

# MANUAL 1

## PRINCIPIOS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE



## RECONOCIMIENTOS.

La serie de manuales de buenas prácticas en monitoreo de la calidad del aire es el resultado de grandes esfuerzos, tiempo y energía de varios participantes de Japón, Estados Unidos y México. En este proyecto, el Instituto Nacional de Ecología (INE) recibió el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (Japan International Cooperation Association–JICA), de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency–US-EPA), de todas las redes de monitoreo atmosférico del país, en especial del Sistema de Monitoreo Atmosférico del Distrito Federal, y del Colegio de Ingenieros Ambientales de México.

Las dependencias que participaron en la elaboración de esta serie de manuales son:

- Agencia de Cooperación Internacional de Japón
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
- Colegio de Ingenieros Ambientales de México
- Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, del Instituto Nacional de Ecología
- Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal
- Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, del Instituto Nacional de Ecología
- Redes de monitoreo atmosférico estatales y municipales del país

## PRÓLOGO.

La contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales y de salud pública de México y del mundo. Es un fenómeno inherente al estado económico, poblacional y tecnológico de nuestro país, que tiene sus expresiones más graves en las grandes ciudades y las zonas fronterizas e industriales del territorio nacional. A su vez, la contaminación atmosférica es uno de los problemas más difíciles de comprender, evaluar, normar y controlar, entre otras causas, por la gran cantidad y variedad de las fuentes emisoras, la dilución y/o transformación de los contaminantes en la atmósfera y los efectos que tienen los contaminantes sobre la salud humana y los ecosistemas. Para medir y evaluar el impacto de la contaminación del aire en la población y los recursos naturales, es indispensable contar con sistemas, redes y programas adecuados de medición de la calidad del aire bajo esquemas uniformes de operación y aseguramiento de calidad.

El Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico, PNMA, tiene como objetivo: garantizar el diagnóstico y la vigilancia del estado de la calidad del aire a nivel nacional, para generar información real, válida y comparable entre los diferentes sitios y redes del país, y para ser un instrumento fundamental en el establecimiento de políticas ambientales de protección a la salud de la población y de los ecosistemas (PNMA, 2003).

Una de las funciones de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y del Instituto Nacional de Ecología (INE) es la generación de información científica y técnica sobre problemas ambientales, para informar a la sociedad, apoyar la toma de decisiones, impulsar la protección ambiental y promover el uso sustentable de los recursos naturales.

Asimismo, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) establece que debe haber una administración integral de los datos de calidad del aire que se generan en el país, tanto por las redes de monitoreo urbanas como por las estaciones de monitoreo individuales, ya sea que pertenezcan al gobierno o a la iniciativa privada. Por ello, la SEMARNAT y el INE, en conjunto con otras dependencias nacionales e internacionales han desarrollado el Sistema Nacional de Información sobre Calidad del Aire (SINAICA), el cual es un espacio virtual de vinculación de los sistemas de medición de la calidad del aire locales, que suministra información gratuita sobre calidad del aire al público en general, lo más cercano posible al tiempo real, a través de Internet. El servicio que brinda el SINAICA de administración, análisis y difusión de los datos de calidad del aire está dirigido a tomadores de decisión, investigadores, académicos y personas interesadas en el tema, por lo que posee información técnica y normativa, bases de datos históricas y vínculos a otras páginas de Internet nacionales e internacionales dedicadas al tema de Calidad del Aire (<http://sinaica.ine.gob.mx/>).

Debido a la falta de personal capacitado, y a la rotación de personal que existe en la administración pública, las capacidades del monitoreo atmosférico son limitadas en cuanto a recursos humanos se refiere. Por ello, el INE, en conjunto con diversas instituciones y dependencias nacionales e internacionales, desarrolló una serie de manuales para difundir el conocimiento de cómo llevar a cabo mediciones de la calidad del aire y así fortalecer las mediciones que se realizan en el país.

El alcance se ve reflejado en 6 Manuales de Mediciones de Calidad del Aire, cuyos contenidos temáticos se describen a continuación:

### ***Manual 1. “Principios de Medición de la Calidad del Aire”.***

Muestra los conceptos básicos relacionados con las mediciones de la calidad del aire. Describe de manera sencilla los principios de medición de la calidad del aire, destacando las metodologías existentes de muestreo, monitoreo y análisis de contaminantes; así como sus ventajas y desventajas. Incluye también los conceptos de aseguramiento y control de calidad, así como lineamientos para la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad basado en las normas internacionales y mexicanas (ISO 9001:2000, ISO/IEC 17025:1999, NMX-CC-9001-IMNC-2000, y NMX-EC-17025-IMNC-2000).

### ***Manual 2. “Sistemas de Medición de la Calidad del Aire”.***

Se ha definido un Sistema de Medición de la Calidad del Aire, SMCA, como el conjunto organizado de recursos humanos, técnicos y administrativos empleados para observar el comportamiento de la calidad del aire en una región dada.

La infraestructura del sistema debe permitir el cumplimiento de los siguientes objetivos: evaluar la observancia de las normas de calidad del aire, conocer de forma rápida los niveles de contaminación prevalcientes, informar a la población sobre los niveles de contaminación, verificar los efectos de las medidas de control en la contaminación atmosférica, y promover la gestión ambiental para evitar el deterioro de la atmósfera debido a las actividades humanas.

En este sentido, el Manual 2 describe los componentes que conforman un sistema de medición de la calidad del aire, sus características, estructura; criterios para su establecimiento, así como los objetivos de los sistemas de medición de la calidad del aire y los objetivos de la calidad de los datos.

### ***Manual 3. “Redes, Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire”.***

Una red de medición de la calidad del aire es aquella que enlaza dos o más estaciones para poder determinar la calidad del aire de la región. En este sentido una red pretende tener una mayor cobertura para evaluar el aire ambiente de una extensión territorial amplia.

Para diseñar una red, se debe considerar un punto de vista interdisciplinario, que incluya los parámetros: geográficos, meteorológicos, socioeconómicos, arquitectónicos y hasta culturales de la localidad. Así, el diseño de una red inicia con el planteamiento de los objetivos de monitoreo y de los recursos disponibles; posteriormente se presentan los criterios para determinar el número de estaciones y el equipamiento de éstas.

Para la selección de los sitios de monitoreo se debe considerar su representatividad en función de los objetivos de monitoreo. En esta actividad se usan varias metodologías: muestreo estadístico; traslape de información; medición simplificada o estudios de saturación y modelos matemáticos, los cuales se describen en este Manual. Asimismo, este manual presenta los principios de operación de los equipos de una estación de monitoreo y los criterios para su selección.

### ***Manual 4. “Operación de Estaciones de Medición de la Calidad del Aire, Mantenimiento y Calibración de sus Componentes”.***

Un aspecto muy importante para asegurar que la calidad de la información que genera un Sistema de Medición de la Calidad del Aire es adecuada, es corroborando que los equipos que lo conforman operan correctamente, que están calibrados y que se ha cumplido con los programas de mantenimiento establecidos.

Este Manual cubre las principales actividades de operación, mantenimiento y calibración que deben realizarse para asegurar la adecuada adquisición de datos.

De igual manera comprende las características de los programas de mantenimiento preventivo y los procedimientos generales de calibración.

### ***Manual 5. “Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire”.***

El otro aspecto importante para asegurar que la información que generan los Sistemas de Medición de la Calidad del Aire es confiable, es el adecuado manejo de datos. Actualmente los diferentes SMCA que operan en el país utilizan criterios propios para la recolección de datos y el procesamiento de la información, lo que implica que, en ocasiones, los datos no sean comparables con los de otras redes de monitoreo.

El Manual 5 define los criterios básicos para homologar el manejo de los datos y la validación de la información de calidad del aire.

### ***Manual 6 “Lineamientos Técnicos y Administrativos para la Auditoría de Sistemas de Medición de la Calidad del Aire”.***

El esquema de auditorías pretende evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos establecidos por los Sistemas de Medición de la Calidad del Aire. Estas auditorías pueden ser tanto internas como externas, y tanto al funcionamiento de los equipos del sistema como a la administración del mismo.

En una primera etapa se propone realizar auditorías de funcionamiento a los equipos de medición y a los sensores meteorológicos. Se recomienda que éstas se realicen anualmente por laboratorios privados, que obtengan su acreditación a través de la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), o por otro SMCA, bajo la supervisión de la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (DGCENICA), quien podrá aleatoriamente realizar o verificar alguna auditoría.

El Manual 6 establece las bases técnicas para instrumentar y realizar un programa nacional de auditorías a los sistemas de medición de la calidad del aire. En él se incluyen las actividades de preauditoría, auditoría y elaboración del reporte final.





1. INTRODUCCIÓN.	12
2. CONCEPTOS BÁSICOS.	13
3. PRINCIPIOS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	16
3.1. Medición.	16
3.2. Muestreo.	16
3.3. Métodos de medición de la calidad del aire1.	16
3.3.1. Muestreadores Pasivos.	17
3.3.2. Muestreo con Bioindicadores	17
3.3.3. Muestreadores activos.	18
3.3.4. Método automático .	18
3.3.5. Método óptico de percepción remota.	19
3.4. Análisis de muestras.	19
3.4.1. Métodos Volumétricos.	19
3.4.1.1. Titulación y Valoración.	19
3.4.2. Métodos Gravimétricos.	20
3.4.3. Métodos fotométricos.	20
3.4.4. Espectrofotometría.	20
3.5. Monitoreo.	20
3.5.1. Monitoreo de la Calidad del Aire.	21
3.5.1.1. Estaciones de Monitoreo.	22
3.5.1.2. Redes de monitoreo.	22
3.5.1.3. Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire.	22
4. NORMATIVIDAD AMBIENTAL	23
5.GESTIÓN DE LA CALIDAD EN LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE, SMCA.	27

5.1. Aseguramiento de Calidad.	27
5.1.1. Manual de Calidad.	27
5.1.2. Manual de organización.	28
5.1.3. Manual de procedimientos.	29
5.1.3.1. Procedimientos de operación estándar.	29
Elaboración de un PO	30
5.1.3.2. Procedimientos administrativos	32
Procedimiento de control de documentos.	32
Procedimiento de control de registros.	33
Procedimiento de adquisiciones.	33
Procedimiento de administración de personal.	33
Procedimiento de manejo de equipos.	34
5.2. Control de la calidad.	35
5.2.1. Selección de equipos de medición de la calidad del aire.	35
5.2.2. Selección y ubicación de sitios para medir la calidad del aire.	35
5.2.3. Instalación de estaciones de monitoreo y de toma de muestra.	36
5.2.4. Operación, mantenimiento y calibración de los equipos del SMCA.	36
5.2.4.1. Visitas a las estaciones de monitoreo.	36
5.2.4.2. Verificación del cero y del span de los analizadores.	36
5.2.4.3. Calibración multipunto de analizadores automáticos.	37
5.2.4.4. Mantenimiento preventivo y correctivo.	37
5.2.5. Verificación y validación de los datos.	37
5.3. Evaluación de la calidad.	38
5.3.1. Auditorías técnicas al SMCA.	38
5.3.2. Intercomparación de laboratorios.	39
6. REFERENCIAS.	40

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento es el primero de una serie de manuales, que tiene como objetivo fortalecer las capacidades de la medición de la calidad del aire en el país, con la finalidad de contar con información confiable, comparable y oportuna, que sirva para la formulación de políticas públicas que protejan la salud de la población y al medio ambiente.

Este documento nos da la pauta para introducirnos al tema de la medición de la calidad del aire, nos presenta los conceptos básicos, nos ubica en el marco normativo y nos define los pasos a seguir para asegurar la calidad del producto que queremos obtener.

El Capítulo 2 presenta conceptos básicos de calidad del aire que serán utilizados durante la lectura de esta serie de manuales. Estos conceptos incluyen desde la definición de aire, pasando por una definición básica de los contaminantes criterio y sus efectos en la salud.

El Capítulo 3 describe los conceptos de medición: muestreo, análisis y monitoreo. Asimismo, se presentan los métodos de medición, sus ventajas y desventajas. Y al final del capítulo se establece la importancia del monitoreo, y las definiciones de una estación, red y sistema de monitoreo.

El Capítulo 4 presenta de manera sencilla la normatividad ambiental en lo que se refiere a la medición de contaminantes del aire. En este capítulo se muestran las normas oficiales mexicanas tanto para definir los límites de concentración en el aire ambiente, como su método de medición.

El Capítulo 5 describe los elementos de la gestión de la calidad y cómo pueden ser aplicados a la medición de la calidad del aire. En este capítulo se muestra cuál es la documentación que debe ser desarrollada para integrar un manual de calidad, un manual de organización y un manual de procedimientos, indispensables en cualquier sistema de gestión de calidad. También se describe cómo se desarrolla el aseguramiento y control de la calidad en los sistemas de medición de la calidad del aire. Finalmente, se define la evaluación de la calidad como un nuevo concepto que distingue las actividades operativas de aquellas de evaluación del desempeño.

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS.

El aire es el fluido que forma la atmósfera de la Tierra. Éste es una mezcla gaseosa, que se compone principalmente de 21 partes de oxígeno y 78 partes de nitrógeno. El resto lo componen vapor de agua, gases nobles y bióxido de carbono.

El equilibrio de esta concentración permite que los seres humanos puedan respirar sin tener afectaciones a la salud. Sin embargo, el aire que respiramos puede ser alterado debido a la presencia de otros compuestos. En este sentido definimos como contaminante del aire al compuesto o compuestos que alteran nocivamente la concentración normal del aire ambiente y calidad del aire como el estado de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos en un periodo de tiempo y lugar determinados.

Los contaminantes pueden ser emitidos de manera natural, mediante los procesos de erosión del suelo, descomposición de materia orgánica, incendios forestales, y procesos volcánicos, entre otros.

Los contaminantes emitidos por causa de las actividades del hombre son conocidos como contaminantes antropogénicos, y en su mayoría son resultado de la quema de combustibles fósiles. En este grupo de contaminantes están los que son producidos por: fuentes fi

jas (establecimientos industriales estacionarios), fuentes de área (conjunto de pequeños establecimientos industriales o comerciales), y fuentes móviles, vehículos automotores, que también incluyen aquellos que no circulan por carretera.


Los contaminantes que son emitidos de manera directa, ya sea de una fuente natural o antropogénica, son llamados contaminantes primarios (por ejemplo, el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno). También existen los llamados contaminantes secundarios, los cuales son resultado de las reacciones químicas entre contaminantes primarios y otros componentes del aire (por ejemplo el ozono, que se forma de la reacción entre el dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles).

Algunos de los contaminantes del aire, por sus efectos en la salud de la población, han sido normados y se han establecido límites máximos de concentración en el aire ambiente. Estos contaminantes son conocidos como criterio. Los contaminantes criterio incluyen : el ozono ( $O_3$ ), el monóxido de carbono (CO), el bióxido de azufre ( $SO_2$ ), el bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), el plomo (Pb), las partículas suspendidas totales (PST), y las partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micrómetros ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ).

En el Cuadro 1 se muestran algunos de los efectos a la salud debidos a la exposición a los contaminantes criterio mencionados.

Contaminante	Efecto a la salud
Ozono	Irritación ocular y en las vías respiratorias
Monóxido de carbono	Formación de carboxihemoglobina ocasionando apnea
Plomo	Acumulación crónica en sistema hematopoyético y alteraciones en el desarrollo del sistema nervioso central
Partículas suspendidas	Irritación en los tejidos respiratorios, fibrosis, asma.
Bióxido de azufre	Irritante (garganta y bronquios), broncoconstricción, alteraciones en la función pulmonar.
Bióxido de nitrógeno	Disminución en la capacidad de difusión pulmonar

**Cuadro 1. Efectos a la salud por exposición a contaminantes criterio**



Como ya se mencionó, los contaminantes criterio tienen asignado un límite máximo normado en el aire ambiente para determinar si éste es respirable sin afectar la salud humana. Para poder determinar la concentración de cada contaminante se han desarrollado numerosas técnicas para medir estas concentraciones, las cuales se mencionan en el siguiente capítulo.

Al detectar la concentración de contaminantes del aire ambiente estamos determinando su calidad. Así entonces, la calidad del aire puede ser definida por indicadores o índices preestablecidos que determinan la concentración de contaminantes en el aire ambiente ligada a escalas que califican esa calidad de forma cualitativa, cromáticas o numérica. Ejemplo de este tipo de índices es el Índice Metropolitano de Calidad del Aire, IMECA, que se utiliza en la Zona Metropolitana del Valle de México, ZMVM.



### 3. PRINCIPIOS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

#### 3.1. Medición.

Medir es contar, comparar una unidad con otra, dar una valoración numérica, asignar un valor, asignar números a los objetos. Todo lo que existe está en una cierta cantidad y se puede medir. Estos números no se asignan de forma arbitraria sino que se rigen por ciertas reglas, se establece un sistema empírico y éste da lugar a un sistema formal. La necesidad de medir es evidente en la mayor parte de las actividades técnicas o científicas. Sin embargo, es importante no sólo contar con medidas sino también saber si dichas medidas son válidas. Para ello se debe recordar la definición de medición como “el proceso por el cual se asignan números o símbolos a atributos de entidades del mundo real de tal forma que los describa de acuerdo con reglas claramente especificadas”.

La medición de los atributos o estado que guarda el aire ambiente se conoce como medición de la calidad del aire. Dicha medición se puede llevar a cabo por medio del muestreo, análisis y el monitoreo de dicho aire ambiente.

#### 3.2. Muestreo.

Muestreo es seleccionar un subconjunto de casos o individuos de una población. Una muestra estadística se obtiene con la inten-

ción de inferir las propiedades de la totalidad de la población, por lo que la muestra debe ser representativa. Para cumplir con esta característica, la inclusión de sujetos en la muestra debe seguir una técnica de muestreo. En tales casos, puede obtenerse una información similar a la de un estudio exhaustivo con mayor rapidez y menor costo.

En lo que a calidad del aire se refiere, el muestreo se define como la medición de la contaminación del aire por medio de la toma de muestras, de forma discontinua. Actualmente, el muestreo se utiliza principalmente para determinar la concentración de partículas suspendidas, en sus diferentes fracciones: totales (PST), partículas menores de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM<sub>10</sub>) y partículas menores de 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM<sub>2.5</sub>).

La muestra tomada deberá ser sometida a un análisis posterior en donde se detectará su concentración y caracterización.

#### 3.3. Métodos de medición de la calidad del aire.

La medición de contaminantes atmosféricos se puede lograr a través de diversos métodos que se agrupan de acuerdo a sus principios de medición en:



- Muestreo pasivo;
- Muestreo con Bioindicadores;
- Muestreo activo;
- Método automático;
- Método óptico de percepción remota.

### **3.3.1. Muestreo pasivo.**

Este método de muestreo colecta un contaminante específico por medio de su adsorción y/o absorción en un sustrato químico seleccionado. Después de su exposición por un periodo adecuado de muestreo, que puede variar desde una hora hasta meses o inclusive un año, la muestra se regresa al laboratorio donde se realiza la desorción del contaminante para ser analizado cuantitativamente. Los equipos utilizados se conocen como muestreadores pasivos que se presentan en diversas formas y tamaños, principalmente en forma de tubos o discos.

**Ventajas:** Simplicidad en la operación y bajo costo (no requiere energía eléctrica).

**Desventajas:** No desarrollados para todos los contaminantes, sólo proporcionan valores promedios con resoluciones típicas semanales o mensuales; no tienen gran exactitud (sirven solo como valor referencial), en general requieren de análisis de laboratorio.

### **3.3.2. Muestreo con Bioindicadores.**

Este método implica el uso de especies vivas generalmente vegetales, como árboles y plantas, donde su superficie funge como receptora de contaminantes. Sin embargo, a pesar de que se han desarrollado guías sobre estas metodologías, todavía quedan problemas no resueltos en cuanto a la estandarización y armonización de estas técnicas.

Se ha mostrado gran interés en el uso de bioindicadores para estimar algunos factores ambientales entre los que se incluye la calidad del aire, particularmente en la investigación de sus efectos. Tal es el caso del uso de la capacidad de la planta para acumular contaminantes o la estimación de los efectos de los contaminantes en el metabolismo de la planta, o en la apariencia de la misma, entre otros.

**Ventajas:** Muy bajo costo, útiles para identificar la presencia y efectos de algunos contaminantes.

**Desventajas:** Problemas con la estandarización de las metodologías y procedimientos; algunos requieren análisis de laboratorio.

### **3.3.3. Muestreo activo.**

Requiere de energía eléctrica para succionar el aire a muestrear a través de un medio de colección físico o químico. El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio. Los muestreadores activos se clasifican en burbujeadores (gases) e impactadores (partículas); dentro de estos últimos, el más utilizado actualmente es el muestreador de alto volumen “High-Vol” (para PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) (Ver Manual 3 Redes, Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire).

**Ventajas:** Fácil de operar, muy confiables y costo relativamente bajo (requieren energía eléctrica).

**Desventajas:** No se aprecian los valores mínimos y máximos durante el día, sólo promedios generalmente de 24 horas; requieren de análisis de laboratorio.

### **3.3.4. Método automático.**

Estos métodos son los mejores en términos de la alta resolución de sus mediciones, permitiendo llevar a cabo mediciones de forma continua para concentraciones horarias y menores. El espectro de contaminantes que se pueden determinar van desde los contaminantes criterio (PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) hasta tóxicos en el aire como mercurio y algunos compuestos orgánicos volátiles.

Las muestras colectadas se analizan utilizando una variedad de métodos los cuales incluyen la espectroscopia y cromatografía de gases. Además, estos métodos tienen la ventaja de que una vez que se carga la muestra al sistema nos da las lecturas de las concentraciones de manera automática y en tiempo real.

Los equipos disponibles se clasifican en: analizadores automáticos y monitores de partículas. Los analizadores automáticos se usan para determinar la concentración de gases contaminantes en el aire, basándose en las propiedades físicas y/o químicas de los mismos. Los monitores de partículas se utilizan para determinar la concentración de partículas suspendidas principalmente PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (Ver Manual 3).

**Ventajas:** Valores en tiempo real, alta resolución; concentraciones máximas y mínimas; permite por la detección de valores máximos en tiempo real establecer situaciones de alerta para implantar las respectivas medidas de contingencia.

**Desventajas:** Costo elevado de adquisición y operación; requieren personal capacitado para su manejo; requieren mantenimiento y calibración constantes.

### **3.3.5. Método óptico de percepción remota.**

Los métodos ópticos de percepción remota: se basan en técnicas espectroscópicas.

Transmiten un haz de luz de una cierta longitud de onda a la atmósfera y miden la energía absorbida. Con ellos es posible hacer mediciones, en tiempo real, de la concentración de diversos contaminantes. A diferencia de los monitores automáticos, que proporcionan mediciones de un contaminante en un punto determinado en el espacio, pueden proporcionar mediciones integradas de multicomponentes a lo largo de una trayectoria específica en la atmósfera (normalmente mayor a 100 m). Los equipos utilizados se conocen como sensores remotos.

**Ventajas:** Valores en tiempo real, alta resolución; útiles para mediciones de emisiones de fuentes específicas, de multicomponentes y para mediciones verticales en la atmósfera.

**Desventajas:** Costo de adquisición muy elevado; requieren personal altamente capacitado para su operación y calibración; no son siempre comparables con los analizadores automáticos convencionales.

## **3.4. Análisis de muestras.**

El análisis de las muestras es el método por el cual se determinan los componentes de una muestra, las concentraciones, y cuali-

dades, de cada uno de ellos. Los métodos de medición que utilizan muestreadores, requieren por lo general que una vez que se ha muestreado el contaminante sea necesario analizarlo por alguno de los siguientes métodos:

- Métodos Volumétricos
- Métodos Gravimétricos.
- Métodos fotométricos.
- Espectrofotometría.

### **3.4.1. Métodos volumétricos.**

La cantidad del contaminante detectado se deduce del volumen de la solución que se ha consumido en una reacción. Estos métodos cuantifican muestras en solución mediante la valoración de las mismas por medio de técnicas como la titulación.

#### **3.4.1.1. Titulación y valoración.**

Es la técnica volumétrica que se utiliza para determinar la concentración de un soluto en un solvente, mediante la adición de un volumen de solución de concentración perfectamente conocida a la disolución. Es la acción y efecto de valorar o cuantificar una disolución. La valoración de una solución siempre será una titulación.

### **3.4.2. Métodos gravimétricos.**

Son métodos analíticos cuantitativos en los cuales las determinaciones de las sustancias se llevan a cabo por una diferencia de pesos, donde se determina la masa pesando el filtro, a temperatura y humedad relativa controladas, antes y después del muestreo. Existen métodos gravimétricos para conocer la concentración de una muestra en solución, en los que se llevan a cabo precipitaciones de las muestras por medio de la adición de un exceso de reactivo aprovechando el efecto del ion común.

### **3.4.3. Métodos fotométricos.**

Estos métodos (colorimétricos) basan la determinación de la concentración de una solución en la medida de la intensidad de la luz que se transmite a través de ella, comparándola con una curva patrón de las intensidades de luz de igual longitud de onda que se transmiten a través de una serie de soluciones de concentraciones conocidas.

### **3.4.4. Espectrofotometría**

Es la medida de la cantidad de energía radiante absorbida por las moléculas a longitudes de onda específicas. Cada compuesto tiene un patrón de absorción diferente que da origen a un espectro de identificación. Éste consiste en una gráfica de la absorción y la longitud de onda y se presenta en márgenes que abarcan longitudes de onda desde la ul-

travioleta a la infrarroja. Por lo que si se ajusta el equipo de medición a una sola longitud de onda escogida entre los límites en que un compuesto absorbe fuertemente y otros no, se puede aislar con filtros una sola longitud de onda, para poder medir la energía absorbida de ese compuesto en particular. Entre los espectrofotómetros más usados están el de infrarrojo no disperso y el de espectro ultravioleta.

### **3.5. Monitoreo.**

Por definición, el monitoreo es una actividad consistente en observar una situación para detectar los cambios que ocurren con el tiempo. De esta manera, el monitoreo de la calidad del aire se debe llevar a cabo de una manera continua para poder observar los cambios en las concentraciones de los contaminantes con el tiempo, y se define como el conjunto de metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua y sistemática las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire. Esto lo hace diferente al muestreo y análisis de contaminantes. Sin embargo, por lo común se confunden las dos actividades y casi siempre se habla sólo de monitoreo.

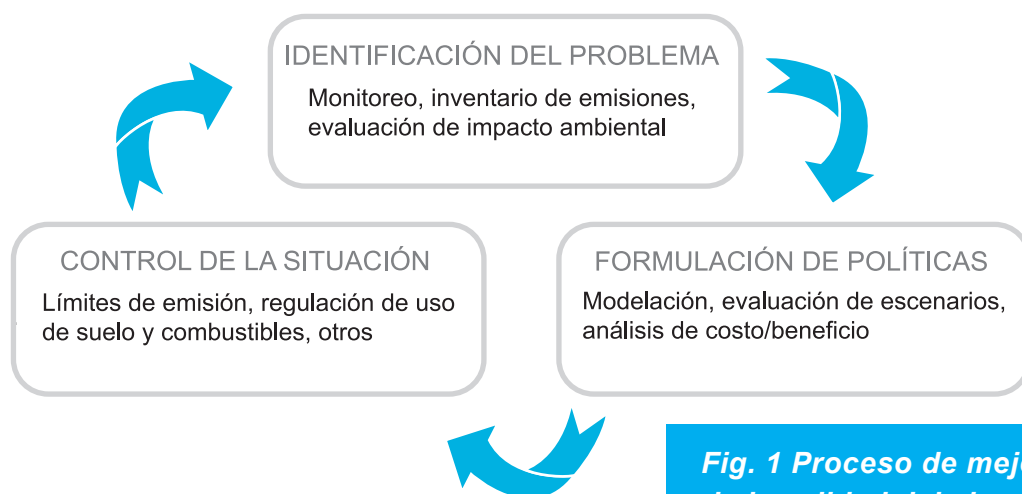
A lo largo de estos manuales se tratará de establecer esta diferencia.

### 3.5.1. Monitoreo de la Calidad del Aire.

En las últimas décadas se ha desarrollado una preocupación creciente por los efectos de la contaminación del aire en la salud humana y el ambiente. La fuerte presión social junto con una legislación más rigurosa, requieren de información imparcial y confiable sobre la calidad del aire (Molina, 2001).

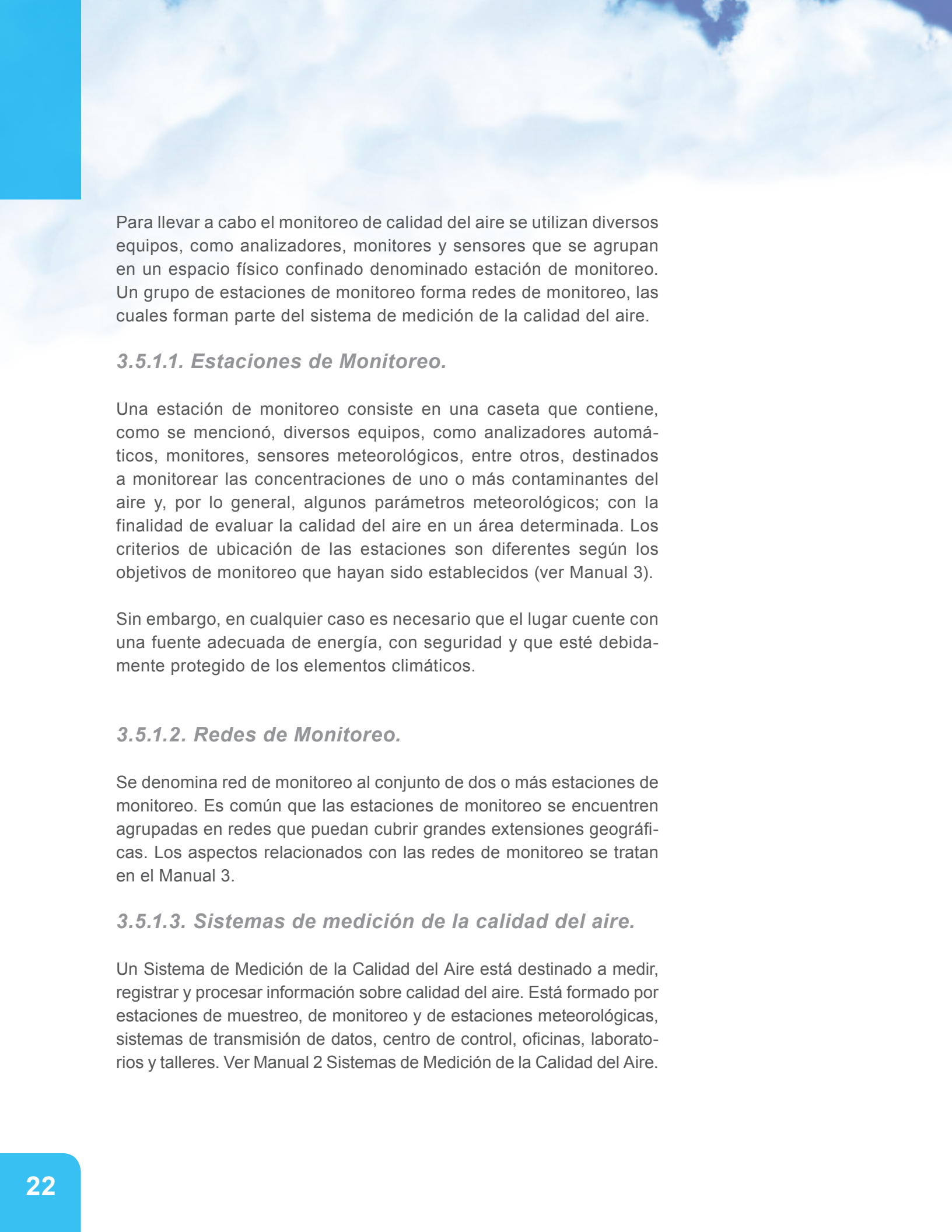
El monitoreo sirve de herramienta para la identificación y evaluación de problemas de la calidad del aire (OMS, 2000). El monitoreo, junto con los modelos de predicción y los inventarios de emisiones, son parte integral de la gestión de la calidad del aire. Ésta se encuentra directamente vinculada con el cumplimiento de objetivos económicos, de evaluación y de regulación. En el desarrollo de un plan efectivo de gestión de la calidad del aire es necesario contar con información confiable relacionada con los niveles de contaminación en el aire a través del monitoreo.

El propósito más importante del monitoreo de la calidad del aire es generar y proporcionar la información necesaria a científicos, legisladores y planificadores para que ellos tomen las decisiones adecuadas a favor de la gestión y mejora del medio ambiente. El monitoreo juega un papel regulador en este proceso proporcionando la base científica para el desarrollo de las políticas y estrategias, en el establecimiento de objetivos durante la evaluación del cumplimiento de las metas y en la ejecución de las acciones. En la Figura 1 se presenta un esquema del papel del monitoreo dentro del ciclo de la gestión de la calidad del aire.



**Fig. 1 Proceso de mejora continua de la calidad del aire**





Para llevar a cabo el monitoreo de calidad del aire se utilizan diversos equipos, como analizadores, monitores y sensores que se agrupan en un espacio físico confinado denominado estación de monitoreo. Un grupo de estaciones de monitoreo forma redes de monitoreo, las cuales forman parte del sistema de medición de la calidad del aire.

#### **3.5.1.1. Estaciones de Monitoreo.**

Una estación de monitoreo consiste en una caseta que contiene, como se mencionó, diversos equipos, como analizadores automáticos, monitores, sensores meteorológicos, entre otros, destinados a monitorear las concentraciones de uno o más contaminantes del aire y, por lo general, algunos parámetros meteorológicos; con la finalidad de evaluar la calidad del aire en un área determinada. Los criterios de ubicación de las estaciones son diferentes según los objetivos de monitoreo que hayan sido establecidos (ver Manual 3).

Sin embargo, en cualquier caso es necesario que el lugar cuente con una fuente adecuada de energía, con seguridad y que esté debidamente protegido de los elementos climáticos.

#### **3.5.1.2. Redes de Monitoreo.**

Se denomina red de monitoreo al conjunto de dos o más estaciones de monitoreo. Es común que las estaciones de monitoreo se encuentren agrupadas en redes que puedan cubrir grandes extensiones geográficas. Los aspectos relacionados con las redes de monitoreo se tratan en el Manual 3.

#### **3.5.1.3. Sistemas de medición de la calidad del aire.**

Un Sistema de Medición de la Calidad del Aire está destinado a medir, registrar y procesar información sobre calidad del aire. Está formado por estaciones de muestreo, de monitoreo y de estaciones meteorológicas, sistemas de transmisión de datos, centro de control, oficinas, laboratorios y talleres. Ver Manual 2 Sistemas de Medición de la Calidad del Aire.

## 4. NORMATIVIDAD AMBIENTAL.

En México, la normatividad ambiental encuentra su base en la Constitución Política. De ésta se derivan las diversas leyes, reglamentos y normas que rigen el país. Las Normas Oficiales Mexicanas, NOMs, son el instrumento jurídico que obliga a cumplir las especificaciones que determina la autoridad federal. En materia de calidad del aire, la normatividad está determinada particularmente por la Secretaría de Salud, y por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. Ambas Secretarías han desarrollado NOMs enfocadas a la protección de la salud de la población y a la medición de los contaminantes, estas NOMs son:

- Secretaría de Salud. Los criterios para evaluar la calidad del aire respecto a los contaminantes criterio; los valores normados para las concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente (ver Cuadro 2).
- SEMARNAT. Los métodos de medición para determinar la concentración de contaminantes criterio en el aire ambiente y los procedimientos de calibración de los equipos de medición (ver Cuadro 3).

Contaminante	Concentración		Tiempo
	(ppm)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Ozono ( $\text{O}_3$ ) NOM-020-SSA1-1993	0.11 0.08	216	1 hr. 8 hrs.
Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ ) NOM-021-SSA1-1993	11	12.595	8 hrs. (móvil)
Bióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) NOM-022-SSA1-1993	0.13	341	24 hrs.
Bióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) NOM-023-SSA1-1993	0.21	395	1 hr.
Partículas Suspensas Totales (PST) NOM-025-SSA1-1993	n/a	210	24 hrs.
PM – 10 NOM-025-SSA1-1993	n/a	120 50	24 hrs. Anual
PM – 2.5 NOM-025-SSA1-1993	n/a	65 15	24 hrs. Anual
Plomo (Pb) NOM-026-SSA1-1993	n/a	1.5	Trimestral


**Cuadro 2. Valores para las concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente.**



Contaminante	Método de Referencia
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) NOM-038-SEMARNAT-1993	Colorimétrico de química húmeda de west and gaeke o de pararosanilina, involucra análisis espectrofotométrico. (fluorescencia pulsante)
Monóxido de carbono (CO) NOM-034-SEMARNAT-1993	Absorción infrarroja (espectrofotometría infrarroja dispersiva)
Bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) NOM-037-SEMARNAT-1993	Quemiluminiscencia en fase gaseosa
Ozono (O <sub>3</sub> ) NOM-036-SEMARNAT-1993	Quemiluminiscencia
Partículas suspendidas totales (PST) NOM-035-SEMARNAT-1993	Muestreador de alto volumen y determinación gravimétrica.
Plomo (Pb)	Muestreador de alto volumen / espectrofotometría de absorción atómica
Partículas suspendidas finas (PM-10 y 2.5)	No hay

**Cuadro 3. Métodos de referencia para medir la concentración de contaminantes criterio. Normas desarrolladas por la SEMARNAT.**

Adicionalmente, para apoyar el establecimiento de sistemas de medición de la calidad del aire, la SEMARNAT, en conjunto con otras dependencias, desarrolló el proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-156-SEMARNAT-2008, el cual tiene como objetivo: “Especificación de las condiciones mínimas que deben ser observadas para el establecimiento y operación de sistemas de: monitoreo de la calidad del aire y de muestreo de contaminantes atmosféricos”.



El cuerpo del proyecto de norma incluye distintos conceptos y criterios para facilitar el establecimiento y operación de sistemas de medición de la calidad del aire, desde la instalación de una estación de muestreo y/o monitoreo hasta la implementación de toda una red.

Con el propósito de confiar en la información que genera una estación de medición de calidad del aire y que además pueda ser comparada con la información que genere otra estación ubicada en una localidad totalmente distinta, el proyecto de norma pone especial énfasis en seguir un esquema de aseguramiento y control de calidad.

La gestión de la calidad puede ser implementada bajo las directrices de la guía ISO-9000:2000 (ISO: Organización de Estandarización Internacional por sus siglas en inglés). Esta guía ha sido implantada en diversos campos como lo son los laboratorios de calibraciones. Asimismo, los laboratorios de calibraciones utilizan un sistema de calidad basado en la guía ISO-17025. Ambas se consideran para el desarrollo de un programa de gestión de calidad, como el que se presenta en el capítulo siguiente.

## 5. GESTIÓN DE LA CALIDAD EN LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE, SMCA.

La gestión de la calidad es el conjunto de actividades a través de las cuales se determina e implanta la política de calidad, que incluye a su vez: el establecimiento de los objetivos de calidad, la identificación de los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad, la determinación e interacción de estos procesos, la determinación de los criterios y métodos para el control eficiente de dichos procesos, la asignación de recursos, y el compromiso de la mejora continua de estos procesos (Decanini, 1997).

La gestión de la calidad es responsabilidad de todo el personal que labora en el SMCA, incluyendo las partes administrativa y técnica, y la Dirección General de la organización.

La implementación de la gestión de la calidad puede basarse en distintos criterios o filosofías de calidad como las de Japón o de la Organización Internacional de Estándares (ISO 9000:2000).

Para los SMCA se recomienda que al menos se observen los siguientes elementos fundamentales:

- Aseguramiento de la calidad
- Control de la calidad
- Evaluación de la calidad

### 5.1. Aseguramiento de la calidad.

El aseguramiento de la calidad es el conjunto de actividades sistemáticas planeadas que lleva a cabo una organización, con el objeto de brindar la confianza apropiada para que un producto o servicio cumpla con los requisitos de calidad especificados (Decanini, 1997).

En tal caso, el aseguramiento de la calidad se define como el conjunto de documentos que se desarrollan para establecer las directrices organizacionales y operativas del SMCA. En este contexto, el manual de calidad, el manual de organización y el manual de procedimientos son los elementos indispensables para el aseguramiento de la calidad.

#### 5.1.1. Manual de calidad.

El manual de calidad es el documento que contiene la política de calidad, los objetivos de calidad y una síntesis o referencia de todos los procedimientos técnicos y de operación estándar del SMCA.

La alta dirección del SMCA establece la política de calidad de la organización, la cual debe ser conocida y observada por todo el personal del SMCA.

Para apoyar y conducir las actividades concernientes al aseguramiento de la calidad, el SMCA debe establecer y declarar los objetivos que pretende alcanzar en términos de calidad, tomando en cuenta los objetivos de medición de la calidad del aire y los objetivos de calidad de los datos. El Cuadro 4 muestra algunos ejemplos de objetivos generales que pueden ser establecidos en un Manual de Calidad.

Proveer datos con la exactitud y precisión requeridos para verificar el cumplimiento de las normas de calidad del aire.

Minimizar las pérdidas de datos de calidad del aire debidas a fallas de funcionamiento de los equipos de medición.

Evaluar la calidad de los datos del monitoreo del aire para garantizar su representatividad y comparabilidad

#### ***Cuadro 4. Ejemplos de objetivos en un Manual de Calidad.***

### ***5.1.2. Manual de organización.***

El manual de organización es donde se establecen las líneas de autoridad, las áreas de trabajo con sus respectivas divisiones, y los canales y medios de información. Asimismo, en el manual de organización se debe presentar en forma ordenada y sistemática la información referente al SMCA: sus antecedentes, su marco jurídico, sus atribuciones, la estructura orgánica, el organigrama y la descripción del objetivo y de las funciones de cada una de las áreas y puestos que conforman el SMCA.

### **5.1.3. Manual de procedimientos.**

De acuerdo a ISO/IEC17025, el SMCA, o la organización a la que pertenezca, debe ser una entidad que se pueda sostener como legalmente responsable. En este sentido y con el objetivo de asegurar la operación del SMCA, la alta dirección debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para:

- Instalar, operar y mantener los componentes del SMCA;
- Contratar, capacitar y supervisar al personal necesario para el correcto funcionamiento del SMCA;
- Adquirir los suministros y contratar los servicios técnicos que requieran los equipos del SMCA;
- Adquirir los equipos para instalar nuevas estaciones de monitoreo en donde se requieran o para reemplazar los obsoletos.

Respecto a la división de los grupos de trabajo, el SMCA debe definirlos con base en los procesos y de acuerdo a las posibilidades existentes. Es importante recomendar que cada grupo de trabajo tenga sus propios integrantes, procurando que un trabajador no participe directamente dentro de dos grupos de trabajo.

El Manual de Procedimientos deberá contener la descripción de cada actividad que se realice en el SMCA, así como las responsabilidades del personal adscrito a cada una de las actividades. Los procedimientos descritos deben ser claros y secuenciales, es decir, escritos en forma de paso a paso de tal manera que sean fácilmente entendidos por todo el personal del SMCA.

Cada grupo de trabajo del SMCA deberá contar con una copia de los procedimientos que correspondan a sus actividades.

Para diferenciar las actividades técnicas de las actividades administrativas se recomienda diferenciar los procedimientos de operación estándar de los procedimientos administrativos.

#### **5.1.3.1. Procedimientos de operación estándar.**

Un procedimiento de operación estándar (PO) es un documento detallado y bien estructurado, en el que se describen paso a paso las actividades relativas a los métodos de prueba y de calibración, u otras actividades del SMCA como la revisión de datos y el informe de resultados.

Un PO bien elaborado representa una herramienta de suma utilidad en las prácticas de monitoreo o en las de laboratorio, toda vez

que reduce la recurrencia de errores, facilita las tareas de operación, mantenimiento y calibración y, ya que es escrito con la finalidad de que una actividad específica sea desempeñada consistentemente por cualquier persona de la organización, adscrita a esa actividad, y en cualquier momento, sirve incluso para fines de capacitación y entrenamiento para el personal de nuevo ingreso.

Los procedimientos de operación deben desarrollarse de manera específica para cada SMCA, ya que dependen de las características tecnológicas y de los requerimientos técnicos que demanden cada uno de los equipos con los cuales fueron conformadas las estaciones de monitoreo, el centro de cómputo y, en su caso, los laboratorios de calibración y los talleres de reparación y de mantenimiento.

### ***Elaboración de un PO.***

Para decidir si una actividad específica es candidata para desarrollarla en un PO se puede auxiliar contestando las siguientes dos preguntas:

- ¿la actividad específica afecta significativamente los datos o la generación de los mismos?
- ¿la actividad específica es repetitiva o rutinaria?

Si la respuesta a ambas preguntas es si, entonces es recomendable desarrollar un PO para la actividad específica.

Los POs deben ser escritos a nivel del usuario final, es decir, el técnico que se encargará de la aplicación de dichos procedimientos, y probablemente la ubicación de este usuario sea la tarea más difícil en el desarrollo del procedimiento.

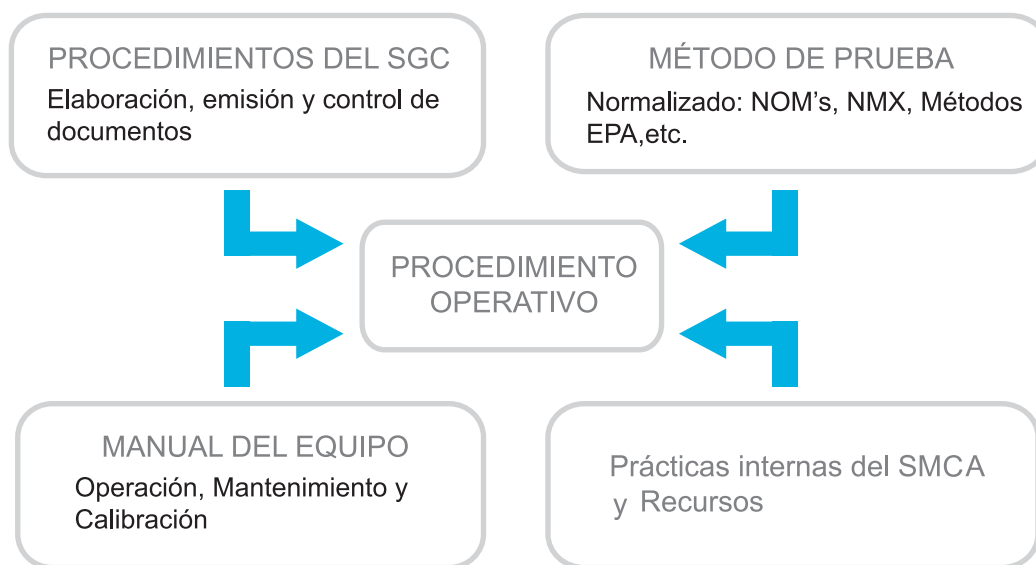
Por otro lado, muy pocas rutinas de laboratorio o campo pueden ser descritas completamente en un solo PO. Algunas requerirán de varios PO y decidir cuál es la mejor división de los temas para cada uno depende de una planeación adecuada. En general, la existencia de un PO para cada uno de varios pequeños segmentos es mejor y más fácil de escribir que un enorme PO para una actividad en su totalidad. En el Cuadro 5 se muestra un ejemplo de la estructura de un PO.

- |       |  |
|-------|--|
| I.    | Alcance y Aplicabilidad.                       |
| II.   | Definiciones.                                  |
| III.  | Personal.                                      |
| IV.   | Resumen del Método.                            |
| V.    | Equipos y Materiales.                          |
| VI.   | Recolección de muestra.                        |
| VII.  | Método de Calibración.                         |
| VIII. | Interferencias.                                |
| IX.   | Seguridad.                                     |
| X.    | Precauciones.                                  |
| XI.   | Detección de Fallas.                           |
| XII.  | Adquisición de Datos y Cálculos.               |
| XIII. | Manejo de Datos y Registros.                   |
| XIV.  | Control de calidad (criterios y verificación). |
| XV.   | Referencias.                                   |

**Cuadro 5. Estructura de un PO.**



Para la elaboración de un PO es necesario considerar algunos elementos básicos que se describen a continuación y se muestran en el Cuadro 6:



**Cuadro 6. Elementos básicos para la elaboración de un PO.**

Procedimientos de gestión de la calidad. Si el SMCA tiene implementado un procedimiento de control de documentos, éste debe ser considerado para la elaboración del resto de los procedimientos del SMCA.

Métodos de prueba. Algunos de los métodos de prueba que se aplican en los SMCA corresponden a Normas Oficiales Mexicanas, Normas Mexicanas, Métodos de la USEPA, entre otros, que deben utilizarse para aplicar los aspectos técnicos más relevantes e integrarse en forma estructurada al procedimiento operativo.

Manual del equipo. En la medición de la calidad del aire, los manuales o instructivos de operación y mantenimiento de los equipos representan la fuente primordial de información técnica para la elaboración de los PO, ya que éstos contienen las instrucciones específicas para su instalación, operación, mantenimiento y detección de fallas.

Dado que en la mayoría de los casos, dichos manuales están en inglés, es importante que los aspectos más relevantes o resúmenes de determinadas secciones sean traducidos al español para incorporarlos en forma clara a la estructura del PO. Cuando la cantidad de información contenida en el manual sea muy abundante, se puede optar por sólo hacer referencia en el PO a las secciones correspondientes del manual del equipo.

Prácticas del SMCA y recursos. Los procedimientos de operación deben contener una descripción detallada de la forma en que se realizan las actividades de muestreo, monitoreo, calibración o mantenimiento, aplicables según las prácticas operativas de la organización

Cabe mencionar que en ocasiones se pueden presentar los siguientes casos: los equipos carecen de manuales, las recomendaciones del fabricante difieren de los criterios de la organización, los manuales están escritos en un lenguaje complejo y excesivamente téc-

nico o en otro idioma; cuando se presentan estos casos, lo más conveniente es tener la actividad descrita en el idioma y en la forma en que lo domine el usuario final.

### ***5.1.3.2. Procedimientos administrativos.***

Los procedimientos administrativos son aquellos que establecen y describen las actividades de carácter técnico-administrativo que no están relacionadas directamente con las actividades específicas de operación del SMCA.

El SMCA debe desarrollar los procedimientos administrativos que demanden sus procesos. En la norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006 se encuentran listados algunos procesos que puede adoptar el SMCA.

Los siguientes procedimientos son los que se recomienda se tengan como mínimo en el manual de procedimientos administrativos:

### ***Procedimiento de control de documentos.***

Un documento se define como un escrito que contiene información relacionada con las actividades del SMCA. Los manuales, los procedimientos, los instructivos y formatos del SMCA son ejemplo de documentos.



### ***Procedimiento de adquisiciones.***

En este procedimiento se debe especificar la manera de realizar la codificación, emisión, aprobación y cambios en los documentos. El procedimiento debe establecer el desarrollo de una lista maestra para cada tipo de documentos del SMCA.

### ***Procedimiento de control de registros.***

Los registros son la información que provee evidencia objetiva de las actividades efectuadas y/o de los resultados obtenidos. Los registros pueden utilizarse para documentar la trazabilidad y proporcionar evidencia de verificaciones, acciones preventivas y acciones correctivas.

Los registros técnicos que se generan en la operación del SMCA son de vital importancia para analizar los datos de calidad del aire.

Asimismo, los registros de calidad de informes de auditorías internas, de las revisiones de la dirección y de acciones preventivas y correctivas desempeñan un papel relevante en la mejora continua y en la operación del SMCA. Por esta razón, el SMCA debe establecer un procedimiento para la identificación, corrección, colección, indexado, acceso, archivo, almacenamiento, mantenimiento y disposición de los registros técnicos y de calidad (ISO/IEC 17025).

El SMCA debe establecer un procedimiento para la compra, recepción y almacenamiento de reactivos, materiales, consumibles y equipos. En este procedimiento se deben establecer los métodos de programación de compras y de contratación de servicios, así como los métodos de evaluación de los proveedores.

Asimismo, el SMCA debe establecer el programa de adquisiciones en base a los periodos de asignación de recursos por parte de la dirección o de la organización a la que pertenezca. En el funcionamiento del SMCA es indispensable que el abastecimiento de suministros y refacciones no se vea interrumpido de modo que se afecte la generación de los datos y/o la calidad de los mismos. De igual manera se debe asegurar la asistencia o contratación de servicios cuando algún equipo o infraestructura del SMCA lo requiera.

### ***Procedimiento de administración de personal.***

El SMCA debe establecer un procedimiento para la selección, contratación, evaluación, formación y supervisión del personal. También debe especificar las directrices para desarrollar un programa de capacitación anual, enfocado al fortalecimiento profesional y actualización de su personal en los diversos temas relacionados con la medición de la calidad del aire y los correspondientes a la gestión de la calidad.

La capacitación para cada puesto debe programarse con base en la identificación de necesidades del personal y con metas previamente definidas, indicando la frecuencia de capacitación deseable.

La capacitación puede ser externa o interna, e impartirse a través de cursos formales, talleres, conferencias (pueden ser virtuales) y entrenamiento en el sitio de trabajo.

Los principales temas de capacitación recomendados para el personal técnico operativo del SMCA son:

- Conocimiento general de la normatividad en la materia;
- Conocimientos generales sobre contaminación atmosférica y meteorología;
- Unidades y conversiones usadas en Contaminación del Aire;
- Principios y prácticas de control de la contaminación del aire;
- Aseguramiento y control de calidad para sistemas de medición de la calidad del aire;
- Muestreo y monitoreo de la calidad del aire;
- Métodos analíticos para estándares de la calidad del aire;
- Metrología básica (trazabilidad, estadística, incertidumbre, entre otros.);
- Manejo de los datos.
- Evaluación de la calidad de los datos.

### ***Procedimiento de manejo de equipos.***

El SMCA debe establecer un procedimiento que especifique los aspectos relacionados con el manejo de los equipos, es decir, con la codificación de equipos para su inventario, la revisión y aceptación en caso de adquisición de nuevos equipos, las características que deben reunir los expedientes de los equipos (marca, modelo, número de serie, entre otros) y las directrices para el desarrollo de programas de mantenimiento y calibración de equipos.

## 5.2. Control de la calidad.

El control de la calidad se define como el conjunto de métodos y actividades de carácter operativo que se utilizan para satisfacer el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos (Decanini, 1997).

En un SMCA, el control de la calidad establece las actividades para prevenir la generación de datos inaceptables y la estrategia para la toma de acciones correctivas. El control de calidad en los SMCA debe incluir los siguientes elementos:

- Selección de equipos de medición de la calidad del aire;
- Selección y ubicación de sitios para la medición de la calidad del aire;
- Instalación de estaciones de medición y de toma de muestra;
- Operación de las estaciones de medición, mantenimiento y calibración de los equipos;
- Verificación y validación de los datos.

### 5.2.1. Selección de equipos de medición de la calidad del aire.

El proceso de selección y compra de los equipos como: analizadores, monitores y muestreadores, entre otros, es determinante para la calidad de los datos que se generen.

Una mala selección pone en riesgo la calidad de los datos y se corre el riesgo de no alcanzar los objetivos planeados. Es impor-

tante tener toda la información relativa a las especificaciones de los equipos que deban adquirirse para asegurar que cumplen con los requisitos de calidad preestablecidos.

Los analizadores, monitores y muestreadores que satisfacen la normatividad ambiental vigente y que cumplen con los requerimientos de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (US-EPA por sus siglas en inglés) como métodos equivalentes o de referencia para mediciones de la calidad del aire son los recomendados para su uso en el SMCA. Las especificaciones mínimas de desempeño de los equipos mencionados se encuentran en el Manual 3.

### 5.2.2. Selección y ubicación de sitios para medir la calidad del aire.

La selección y ubicación de sitios para la medición de la calidad del aire dependerá de los objetivos y alcances del mismo SMCA. Esta actividad puede ser apoyada por un manual de procedimientos para el diseño o ampliación de redes de medición y asesorada por el Gobierno Federal. Los sitios en el SMCA son seleccionados con base en los requisitos de distribución, ubicación y escala espacial de representatividad de los lugares donde la población realiza sus actividades cotidianas (Ver Manual 3). Dependiendo de los objetivos y alcances del SMCA se pueden medir uno, varios o todos los contaminantes crite-

rio. El SMCA debe perseguir la mejor evaluación de la calidad del aire o de un problema de contaminación atmosférica específico, procurando la mayor eficiencia y cobertura de la población (NAPS, 2004).

### ***5.2.3. Instalación de estaciones de monitoreo y de toma de muestra.***

Para la instalación de una estación de monitoreo se deben identificar los parámetros que pueden afectar su operación. Algunos de estos parámetros son:

- Estabilidad de la temperatura en la caseta;
- Ubicación de la toma de muestra, diseño del múltiple; largo y composición de las líneas de muestreo;
- Composición de los filtros.

Cada estación de monitoreo debe llevar los registros de las actividades realizadas en una bitácora de la estación. Las especificaciones para la instalación de estaciones de monitoreo y sistemas de muestreo se encuentran detallados en el Manual 3.

### ***5.2.4. Operación, mantenimiento y calibración de los equipos del SMCA.***

Para llevar a cabo la operación, mantenimiento y calibración de las estaciones se debe elaborar y ejecutar un programa de visitas al sitio para realizar verificaciones cero-span,

calibraciones, mantenimiento preventivo, y documentación de las actividades.

#### ***5.2.4.1. Visitas a las estaciones de monitoreo.***

Uno de los principales propósitos de las visitas a las estaciones de monitoreo es verificar la adecuada operación de los analizadores y del sistema de adquisición de datos, así como asegurar que éstos estén completos y sean confiables. Otro propósito es verificar las condiciones ambientales y de seguridad e integridad de la estación. Se recomienda realizar visitas por lo menos semanales para verificar la operación automática de los equipos y verificar el estado físico de la toma de muestra.

#### ***5.2.4.2. Verificación del cero y del span de los analizadores.***

Las verificaciones del cero y del *span* se usan para la observación del desempeño de los analizadores y la validez de la calibración. Éstas deben realizarse al menos una vez a la semana para todos los analizadores de gases. Si algún analizador presenta una desviación mayor al 10% de los valores de control se requiere una calibración multipunto. Si el sistema puede realizar verificaciones automáticas de cero y span, éstas deben programarse para que se lleven a cabo durante la madrugada, a menos que los niveles de

contaminación en el sitio durante ese periodo sean significativos. El objetivo es reducir al mínimo la pérdida de datos significativos (NAPS, 2004). Deben seguirse los procedimientos de verificación de cero y span descritos en el manual de operación del analizador, los PO's del SMCA o el procedimiento descrito en el Manual 4.

#### **5.2.4.3. Calibración multipunto de analizadores automáticos.**

La calibración de un analizador consiste en establecer la relación cuantitativa entre la concentración real del contaminante (ppm, ppb, g/m<sup>3</sup>, entre otros.) y la respuesta del analizador (lectura en la carta de registro, salida en volts o salida digital).

Las calibraciones multipunto, junto con los datos de cero y span se usan en la evaluación del desempeño de los analizadores y durante el proceso de verificación de los datos (ver Manual 5, Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire).

El SMCA debe realizar calibraciones multipunto a intervalos máximos de tres meses y cuando las variaciones del span sean mayores al 10%.

Cada analizador debe ser calibrado ape- gándose a las condiciones de operación, conforme a procedimientos establecidos, basándose en las instrucciones específicas del manual de operación del equipo y en la normatividad vigente. En el Manual 4 se encuentran procedimientos para la calibración multipunto.

#### **5.2.4.4. Mantenimiento preventivo y correctivo.**

El mantenimiento preventivo a los equipos del SMCA se debe proporcionar como se indica en los manuales de operación y mantenimiento del fabricante. El mantenimiento preventivo aumenta la captura de datos, mejora la confianza del sistema y asiste en la identificación de algún problema potencial que puede solucionarse antes de que ocurra una falla. También ayuda a prevenir el desgaste acelerado del equipo y reparaciones o adquisiciones extraordinarias que generen un costo adicional. En el Manual 4 también se especifican las características de los programas de mantenimiento.

#### **5.2.5. Verificación y validación de los datos.**

Antes de que los datos generados sean aceptados dentro de una base de datos, éstos deben verificarse para así filtrar los datos erróneos. Este proceso de verificación es



### 5.3. Evaluación de la calidad.

importante para garantizar la confiabilidad de los datos. La verificación puede hacerse en forma manual o por medio de sistemas de análisis de datos. Cualquiera que sea el proceso de verificación, se requiere de un alto grado de juicio para aceptar o rechazar algún dato poco usual. Algunos de los factores a considerar en este proceso son:

- Variación del cero y del *span*;
- Resultados de calibraciones y ajustes realizados a los parámetros de operación;
- Historial del funcionamiento y servicios realizados al equipo;
- Cambios inusuales de las condiciones climáticas;
- Cambios debido a las condiciones estacionales; y
- Niveles de otros contaminantes durante el mismo periodo.

Después de la verificación de los datos, se debe llevar a cabo la validación de éstos, aplicando los criterios de calidad de los datos como se describe en el Manual 5. En este manual, se establece la metodología completa para el manejo y análisis de datos.

Evaluación de calidad es el grupo de actividades de carácter externo que dan la certeza de que el funcionamiento del aseguramiento y control de calidad es satisfactorio. Estas actividades son realizadas fuera de los esquemas rutinarios (CARB, 2005) y se llevan a cabo en forma de auditorías e intercomparaciones. La evaluación de la calidad en el desarrollo de cualquier actividad, es una herramienta fundamental de la mejora continua.

#### 5.3.1. Auditorías técnicas al SMCA.

El SMCA debe cumplir con el Procedimiento Federal para la Auditoría a los Sistemas de Medición de la Calidad del Aire que se describe en el Manual 6 Lineamientos Técnicos y Administrativos para la Auditoría de SMCA.

Esto permite que los datos que se generan sean comparables y se usen con confianza dentro de los programas de gestión de la calidad del aire. Las auditorías pueden realizarse de la siguiente forma:

- Auditoría técnica del sistema. Es una revisión de los aspectos técnicos del SMCA: sistemas de medición, recolección, manejo y análisis de muestras, procesamiento de datos, elaboración de reportes, entre otros. Incluye entrevistas de orden técnico con el personal responsable, revisión de los PO's, instalaciones y documentación para el aseguramiento de la calidad.

- Auditoría técnica de funcionamiento. Se verifica la respuesta u otros parámetros críticos de operación de los muestreadores, monitores, analizadores y sensores contra patrones de referencia del SMCA. Incluye la revisión del sistema de muestreo de las estaciones.

- Auditoría de datos. Se evalúan exhaustivamente los procedimientos que utiliza el SMCA para recolectar, interpretar y reportar los datos de calidad del aire.

Es recomendable que el SMCA realice auditorías técnicas para detectar necesidades de mejora y fuentes potenciales de no conformidades. En este caso el SMCA debe turnar el reporte que resulte de la Auditoría Técnica a la autoridad correspondiente para su seguimiento.

### ***5.3.2. Intercomparación de laboratorios.***

En la infraestructura del SMCA, el laboratorio de calibraciones y transferencia de estándares es una parte esencial para el aseguramiento de calidad. Para asegurar la calidad de los productos del laboratorio es necesario comparar su desempeño con otros laboratorios que realicen los mismos métodos de ensayo o calibración.

Esta práctica provee un mecanismo de alerta para detectar fallas en los métodos o técnicas utilizadas, en los analistas del laboratorio o en los equipos utilizados, que no serían posibles de conocer por otros medios. También provee una forma de evaluar la reproducibilidad de los métodos de ensayo o de calibración específicos. En el Manual 2 se especifican las características de un laboratorio de calibraciones y transferencia de estándares.

## 6. REFERENCIAS.

- CARB 2005, California Air Resources Board. Air Monitoring Quality Assurance, Volume I, Quality Assurance Plan. Monitoring and Laboratory Division.
- CFR, 2004, Code of Federal Regulations. Code of Federal Registers Title 40. Protection of Environment, Part 58 - Ambient Air Quality Surveillance.
- Decanini, Alfredo E. 1997. Manual ISO-9000, Ediciones Castillo, tercera edición, 1997.
- DOF, 1994a. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994. Secretaría de Salud, México.
- DOF, 1994b. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al dióxido azufre (SO<sub>2</sub>). Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994. Secretaría de Salud, México.
- DOF, 1994c. Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994. Secretaría de Salud, México.
- DOF, 2002. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono (O<sub>3</sub>). Diario Oficial de la Federación del 30 de octubre de 2002. Secretaría de Salud, México.
- DOF, 2005. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado (partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM<sub>10</sub> y partículas menores de 2.5 micrómetros PM<sub>2.5</sub>). Diario



Oficial de la Federación del 26 de septiembre del 2005. Secretaría de Salud, México.

- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-034-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.
- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.
- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.
- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-037-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.
- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-038-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.
- EPA, 1998. Environmental Protection Agency. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Vol.II: Part 1, Ambient Air Quality

Monitoring Program Quality System Development, EPA-454/R-98-004, Office of Air Quality Planning and Standards, Washington.

- INE-SEMARNAT, 2003. Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico. CENICA, México.
- ISO 9001:2000, Sistemas de Gestión de Calidad – Requisitos, ISO, 2000.
- ISO/IEC 17025:1999, NMX-EC-17025-IMNC-2000, Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración, 2000.
- Molina L., Molina M. 2001. Air quality in the Mexico Megacity MIT, USA. Kuwler Academic Publishers.
- National Air Pollution Surveillance Network (NAPS), Report No. AAQD 2004-1, Quality Assurance and Quality Control Guidelines, Environmental Technology Centre Analysis and Air Quality Division, Environment Canada, Canada, 2004.
- RAE, 2009. Real Academia Española. Diccionario de la lengua española - vigésima segunda edición. <http://www.rae.es/>
- Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire, SINAICA, 2009. <http://sinaica.ine.gob.mx/>,
- WHO, 2000. Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, Geneva.

