

## Monitoreo y Evaluación de la Contaminación Atmosférica y Acústica en la Ciudad de Sucre

RODRIGUEZ-Apolonia†, MURILLO-Humberto y DORADO-Luz

*Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias Agrarias, Calle Calvo N° 132, Sucre, Bolivia.*

Recibido Febrero 14, 2014; Aceptado Junio 27, 2014

### Resumen

Este proyecto evaluará la contaminación del aire y el ruido en la ciudad de Sucre, generada por diversas fuentes. La contaminación del aire es un ejemplo de una externalidad negativa, en la que las acciones de un agente económico afectan el bienestar de los demás. Además, el uso de vehículos de motor, ya sea pública o privada, afecta el bienestar social mediante la creación de daños a la salud humana y el ecosistema circundante. Por lo tanto, se ha prestado especial atención a los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de los habitantes de la ciudad de Sucre. La determinación de la calidad y niveles de emisión de gases de combustión (CO, CO<sub>2</sub>, HC y O<sub>2</sub>), partículas y ruido, y luego determinar si los niveles están dentro de los límites permisibles establecidos por la Norma Boliviana (EQNB 62006, NB 62002, NB -ISO 9096-05) y proponer medidas de mitigación y control basados en los resultados obtenidos.

### Contaminación (atmosférica y acústica), medidas de control y mitigación

### Abstract

This project will evaluate the air and noise pollution in the city of Sucre, generated by various sources. Air pollution is an example of a negative externality, in which the actions of an economic agent affect the welfare of other. As well, the use of motor vehicles, whether public or private, affects social welfare by creating damage to human health and the surrounding ecosystem. Therefore, it has paid special attention to the effect of air pollution on the health of the inhabitants of the city of Sucre. Determining the quality and emission levels of combustion gases (CO, CO<sub>2</sub>, HC and O<sub>2</sub>), particulate matter and noise, and then determine if those levels are within permissible limits set by Norma Boliviana (EQNB 62006, NB 62002, NB -ISO 9096-05) and propose mitigation and control measures based on the results obtained.

### Pollution (air and noise), control and mitigation measures

**Citation:**RODRIGUEZ Apolonia ,MURILLO Humberto y DORADO Luz. Evaluación de la Contaminación Atmosférica y Acústica en la Ciudad de Sucre.Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2014, 1-1: 29-36

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

La contaminación del aire se ha definido por la teoría económica, como un problema de externalidades, entendiendo ésta como un efecto "donde, debido a la naturaleza actual de las instituciones económicas y sociales, se imponen costos a terceros los cuales no reciben ninguna compensación, o se conceden beneficios a otros por lo cual no se recibe ningún pago"<sup>1</sup>. Por tanto existe un efecto externo cuando los consumidores o productores no sufren plenamente las consecuencias de su comportamiento, y cuando al decidir lo que van a producir o consumir ignoran los efectos de sus decisiones sobre terceros. Así, la contaminación del aire es un ejemplo de una externalidad negativa, en el cual las acciones de un agente económico afectan el bienestar de otro, quién no es compensado por los daños que se le causan. Esta diferencia entre los beneficios privados y los costos sociales, es lo que justifica la intervención gubernamental.

Así, el uso de vehículos automotores, ya sea público o privado, afectan el bienestar social al generar daños a la salud humana y el ecosistema circundante. Por ello, se ha puesto especial atención en el efecto de la contaminación atmosférica sobre la salud de los habitantes de la ciudad de Sucre. En específico, se ha logrado descubrir que el mecanismo común por el cual el daño que la contaminación del aire ocasiona al aparato respiratorio y auditivo, implica una modificación de los procesos de defensa del sistema inmunológico fundamentalmente<sup>9</sup>.

Los daños a la salud, producto de las sustancias que los vehículos automotores arrojan a la atmósfera, tienen diferentes impactos según el tipo, nivel de concentración y tiempo que dure la exposición a cada uno de ellos.

Su estudio se ha restringido a los llamados contaminantes criterio, tales como: Monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NOX), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>); y la generación de ruidos de impacto y continuos y aerosoles.

Los únicos estudios que se han realizado sobre los niveles de concentración de contaminantes en la ciudad de Sucre por gases de combustión proveniente de vehículos fue en el año 2000 llevado a cabo por Swisscontact con el apoyo de otras instituciones locales, dando como resultado porcentajes elevados de contaminación, por ejemplo de 2176 vehículos medidos que utilizan como combustible gasolina reprobaron tomando como referencia el reglamento de control de la contaminación atmosférica que viene estipulado en la Ley 1333, en un 68 % frente a un 32 % de aprobados de todos estos vehículos; y por el tipo de servicio aprobaron en un porcentaje del 24.4 % del servicio público y reprobaron los del mismo tipo de servicio en un porcentaje del 75.5 %, para el servicio privado los porcentajes son 35.6 % de aprobados y un 64.4 % de reprobados<sup>13</sup>. Por estos índices elevados se ve necesario realizar una nueva medición de los gases de combustión proveniente de los vehículos a gasolina.

Otro estudio es el realizado por la Ing. Apolonia Rodríguez Gonzales, el año 2003 - Monitoreo de la Contaminación Atmosférica provocada por el parque vehicular de la Ciudad de Sucre - , en dicho estudio se obtuvieron los siguientes resultados: Vehículos particulares se encuentran en un 70 % por encima de los niveles máximos permitidos por la Ley 1333, vehículos públicos en un 85 % sobre los límites máximos admisibles y los vehículos oficiales en un 74 % sobre los límites admisibles por la Ley 1333, para la emisión de hidrocarburos totales a la atmosfera.

El estudio realizado por el Ing. Humberto Gonzalo Murillo Avilés, intitulado Evaluación de la Contaminación Acústica por fuentes móviles en el distrito uno del Municipio de Sucre, 2004, en dicho estudio se obtuvieron los siguientes resultados de manera general: El 78 % de los vehículos exceden los límites máximos permisibles según el anexo seis del Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica y un 22 % por debajo de esos límites<sup>15</sup>.

### Planteamiento del Problema

La inexistencia de datos estadísticos de investigación sobre niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera generados por diversas fuentes, que coadyuven en la toma de medidas de prevención y mitigación y de ésta manera mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Sucre.

### Objetivos

#### Objetivo General

Determinar los niveles de emisión de gases de combustión (CO, CO<sub>2</sub>, HC y O<sub>2</sub>), partículas en suspensión y ruido, producidos por fuentes móviles en la ciudad de Sucre, para determinar si dichos niveles se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la Norma Boliviana y proponer medidas de control y mitigación.

#### Objetivos Específicos

- Determinar los niveles de contaminantes atmosféricos: Monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC), oxígeno (O<sub>2</sub>), partículas en suspensión y ruido, mediante el uso de equipos de medición específicos, durante las gestiones 2008 y 2009, dos veces al año (época seca y época húmeda).

- Identificar tres puntos de monitoreo representativos en la ciudad de Sucre para el monitoreo de partículas en suspensión y ruido, según normativas nacionales e internacionales.
- Implementar una base de datos para el almacenamiento de los resultados del monitoreo.
- Elaborar un informe cualitativo y cuantitativo de las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por varias fuentes.
- Capacitar a docentes y universitarios en la utilización de equipos para el monitoreo, posterior control y evaluación de los niveles de contaminación atmosférica (gases de combustión y partículas) y acústica (ruido), en fuentes móviles, del laboratorio de control de la calidad del aire.
- Evaluar los datos obtenidos mediante procedimientos estadísticos y obtener las inferencias o conclusiones que conduzcan al conocimiento nuevo, y mediante inducciones procedimentales conseguir el resultado final, usando como muestra los resultados del monitoreo.
- Comparar los resultados obtenidos con los establecidos en la Norma Boliviana EQNB 62006, NB 62002, NB-ISO 9096-05.
- Proponer medidas de control y mitigación de la contaminación atmosférica, en base a los resultados obtenidos.

### Hipotesis

El monitoreo y evaluación de la contaminación atmosférica y acústica por fuentes móviles, comprobará que los niveles de emisión de contaminantes atmosféricos en la Ciudad de Sucre se encuentran por encima de los límites máximos permisibles, establecidos por la Ley 1333 (Ley del Medio Ambiente) su reglamentación conexas y las normas bolivianas EQNB 62006, NB 62002, NB-ISO 9096-05.

### **Operacionalización de las Variables**

#### **Variable Independiente**

El Monitoreo y Evaluación de la Contaminación Atmosférica y Acústica.

#### **Variable Dependiente**

Niveles de concentración de contaminantes atmosféricos en la Ciudad de Sucre.

#### **Importancia y justificación**

Debido al constante incremento de las actividades antropogénicas, el crecimiento desordenado en la ciudad de Sucre como consecuencia de la falta de un Plan de Ordenamiento Territorial.

Y además del desconocimiento de la normativa ambiental vigente a todo nivel, se hace necesaria realizar una investigación profunda acerca del nivel de concentración de los contaminantes emitidos a la atmósfera.

En los estudios realizados sobre el impacto de la contaminación sobre la salud de poblaciones de otros países, no se consideran los efectos generacionales de largo plazo sobre los seres humanos.

A lo más, se afirma que “muchos de los contaminantes ambientales, sobre todo los

físico-químicos, tienen un efecto crónico-degenerativo que se traduce en una eventual incapacidad parcial o total”. Esto, junto con los problemas asociados a la pobreza urbana puede producir una pérdida muy difícil de recuperar el capital humano, es decir, el deterioro del principal recurso con que cuenta un país: su población<sup>3</sup>.

### **Metodología y Materiales**

#### **Métodos**

Se han utilizado los siguientes métodos:

#### **Métodos Empíricos**

Experimental, que se refiere a las diferentes operaciones y prácticas para demostrar, comprobar o discutir fenómenos o sus principios básicos. Se realizara la selección de las horas pico de tráfico y los sectores de mayor circulación vehicular, para poder determinar su influencia en la contaminación atmosférica, por aerosoles y acústica.

Observación Científica, donde el investigador acude al lugar donde ocurren los procesos durante algún tiempo y se describe como sucede en la realidad.

La contaminación atmosférica, acústica y por aerosoles, han sido medidas tal como ocurre en función a la contaminación por fuentes móviles y fijas, buscando una relación entre los niveles de contaminantes medidos y los factores que influyen en los mismos.

#### **Métodos Teóricos**

- El Método Deductivo se utilizara para determinar los sectores y las horas de

muestreo a partir de la contaminación atmosférica, acústica y por aerosoles, que se generan en toda la ciudad de Sucre.

- El Método Inductivo
- Sistémico
- Documental
- Modelación

### Técnicas

Se han utilizado técnicas, como el registro de datos y la encuesta:

El Registro de Datos, anotando las diferentes lecturas de los equipos utilizados para el monitoreo de contaminantes como el medidor de gases, partículas y sonómetro en fuentes fijas y móviles, en cada uno de los sectores seleccionados, en las horas pico de tráfico elegida, la capacidad de vehículo definida, las industrias seleccionadas.

La Encuesta utiliza una boleta para determinar la percepción de las personas en relación a la problemática de contaminación atmosférica, por aerosoles y sonora.

### Universo

El universo del presente estudio, comprende la "ciudad de Sucre" con una población aproximada de 270,000 habitantes.

La población aproximada de vehículos es de 39,524 movibilidades (Fuente: Policía, Tránsito, División Vehículos, Sucre, 2006), que corresponden al sector particular, público y oficial, estas movibilidades se clasifican de

acuerdo a su capacidad como: Menor a los 3000 kilogramos y de 3000 a 10000 kilogramos y según el modelo, de acuerdo al reglamento de contaminación atmosférica de la Ley 1333 y las industrias a ser muestreadas.

### Muestra

De acuerdo al intenso tráfico vehicular, las actividades de las industrias y otros, se estimara la varianza poblacional con una confianza del 10 % de la varianza muestral de al menos 3,900 vehículos. Además se tomara 3 puntos representativos de la ciudad de Sucre, para realizar el monitoreo.

### Metodología

Para el presente estudio se utilizara la siguiente metodología:

En la ciudad de Sucre, se empleara la metodología de predicción de contaminantes atmosféricos, a través de la medición directa, la que se efectuara con la ayuda de equipos destinados para ello, con el que se realizaran mediciones por el lapso de un tiempo determinado, durante 2 veces por año, para luego introducir los resultados en una base de datos y proceder a la tabulación, ordenamiento y evaluación de los mismos. Se consideraran los siguientes aspectos:

La evaluación de la contaminación atmosférica, acústica y por material particulado, será monitoreada en 3 puntos representativos de la ciudad de Sucre.

Se determinara el tiempo de medición por contaminante, tipo de fuente, horas pico de mayor tráfico, época del año y otros.

El diagrama que a continuación presentamos servirá de base para el trabajo de evaluación de contaminación atmosférica, acústica y por aerosoles en la ciudad de Sucre:



**Figura 1** Diagrama de contaminación atmosférica y acústica

### Equipos de Medición y Materiales

- Los equipos para el monitoreo y evaluación de la contaminación atmosférica en la ciudad de Sucre, son los siguientes:
- Las mediciones de los gases de combustión se las realizará utilizando un equipo computarizado especial para este efecto
- Para el material particulado se utilizará un equipo medidor de partículas para ambientes interiores y exteriores EVM3.
- Para ruido se cuenta con un sonómetro marca Testo 816.
- Los materiales que se van a utilizar en el recuento de fuentes fijas y móviles son los siguientes:
- Hojas impresas de registro de recuento
- Hojas impresas de registro de datos de la medición de contaminantes
- Lápices y bolígrafos
- Material de escritorio

### Resultados Directos

- Niveles de contaminación acústica monitoreados y evaluados.
- Niveles de emisión de contaminantes atmosféricos medidos y evaluados.
- Niveles de concentración de partículas monitoreados y evaluados.
- Base de datos de niveles de emisión de contaminantes atmosféricos y contaminación acústica implementada.
- Indirectos
- Laboratorio de control de calidad del aire con equipos calibrados y en funcionamiento.
- Docentes y estudiantes capacitados en el manejo de equipos.
- Docentes actualizados y capacitados en el control de la calidad del aire.
- Propietarios y población interesados en la evaluación de los niveles de contaminación provocados por la emisión de los motores y bocinas de los vehículos.
- Convenios firmados entre la Carrera de Ingeniería Ambiental, la Jefatura de Medio Ambiente del GMS y la Asociación Sucrense de Ecología ASE.

### Impacto

Datos actualizados sobre niveles de concentración de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Sucre.

Gobierno Municipal de Sucre cuenta información actualizada, que le permitirá implementar medidas de control, prevención y

mitigación de la contaminación atmosférica dentro del marco legal vigente.

Asociación Sucrense de Ecología con información actualizada, que le permitirá la socialización de la misma, en diversas actividades de educación ambiental.

Información generada sobre niveles de concentración de contaminantes atmosféricos, y divulgada a través de diversos medios de comunicación escrito y oral.

Carrera de Ingeniería Ambiental con datos del sector transporte de la Ciudad de Sucre, sobre concentración de dióxido de carbono, uno de los principales contribuyentes al calentamiento global y cambio climático.

### **Estrategias de comunicación**

Diseño del Programa de educación ambiental, elaboración spots TV, presentación de los resultados en la VI feria de ciencia y tecnología 2010, elaboración de cartillas educativas, publicación en la revista universitaria expresión y Correo del Sur.

### **Conclusiones**

El porcentaje de vehículos a gasolina y Gas natural comprimido aprobados y reprobados, llega al 61 %, frente al 39 % de reprobados, en relación a los contaminantes como el monóxido de carbono e hidrocarburos, en la gestión 2009.

Existiendo un amplio margen entre los aprobados y reprobados.

Respecto al bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el porcentaje de vehículos aprobados de las movibilidades que utilizan gasolina y gas natural comprimido es del 58 % de aprobados y 42 % reprobados en la gestión 2009.

La concentración de partículas sólidas suspendidas PM<sub>10</sub> se presenta en mayor proporción en la mañana con relación de la tarde, en la calle Junín esquina Ravelo. El volumen de partículas sólidas totales (PST) incrementa considerable su volumen en la calle Junín esquina Ravelo en el horario de la mañana.

La concentración de partículas sólidas suspendidas PST y PM-10, se encuentran por encima de los límites máximos permisibles por la Ley 1333, tanto en el turno de la mañana como de la tarde en la calle Junín esquina Ravelo. La concentración de PST, excede los límites máximos permisibles según la Ley 1333 en la calle Calvo esquina Potosí en el turno de la mañana.

Los niveles de concentración de partículas sólidas suspendidas PM-10, excede el valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de la media anual, en todos los puntos de monitoreo. Los valores obtenidos de partículas sólidas suspendidas PM 2.5, se encuentran por debajo de los valores recomendados por la OMS, en todos los puntos de monitoreo.

### **Agradecimientos**

Los investigadores agradecen a la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICYT) de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca por el apoyo brindado en el desarrollo del presente trabajo.

### **Referencias**

Alberto Behar, El Ruido y su Control, Editorial Trillas, México Distrito Federal, México, año 1998

Calvimontes Delgadillo Walter León, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad Técnica Carrera de Mecánica Automotriz, Verificación y cuantificación de gases

contaminantes producidos por automóviles en la Ceja de El Alto, La Paz- Bolivia, 2003.

Dr. Juan Grau Ecología y Ecoturismo, El Libro Rojo del Medio Ambiente, 3era edición, Ediciones OIKOS, Santiago Chile.

Ernesto C. Enkerlin, Jerónimo Cano, Raúl A. Garza, Enrique Vogel, Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible, Thomson Editores, 1997.

G. Tyler Millar, JR., Ecología y Medio Ambiente, Grupo editorial Iberoamericana, S.A. de C.Y. 1994.

Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión, Vol. II, Editorial Mc Graw Hill, año 1999.

<http://sedesol2008.sedesol.gob.mx/archivos/301109/File/Tomo8.PDF>

<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/10CAtm1/200Conta.htm>

Larry Carpenter, Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, Capítulo 9, Editorial Mc Graw Hill, Madrid, España, 1995

Ley No. 1333 o Ley del medio ambiente de abril 27 de 1992 y Reglamentación a la ley del medio ambiente, de diciembre 8 de 1995, D.S. 24176, Ministerio de Desarrollo Sostenible, La Paz, Bolivia.

Murillo Humberto, Evaluación de la Contaminación Acústica por fuentes móviles en la Ciudad de Sucre. Sucre, 2004.

Noel de Nevers, Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire, Editorial Mc Graw Hill, Madrid, España, 1998

Océano, Enciclopedia Océano de la Ecología, tomo II, III, Océano Grupo Editorial.

Rodríguez Apolonia, Monitoreo de la Contaminación Atmosférica provocada por el parque vehicular de la Ciudad de Sucre. Sucre, 2003.

SwissContac, Medición de Gases Vehiculares, Sucre 2002.

[www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/normas/2\\_1.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/normas/2_1.pdf)

Aumento de la Conc. De gases.

[www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/Hipertexto/10CAtm1/350CaCli.htm#](http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/Hipertexto/10CAtm1/350CaCli.htm#)

[www.Sierra.com.mx/t1msn\\_valle\\_de\\_mexico/particul.asp](http://www.Sierra.com.mx/t1msn_valle_de_mexico/particul.asp)