

# La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cochabamba (Red MoniCA)

Dennis Bascope Moscoso

Departamento de Ingeniería Industrial  
Universidad Católica Boliviana San Pablo  
Cochabamba, Bolivia  
e-mail: [bascope@ucbcba.edu.bo](mailto:bascope@ucbcba.edu.bo)

## 1 Antecedentes

La contaminación atmosférica ha dejado de ser un problema exclusivo de las grandes urbes de los países industrializados. En Latinoamérica, más de cuarenta centros urbanos cuentan con una población por encima del millón de habitantes y en muchos de ellos el nivel de contaminación atmosférica excede los estándares determinados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [4]. Estudios realizados por este mismo organismo revelan que, en América Latina, las infecciones respiratorias agudas son la primera causa de mortalidad en niños menores de cinco años; dolencias que pueden ser producidas o exacerbadas por la contaminación del aire.

En nuestra región, son los más grandes centros urbanos que se han visto confrontados en primera instancia a esta problemática. Ciudades como Santiago de Chile, México D.F. y Sao Paulo vienen luchando contra la contaminación del aire desde hace más de una década; es así que diversas estrategias de control de la contaminación del aire han sido implementadas por sus gobiernos nacionales y locales [5]. Al mismo tiempo, una enorme experiencia se ha acumulado; experiencia que puede ser ahora aprovechada por otras ciudades latinoamericanas donde se comienza a tomar conciencia en este tema.

En el contexto de la lucha contra la contaminación del aire, la promulgación de leyes y reglamentos ambientales es fundamental, pues proporciona el marco legal indispensable para toda tarea mitigación y/o prevención. Paralelamente, se hace vital que, a nivel de los municipios, se implementen acciones sistémicas que permitan mejorar la calidad del aire y proteger la salud de la población. Este conjunto de acciones recibe actualmente el nombre de estrategias de gestión de la calidad del aire [3]. En efecto, la experiencia de numerosos gobiernos y otras instituciones que han trabajado en el tema, aplicando diversas metodologías, ha permitido una sistematización en la implementación de las mencionadas estrategias, lo que constituye una herramienta muy apreciada.

La implementación de una estrategia de gestión de la calidad del aire contempla diversas etapas que pueden ser enumeradas de la siguiente manera:

- i. Evaluación de la contaminación
- ii. Evaluación del impacto de la contaminación
- iii. Análisis de opciones
- iv. Elaboración de un plan de acción
- v. Implementación de un plan de acción
- vi. Evaluación de resultados y vigilancia

Cada una de estas etapas tiene una importancia vital para el éxito del conjunto, aunque el modo de llevarlas a cabo varía fuertemente con las condiciones locales.

El primer paso consiste entonces en la evaluación de la contaminación del aire, es decir en la cuantificación del problema. Es en este sentido que el monitoreo de la calidad del aire toma una importancia crucial, pues nos permite medir los niveles de contaminación a los que se halla expuesta la población. Esta información brinda las bases científicas necesarias para la implementación de todo tipo de estrategias de gestión de la calidad del aire. No ha de extrañarnos entonces que en todas las ciudades de Latinoamérica, donde desde hace muchos años se viene trabajando en el control de la contaminación del aire, la primera acción haya consistido en implementar una red de monitoreo de la calidad del aire.

## 2 La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cochabamba

En la ciudad de Cochabamba, gracias a la iniciativa de la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (SwissContact) y al concurso de la Honorable Alcaldía Municipal de Cochabamba y de la Universidad Católica Boliviana San Pablo, se inició la implementación de la primera Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de nuestro país. Los primeros equipos de monitoreo se instalaron en el mes de mayo del presente año y en el mes de junio se inició la primera fase de mediciones. La Red MoniCA está dirigida por un Comité conformado por representantes de las tres instituciones que participan en la iniciativa. Al mismo tiempo, el manejo de la red a nivel técnico es atribución de un equipo de docentes y estudiantes de la UCB.

### 2.1 Objetivos de la Red MoniCA

Se ha mencionado ya que el objetivo de una red de monitoreo atmosférico es recolectar información para la toma de decisiones que generalmente consisten en políticas que mejoran la calidad del aire o previenen su contaminación. Sin embargo, esta labor se puede llevar a cabo de diversas maneras y se necesita definir objetivos más precisos, de acuerdo a la magnitud de las acciones que se pretende tomar a futuro y sobre todo

de acuerdo al tópico del problema que se desea tratar. Es así que se puede monitorear la calidad del aire a diversas escalas; desde una pequeña fundición de minerales y sus alrededores inmediatos, hasta una ciudad entera o todo un país.

El primer paso en la implementación de una red de monitoreo consiste entonces en delimitar precisamente los objetivos que se buscan. En Cochabamba, el objetivo número uno es el de cuantificar la exposición de la población, de acuerdo al lugar donde vive o trabaja en el Municipio Cercado de Cochabamba. Otros objetivos más específicos, también han sido propuestos, a saber:

- determinar la congruencia con las normas de calidad del aire u otros estándares;
- estimar los efectos en la población y en el ambiente;
- informar al público sobre la calidad del aire que respira;
- establecer las bases necesarias para la implementación de políticas de gestión de la calidad del aire.

## 2.2 Parámetros ambientales monitoreados

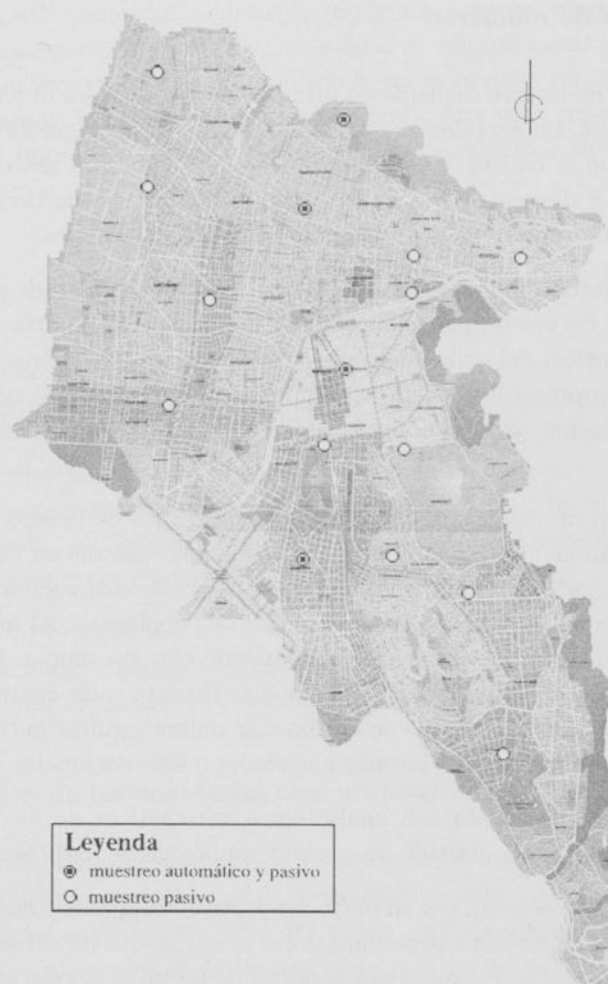
A pesar de que, hasta la fecha, se han identificado más de cien contaminantes de la atmósfera, existe un número reducido de ellos que se considera como contaminantes criterio. Estos contaminantes, por ser los más abundantes y comunes, son estudiados como indicadores de la contaminación del aire [3]. Para estos, se han establecido normas y estándares, como es el caso de los límites permisibles de calidad del aire que establece el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica de la legislación ambiental boliviana. Este grupo de contaminantes está compuesto por los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), el ozono ( $\text{O}_3$ ), el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles (COV), material particulado (PM) y plomo (Pb). La Red MoniCA monitorea actualmente los cuatro primeros y, a partir del 2002, medirá material particulado y plomo.

Todos estos contaminantes tienen efectos sobre la salud humana; principalmente sobre el sistema respiratorio y las mucosas en general, pero también sobre el sistema nervioso central y el sistema cardiovascular [6].

Por otro lado, no solamente se monitorean contaminantes atmosféricos, la medición de variables meteorológicas como la humedad relativa, la temperatura y la dirección y velocidad del viento, entre otras, es importante para evaluar la dispersión de los contaminantes en la atmósfera así como su reactividad y su ciclo de vida en general. En Cochabamba, se cuenta con una estación meteorológica, que es parte de la Red de Monitoreo, que recoge estas variables de manera continua.

## 2.3 Distribución de los sitios de muestreo

El número y la distribución espacial de los sitios de muestreo deben ser determinados de manera que sean lo más representativos posible del lugar donde se monitorea. Para



**Figura 1:** Sitios de muestreo de la red de monitoreo de Cochabamba.

esto, es necesario instalar sitios de muestreo en zonas de diferente actividad, como ser el centro de la ciudad, zonas residenciales, lugares de alto tráfico vehicular y zonas industriales. Se deben considerar también otros factores como la topografía, las condiciones meteorológicas, la densidad poblacional y hasta la seguridad y el fácil acceso.

Aunque todos estos factores son generalmente tomados en cuenta para el diseño espacial de la Red de Monitoreo, es muy difícil lograr, a priori, la representatividad buscada en cada uno de los puntos. En el caso de Cochabamba, se ha optado por instalar un número importante de sitios, tal vez más de lo que la teoría recomienda, para que después de un periodo de medición de uno o dos años se descarten los menos relevantes y se conserven los más representativos (ver Figura 1).

## 2.4 Tecnología de muestreo

La tecnología del monitoreo depende en primera instancia de los objetivos del monitoreo, de las variables ambientales que se desean medir y, por supuesto, de los recursos financieros con que se cuenta. Diversos tipos de tecnología son disponibles, cada una con sus ventajas y desventajas, a saber: muestreadores automáticos, muestreadores activos, muestreadores pasivos, sensores remotos y bio-indicadores.

Los muestreadores o monitores automáticos tienen la cualidad de proporcionar una respuesta rápida. En efecto, permiten obtener medidas de concentración en intervalos de tiempo muy cortos, del orden del minuto inclusive, aunque generalmente medidas de concentración promedio sobre intervalos de 15 minutos son más que suficientes para conocer la variación de la concentración de los contaminantes más reactivos de la atmósfera.

La importancia de medir concentraciones en intervalos de tiempo cortos radica en que algunos contaminantes como el ozono, por ejemplo, tienen un tiempo de vida en la atmósfera muy corto, pero aun en intervalos cortos concentraciones elevadas pueden afectar la salud humana, de los animales y hasta de las plantas. Al mismo tiempo, las normas de calidad del aire para el ozono, siguiendo con el ejemplo, toman en cuenta periodos de exposición de una hora a ocho horas. En este caso, contar con promedios diarios de concentración no serviría de mucho si se quiere verificar la congruencia de las concentraciones ambientales con normas nacionales o internacionales.

En Cochabamba se cuenta con analizadores automáticos de los siguientes gases: óxidos de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre y monóxido de carbono.

Los muestreadores activos, por su parte, no proveen valores de concentración de contaminantes, sino que simplemente recolectan las muestras que deben ser posteriormente analizadas en laboratorio. Su costo es inferior al de los analizadores automáticos, aunque sólo permiten muestrear en intervalos de tiempo del orden de un día. El muestreo de material particulado es generalmente realizado por métodos activos.

Los muestreadores pasivos constituyen la tecnología más simple y al mismo tiempo la más económica [7]. Existen, sin embargo, dos desventajas principales: su precisión es relativamente baja y sólo proporcionan concentraciones promedio para periodos de tiempo superiores a un día y en general del orden de una semana. Su principio de funcionamiento consiste en la captura de contaminantes gaseosos por medio de una sustancia que reacciona de manera específica con un determinado contaminante. En Cochabamba se mide ozono y dióxido de nitrógeno con esta tecnología.

Los sensores remotos permiten realizar, desde una posición fija, mediciones de concentración a distancias y direcciones diversas. Ubicando un sensor remoto en un solo punto de una ciudad es posible evaluar los niveles de contaminación en toda la superficie de la misma. Existen sin embargo algunas desventajas en esta tecnología: por un lado su muy elevado costo de inversión, operación y mantenimiento y por otro lado su uso extremadamente complejo y los resultados no tan confiables como en los analizadores automáticos.



Por último, los bioindicadores consisten en algunas especies vegetales que acumulan ciertos contaminantes de manera selectiva o bien se ven afectadas por éstos. Aunque esta tecnología parecería ser la más económica, no es el caso, puesto que las especies generalmente usadas deben ser cultivadas en condiciones muy especiales. Del mismo modo, es difícil obtener valores de concentración de contaminantes de una manera confiable.

### 3 Primeros resultados del monitoreo

Una red de monitoreo constituye un conjunto de instrumentos y procesos sumamente complejos. Es difícil obtener resultados concluyentes antes de un tiempo considerable de monitoreo. Es pues necesario que los operadores de la red conozcan en profundidad todo el equipo disponible, que en muchos casos es de última tecnología, y que los procedimientos sean realizados siguiendo un plan de calidad de manera estricta. En algunos casos se ha precisado de hasta un año para que las medidas de una red de monitoreo sean realmente confiables.

Sin embargo, y a pesar del corto tiempo de actividad de la Red de Monitoreo de Cochabamba, se pueden adelantar algunos resultados de las mediciones realizadas, más como un ejemplo de lo que se está obteniendo que como conclusiones definitivas.

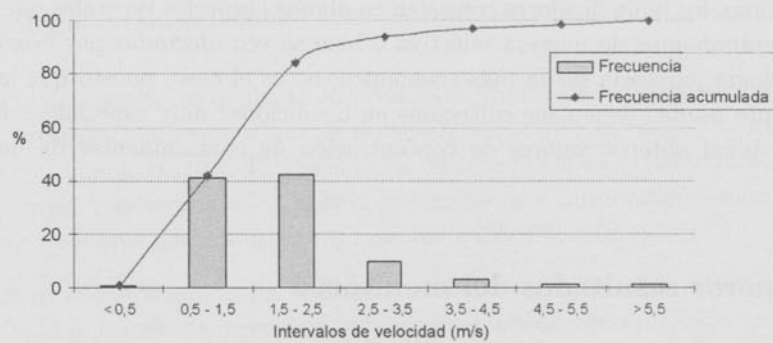
#### 3.1 Dispersión de los contaminantes atmosféricos

Se ha mencionado anteriormente la importancia de la medición de variables meteorológicas en paralelo a las mediciones de concentraciones de contaminantes atmosféricos. En efecto, mediciones de la velocidad del viento, por ejemplo, nos permiten saber en qué medida los contaminantes de la atmósfera pueden ser dispersados naturalmente. Se puede dar el caso de que las emisiones contaminantes sean importantes, pero que el viento las disperse de manera tal que no afecten a la salud de la población.

Los resultados del monitoreo meteorológico para los meses de junio a agosto han mostrado velocidades del viento muy bajas, para ese periodo en especial. En estos tres meses, más de la mitad del tiempo, la velocidad del viento se mantuvo por debajo de 1,2 m/s, lo cual es considerado por los meteorólogos como ausencia de viento [2]. Del mismo modo, más del 80% del tiempo, la velocidad del viento se mantuvo por debajo de los 2 m/s.

Esta ausencia de viento implica a su vez una ausencia de dispersión de la contaminación del aire. Lo que nos puede indicar que, durante estos meses en particular, elevadas emisiones de contaminantes a la atmósfera dentro de la ciudad tendrían efectos directos sobre la población. En efecto, el aire se renovaríase muy difícilmente.

Esta falta de movimiento en la atmósfera es consecuencia de inversiones de temperatura que son muy frecuentes en ciudades de altitud. En otras latitudes, episodios catastróficos de contaminación del aire han tenido lugar en estas condiciones atmosféricas estables.



**Figura 2:** Distribución frecuencial de la velocidad del viento medida a 10 m por encima de la superficie del suelo, durante los meses de junio, julio y agosto.

### 3.2 Contribución del tráfico automotor

En gran parte de las ciudades de Latinoamérica, el tráfico automotor es el principal responsable de la contaminación atmosférica [4]. La ciudad de Cochabamba no parece ser una excepción a este hecho. Resultados del monitoreo del día 5 de septiembre confirman esta afirmación.

Todos los años, el primer domingo del mes de septiembre se celebra en Cochabamba el Día del Peatón. En esta fecha, se suspende el tráfico automotor entre las 9:00 de la mañana y las 17:00 de la tarde. La Red de Monitoreo, que cuenta con una estación automática en la Plaza Colón, ha podido monitorear las concentraciones de algunos contaminantes durante este evento.

Durante el día mencionado se ha podido observar que las concentraciones de gases contaminantes como el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno han sido prácticamente nulas precisamente durante las horas de suspensión del tráfico automotor (ver Figura 3). Si se comparan las mediciones de ese día con curvas de concentración obtenidas en días similares (domingos), se hace evidente la enorme contribución de los vehículos motorizados a la presencia de gases contaminantes en la atmósfera del centro de la ciudad. Este hecho no debe extrañarnos, teniendo en cuenta la fuerte densidad del tráfico automotor en el centro de la ciudad y el mal estado de funcionamiento de muchos de los motores.

No obstante, el constatar la contribución de los vehículos a las concentraciones de contaminantes observables en el centro de la ciudad no quiere decir que las industrias no contaminen el aire. Es posible que algunas de ellas produzcan emisiones con efectos sobre la población de los alrededores, pero de manera muy local. Estudios en las posibles fuentes puntuales de contaminación es una tarea que también amerita atención.



**Figura 3:** Concentraciones de monóxido de carbono (CO) medidas durante el Día del Peatón (5 de septiembre) comparadas con el promedio de las mediciones en días similares durante el mes de agosto.

### 3.3 Congruencia con estándares y normas de calidad del aire

La primera forma de juzgar la calidad del aire de una ciudad determinada consiste en comparar las concentraciones de gases contaminantes medidas de gases contaminantes con las normas nacionales, o internacionales, de calidad del aire. Estos valores son umbrales por encima de los cuales la salud humana se ve comprometida. Sin embargo, concentraciones aun por debajo de estos límites podrían ser nocivas a la salud y para determinarlo son necesarios estudios epidemiológicos sobre la población expuesta a determinadas concentraciones de contaminantes.

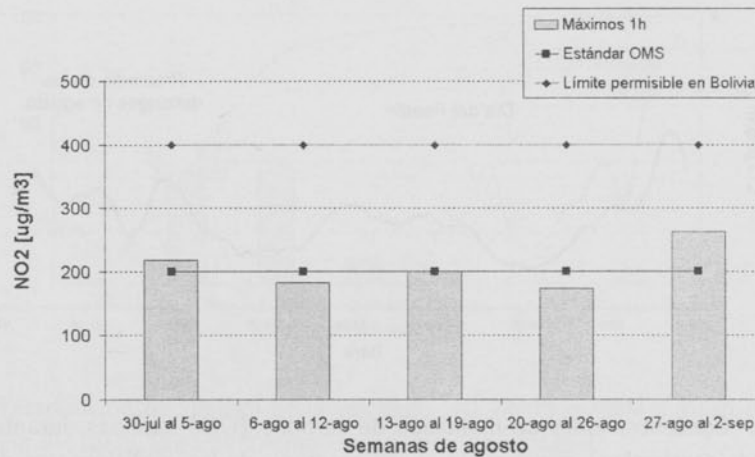
En algunos sitios de muestreo de nuestra ciudad se ha podido constatar que las concentraciones medidas superan algunos valores guía de calidad del aire. Un ejemplo de ello es el sitio de muestreo de la Plaza Colón. En este sitio se ha observado que las concentraciones de dióxido de nitrógeno superan el estándar de calidad del aire de la OMS para este gas, que es de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [1]. Sin embargo, el límite permisible de calidad del aire de la Ley de Medio Ambiente boliviana se encuentra muy por encima, a  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Es difícil decir entonces si en ese punto el nivel de contaminación compromete o no la salud de los residentes o de la gente que ahí trabaja. No obstante, el hecho de que se superen los estándares de la OMS constituye una señal de alerta que se debe corroborar con estudios epidemiológicos que permitan conocer el efecto real de estas concentraciones sobre la salud.

## 4 Perspectivas

Si bien la tarea más importante del equipo humano que maneja la Red MoniCA es la de monitorear los contaminantes atmosféricos, existen otras tareas que son igualmente importantes para alcanzar los objetivos trazados.

En este momento, la actividad considerada más importante es la implementación de un Sistema de Calidad para todas las actividades que realiza la Red. Si se pretende que





**Figura 4:** Concentraciones de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) máximas observadas durante el mes de agosto, comparadas con el "límite permisible" de la Ley Boliviana de Medio Ambiente y con los valores guía propuestos por la OMS para ese contaminante. Los valores de concentración mostrados son promedios de una hora.

políticas de control de la contaminación atmosférica sigan a la tarea de monitoreo, es imprescindible que la información que proporcione la Red sea de la mayor confiabilidad posible. Se ha diseñado un sistema de calidad que será, a muy corto plazo, implementado y se espera que este sea el primer paso para la certificación del laboratorio en el que se hacen los análisis [8].

Como se ha mencionado, uno de los objetivos de la Red MoniCA es de informar a la población. A este efecto, se ha iniciado el diseño de un sistema de gestión de la información que será accesible vía Internet. Todo la población de Cochabamba y del mundo entero podrá consultar los resultados del monitoreo atmosférico de nuestra ciudad desde el año 2002.

Por último, se está realizando un inventario de las emisiones del parque automotor local. Es pues importante conocer con mayor precisión la magnitud de las emisiones que este sector genera. Esto permitirá ubicar las categorías de vehículos que más contaminan y los impactos de eventuales medidas que se tomen para reducir sus emisiones.

## Agradecimientos

Sirva la oportunidad para agradecer a la H. Alcaldía de Cochabamba y a SwissContact por depositar su confianza en el personal de la Universidad Católica Boliviana, confiándole la administración técnica de la red de monitoreo.

Al mismo tiempo, de parte del equipo técnico de la red de monitoreo, me permito expresar toda nuestra gratitud a los directivos y al personal de SEMAPA, PROMIC, Centro de Salud de Jaihuayco, PRO-SALUD, ELFEC, COMTECO, Escuela de Clases

“Sgto. Maximiliano Paredes”, Hospital “Harry Williams”, SAR-FAB y de la Guardería de Valle Hermoso por permitirnos instalar, en sus predios, el equipo de medición de la red de monitoreo y por toda la valiosa colaboración con que siguen aportando al proyecto.

## Referencias

- [1] A.P. Martínez y I. Romieu. Introducción al monitoreo atmosférico. Reporte técnico, Organización Panamericana de la Salud, México D.F., 1997.
- [2] N. De Nevers. *Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire*. McGraw-Hill, 1998.
- [3] Curso de orientación para el control de la contaminación del aire. Reporte técnico, Organización Panamericana de la Salud/CEPIS, Lima, 1999.
- [4] B. Onursal y S. Gautum. Contaminación atmosférica causada por vehículos: Experiencias de siete centros urbanos latinoamericanos. Reporte técnico, Banco Mundial, Washington D.C., 1997.
- [5] Plan regional sobre calidad del aire urbano y salud para el periodo 2000-2009. Reporte técnico, Organización Panamericana de la Salud, Washington, D.C., 2000.
- [6] SwissContact, San Salvador. *Manual de Gestión de la Calidad del Aire*, 2001. Programa Aire Puro.
- [7] Passive and active sampling methodologies for measurement of air quality. En *GEMS/AIR Methodology Reviews*, Vol. 4, UNEP Nairobi, 1994. WHO/EOS/94.4, UNEP/GEMS/94.A.5.
- [8] C. Veltzé. Diseño de un sistema de calidad para la red de monitoreo de la calidad del aire de Cochabamba. Proyecto de grado de licenciatura en ingeniería industrial, Universidad Católica Boliviana San Pablo, Cochabamba - Bolivia, 2001.