
2. ESTRATEGIA DE MONITOREO

El aire puro es una mezcla gaseosa compuesta en un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 1% de gases como: bióxido de carbono, ozono, argón, xenón, radón, etc. Se considera como contaminación del aire a la adición de cualquier sustancia que altere sus propiedades físicas o químicas. Siendo los contaminantes atmosféricos más comunes: el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre, los hidrocarburos, los oxidantes fotoquímicos y las partículas cuyos componentes pueden ser muy diversos: metales pesados, silicatos, sulfatos, entre otros.

Debido a la contaminación atmosférica que se presenta principalmente en las ciudades, se necesitan implementar acciones para mejorar la calidad del aire de las mismas y proteger la salud de sus habitantes, siendo el primer paso el de medir cuál es esta calidad del aire, determinando sus causas y evaluando sus efectos y los problemas fundamentales que se presentan, para así poder diseñar un plan acorde con ellos.

2.1. IMPORTANCIA DEL MONITOREO ATMOSFÉRICO

Se define como monitoreo atmosférico a todas las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado. Su importancia radica en que para: a) formular los estándares de calidad de aire, b) llevar a cabo estudios epidemiológicos que relacionen los efectos de las concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud, c) especificar tipos y fuentes emisoras, d) llevar a cabo estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales, y e) desarrollar programas racionales para el manejo de la calidad del aire, se requiere de una base de

datos que aporte información para la realización de todos estos estudios la cual se genera a partir del monitoreo atmosférico³.

2.2. GUÍA PARA EL MONITOREO ATMOSFÉRICO

La finalidad del desarrollo de una estrategia de monitoreo atmosférico, es presentar una guía de los puntos que deben definirse cuando se pretende llevar a cabo un monitoreo atmosférico. Estos puntos se presentan a continuación en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1.

ESTRATEGIA DEL MONITOREO

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Definición de Objetivos <ul style="list-style-type: none"> • Conciliándolos • Ponderándolos • Delimitando su Área de Influencia |
| <ul style="list-style-type: none"> • Definición de Parámetros Ambientales <ul style="list-style-type: none"> • Contaminantes a Medir • Parámetros Meteorológicos |
| <ul style="list-style-type: none"> • Definición de Número y Sitios de Muestreo <ul style="list-style-type: none"> • Localización de los Sitios de Muestreo • Densidad o Número de Puntos de Muestreo • Requerimientos del Sitio de Muestreo |
| <ul style="list-style-type: none"> • Determinación de Tiempos de Muestreo <ul style="list-style-type: none"> • Duración del Programa • Frecuencia de muestreos • Tiempos de Toma de Muestra |
| <ul style="list-style-type: none"> • Selección de Equipo de Muestreo y de Técnicas de Análisis |

³ Referencia 2, pág. 7.

2.2.1. Definición de Objetivos de Monitoreo

Lo primero en el diseño y la implementación de cualquier sistema de monitoreo es definir todos los objetivos que se pretenden y derivar de estos los requerimientos de datos que se necesitan para llevarlos a cabo. Entre los objetivos más usuales encontramos los siguientes:

- Establecer bases científicas para políticas de desarrollo.
- Determinar la congruencia con las normas y los criterios legales.
- Estimar los efectos en la población y en el ambiente.
- Informar al público acerca de la calidad del aire.
- Proporcionar información de fuentes y riesgos de contaminación.
- Llevar a cabo evaluaciones de tendencias a largo plazo.
- Medir los efectos de las medidas de control en la calidad del aire.
- Estudiar las reacciones químicas de los contaminantes en la atmósfera.
- Calibrar y evaluar modelos de dispersión de contaminantes en la atmósfera.

Hay que considerar que cuando se elabora un programa de monitoreo usualmente se contempla más de un objetivo, por lo cual se deben conciliar y ponderar los objetivos que se pretendan cubrir en orden de importancia. También se tendrá que tomar en cuenta el área de influencia, ya que todos estos objetivos de monitoreo determinarán áreas o localidades delimitadas en donde se llevarán a cabo los estudios, agrupándose en:

- Muestreos de un área o región determinada.
- Muestreos de la contaminación causada por fuentes emisoras:
 - Fijas
 - Móviles
- Muestreos específicos, generalmente relacionados con personas.

Los muestreos relacionados con un área o región, son aquellos que se enfocan principalmente a establecer el nivel de contaminación de una o varias localidades o de una región determinada, lo cual nos permite conocer la exposición de la población, vegetación, materiales y propiedades de la misma (ver cuadro 2.2, relación entre objetivos de monitoreo y escalas de representatividad). Es decir, sirven para dar información de la calidad del aire de la región determinada y así poder evaluar sus tendencias o para correlacionar estos datos con otros estudios.

En general los estudios de ciudades o extensas regiones se consideran de magnitud II, escala de mayor magnitud, que se presenta en el cuadro 2.3. En este cuadro se definen como objetivos de monitoreo a las metas o finalidad por la cual se lleva a cabo una medición y colección de datos de concentraciones de contaminantes. La escala espacial en esta tabla, se refiere a la dimensión física del área que va a ser estudiada, la temporal a la duración del programa de monitoreo, el tamaño a la dimensión de la red de monitoreo de acuerdo a su número de estaciones y las técnicas/equipo al tipo de instrumentos que se recomiendan en función de la escala. La EPA ha definido las siguientes escalas espaciales para diferentes objetivos de monitoreo⁴:

| | |
|-----------------------------|--|
| • Microescala: | Define las concentraciones en volúmenes de aire asociados con dimensiones de área de algunos metros hasta 100 metros. |
| • Escala Media: | Define concentraciones típicas de áreas que pueden comprender dimensiones desde 100 metros, hasta 0.5 km. |
| • Escala Local: | Define concentraciones en un área con uso de suelo relativamente uniforme, cuyas dimensiones abarcan de 0.5 a 4 km. |
| • Escala Urbana: | Define todas las condiciones de una ciudad con dimensiones en un rango de 4 a 50 km. |
| • Escala Regional: | Define generalmente un área rural de geografía razonablemente homogénea y se extiende desde decenas hasta cientos de kilómetros. |
| • Escala Nacional y Global: | Las mediciones que corresponden a esta escala representan concentraciones características de la nación y del mundo como un todo. |

⁴ Referencia 3, parte 58, apéndice D, capítulo I.

Cuadro 2.2.**RELACIÓN ENTRE OBJETIVOS DE MONITOREO Y ESCALAS ESPACIALES DE REPRESENTATIVIDAD⁵**

| OBJETIVOS DE MONITOREO | ESCALAS ESPACIALES |
|-----------------------------------|--|
| Medición de altas concentraciones | Micro Media Local Urbana (en Ocasiones) |
| Efectos en Población | Local Urbana |
| Fuentes | Micro Media Local |
| General/De Fondo | Local Regional |

La finalidad de los muestreos relacionados con fuentes emisoras es determinar la contaminación causada por una o varias fuentes. Se consideran como fuentes fijas a aquellas que se encuentran establecidas en un lugar determinado y su emisión se produce siempre en este mismo lugar, considerándose por esto como puntual y limitándose el estudio a su área de influencia, éstas pueden ser desde una industria en particular hasta un tiradero de basura o un área agrícola. Las fuentes móviles son aquellas que cambian su ubicación con respecto al tiempo y el área de influencia de sus emisiones por tal motivo se considera lineal o de superficie. Los estudios orientados al tráfico vehicular involucrarán monitoreos a lo largo de las carreteras y en las zonas aledañas a ellas. Este tipo de estudios, y principalmente los de las fuentes puntuales, se realizan frecuentemente para investigar denuncias de la población, siendo en su mayoría de magnitud I (cuadro 2.3).

Los muestreos específicos más comunes son los que se relacionan con las personas y sirven fundamentalmente para determinar el impacto de los contaminantes atmosféricos en la salud, sin embargo existen otros muestreos específicos que sirven para definir lugares para estaciones permanentes o para la calibración de muestreadores pasivos o bioindicado-res. Los relacionados con las personas se llevan a cabo en seres humanos con instrumentos portátiles, que miden la exposición de la persona en forma integral. También se realizan muestreos que proveen

⁵ Referencia 4, vol. II.

datos de exposiciones que se usan en estudios epidemiológicos, como los muestreos de exposición de la población tanto en interiores como en exteriores tomando en cuenta los microambientes en los que se desenvuelve la población en estudio. Otros estudios en los que se llevan a cabo métodos de muestreos específicos sirven para:

- Evaluar los efectos fitotóxicos de los contaminantes atmosféricos, como el Método de Exposición de Líquenes Estandarizado.
- Medir la respuesta de las plantas a concentraciones ambientales de fluoruros y plomo como el Método de Césped Estandarizado.
- La determinación de tasas de “imisión”⁶.

En el caso de que los objetivos de monitoreo no se relacionen directamente con un área específica hay que hacer hincapié en que tendrán que ser delimitados en cuanto a una escala espacial y temporal en función del tipo de objetivo que se pretenda. (cuadro 2.3)

En el cuadro siguiente presentamos un resumen de la estrategia en función de la magnitud del objetivo que se pretende llevar a cabo:

⁶ *Immissionen*: Término alemán que se define legalmente como contaminante atmosférico, ruido, vibración, luz, calor, radiación y factores ambientales análogos que afecten a los seres humanos, animales, plantas u otros objetos. (Referencia 2).

Cuadro 2.3.**ESTRATEGIA DE MONITOREO EN FUNCIÓN
DE LA MAGNITUD DEL OBJETIVO**

| | MAGNITUD | |
|---|--|---|
| | I | II |
| OBJETIVOS | Orientación Estudios de Caso Incidentes | Muestreos de Rutina Redes de Monitoreo Congruencia con normas |
| ESCALA Espacial Temporal | Micro Local Regional Limitada (semana - mes) | Regional Nacional Continental Mayor a un año |
| TAMAÑO | Limitada (1-10 unidades) Campañas de Muestreos Estaciones Móviles | Mayor a 10 unidades Muestreos Estáticos Estaciones Fijas |
| TÉCNICAS/EQUIPO | Muestreadores Pasivos Muestreadores Activos Sensores Remotos Bioindicadores | Muestreadores Pasivos Muestreadores Activos Monitores Automáticos |

Fuente: Van del Meulen A. *Sampler Methodologies in air quality monitoring: Availability, Applications and QA/QC Implications*. (Ref. 5). Cuadro adaptado.

**2.2.2. Definición de Parámetros Ambientales Necesarios para
Cumplir con los Objetivos**

Ya establecidos los objetivos del estudio que se pretende realizar, se definirán los parámetros ambientales que se necesitan medir para llevar a cabo este estudio. Entre los parámetros a medir están los contaminantes atmosféricos, los cuales pueden ser clasificados en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera por alguna fuente, los secundarios, son generados a partir de reacciones de los primarios en la atmósfera.

Se han identificado en la atmósfera más de 100 contaminantes, entre los que se incluyen en la fracción inorgánica más de 20 elementos metálicos y en la orgánica, un gran número de hidrocarburos, ácidos y bases. Sin embargo, se consideran como indicadores de la contaminación atmosférica sólo a los más abundantes para los cuales se han establecido normas de calidad (ver capítulo 5). Estos contaminantes principales son: bióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y partículas suspendidas. Otros contaminantes específicos como la suma de compuestos orgánicos volátiles excepto metano o la selección de algunos de ellos (ejemplo: tolueno, xileno), así como los depósitos de polvo y compuestos de material particulado como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), níquel (Ni), benzopirenos y hollín en el aire entre otros, también se miden frecuentemente dependiendo de los objetivos de monitoreo y de las características de la zona de estudio.

Hay que considerar el problema de que generalmente vamos a tener una multitud de contaminantes emitidos, de una o varias fuentes, los cuales habrá que priorizar de acuerdo a su toxicidad individual, su concentración o la cantidad emitida de ese contaminante y su altura de emisión.

Otros parámetros ambientales que se tendrán que medir serán los parámetros meteorológicos y topográficos, que dependiendo del objetivo del estudio tendrán una gran injerencia en el mismo, pues influyen directamente en la dispersión de los contaminantes atmosféricos y en el caso de los contaminantes secundarios, afectan su producción en la atmósfera; además estos factores en algunas ocasiones son responsables de las zonas críticas de un área de estudio. Entre ellos se encuentran dirección y velocidad del viento, temperatura, diferencial vertical de la temperatura, humedad relativa, precipitación, radiación solar, altitud, tipo de suelo y relieve⁷.

⁷ Referencia 4, vol. IV y V.

2.2.3. Definición del Número y los Sitios de Muestreo

Ya definidos los objetivos de monitoreo, delimitadas las localidades o áreas de estudio y los parámetros que se necesitan monitorear se tomará como meta la organización temporal y distribución espacial de los puntos de monitoreo o de colección de muestras dentro del área de estudio, de manera que sean representativos de la calidad del aire de un lugar determinado para poder compararlos con estándares de calidad del aire, valores límites, normas etc., por lo que el siguiente paso dentro de la estrategia de monitoreo, será definir la localización y determinación del número de estaciones de monitoreo o sitios de muestreo que se requieran para cumplir con los objetivos.

2.2.3.1. Localización de los sitios de muestreo

La ubicación de las estaciones de medición de contaminantes atmosféricos ya sea como parte del establecimiento de una red de monitoreo o para un programa específico, está en función de los objetivos que se pretenden alcanzar y del área que se pretende cubrir.

Existen diferentes procedimientos de selección de los lugares en donde se deben de instalar los sitios de muestreo, que van desde la elaboración de una cuadrícula del área a monitorear, colocando los sitios de monitoreo en las aristas de la cuadrícula, hasta el uso de complejos modelos estadísticos que nos proporcionan el número y distribución óptima de las estaciones, pero que dependen estrechamente de la muestra o sea de la cantidad de mediciones que se llevaron a cabo para establecer el modelo. Además de que los resultados de ubicación obtenidos por medio de estos modelos muchas veces tienen que cambiarse debido a la falta de infraestructura (disponibilidad de agua, energía eléctrica, etc.), inseguridad o difícil acceso del sitio seleccionado.

Actualmente el monitoreo en las ciudades se lleva a cabo en sitios seleccionados con base en la experiencia y en la información con que se cuenta para el estudio, más que en puntos de una cuadrícula, siendo estos sitios representativos del área que se pretende monitorear, es decir instalando estaciones que cubran zonas del centro de las ciudades, de los sectores industriales, comerciales, zonas de gran densidad de tráfico y zonas residenciales.

Para elegir estas localizaciones se deberán de tomar en cuenta una variedad de consideraciones como tipo de emisiones, fuentes de emisión, los factores topográficos y meteorológicos, información de la calidad del aire, (en caso de que exista), modelos de simulación y otros factores como uso de suelo, demografía, salud pública, etc. A continuación se describen cada uno de ellos.

Tipo de Emisiones y Fuentes de Emisión: La recopilación de los datos de las emisiones y de las fuentes de emisión por medio de un inventario de emisiones es uno de los primeros pasos en la selección de un sitio “inteligente” de muestreo. Ya que éstas nos darán una pauta de las zonas críticas que se pudieran tener en el área. En caso de no poder contar con un inventario adecuado, pueden ser útiles las estadísticas de distribución de población y de uso vehicular.

Factores Topográficos y Meteorológicos: Como ya se mencionó estos factores junto con los datos de las emisiones y con modelos de dispersión pueden utilizarse para dar una estimación inicial de las concentraciones de contaminantes e identificar posibles zonas críticas.

Información de la Calidad del Aire: El monitoreo atmosférico ya se lleva a cabo en muchas grandes ciudades, lo cual nos proporciona una base de datos contra la cual podemos comparar y relacionarnos, además de que nos indica la calidad del aire del área de estudio. Pero en los casos en los que no se cuenta con él, se recomienda un estudio de reconocimiento para identificar los problemas de contaminación en el área.

Modelos de Simulación: Los resultados de los modelos de simulación, pueden ser usados para predecir los patrones de depósito o de dispersión de los contaminantes, así como las reacciones atmosféricas probables, lo cual nos ayudará en la selección de los sitios de muestreo. Estos modelos son necesarios cuando se planea la instalación de alguna industria o cuando es imposible el monitoreo de algún contaminante en particular, por no contar con el instrumento adecuado o por ser muy costoso este monitoreo.

Otros factores: Entre estos se incluyen la información sobre uso de suelo, demografía, densidad de población o “aglomeración” (término utilizado por la EC) y salud pública. Nos sirven para identificar efectos probables, particularmente impactos en la salud pública, resultado de las

exposiciones de la población a los principales contaminantes atmosféricos y número probable de habitantes que pudieran estar expuestos.

Actualmente se pretende ubicar los sitios de muestreo en lugares donde se presenten exposiciones peligrosas o lugares de concentraciones máximas que alcancen y excedan los límites permisibles. O bien, en lugares donde se combinan alta densidad de población con pobre calidad de aire, o en zonas críticas siendo estas últimas aquellas zonas en las que por sus condiciones topográficas y meteorológicas se dificulte la dispersión y se registren en ellas altas concentraciones de contaminantes o zonas con alta concentración de fuentes de emisión. Todos en función de los objetivos determinados, es decir, si el estudio está enfocado a un área e intenta dar información de la calidad del aire de la misma a la población, se localizarán las estaciones de monitoreo en sitios que representen la calidad del aire de las zonas que conformen esa área tomando en cuenta los puntos críticos que existan en ella y su influencia.

Si por otro lado, se requiere hacer un estudio de la influencia de las emisiones de una determinada fuente fija en la calidad del aire, se localizarán sitios de muestreo previos alrededor de la misma. Generalmente se colocan algunos sitios de muestreo viento arriba de la fuente de emisión, para que sirvan como referencia de la calidad del aire de la zona. Los demás se localizan en la dirección predominante del viento a partir de la fuente, para que de ellos se elijan los que se califiquen como críticos, o como los más representativos para el estudio.

Si se tratase de fuentes móviles, los sitios de muestreo se localizarían a lo largo de la trayectoria de la misma, considerándosele como lineal, y en sus zonas aledañas, considerándosele de área. Para estudios relacionados con la injerencia de las concentraciones máximas de contaminantes urbanos en la salud pública se deberán tomar muestreos en zonas críticas a una altura de 1.5 a 3 metros sobre el nivel del piso pues es en esta zona, donde se encuentra la población que transita o trabaja y que está más expuesta a la contaminación urbana.

Las recomendaciones técnicas e instrucciones que se describen en las metodologías aprobadas para el establecimiento de sistemas de muestreo/monitoreo de la calidad del aire y de sus métodos de medición, pueden consultarse en documentos como: los manuales de GEMS/AIR⁸ ;

⁸ GEMS: *Global Environment Monitoring System* (Sistema Global de Monitoreo del Medio Ambiente); programa que depende de la OMS y de la UNEP. Ha creado GEMS/AIR para asistir, entre otros objetivos, a

documentos alemanes como: TA Luft⁹ ; manuales de Control de Calidad del Aire en Alemania; Ley de Control de Calidad del Aire en la República Federal de Alemania (BImSchG) y específicamente la Instrucción General Administrativa 4^{ta}, para BImSchG, que contiene, los parámetros a medir, número y localización de puntos de muestreo, metodologías y equipo de medición y evaluación de las mediciones¹⁰ ; Directivas de la Comisión de Comunidades Europeas, el Código Federal de Reglamentaciones 40 de los Estados Unidos de Norteamérica, partes 50 a 59 de Protección al Medio Ambiente; manuales y documentos de EPA, que contienen además las metodologías aprobadas para el monitoreo de la calidad del aire para contaminantes específicos¹¹ ; Normas Oficiales Mexicanas¹² y los Procedimientos para medir la Contaminación del Aire publicados por la OMS¹³ .

países participantes en el desarrollo de sistemas de monitoreo de aire. Se pueden consultar sus manuales *GEMS/AIR Methodology Review Handbooks*, vols. 1 a 4, o pedir asistencia para localizar referencias a la oficina de:

UNEP-HEM: GSF-Research Centre for Environment and Health, Neuherberg
Postfach 1129, D-85758 Oberschleissheim, Germany.

⁹ TA Luft: *Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft* (Instrucciones Técnicas para el Control de la Calidad del Aire en Alemania); vom 27. Februar 1986. Gemeinsames Ministerialblatt 37 (1986), 95-144.

¹⁰ BImSchG: *Bundes-Immissionschutzgesetz* (Decreto Federal de Control de Inmisiones de Alemania); 14 de Mayo de 1990, editado en Bonn, el 22 de Mayo de 1990.

¹¹ Se pueden conseguir documentos en las oficinas de la EPA en:

1.- Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development, US EPA.
26 W. Martin Luther King Drive, Cincinnati OH 45268, USA.

2.- National Center for Environmental Publication and Information, PO Box 42419 Cincinnati OH 45242, USA. Teléfonos: 515-489-8190 o 1-800-490-9198.

3.- Web Site: EPA office of air and radiation: <http://www.epa.gov/oar/oarhomet.html>.

¹² Normas Oficiales Mexicanas. Estos documentos se puede consultar en el centro documental de las oficinas del INE (Instituto Nacional de Ecología), ubicado en Av. Revolución # 1425, Col. Tlacopac. C.P. 01040. México, D.F.

¹³ OMS. *Selección de Procedimientos para Medir la Contaminación del Aire*. Ginebra: OMS; 1976. (Publicación # 24).

2.2.3.2. Densidad o número de puntos de muestreo requeridos

La densidad de los puntos de muestreo indica el número de sitios de muestreo por zona dentro de una misma área. En el caso de que se establezcan varios sitios de muestreo o de monitoreo, su número se incrementará en las zonas en las que se alcancen o excedan los valores permisibles, a mayores valores y variaciones de calidad de aire dentro de la misma zona, más sitios de muestreo se requerirán. Por ejemplo, en una parcela de aire de una zona de muestreo, se localizará una sola estación siempre y cuando esa parcela sea uniforme en cuanto a concentraciones de contaminantes, de no ser así, es decir si estas concentraciones sufrieran variaciones dentro de la misma parcela, se requerirían dos o más estaciones por lo que se dividiría esta parcela, de manera que cada estación cubra una parcela con características homogéneas. También se requerirán más número de puntos de muestreo cuando se tengan tiempos de muestreo cortos y cuando las mediciones sean menos frecuentes, esto es a menor frecuencia mayor número de sitios de muestreo.

Existen diferentes criterios para determinar el número de estaciones o puntos de muestreo, que se aplican dependiendo de la información con que se cuenta cuando se va a implementar un estudio de monitoreo. En general el número final de estaciones seleccionado se elige en función de:

- La población que habita en el área que se pretende vigilar.
- La problemática existente en el área que se define con base al tipo de zonas que conforma esa área y de los resultados obtenidos de tomar en cuenta los factores y consideraciones para elegir localizaciones de zonas de muestreo ya descritos previamente en el punto 2.2.3.
- Los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles.

Sin embargo, antes de definir el número y la localización de los sitios de muestreo, incurriendo en realizar instalaciones costosas y difíciles de reubicar, sobre todo cuando se pretende instalar una red permanente de monitoreo de calidad de aire, se recomienda utilizar estaciones temporales o unidades móviles para llevar a cabo un sondeo de cuáles son las condiciones del lugar a muestrear principalmente cuando la información con la que se cuenta no es confiable. Esto se puede lograr con una campaña piloto de monitoreo atmosférico por lo menos un año antes de definir la ubicación final de las estaciones. También es importante mencionar la necesidad de contar con estaciones libres de influencias urbanas, que se consideren “limpias” o de fondo.

En función de la densidad de población la OMS recomienda un criterio para establecer un número promedio de estaciones de muestreo de calidad del aire que dependen del parámetro que se pretende medir resumiéndose este criterio en la tabla 2.1.

Tabla 2.1.

PROMEDIO SUGERIDO DE ESTACIONES DE MUESTREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN ZONAS URBANAS DE POBLACIÓN DETERMINADA

| PROMEDIO DE ESTACIONES POR CONTAMINANTE | | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------|---------------------|-----------|---------------------|---|
| Población urbana (millones) | Parámetros de Monitoreo | | | | | |
| | Partículas | Bióxido de Azufre | Óxidos de Nitrógeno | Oxidantes | Monóxido de Carbono | Meteorológicos (velocidad y dirección del viento y gradientes térmicos) |
| menos de 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 - 4 | 5 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 - 8 | 8 | 8 | 4 | 3 | 4 | 2 |
| más de 8 | 10 | 10 | 5 | 4 | 5 | 3 |

Fuente: Basado en la referencia 6.

Nota: Esta tabla es útil para una primera aproximación, cuando no se cuenta con información adicional.

Modificándose a su vez, estos valores, con los siguientes criterios:

- En ciudades con alta densidad industrial deben de instalarse más estaciones para medir partículas y bióxido de azufre.
- En zonas en donde se utilicen combustibles pesados se deben incrementar las estaciones de bióxido de azufre.
- En zonas con tráfico intenso se duplican las estaciones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxidantes.
- En ciudades con población mayor a 4 millones de habitantes, con tráfico ligero, se pueden reducir las estaciones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxidantes.
- En regiones con terreno accidentado, puede ser necesario incrementar el número de estaciones.

También existen criterios que recomiendan un número de estaciones basándose no sólo en la densidad de población de una zona, sino en la concentración del contaminante que se va a medir, recomendando un mayor número de estaciones en aquellas zonas que presentan mayor

densidad de población con altas concentraciones de contaminantes, que excedan los valores límite. Este es el caso de las reglamentaciones para SO_2 y PM_{10} (fracción de la masa de las partículas cuyo D_{50} es $10 \mu\text{m}$) contenidas en el CFR 40¹⁴, y de las directivas de la Comisión de Comunidades Europeas¹⁵.

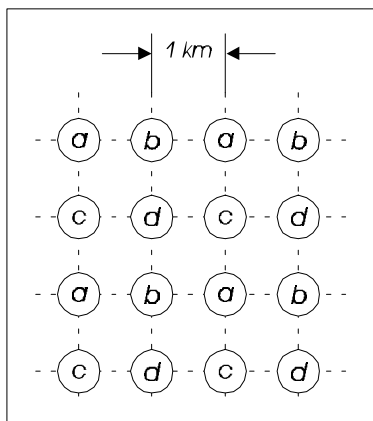
En función de la problemática existente en el área hay otros criterios para seleccionar el número de estaciones de muestreo como es el caso de los criterios estadísticos. Sin embargo, hay que hacer hincapié en que todas estas técnicas estadísticas requieren de un conocimiento de la meteorología, las emisiones, datos previos sobre calidad del aire de la zona y otros. Es decir, para diseñar un modelo estadístico representativo se requiere de un conocimiento profundo del área en estudio, por lo que si no se cuenta con este conocimiento se recomienda basarse en criterios como el de densidad de población y estadísticas de actividades económicas, para el inicio del estudio e ir corrigiendo el número de sitios, con base en la experiencia y los datos obtenidos. En el establecimiento de redes, para estimar la calidad del aire, la TA Luft en Alemania, establece un procedimiento en el que se divide a las zonas por medio de una cuadrícula, colocando puntos de muestreo en las intersecciones de cada retícula cuadrada, cuyos lados se recomienda que midan 1 km. de longitud, para la mayoría de los parámetros ambientales (ver figura 2.1). Aunque en algunos casos se utilizan 500 m. y hasta 250 m. para depósitos de polvo. Para mediciones continuas de partículas suspendidas, plomo y cadmio se llegan a instalar hasta a 4 km. de distancia las estaciones¹⁶, determinándose por el Comité Federal Alemán para la Protección de la Calidad del Aire, una distancia máxima de 10 km. entre las estaciones de medición.

Figura 2.1

¹⁴ Referencia 3, parte 58, apéndice D, capítulo I.

¹⁵ Referencia 7.

¹⁶ Referencia 2, pág 7.



RED DE MEDICIONES con una distancia de 1 km. entre estaciones. Recomendándose el siguiente procedimiento de toma de muestra: el primer día se tomarán muestras en los sitios denotados por la letra “a”; el segundo día en los sitios “b”; el tercero en los sitios “c” y el cuarto en los sitios “d”. Cuadruplicándose el número de los días de medición en relación con la frecuencia de medición, para la zona a examinar. (Ref. 2).

Se recomienda también para mediciones regionales, que se establezca por lo menos un muestreo continuo o monitoreo en cada zona, con una confiabilidad de captura de datos de por lo menos 75%, y en caso de utilizarse muestreos esporádicos o no continuos se requerirá de una captura de datos de por lo menos 90% descartando los valores de muestreo en donde se tengan problemas o dudas en cuanto a su veracidad.

Es muy importante enfatizar la necesidad de contar con un sistema eficiente de captura y manejo de datos, ya que los datos del monitoreo atmosférico son irrelevantes si no se colectan, analizan y divulgan al usuario final oportunamente. Esto se tratará más a fondo en el capítulo 4, sección 4.2.3.

2.2.3.3. Requerimientos del sitio de muestreo

Ya definidas las localidades o áreas donde se van a llevar a cabo los muestreos, se dividen éstas en zonas y se señala el número de los sitios de

muestreo requeridos en cada zona a ser monitoreada. Se deberá tomar en cuenta, al seleccionar la ubicación de los sitios de muestreo y principalmente cuando se pretendan instalar muestreadores activos o automáticos, algunas consideraciones prácticas que necesitan tener estos sitios, como son las siguientes:

- Fácil acceso
- Seguridad contra vandalismo
- Infraestructura
- Libre de obstáculos.

Se requiere que el sitio tenga fácil acceso debido a que se tendrán que realizar visitas regulares al mismo para recolectar muestras, inspeccionarlo, calibrarlo o para su mantenimiento. Pero a su vez deberá estar protegido de posibles actos de vandalismo u otros que alteren la toma de muestras. Se recomienda que el sitio cuente con la infraestructura necesaria como electricidad y líneas de teléfono para poder operar cualquier tipo de equipo de muestreo en el sitio. En caso de contar con muestreadores automáticos el uso de líneas telefónicas es indispensable para el envío de datos.

Como las mediciones se llevarán a cabo en sitios donde la calidad del aire es representativa de la zona que está sujeta a investigación, no podrán haber obstáculos que afecten el movimiento del aire en el sitio, ni fuentes de emisión que puedan invalidar las muestras por el arrastre a la toma del muestreador de las emisiones de alguna fuente. Es decir, el movimiento del aire alrededor de la entrada de la toma de muestra deberá estar libre de restricciones que afecten el flujo del aire en las cercanías del muestreador, por lo que se recomienda ubicarlo algunos metros alejado de edificios, balcones, árboles, etc. Algunas de las recomendaciones que se fijan en los manuales de los diferentes organismos que se enumeraron en el punto 2.2.3.1, se presentan a continuación:

- Para asegurar un flujo lo más libre posible, se deben evitar árboles y edificios en un área de 10 m. alrededor del sitio de muestreo y no tomar muestras en las superficies laterales de los edificios¹⁷.
- En lo posible, deben rechazarse las interferencias en las estaciones de muestreo, por la circulación local que depende de factores topográficos¹⁸.

¹⁷ Referencia 2, apéndice 1, Sección 7, pág. 121.

¹⁸ Referencia 2, apéndice 1, Sección 7, pág. 121

¹⁹ Referencia 1, vol. 3, pág.29

²⁰ Referencia 8, pág. 33.

- Para minimizar los efectos de las fuentes locales, se recomienda instalar la estación de monitoreo a una distancia de por lo menos 20 metros de cualquier fuente industrial, doméstica o de carreteras con alto tráfico vehicular¹⁸.
- La entrada al muestreador debe estar entre 1.5 y 4 m. sobre el nivel del piso. Una altura de 1.5 m. se utiliza para estimar exposiciones potenciales del ser humano a situaciones de gran carga de tráfico vehicular. Sin embargo, para evitar el vandalismo en algunos sitios de monitoreo, se prefiere instalar la toma de muestra a una altura de 2.5 m. Existen algunas circunstancias, para los estudios de los antecedentes de contaminación en ciudades, en donde no es posible cumplir con el requisito de una altura de 4 m., por lo cual se han realizado instalaciones de toma de muestra hasta 8 m. de altura¹⁹.
- La entrada al muestreador no debe localizarse cerca de fuentes de contaminación, para evitar arrastres de plumas de chimeneas domésticas o industriales¹⁹.
- Para medir los parámetros meteorológicos se recomienda instalar los instrumentos a una altura mínima de 10 m. sobre el nivel del suelo, y tomar mediciones a diferentes alturas con el objeto de obtener gradientes térmicos. Anteriormente se utilizaban torres meteorológicas de 100 m., actualmente se utilizan técnicas de radiosondeo y sensores remotos²⁰.

Resumiendo las recomendaciones anteriores tenemos que:

| OBSTÁCULO | DISTANCIA |
|--|---|
| Árboles y Edificios: | Se recomienda radio libre de 10 m., alrededor del sitio de muestreo.* |
| Fuentes de Emisión: industriales, comerciales o móviles. | Se recomienda 20 m. de distancia del sitio de muestreo.* |

*Nota: Estas distancias no se aplican en el caso de monitoreos *kerbside* (en la banqueta).

| ALTURA DE LA TOMA DE MUESTRA | TIPO DE ESTUDIO |
|-------------------------------------|---|
| 1.5 a 2.5 m. | Para estudios epidemiológicos o de tráfico vehicular. |
| 2.5 a 4 m y hasta 8 m. | Estudios de calidad del aire de fuentes fijas. |
| 10 m. | Determinación de parámetros meteorológicos. |

Criterios adicionales para la ubicación de las tomas de muestra requeridas para llevar a cabo monitoreos de calidad de aire se presentan en el CFR 40 norteamericano, el cual presenta un resumen de estos criterios en función del contaminante y la escala espacial en la que se llevará a cabo el monitoreo. (Ver tabla 2.2).

Además se presentan en el cuadro 2.4, los criterios de ubicación de las estaciones, planteándose los requisitos que debe de cumplir un sitio de muestreo para que la información que se obtenga del mismo sea característica de la zona de estudio.

Cuadro 2.4.

CRITERIOS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES

- Ser representativas del área en donde se ubican.
- Proporcionar datos comparables con las demás estaciones.
- Ser útiles por lo menos durante todo el período de tiempo del estudio.
- Ser accesibles permanentemente.
- Contar con energía eléctrica segura.*
- Estar acondicionadas para resistir condiciones extremas de temperatura.

* **Nota:** Solamente se requerirá si se utilizan equipos para muestreo activo o automático.

Fuente: Basado en la referencia 8, págs. 31 y 32.

Tabla 2.2.
RESUMEN DE CRITERIOS DE UBICACIÓN DE TOMAS DE MUESTRA*

| Contaminante | Escalas | Altura (m) sobre el piso | Distancia de la estructura de soporte en m. | | Otros Criterios |
|-----------------|-------------|--------------------------|---|-------------------------|---|
| | | | Vertical | Horizontal ^a | |
| SO ₂ | Todas | 3 - 15 | > 1 | > 1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. de la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia de la toma del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre la toma de muestra.^b 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra, o 180° si la toma se coloca a un lado de un edificio. 4. No podrá haber flujos de hornos o incineración cercanos.^c |
| CO | Micro | 3 ± 1/2 | > 1 | > 1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 10 m. de intersecciones y ubicarse a mitad de la cuadra. 2. Deberá estar 2-10 m. del borde de la línea de tráfico más cercana. 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 180° alrededor de la toma de muestra. |
| | Media Local | 3 - 15 | > 1 | > 1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra, o 180° si la toma se coloca a un lado de un edificio. 2. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico. (Ver tabla 1 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40). |
| O ₃ | Todas | 3 - 15 | > 1 | > 1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. de la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre la toma de muestra.^b 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra, o 180° si la toma se coloca a un lado de un edificio. 4. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico. (Ver tabla 2 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40). |

*Basado en la referencia 3, parte 58, apéndice E, capítulo I.

^a Cuando la toma se localiza en azoteas, la distancia de separación estará en referencia con las paredes, parapetos o habitaciones localizados en el techo.

^b Ubicaciones que no cumplan con este criterio serán clasificadas como de escala media.

^c La distancia estará en función de la altura del flujo del horno o incinerador, tipo de combustible o material quemado y calidad del combustible (contenido de azufre, plomo y cenizas). Esto es para evitar influencia de fuentes de contaminación menores.

Tabla 2.2. (continuación)
RESUMEN DE CRITERIOS DE UBICACIÓN DE TOMAS DE MUESTRA*

| Contaminante | Escalas | Altura (m) sobre el piso | Distancia de la estructura de soporte en m. | | Otros Criterios |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------|---|-------------------------|---|
| | | | Vertical | Horizontal ^a | |
| NO ₂ | Todas | 3 - 15 | > 1 | > 1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. de la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre la toma de muestra.^b 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra, o 180° si la toma se coloca a un lado de un edificio. 4. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico. (Ver tabla 3 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40). |
| Pb | Micro | 2 - 7 | -- | > 2 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. de la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre el muestreador. 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra a excepción de los sitios en el cañón de la calle. 4. No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos.^c 5. Deberá estar 5 a 15 metros de las principales carreteras. |
| Pb | Media, Local, Urbana y Regional. | 2 - 15 | -- | > 2 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. de la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre el muestreador.^b 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra. 4. No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos.^c 5. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico. (Ver tabla 4 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40). |

Nota: Se entiende por sitios en el cañón de la calle a aquellos sitios ubicados en calles confinadas por altos edificios o construcciones.

* Basado en la referencia 3, parte 58, apéndice E, capítulo I.

^a Cuando la toma se localiza en azoteas, la distancia de separación estará en referencia con las paredes, parapetos o habitaciones localizados en el techo.

^b Ubicaciones que no cumplan con este criterio serán clasificadas como de escala media.

^c La distancia estará en función de la altura del flujo del horno o incinerador, tipo de combustible o material quemado y calidad del combustible (contenido de azufre, plomo y cenizas). Esto es para evitar influencia de fuentes de contaminación menores.

Tabla 2.2. (continuación)
RESUMEN DE CRITERIOS DE UBICACIÓN DE TOMAS DE MUESTRA*

| Contaminante | Escalas | Altura (m) sobre el piso | Distancia de la estructura de soporte en m. | | Otros Criterios |
|--------------|---------------------------------|--------------------------|---|-------------------------|--|
| | | | Vertical | Horizontal ^a | |
| PM10 | Micro | 2 - 7 | -- | > 2 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. de la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre el muestreador, a excepción de los sitios en el cañón de la calle.^b 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra a excepción de los sitios en el cañón de la calle. 4. No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos.^c 5. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico. (Ver figura 2 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40), a excepción de los sitios en el cañón de la calle, en los cuales deberá ser de 2 a 10 metros del borde de la línea de tráfico más cercana. |
| | Media, Local, Urbana y Regional | 2 - 15 | -- | > 2 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. de la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre el muestreador.^b 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra. 4. No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos.^c 5. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico. (Ver figura 2 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40). |
| VOC | Todas | 3 - 15 | > 1 | > 1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. de la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia de la toma del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre el muestreador.^b 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra y en la dirección del viento dominante por el período de mayor concentración de contaminantes (como se describe para cada sitio en la sección 4.2 del Apéndice D, parte 58 del CFR 40) que también deberá estar incluida en este arco de 270°. Si la toma se coloca a un lado de un edificio el flujo de aire sin restricciones deberá ser de 180°. 4. Para la distancia a las carreteras, ver tabla # 5 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40. |

Nota: Se entiende por sitios en el cañón de la calle a aquellos sitios ubicados en calles confinadas por altos edificios o construcciones.

* Basado en la referencia 3, parte 58, apéndice E, capítulo I.

^a Cuando la toma se localiza en azoteas, la distancia de separación estará en referencia con las paredes, parapetos o habitaciones localizados en el techo.

^b Ubicaciones que no cumplan con este criterio serán clasificadas como de escala media.

^c La distancia estará en función de la altura del flujo del horno o incinerador, tipo de combustible o material quemado y calidad del combustible (contenido de azufre, plomo y cenizas). Esto es para evitar influencia de fuentes de contaminación menores.

2.2.4. Determinación de Tiempos de Muestreo: Duración del Programa, Frecuencia de Muestreos y Tiempo de Toma de Muestra

La determinación de los tiempos de muestreo dependerá del tipo de programa que se pretenda llevar a cabo. Lo primero que se tendrá que definir para cualquier tipo de programa de monitoreo, ya sea de muestreo continuo o discontinuo, será la duración del mismo. La frecuencia de muestreo y el tiempo de toma de muestra, se determinarán para programas discontinuos en función de los objetivos de monitoreo y de la calidad de los datos que se requiera para cumplir con estos objetivos.

Duración del Programa: se define como duración de un programa de muestreo, al período de tiempo de evaluación en que se llevan a cabo las mediciones para recopilar la base de datos necesaria para cumplir con los objetivos del programa. Para mediciones permanentes de calidad del aire, se considera como la duración de un programa de muestreo a los 12 meses que abarca un año completo del período de evaluación, porque de esta manera se toma en cuenta la injerencia de los cambios estacionales. También se pueden llevar a cabo programas semestrales de verano y de invierno, programas mensuales o hasta semanales, correlacionándolos con programas permanentes.

Frecuencia: el término frecuencia de muestreo indica el número de muestras que se tomarán o llevarán a cabo en un intervalo de tiempo, en un punto de muestreo o en un área de muestreo, y se aplica en programas de muestreo discontinuos. Este factor es de gran importancia puesto que los valores de calidad del aire dependen en gran parte de variaciones temporales: condiciones climáticas y cambios estacionales. Estas concentraciones también varían en función del día de la semana y en un mismo día las condiciones meteorológicas y patrones de emisión, pueden producir variaciones en las concentraciones de los contaminantes. Hay ocasiones en que los valores máximo promedio de concentraciones de contaminantes primarios se registran durante la mañana y las tardes mientras que en la noche bajan. Por lo que se recomienda establecer una frecuencia de muestreo que tome en consideración todos estos cambios de manera que el programa de monitoreo sea representativo de lo que ocurre en la zona de estudio. Durante muestreos con analizadores automáticos no se aplica este factor puesto que el muestreo se lleva a cabo continuamente durante todo el período que abarca el programa de monitoreo.

Para establecer valores medios anuales se recomiendan muestreos individuales con una frecuencia de 1 a 2 veces por semana dependiendo de las concentraciones y variando el día de la semana (ejemplo: tomar muestreos cada seis días), de manera que se tomen muestras en todos los días de la semana. Para establecer el 98 percentil²¹ se recomiendan mediciones por lo menos 2 veces por semana y en caso de concentraciones muy variables, hasta 4 veces por semana, cambiando también los días de la semana. Para promedios diarios por lo menos 5 mediciones por mes, durante un año o por lo menos durante seis meses, cuando no hayan cambios estacionales muy marcados²².

Tiempo de Toma de muestra: el tiempo de toma de muestra de una lectura individual en mediciones discontinuas, corresponde al período de tiempo en que se lleva a cabo la determinación de concentraciones de los contaminantes mientras más corto es el tiempo de toma de muestra, más altos serán los valores máximos esperados.

Este tiempo se determina tomando en cuenta los criterios recomendados de efectos en la salud o factores de inmisión de los contaminantes a determinar, por medio de los límites de detección del método de muestreo utilizado y por medio de los criterios establecidos en las normas oficiales de calidad del aire de cada país. En México las Normas Oficiales Mexicanas establecen los métodos de medición, con sus respectivos tiempos de toma de muestras y la calibración de los equipos. Para métodos de referencia discontinuos estos tiempos son los siguientes:

- Para gases (SO₂): 30 min.
- Para partículas suspendidas: 24 horas.

En Alemania los tiempos de toma de muestra que se utilizan generalmente para llevar a cabo el muestreo de contaminantes por medio de métodos discontinuos, que se describirán en el capítulo 3 son²³:

- Para gases: 30 min.
- Para partículas suspendidas: 24 horas.
- Para depósitos de polvo 30 ± 2 días.

²¹ El 98 percentil lo utiliza la normatividad Alemana como valor límite de calidad de aire. (Referencia 2).

²² Referencia 2, pág. 8.

²³ Referencia 2, pág. 51.

Algunas recomendaciones de los manuales WHO/UNEP, GEMS/AIR, en cuanto a tiempos de muestreo, son las siguientes:

- Deben ser medidas concentraciones promedio de 24 horas.
- El monitoreo anual se recomienda para determinar las variaciones estacionales y para obtener promedios anuales.
- El muestreo diario se recomienda si se necesitan realizar comparaciones significativas a corto plazo o si las concentraciones a 24 horas serán cuantificadas confiablemente.
- Se requiere de monitoreo con resolución horaria únicamente cuando existan condiciones de episodio de contaminación.

Un resumen de los valores característicos que se tienen que determinar, de acuerdo con la Instrucción General Administrativa No. 4 de la Ley Federal de Control de Inmisiones Alemana y con las directivas de la Comisión de Comunidades Europeas, para evaluar la calidad del aire de una localidad se presentan en el cuadro 2.5²⁴.

2.2.5. Selección del Equipo de Muestreo y de las Técnicas de Análisis

Otro factor importante es la selección del equipo de muestreo y de sus metodologías de análisis, las cuales deberán ser acordes con los objetivos que previamente se fijaron y la calidad de los datos que se requieren para cumplirlos. Esta necesidad de calidad o precisión en la base de datos, será uno de los principales elementos a considerar al seleccionar el equipo, otros serán la capacidad económica local y la disponibilidad de personal capacitado. Por lo que deberá tomarse en cuenta, el costo del instrumento y su complejidad contra su confiabilidad y su funcionamiento. Sistemas más caros proveen alta calidad en datos, pero son más complejos de manejar.

Debido a que las tecnologías que se ofrecen en el mercado cubren una gran gama de costos en capital y operación, se recomienda escoger la tecnología disponible más simple y barata que cumpla con los objetivos de monitoreo especificados. Estas tecnologías pueden agruparse en cinco metodologías, que se describirán en el capítulo 3, y cuyas ventajas y desventajas se resumen en el cuadro 2.6, en el cual se presenta como inversión el costo de adquisición de cada equipo a precios de 1991, estos

²⁴ Referencia 2, pág. 65.

precios no incluyen costos de operación, mantenimiento, calibración o análisis de laboratorio en caso de que se requiera.

En general monitoreos base, cribados espaciales y funciones para selección de sitios pueden llevarse a cabo con métodos de muestreo activos y pasivos. Los analizadores automáticos, por su complejidad y alto costo, se utilizan normalmente para mediciones en programas a largo plazo (5 a 10 años), o cuando se requiere alta calidad en los datos, por ejemplo para vigilar picos de concentraciones y alertar a la población. Sin embargo, actualmente se desarrollan monitores o analizadores automáticos de manejo más simple, que pueden implementar sus aplicaciones en el futuro. En la tabla 2.3 se muestran los usos más comunes de estas metodologías.

Cuadro 2.5.

VALORES CARACTERÍSTICOS QUE PUEDEN SER DETERMINADOS PARA ESTIMAR LA CALIDAD DEL AIRE²⁵.

| VALOR A DETERMINAR | PARÁMETROS |
|--|---|
| Promedio Diario | Para: Contaminantes Atmosférico Gaseosos: NO ₂ , SO ₂ , O ₃ y CO. |
| Media Aritmética Mensual y Anual | Para: Contaminantes Atmosférico Gaseosos, Humos, Partículas Suspendidas y Compuestos asociados a ellas. |
| Medianas para los Diferentes Períodos Estacionales (de acuerdo con los lineamientos de EC) | Para: Contaminantes Atmosférico Gaseosos y Partículas Suspendidas. |
| 98 Percentil de los Valores de un Año Calendario | Para: Contaminantes Atmosférico Gaseosos, Humos, Partículas Suspendidas y Compuestos asociados a ellas. |
| Promedios Mensuales | Para: Depósitos de Polvo. |
| Promedios Anuales | Para: Depósitos de Polvo y Compuestos asociados con estos. |

Nota: En la ZMCM, además de los promedios diarios, se reportan datos horarios y promedios móviles cada 8 horas para algunos contaminantes gaseosos. Y promedios trimestrales para Pb.

²⁵ Cuadro con las directivas de la EC. Cuadro adaptado.
Basado en la referencia 2.

Cuadro 2.6.

INSTRUMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO*

| METODOLOGÍA | VENTAJAS | DESVENTAJAS | INVERSIÓN U.S. DLLS |
|------------------------|---|--|------------------------------|
| Muestreadores Pasivos | Muy bajo costo. Muy simples. Útiles para cribado y estudios de base. | No probado para algunos contaminates. En general sólo proveen promedios semanales y mensuales. Requieren análisis de laboratorio. | \$2-4 por muestra. |
| Muestreadores Activos | Bajo costo. Fáciles de operar Confiables en: operación y funcionamiento. Historia de bases de datos. | Proporciona concentraciones pico o de alerta. Trabajo intensivo. Requieren análisis de laboratorio. | \$2000-4 000 por unidad. |
| Monitoreos Automáticos | Alto funcionamiento comprobado. Datos horarios. Información <i>on line</i> y bajos costos directos. | Complejo. Caro. Requieren técnicos calificados. Altos costos periódicos de operación. | \$10 000-20 000 por monitor. |
| Sensores Remotos | Proporcionan patrones de resolución de datos. Útiles cerca de fuentes y para mediciones verticales en la atmósfera. Mediciones de multicomponentes. | Muy complejos y caros. Difíciles de operar, calibrar y validar. No son siempre comparables con los analizadores convencionales. | >\$200 000 por sensor. |
| Bioindicadores | Baratos. Útiles para identificar la presencia de algunos contaminantes. | Problemas en la estandarización de sus metodologías y otros inherentes a los procedimientos. Algunos requieren análisis de laboratorio. | Costo Variable. |

*Nota: La inversión es inicial y no contempla el costo por análisis de laboratorio. Precios de 1991.

Fuente: Basado en información de la referencia 1, vol. 1, pág. 10.

Tabla 2.3.
UTILIDAD DE LAS METODOLOGÍAS PARA MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE
DE ACUERDO CON EL OBJETIVO ESTABLECIDO

| OBJETIVOS | METODOLOGÍAS | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------------|
| | Muestreadores Pasivos | Muestreadores Activos | Monitores Automáticos | Sensores Remotos | Bioindicadores |
| Vigilar el cumplimiento de los valores límite de calidad de aire. | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Implementación de planes de contingencia. | 1 | 3 | 3 | 2 | |
| Alertas ambientales: vigilancia de valores máximos. | 1 | 2 | 3 | 2 | |
| Investigación del transporte de contaminantes atmosféricos. | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| Barrido de contaminantes en una trayectoria. | | | 2 | 3 | |
| Rastreo de tendencias temporales de calidad de aire. | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| Medición del impacto de las medidas de control en la calidad del aire. | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| Calibración y evaluación de modelos de dispersión. | 1 | 1 | 3 | 3 | |
| Monitoreo <i>Kerbside</i> (en banqueta). | 3 | 3 | 1 | | |
| Efectos de la contaminación atmosférica global. Inventario de efectos. | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| Estudios de Salud Pública. | 3 | 3 | 1 | | 1 |
| Medición de concentraciones de fondo. | 3 | 1 | 1 | | 3 |
| Monitoreos en fuentes fijas. | 1 | 2 | 3 | 3 | |
| Monitoreo perimetral a industrias riesgosas. | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 |

Nota: Los valores del 1 al 3 indican la utilidad de la metodología. Correspondiendo el número 3 a la tecnología más recomendada para cumplir con el objetivo. La ausencia de valor implica que esta tecnología no es recomendable para cumplir con el objetivo establecido.

Por otro lado los sensores remotos que se describirán en el capítulo 3 de este manual, proporcionan mediciones integradas de componentes múltiples a lo largo de patrones específicos, pero actualmente estos instrumentos son muy caros y complejos, difíciles de calibrar y validar contra los métodos ya establecidos, por lo que sus aplicaciones están muy restringidas. De igual manera las técnicas de biomonitorio, que también se describen en el capítulo 3, pueden ocasionalmente proporcionar una manera barata y flexible de identificar la presencia de niveles de contaminación y/o áreas donde se necesitan mediciones más detalladas, un ejemplo del uso de esta técnica lo tenemos en el estudio de Scholl, Prinz y Schwella²⁶, en el cual se utilizaron líquenes y pastos estandarizados para monitorear los efectos de la contaminación atmosférica global. Sin embargo, estas técnicas son muy específicas de cada región y no han sido desarrolladas al punto en que pueden ser aplicadas en programas de monitoreo regulares. Resumiendo como regla, se recomienda seleccionar el equipo de menor costo y más fácil manejo, que cumpla con los objetivos de monitoreo especificados, pero tomando en cuenta, que éste sea exclusivamente equipo y metodologías de medición aprobadas y validadas por organismos competentes como por ejemplo ISO, EPA, TÜV²⁷, o similares. Las metodologías nuevas siempre deberán validarse contra las metodologías existentes y sus resultados sólo podrán ser aceptados si se publican en revistas científicas reconocidas como *Analytical Chemistry*, *Journal of the Air Pollution Control Association*, *American Industrial Hygiene Association Journal*, *Health Laboratory Science Journal*, entre otras.

2.3. REDES DE MONITOREO

Se conoce como red de monitoreo al conjunto de estaciones de muestreo, generalmente fijas y continuas, que se establecen para medir los parámetros ambientales necesarios para cumplir con los objetivos fijados y que cubren toda la extensión de un área determinada. Compara regularmente, concentraciones locales de parámetros ambientales con estándares de calidad del aire y las redes establecidas para vigilancia de alertas ambientales permiten implementar acciones en situaciones de emergencia.

Debido a que las decisiones que se tienen que tomar para el diseño de una red de monitoreo dependen fundamentalmente de los objetivos de

²⁶ Referencia 9.

²⁷ Revisar lista de Abreviaturas y acrónimos

monitoreo, no existen reglas fijas y fáciles a este respecto. Sin embargo, en la práctica el número y distribución de las estaciones de monitoreo de calidad de aire requeridas en cualquier red, dependen del área a cubrir, de la variabilidad espacial de los contaminantes que van a ser medidos y del requerimiento de datos que se necesitará utilizar. Si el factor importante es la identificación o cuantificación de los daños en la salud asociados con los contaminantes atmosféricos, el diseño de la red deberá enfocarse a este objetivo y considerar la necesidad y el uso de estudios epidemiológicos. Por lo que se requerirán, según sea el objetivo, enfoques específicos en cuanto a los sitios de muestreo y a los contaminantes que se van a muestrear.

Las redes nacionales sirven para una variedad de funciones y son frecuentemente el caso de programas de mediciones de múltiples contaminantes. Por otro lado, también se pueden optimar las redes usándolas para estudios específicos, como la estimación de la exposición del ecosistema o la determinación de congruencia con los requerimientos legales para contaminantes individuales. En general estas mediciones ofrecen ventajas financieras y logísticas, pero no todas las funciones de las redes, ni todas las redes se pueden optimar. Actualmente existen dos enfoques en el diseño de redes, que se usan desde ciudades hasta escalas a nivel nacional. El primer enfoque utiliza un patrón de localización basado en una cuadrícula espacial en donde se muestra información detallada en cuanto a la variabilidad espacial y patrones resultado de la exposición de contaminantes. Mientras que el segundo, involucra la ubicación de estaciones de monitoreo o sitios de muestreo en lugares representativos, seleccionados cuidadosamente, con base en requerimientos de uso de los datos y patrones conocidos de emisión y dispersión de los contaminantes en estudio. Este último enfoque requiere de un número menor de sitios de monitoreo, por lo que es más barato de aplicar. De cualquier manera, los sitios deberán ser seleccionados con base en datos confiables o estudios piloto previos para asegurar que los datos medidos sean significativos.

El diseño de una red de monitoreo está directamente relacionado con la determinación del número y distribución de los sitios de monitoreo y de su frecuencia de muestreo, en caso de no usar monitores continuos. Como ya se indicó, depende fundamentalmente de sus objetivos de monitoreo y de la variabilidad de los contaminantes. Por lo cual, para distribuir y ubicar estos sitios, se necesitarán contemplar los mismos criterios generales que hemos venido exponiendo en este capítulo en donde se recomienda tomar en cuenta los siguientes factores:

- Población afectada
- Medio ambiente afectado
- Escala geográfica del problema a considerar
- Fuentes y emisiones del área delimitada
- Meteorología / Topografía de esa área.

Todo ello con la finalidad de que se determine el número de sitios apropiados para cubrir los requerimientos de datos necesarios y que cada sitio reporte los datos representativos de la calidad de aire de la zona que le corresponde. En el supuesto caso del establecimiento de una red con monitores automáticos, si los criterios de diseño indican un número específico de estaciones y este número es incosteable, se puede reducir el número de estaciones utilizando el criterio de sitio “inteligente”, utilizar métodos alternativos de muestreo o realizar muestreos orientados a objetivos específicos. Es importante mencionar que al evaluar la inversión que se requerirá para establecer una red de monitoreo atmosférico, se tendrán que contemplar además de los costos de inversión, los costos de operación en los que se deben incluir requerimientos de laboratorio, personal especializado, transporte, costos de mantenimiento y costos de reposición de equipo.

Para asegurar el éxito de cualquier programa de monitoreo atmosférico, es importante también la adopción de una administración y sistema organizacional apropiados. Generalmente, las redes se pueden organizar en un sistema centralizado, en el cual todos sus sistemas de operación, mantenimiento, manejo de datos y controles se operan por medio de una sola organización, o en forma descentralizada, donde algunas o todas las responsabilidades se delegan a diferentes organismos. Los dos métodos tienen sus ventajas y desventajas, pero las redes demasiado descentralizadas, corren el riesgo de duplicar esfuerzos, presentar incrementos en la logística y dificultades en la línea de mandos e inconsistencias en el aseguramiento y control de calidad o en la implementación de tecnologías. Ejemplos de diferentes redes con diversos equipos de monitoreo se presentarán en el capítulo 6 de este manual. En el capítulo 3 se presentarán las metodologías más utilizadas y comprobadas actualmente indicando la experiencia de los técnicos que trabajan con las mismas, sin dar una exposición de todas las tecnologías existentes actualmente.