2011

Resumen / Abstract

En este trabajo se presenta el diseño de un Procedimiento para las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas en la ciudad de Cali, Colombia. Este Procedimiento facilita la toma de decisiones de la autoridad ambiental, sanitaria, tránsito y transporte en el establecimiento de políticas públicas. Se utilizaron conceptos de gestión ambiental (la metodología del Análisis del Ciclo de Vida, ACV), de gestión de la calidad, tecnologías de la información y de las comunicaciones y termodinámica. El procedimiento se perfila como una técnica de vigilancia, monitoreo y acción sobre la calidad del aire en un ecosistema urbano.

This research presents de design of a Procedure for the Control Measures of Atmospheric Pollutants from Mobile and Stationary Sources in the city of Cali, Colombia. This procedure facilitates the decision-making process performed by Environmental, Sanitary, Transit and Transportation Authorities, when establishing public policies. It was used concepts of environmental management (Life Cycle Analysis Methodology), quality management, information and communication technologies, and thermodynamics. The procedure shapes as a surveillance, monitoring and action technique on air quality within an urban ecosystem.

Palabras clave / Key words

Calidad del Aire, Análisis del Ciclo de Vida, Inventario de Emisiones Atmosféricas.

Air Quality, Life Cycle Analysis, Atmospheric Emissions Inventory.

I. INTRODUCCIÓN

Los autores que han desarrollado y propuesto modelos para el manejo de la calidad del aire urbano, consideran que contar con la información de las condiciones de las variables de la zona de estudio, permiten, mediante un correcto manejo de los datos, realizar un análisis detallado y aproximado de la información obtenida para implementar medidas de control de contaminantes atmosféricos [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11].

Para ello se emplean métodos tales como [12]:

- Estimación de la relación Dosis / Respuesta o Exposición / Daño
- Modelación de la dispersión del aire para predecir su calidad
- Monitoreo de la calidad del aire, a través de una red de estaciones
- Control de las emisiones de las fuentes
- Planificación de acciones que mejoren la calidad del aire

La literatura revisada sobre el manejo de la calidad del aire evidencia diferencias entre países desarrollados y en vías de desarrollo. Mientras que en los primeros se emplean modelos soportados en tecnologías avanzadas de informática y comunicaciones, que incluyen datos de ciudades importantes de dichos países, su aplicación en países en desarrollo se limita por las características físicas y socioeconómicas de los datos; evidenciándose deficiencias e insuficiencias en el manejo de datos sobre calidad del aire y poca disponibilidad de procedimientos para su gestión, porque éstos son diseñados e implementados en organizaciones y forman parte de su *know-how* y por consiguiente ausencia y/o baja implementación de medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas.

Sin embargo, los protocolos existentes para la implementación de medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas, se pueden adaptar a las características de las ciudades de estos países y son [12; 13]:

- El Inventario de Emisiones Atmosféricas (IEA)
- Normas sobre emisión e inmisión de contaminantes
- Estado actual de la emisión de contaminantes atmosféricos por tipo de fuente
- Estado actual de la calidad del aire (inmisión)
- Efectos sobre el ambiente y la salud cualificados y cuantificados
- Informar los logros alcanzados por el manejo de la calidad del aire
- Información para que el poder ejecutivo legisle sobre calidad del aire

La calidad del aire en la ciudad de Cali está siendo afectada por los aspectos físicos y socioeconómicos [14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21]. La ciudad se encuentra en un valle cerrado que hace que la velocidad del viento sea baja y la contaminación no se disperse adecuadamente por permanecer más tiempo sobre ella. El aumento anual en la emisión de gases contaminantes generados por las fuentes móviles y fijas como: los Óxidos de Nitrógeno (1,6 %), Dióxido de Carbono (3,1 %) y Monóxido de Carbono (0,8 %); contribuyen a la formación de Ozono Troposférico (5,6 %) cuando éstos reaccionan con la Humedad relativa (65 %), Temperatura (25 °C) y la Radiación Solar (650 Kw/m²). La Presión Atmosférica facilita la concentración de contaminantes en horas de la mañana y desciende paulatinamente en horas de la tarde, donde el viento tiene más velocidad y los niveles de concentración tienden a reducir.

Sin embargo, en horas de la noche, debido a la estabilidad atmosférica presentada por la inversión térmica y el aumento del tráfico vehicular, la concentración de los contaminantes criterio aumenta, incluido el Material Particulado. Esta situación fisiográfica, meteorológica y el crecimiento promedio anual del parque automotor (6,5 %) y de la industria manufacturera (4 %), incrementaron las emisiones atmosféricas y redujeron la calidad del aire de la ciudad de Cali de moderada a insalubre, existiendo niveles de contaminación atmosférica que exceden la norma local, resultando necesario estudiar cómo podrá detenerse el efecto ambiental y sanitario de la contaminación en la ciudad donde el 36 % de la población asistió a consulta médica en el período 2001-2006, por Enfermedades Respiratorias Agudas [16].

La ciudad de Cali cuenta con un Plan Integral Para el Mejoramiento de la Calidad del Aire (PIMCA). Los objetivos trazados por este plan no se alcanzaron de acuerdo con las siguientes evidencias:

- Falencias en el manejo técnico y ausencia de los datos obtenidos en las medidas de control. Sólo el 30 % y el 40 % de los datos de fuentes móviles y fijas están disponibles.
- Ausencia de un instrumento estandarizado e informático para la recolección de datos de fuentes móviles en los Centros de Diagnóstico Automotriz y solo el 50 % de los recolectados son útiles.
- Deterioro de la calidad del aire de moderada a insalubre en el Material Particulado menor a diez micrómetros de diámetro, PM10.
- Ausencia de un procedimiento de gestión que permita 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.

PROCEDIMIENTO PARA LAS MEDIDAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE FUENTES MÓVILES Y FIJAS

Para suplir las necesidades de la ciudad de Cali – Colombia, se diseñó un *Procedimiento para la gestión de las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas*¹, que tiene como **objetivo** dotar a las organizaciones responsabilizadas con la gestión de la calidad del aire de una herramienta que permite un control eficaz y eficiente y su implementación sistemática, así como coordinar el tratamiento de la información obtenida por cada autoridad y su respectiva comunicación, y en el futuro, la publicación de normas sobre calidad del aire urbano.

El procedimiento integra tres competencias esenciales: i) jurídicas [18], ii) tecnológicas y iii) organizacionales; y está basado en el ciclo Deming a través del desarrollo de cuatro fases: diagnóstico, planeación, recepción y análisis de datos y control de sus etapas, a partir de la obtención de indicadores de resultado que soportan la toma de decisiones y con ello, la retroalimentación necesaria para la mejora continua.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La **Metodología** empleada para el diseño del procedimiento se basó en un enfoque cuantitativo de tipo explicativo. Con las técnicas de gestión ambiental [19; 20] y de la calidad [22; 23; 24; 25] se diseñaron los procesos para la gestión de las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas. La termodinámica [26; 27; 28] estableció la magnitud del proceso de combustión y de la generación de gases residuales de fuentes móviles. Las tecnologías de la información y de las comunicaciones se utilizaron para el desarrollo de los *software* PCA 1.0 y RVGA 1.0, que soportan el procesamiento de los datos para la obtención de información valiosa para la toma de decisiones y el adecuado control a través la implementación de planes de acción.

Se adapta en una sola estructura, el Sistema de Información Sanitaria de Martínez y Bergonzoli (2004) [13] y la estructura para el manejo de la calidad del aire de Schwela (2004) [12], considerando sólo los elementos disponibles en países donde los datos obtenidos de las medidas de control, son deficientes e insuficientes y por lo tanto, no permiten tomar decisiones políticas al respecto y mucho menos cuantificar los resultados de las medidas de control y acciones realizadas para reducir el deterioro de la calidad del aire.

La metodología utilizada implicó también el desarrollo de herramientas computacionales que dieron soporte técnico al manejo de los datos obtenidos de las mediciones de fuentes móviles y fijas, facilitando:

- El *análisis de datos*, que incluye las fases de recepción, depuración, validación, generación de la base final de datos, estimación del factor de carga ambiental real y proyectado de fuentes móviles y fijas y la generación de gráficas de las bases de datos.
- La *modelación*, que permite la obtención de los factores de emisión de fuentes móviles y fijas y sus respectivos indicadores.
- La *representación espacial*, que comprende la representación en el espacio de las zonas con más riesgo e impacto ambiental en el Sistema Automatizado SIPECA 1.0, desarrollado para este proyecto.

Para la **Concepción teórica del procedimiento** se establecieron un conjunto de **Premisas**, que son:

- Decisión de la alta dirección de la autoridad para la adopción del procedimiento y asignación de los recursos económicos, técnicos, tecnológicos y talento humano necesarios para la implementación del mismo.
- Tener una Red de Monitoreo de la Calidad del Aire y Meteorología (RMA).
- Realizar mediciones que permitan el control de las emisiones de contaminantes atmosféricos.

Y como **Entradas** se toman en cuenta:

- La Política Estatal de emisión de contaminantes atmosféricos.
- La Política Estatal de inmisión de contaminantes atmosféricos.
- Los tres instrumentos con los datos arrojados de las medidas de control, calidad del aire, fuentes móviles y fuentes fijas.

Las **Salidas** que pueden obtenerse de la aplicación del procedimiento son:

- Indicadores de resultado: Índice de Carga Ambiental (ICA), Factor de Carga Ambiental de fuentes móviles (FCAfm) y Factor de Carga Ambiental de fuentes fijas (FCAff).
- Normas locales de inmisión (Cc) y emisión de fuentes móviles (NLfm) y fijas (NLff).
- Verificación de las normas locales NLc, NLfm y NLff.
- Inventario de Emisiones atmosféricas.
- Concentración de contaminante (Cc), Factor de Carga Ambiental de fuentes móviles real (FCAfmr) y Factor de Carga Ambiental de fuentes fijas real (FCAffr).
- Factor de Carga Ambiental de fuentes móviles y fijas proyectado (FCAfmp) y (FCAffp) respectivamente.
- Tablas, figuras, mapas y reportes estadísticos de variables y covariables.
- Comunicado para ratificar y consolidar acciones.
- El Factor de Carga Ambiental por escenario (FCAesc).

¹ La investigación forma parte de la tesis doctoral en Ciencias Técnicas desarrollada en el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Cujae, en el Programa de Ingeniería Industrial: “Procedimiento para la gestión de las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas en Cali – Colombia”.

- Plan de acción para la implementación del procedimiento en el siguiente año.
- La población objeto de estudio fue la autoridad de Tránsito y Transporte (STTM), Sanitaria (SSPM) y Ambiental (DAGMA) de la ciudad de Cali.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El esquema del procedimiento que se propone se muestra en la Figura 1.

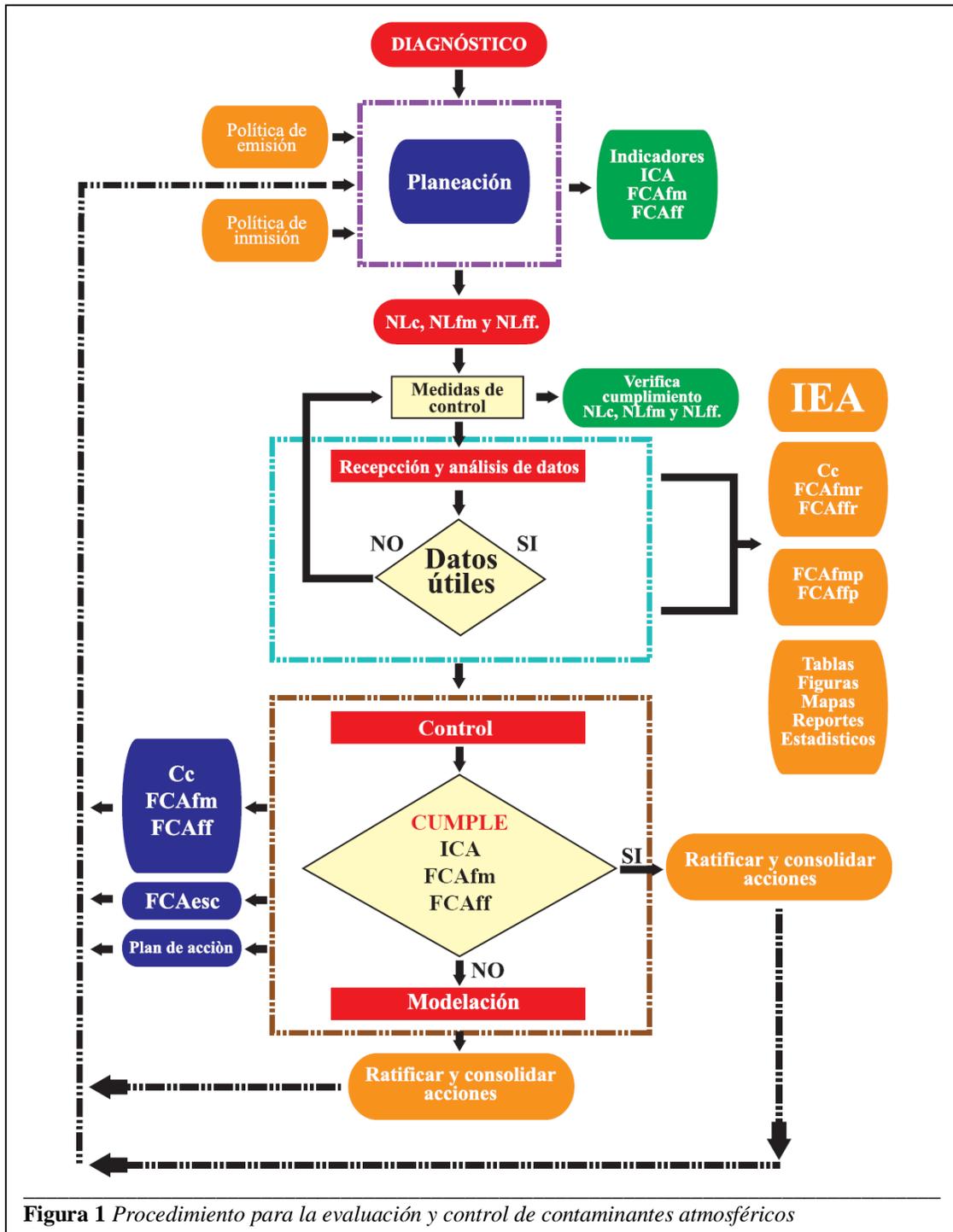


Figura 1 Procedimiento para la evaluación y control de contaminantes atmosféricos

PROCEDIMIENTO PARA LAS MEDIDAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE FUENTES MÓVILES Y FIJAS

A continuación se ofrece una breve explicación de los contenidos de cada fase del procedimiento.

Fase de diagnóstico:

Tiene como objetivo identificar en las organizaciones involucradas, la relación causa-efecto que presentan las variables económica, laboral, técnica y tecnológica en las medidas de control realizadas y sus implicaciones directas en el estado de la calidad del aire (realidad) que impiden tomar decisiones políticas para su manejo. A su vez, el diagnóstico se realiza en dos etapas: la preparación y la ejecución.

La fase de *preparación* tiene como objetivo *seleccionar el equipo de trabajo* que tendrá la responsabilidad de aplicar el procedimiento propuesto. Deberá determinar qué acciones deben adoptarse para su exitosa implementación. Podrán obtenerse resultados, tales como: cuáles son los grupos, áreas, estructura interna del área y personas que tienen o deben tener asignadas tareas en el control de contaminantes atmosféricos y proponer el perfil y número de personas necesarias para desempeñar cargos, competencias y tiempo de dedicación del personal. El equipo seleccionado ejecutará el diagnóstico organizacional.

Ejecución del diagnóstico:

La ejecución se realiza considerando las siguientes variables:

- Económicas: asignación anual de recursos.
- Laborales: capacitación, tipo de contratación y horas de dedicación.
- Técnicas: procedimientos de trabajo, análisis e información de datos.
- Tecnológicas: número de estaciones móviles y fijas de monitoreo, ordenadores y puestos de trabajo disponibles y equipados.

El equipo deberá definir el *cronograma de actividades* que debe reflejar las actividades, el responsable, cómo, cuándo y la autoridad participante.

Las técnicas y herramientas que se proponen utilizar en el diagnóstico son: i) trabajo en grupo, ii) entrevistas, iii) cuestionario, iv) lista de chequeo, v) observación directa, vi) lluvia de ideas, vii) matriz causa-efecto, viii) diagrama causa-efecto, ix) árbol de problemas y x) capacitación.

Fase de planeación:

Considerando las Políticas Estatales de emisión e inmisión y la retroalimentación del desempeño, visto a través de los indicadores, el *objetivo* de esta etapa es proyectar las normas locales de emisión e inmisión y planificar los indicadores de resultado ICA, FCA ff y FCA fm, para la zona de estudio.

Para la planificación del ICA se propone emplear la Ecuación 1 [29]:

$$ICA = [(Cc/NLc)*100] \quad (1)$$

donde:

ICA: índice de Calidad del Aire

Cc: Concentración del Contaminante

NLc: Norma Local del Contaminante

Para la planificación del FCA se propone tomar en cuenta la relación entre el valor del factor real y el planificado obtenido para cada fuente.

En esta fase se propone el empleo de técnicas tales como: i) cuadro del proyecto, ii) diagrama de flujo del proceso y iii) plan de medidas de control y colección de datos.

Los indicadores se pueden planear una vez se tengan datos disponibles y estos datos se obtienen en la fase de implementación del procedimiento; por esta razón, el primer año se limita a la obtención de los datos que permitan determinar los indicadores.

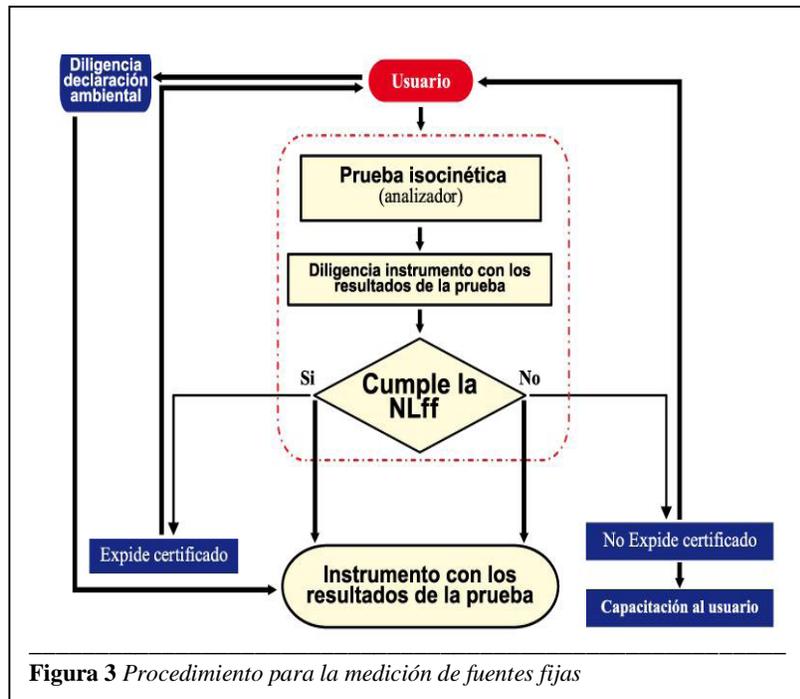
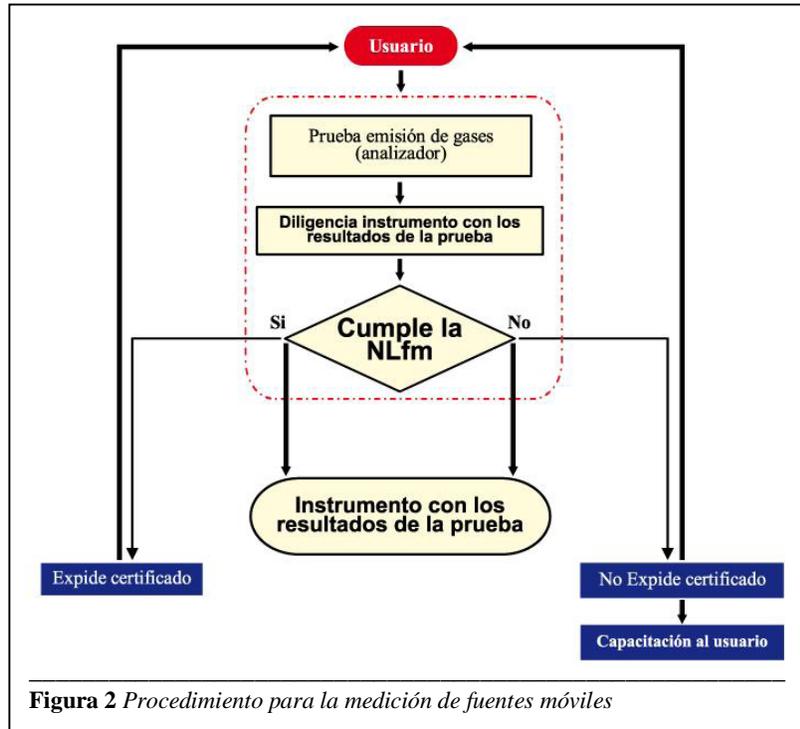
Fase de recepción, depuración y análisis de datos:

Como su nombre lo indica, tiene como objetivo recepcionar, depurar y analizar los datos obtenidos en las mediciones de las fuentes móviles y fijas.

El proceso de medición puede ser ejecutado por entidades a las que la autoridad responsable de la medida de control, les contrate este servicio. En este sentido, el papel que juegan estas entidades en el procedimiento, es fundamental, debido a la responsabilidad que tienen en garantizar la calidad de la medición y en la verificación del cumplimiento de las normas locales de emisión según la fuente. Los datos provenientes del proceso de medición estarán sujetos a la depuración y su posterior análisis.

Las Figuras 2 y 3 muestran un esquema del procedimiento que se propone en esta fase para la medición en cada tipo de fuente y en la Figura 4 se muestra el esquema para la medición en las estaciones de monitoreo.

Cada entidad responsable debe: i) registrar los datos en un instrumento y ii) verificar el cumplimiento de las NLfm, NLff y NLc. Como salidas del proceso de medición se presentan instrumentos de comunicación que informan el resultado arrojado en la prueba, a las partes involucradas y a los usuarios y contienen: i) la concentración de contaminantes (Cc), ii) el factor de carga ambiental real de fuentes móviles (FCAfmr) y fijas (FCAffr), iii) el factor de carga ambiental proyectado de fuentes móviles (FCAfmp) y fijas (FCAffp), iv) información en tablas, figuras, mapas y reportes estadísticos y v) el Inventario de Emisiones Atmosféricas [30].



En esta fase se emplean técnicas tales como: estadística descriptiva, instrumentos para el registro de datos, estimaciones estadísticas, Balance de Masa (estequiometría), entre otras.

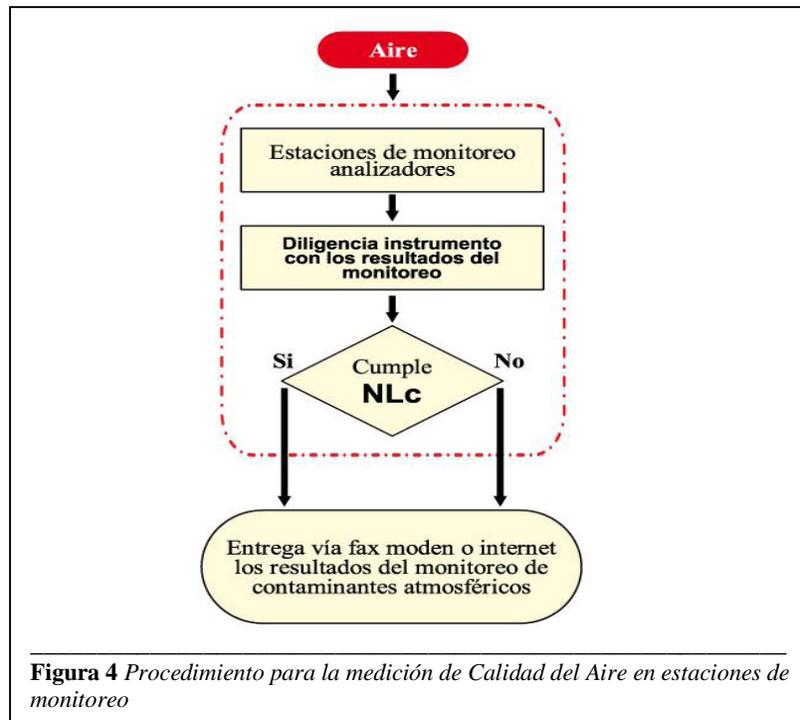
Obtenidos los valores que permiten establecer los indicadores ICA, FCAfm y FCAff, se inicia la fase de control.

Fase de Control:

Tiene como objetivo verificar el cumplimiento de los indicadores. Para su ejecución se propone realizar los siguientes pasos:

- Verificar y comunicar el cumplimiento de los indicadores ICA, FCAfm y FCAff.
- Modelar la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos.
- Diseñar el plan de acción anual con las medidas de control y acciones a implementar.

PROCEDIMIENTO PARA LAS MEDIDAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE FUENTES MÓVILES Y FIJAS



La modelación de la reducción de emisiones, se sugiere sea realizada a partir de considerar varios escenarios. Los escenarios recomendados para la modelación de la reducción en el caso de las fuentes fijas son:

- Cambio de combustible
- Adopción de sistemas de producción más limpia

Mientras que en el caso de fuentes móviles se sugieren:

- Restricción del flujo vehicular
- Reformulación de combustibles
- Adopción de combustibles biológicos
- Uso de tecnología de combustión
- Día sin carro

La modelación de la reducción en cada escenario permitirá conocer en qué medida podrán reducirse las emisiones y ello brindará información valiosa para decidir las estrategias más adecuadas y proponer el **Plan de acción**. Se propone que el mismo contenga información relativa a: Objetivo, Factores, Actividades a desarrollar, Responsables, Fecha inicio y Fecha fin.

IV. CONCLUSIONES

El procedimiento diseñado:

- Dota a las entidades de responsabilidad ambiental, de una herramienta para gestionar las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas y se convierte en un referente para adelantar una gestión orientada a minimizar los riesgos que presenta la contaminación del aire en el ambiente y la salud.
- Se sustenta a través del uso de sistemas de gestión de la calidad y el medio ambiente y de tecnologías de la información y de las comunicaciones, lo que argumenta y facilita la toma de decisiones y mejora la eficacia y eficiencia de las acciones implementadas para reducir el deterioro del aire.
- Es generalizable a países en vías de desarrollo.

V. RECOMENDACIONES

- Desarrollar un procedimiento para la operación de la RMA que facilite la obtención de los datos obtenidos por ésta. Este procedimiento debe ser realizado por una alianza entre las autoridades, ONG's y universidades para garantizar la operación conjunta de la RMA de la ciudad.
- Continuar trabajando en la mejora del procedimiento e incluir en la medidas de control de vehículos diesel las mediciones de gases como CO, CO₂, NO_x, PM₁₀ y SO₂.

- Iniciar un proyecto encaminado hacia la modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos en el área urbana de la ciudad de Cali para fortalecer el establecimiento de los indicadores ICA, FCAfm y FCAff así como la Declaración de Conformidad Ambiental y Sanitaria por parte de la Secretaría de Salud Pública Municipal.
- Fortalecer la Mesa Intersectorial Para la Evaluación de la Calidad del Aire para garantizar el mantenimiento del procedimiento en las organizaciones y la reducción del deterioro de la calidad del aire de la ciudad. 

VI. REFERENCIAS

1. ZHENG, G. et al., «A highly resolved temporal and spatial air pollutant emission inventory for the Pearl River Delta region, China and its uncertainty assessment», *Atmospheric Environment*, 2009, **vol. 43** p. 5112–5122. ISSN 1352-2310. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>
2. ZHANG, Kai; BATTERMAN, Stuart, «Near-road air pollutant concentrations of CO and PM2.5: A comparison of MOBILE6.2/CALINE4 and generalized additive models», *Atmospheric Environment*, 2010, **vol. 44** p. 1740-1748. ISSN 1352-2310. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>
3. ZÁRATE, E. et al., «Air quality modelling over Bogota, Colombia: Combined techniques to estimate and evaluate emission inventories», *Atmospheric Environment*, 2007, **vol. 41** p. 6302–6318. ISSN 1352-2310. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>
4. VENKATRAM, M. et al., «Analysis of air quality data near roadways using a dispersion model», *Atmospheric Environment*, 2007, **vol. 41** p. 9481–9497. ISSN 1352-2310. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>
5. STEIN, Ariel F., «Hybrid modeling approach to resolve pollutant concentrations in an urban area», *Atmospheric Environment*, 2007, **vol. 41** p. 9410–9426. ISSN 1352-2310. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>
6. PARRISH, David D., «Critical evaluation of US on-road vehicle emission inventories», *Atmospheric Environment*, 2006, **vol. 40** p. 2288–2230. ISSN 1352-2310. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>
7. PANDIAN, Suresh; GOKHALE, Sharad; GHOSAL, Alope K., «Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections», *Transportation Research Part D*, 2009, **vol. 14** p. 180–196. ISSN 1361-9209. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/trd>
8. HATZAPOULOU, M.; MILLER, E.J., «Linking an activity-based travel demand model with traffic emission and dispersion models: Transport's contribution to air pollution in Toronto», *Transportation Research Part D*, 2010, **vol. 15** 2010. ISSN 1361-9209. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/trd>
9. GRANADA, Luis; CABRERA, Boris, «Estimación de las Emisiones de Fuentes Móviles Utilizando Mobile 6 en Cali - Colombia», *Revista Avances Investigación en Ingeniería*, 1er Semestre, 2007, **4** (6), p. 13-25. ISSN 1794 4953.
10. BLULFERT, T. et al., «Assessment of 2010 air quality in two Alpine valleys from modelling: Weather type and emission scenarios», *Atmospheric Environment*, 2006, **vol. 40** p. 7893–7907. ISSN 1352-2310. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>
11. BAI, Song; CHIU, Yi-Chang; NIEMEIER, Debbie A., «A comparative analysis of using trip-based versus link-based traffic data for regional mobile source emissions estimation», *Atmospheric Environment*, 2007, **vol. 41** p. 7512-7523. ISSN 1352-2310. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>
12. SCHWELA, Dietrich, «Manejo de Calidad del Aire», *Transporte Sostenible.GTZ. Módulo V*, 2004, [consulta: 2009-05-25], Disponible en: http://www.gtz.de/de/dokumente/es_5a_AQM.pdf
13. MARTÍNEZ, Ferrán y BERGONZOLI, Gustavo, *Vigilancia Epidemiológica*, Capítulos III, IV y V, Madrid, Mc Graw Hill, 2004.
14. MONTOYA, Martha; MORALES, Alexandra; OLAYA, Javier, «Estimación no-paramétrica de curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO2 y SO2 en Santiago de Cali», *Revista Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, enero- julio, 2005, **2** (1), ISSN 1692-9918.
15. GRANADA, Luis; HERRERA, Israel; YELA, Alexander, «Aplicación del Software PCA 1.0 en la Gestión de la Calidad del Aire en Santiago de Cali - Colombia», *Entramado*, 2009, **6** (2, julio-diciembre), 83-93. ISSN 1900-3803.
16. GRANADA, Luis et al., «Relación entre Enfermedades Respiratorias Agudas y Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles en Cali - Colombia», en *Memorias 2º Congreso Internacional por el Desarrollo Sostenible y el Medio Ambiente* (Mayo 2 de 2007), Manizales (Colombia), 2007, p. 493 – 512. ISBN 978-958-9314-32-6.
17. GRANADA, Luis et al., «Aplicación del Software “Predicción de la Calidad del Aire” (PCA) en la Gestión de la Calidad del Aire en Cali – Colombia (Fase I)», en *XIV Convención Científica en Ingeniería y Arquitectura, V Simposio de Ingeniería Industrial* (1 al 6 de diciembre de 2008), Palacio de las Convenciones, La Habana, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Cujae, 2008, ISBN 978-959-261-281-5.
18. GRANADA, Luis, «Gestión Ambiental Empresarial: Pasado, presente y futuro de las normas e instituciones ambientales en Colombia», *Librempresa*, enero - junio, 2009, **6** (1), p. 63-79. ISSN 1657-2815.

PROCEDIMIENTO PARA LAS MEDIDAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE FUENTES MÓVILES Y FIJAS

19. GRANADA, Luis, *Producción más Limpia: Conceptos para su Aplicación en la Industria Manufacturera*, Cali (Colombia), Universidad Libre Seccional Cali, 2007, p. 44.
20. GRANADA, Luis, *Gestión Ambiental, Filosofías, Conceptos, Instrumentos y Herramientas*, Cali (Colombia), Universidad Libre Seccional Cali, 2006, 93 p.
21. BOTERO, Susan; TROCHEZ, Alejandra; OLAYA, Javier, «Contaminación por partículas suspendidas totales en las comunas seis y siete de Cali-Colombia. Un modelo estadístico para la evaluación de la calidad del aire», *Revista Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, julio-diciembre, 2004, 1 (2), ISSN 1692-9918.
22. WHEAT, Barbara; MILLS, Chuck, *Una Parábola sobre el camino hacia la excelencia y una empresa esbelta*, Bogotá, Editorial Norma, 2004, 125 p.
23. ECKES, George, *Seis Sigma para todos*, Capítulo III, Madrid, Mc Graw Hill, 2003.
24. PANDE, Peter; HERMAN, Robert; CAVANAGH, Rolan, *Las Claves Prácticas de Seis Sigma*, Madrid, McGraw Hill, 2004, ISBN 978-84-481-4037-3, 382 p.
25. PANDE, Peter; HOLPP, Larry, *¿Qué es Seis Sigma?*, Madrid, Mc Graw Hill, 2003, ISBN 978-84-481-3630-7, 79 p.
26. LICHTY, Lester, *Procesos de Motores de Combustión Interna*, México, Mc Graw Hill, 1970.
27. NIÑO, Luis, *Motores de Combustión Interna*, Cali (Colombia), Universidad del Valle, 1992, p. 34 -48.
28. ÇENGEL, Yanus; BOLES, Michael, *Termodinámica*, México DF, Mc Graw Hill, 2006, p. 751-765.
29. IDEAM, «Lineamientos Para Una Política Ambiental Urbana En Colombia», 2005, [consulta: 2008-10-12], Disponible en: http://www.ideam.gov.co/apc-aa/img_upload/467567db4678d7b443628f8bc215f32d/POLITICA_URBANA.pdf.
30. GRANADA, Luis F., «Procedimiento para la gestión de las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas en Cali – Colombia», [Tesis Doctoral en Ciencias Técnicas], La Habana, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Cujae, 2010.

