



**Desafíos Metodológicos en la Vigilancia de los Efectos en la  
Salud de la Contaminación del Aire Exterior  
Noviembre 28-29, 2005  
Sao Paulo, Brasil**

Informe del Taller

Preparado por:  
Mildred Maisonet, PhD  
Asesora Regional en Epidemiología Ambiental  
Area de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental  
Organización Panamericana de la Salud  
Septiembre, 2006

## Índice

- Introducción
- Algunos elementos de los sistemas de vigilancia: definición, objetivos y resultados
- ¿Cuáles son los efectos en la salud de la contaminación del aire?
- Vigilancia de los efectos en la salud de la contaminación del aire: experiencias regionales
- Desafíos conceptuales y operacionales
- Resumen de comentarios
- Referencias
- Apéndices
  - Apéndice I – Programa del Taller
  - Apéndice II – Lista de Participantes

## Introducción

En muchas ciudades de América Latina y el Caribe la contaminación del aire es un problema importante de salud pública. La exposición a contaminantes del aire de los tipos y concentraciones que se encuentran habitualmente en áreas urbanas de la Región está vinculada a un mayor riesgo de mortalidad y morbilidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (OPS, 2005).

Una mayor toma de conciencia de los efectos que produce la contaminación del aire en poblaciones residentes en áreas urbanas resalta la importancia de definir las poblaciones en riesgo, caracterizar la exposición a contaminantes del aire exterior y cuantificar los efectos adversos que esta exposición tiene en la salud humana.

La vigilancia epidemiológica es la recolección sistemática continua, análisis e interpretación de datos sanitarios esenciales para la planificación, implementación y evaluación de la práctica en salud pública, estrechamente integrada a la difusión oportuna de dichos datos a quienes precisan conocerlos (Last, 2001). Los datos de vigilancia proporcionan información a los interesados en apoyo a los procesos de toma de decisión. Ayudan a definir las acciones de salud pública necesarias y a evaluar la eficacia de los programas.

Mediante la implementación de sistemas de vigilancia, la evolución de un episodio de salud se monitorea sistemáticamente para estimar la magnitud de su ocurrencia, definir su tendencia en el tiempo, incluyendo brotes, y evaluar los efectos de los programas de control. Tradicionalmente, el episodio sanitario bajo vigilancia consistía en determinar la mortalidad o morbilidad de cierta enfermedad. Este concepto se ha ampliado e incorpora la vigilancia de los factores de riesgo y, en relación con la salud ambiental, la exposición y riesgos (Corvalan, 2000).

En cuanto a la contaminación del aire exterior, el monitoreo de la calidad del aire constituye un mecanismo de vigilancia de un riesgo ambiental. Los datos del monitoreo describen las concentraciones y tendencias en el tiempo de un conjunto de contaminantes del aire, en una zona geográfica definida. Recientemente ha surgido el interés de realizar vigilancia de los efectos en la salud asociados con la contaminación del aire, como la mortalidad y morbilidad debidas a enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La OPS realizó una reunión técnica para recoger la experiencia de los países de la Región que están desarrollando vigilancia sobre los efectos en la salud de la contaminación del aire para discutir los desafíos metodológicos relacionados, incluyendo la selección de indicadores apropiados. El siguiente es un resumen de las experiencias Regionales y de los elementos principales que deben ser considerados cuando se planifica una vigilancia de este tipo.

## **Algunos elementos de los sistemas de vigilancia: definición, objetivos y resultados**

Como ya se mencionó, la vigilancia epidemiológica es la recolección sistemática continua, análisis e interpretación de datos sanitarios esenciales para la planificación, implementación y evaluación de la práctica en salud pública, estrechamente integrada a la difusión oportuna de dichos datos a quienes precisan conocerlos (Last, 2001).

El objetivo de la vigilancia “tradicional” es el de describir la ocurrencia de enfermedades en determinada área geográfica con relación a persona, tiempo y lugar. La vigilancia proporciona los medios para determinar la magnitud de un problema de salud pública. Sus datos se utilizan para estimar la frecuencia de la ocurrencia de enfermedad, la cual se utiliza para identificar subgrupos poblacionales vulnerables, evaluar cambios en los patrones de enfermedad en el tiempo y comparar la ocurrencia de enfermedad entre grupos poblacionales. Esto ayuda a establecer las necesidades de acción en salud pública.

Generalmente, la frecuencia del evento de salud bajo vigilancia se reporta como una medida absoluta de la ocurrencia de la enfermedad. Las medidas más comúnmente estimadas son tasas de incidencia o prevalencia, o tasas de mortalidad. Estas son una expresión de la frecuencia con que ocurre un evento en una determinada población y en un lapso determinado. El uso de tasas en vez de número de casos es indispensable para realizar comparaciones interpoblacionales e intrapoblacionales, y en diferentes períodos. Los principales componentes de una tasa son el número de eventos en un período específico (numerador) y la población promedio durante el período (denominador) (Last, 2001).

Muchas veces es obligatorio informar el episodio bajo vigilancia. Dicha exigencia promueve una información más completa de los casos en el área bajo vigilancia, mejorando así la precisión de las tasas estimadas.

La vigilancia es una forma de la epidemiología descriptiva, cuya meta principal es describir la ocurrencia de enfermedades. La exploración de correlaciones entre enfermedad y un agente causal debe realizarse con otros diseños de estudio, como el diseño de cohorte o de casos y controles. Los datos de vigilancia, más bien, sirven de base para la formulación de hipótesis que luego se podrían probar a través de otros diseños de estudio.

Cuando se han implementado programas de control o prevención para abordar problemas de salud pública, la vigilancia es una herramienta útil para estimar el impacto de dicha acción en el tiempo.

## ¿Cuáles son los efectos en la salud de la contaminación del aire?

La exposición a la contaminación del aire se ha asociado con diversos efectos adversos en la salud. Se han comunicado efectos respiratorios y cardiovasculares atribuidos a la exposición de corto y largo plazo, así como el desarrollo de efectos adversos asociados al embarazo (Tabla 1) (OMS, 2006).

Tabla 1. Efectos en la salud atribuidos a la exposición de corto y largo plazo a la contaminación del aire

<i>Efectos atribuidos a la exposición de corto plazo</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mortalidad diaria</li><li>• Ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias y cardiovasculares</li><li>• Consultas de urgencia por enfermedades respiratorias y cardiovasculares</li><li>• Consultas en atención primaria por enfermedades respiratorias y cardiovasculares</li><li>• Uso de prescripciones respiratorias y cardiovasculares</li><li>• Días de actividad restringida</li><li>• Ausentismo laboral</li><li>• Ausentismo escolar</li><li>• Síntomas agudos (sibilancias, tos, expectoración, infecciones respiratorias)</li><li>• Cambios fisiológicos (función pulmonar)</li></ul>
<i>Efectos atribuidos a la exposición de largo plazo</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares</li><li>• Incidencia y prevalencia de enfermedades respiratorias crónicas (asma, EPOC, cambios patológicos crónicos)</li><li>• Cambios crónicos en funciones fisiológicas</li><li>• Enfermedad cardiovascular crónica</li><li>• Cáncer pulmonar</li><li>• Restricción en el crecimiento intrauterino (bajo peso en partos de término, retardo del crecimiento intrauterino, baja talla para la edad gestacional)</li></ul>

Fuente: OMS, 2006

La amplia gama de efectos en la salud asociados con la contaminación del aire se explica en parte por diferencias en la susceptibilidad hacia los contaminantes del aire, la que depende tanto del huésped como de factores ambientales. Los factores del huésped comprenden la edad, estado de salud, dieta y la carga genética. Los factores ambientales incluyen las características de la exposición así como las condiciones de vivienda y del vecindario (OMS, 2006).

Aparentemente la contaminación del aire ejerce mayores efectos adversos sobre los niños, los adultos mayores y aquellos con condiciones respiratorias preexistentes, como asma o enfisema. Los niños, por ejemplo, tienen frecuencias respiratorias más altas que los adultos y por esta razón una mayor absorción de contaminantes por unidad de peso corporal. Además, sus pulmones inmaduros podrían tener una capacidad metabólica limitada para hacerse cargo de estas exposiciones.

La evidencia actual indica que los efectos de las partículas en los sistemas respiratorio y cardiovascular pueden manifestarse por diversas vías, probablemente interrelacionadas, que envuelven el estrés oxidativo y la

inflamación. La evidencia también se acumula en apoyo de la existencia de un efecto de las partículas sobre el control autónomo cardíaco que lleva a variaciones en el ritmo cardíaco y arritmias en individuos susceptibles. Los mecanismos asociados al efecto de otros contaminantes no están estudiados tan a fondo. En cuanto a otros efectos en la salud, como la aparición de factores adversos asociados al embarazo, los mecanismos biológicos todavía no son claros (OMS, 2006).

La frecuencia con que ocurre un efecto de salud asociado a la contaminación del aire está inversamente relacionado con su severidad (OMS, 2000). Es por esto que en la presencia de exposición, la proporción de población afectada por los efectos menos severos es mayor que la proporción afectada por los efectos más severos (Figura 1).

Figura 1. Pirámide de efectos en salud asociados con la contaminación del aire.



Fuente: OMS, 2006

La causa de una enfermedad se define como el evento, condición o característica previa que fue necesaria para la ocurrencia de la enfermedad en el momento en que esta acontece, dado que otras condiciones se mantienen constantes (Rothman and Greenland, 1998). Una causa se denomina necesaria cuando debe estar presente en los individuos para que desarrollen la

enfermedad, pero su presencia no siempre conduce a la enfermedad (Last, 2001).

Muchos de los efectos en la salud asociados con la contaminación del aire se asocian también con otras causas. La ocurrencia de ataques de asma, por ejemplo, se ha relacionado con muchos factores. Uno de ellos es la contaminación del aire, otros factores son ejercicio, estado nutricional, falta de acceso a medicación, infecciones respiratorias, factores genéticos y tabaquismo de los padres.

Diferentes factores de riesgo desempeñan diferentes papeles en la causalidad. La contaminación del aire actuaría como factor desencadenante y conduciría a la ocurrencia de efectos agudos en individuos ya susceptibles. La contaminación del aire podría también actuar como factor facilitador y la exposición de largo plazo, incluso a niveles bajos, facilitar el desarrollo de cuadros crónicos.

Al realizar la vigilancia de los efectos en la salud de la contaminación del aire, la elección de indicadores debe considerar los elementos señalados más arriba.

## **Vigilancia de los efectos en salud de la contaminación del aire: Experiencia Regional**

El primer día del taller destacó las estrategias de vigilancia que han desarrollado varios países para ocuparse de los efectos en la salud de la contaminación del aire. Brasil, Chile, México y Estados Unidos (EEUU) son países en que se han implementado dichas iniciativas de vigilancia. Esta sección consta de un resumen de sus principales características (Tabla 1).

### *Población bajo vigilancia*

En Chile, la población bajo vigilancia comprendía a los residentes en la Región Metropolitana de Santiago. En México, la población constaba de una muestra representativa de los residentes en Ciudad de México. Ambas son zonas urbanas densamente pobladas cuya principal fuente de contaminantes del aire es la quema de combustibles fósiles.

En Brasil, la vigilancia se lleva actualmente a cabo en seis ciudades, cada una ubicada en un estado diferente. Las ciudades y sus correspondientes estados (entre paréntesis) son: Araucária (Paraná), Camaçari (Bahía), Canoas (Rio Grande do Sul), Área Metropolitana de São Paulo (São Paulo), Vitória (Espírito Santo) y Volta Redonda (Rio de Janeiro). Las fuentes de contaminantes varían. Las principales fuentes son instalaciones industriales, tránsito urbano, quema de biomasa y actividades mineras.

En EEUU la población bajo vigilancia constaba de residentes del Estado de Nueva York, Maine y Wisconsin. Cada estado informará sus resultados en forma separada. La vigilancia se realizará en todo el estado con una combinación de zonas urbanas y rurales. En relación con las fuentes de contaminantes, los datos de calidad del aire utilizados representan fuentes fijas importantes (instalaciones industriales), fuentes difusas (gasolineras, lavasecos), fuentes móviles vehiculares y no-vehiculares, y emisiones biogénicas.

### *Período de recolección de datos*

Los programas de vigilancia en Brasil y EEUU están en curso. El programa mexicano funcionó entre 1995 y 2001. La iniciativa de Chile consta de un análisis retrospectivo de efectos en el período 1997-2003.

### *Efectos en la salud bajo vigilancia y fuentes de datos*

Los efectos en salud bajo vigilancia varían. En Chile, los efectos evaluados son la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. En Brasil se registra también la morbilidad. En ambos países, los efectos bajo vigilancia abarcan la evaluación de grandes categorías de efectos con datos obtenidos de certificados de defunción o fichas de egresos hospitalarios. Una diferencia es que mientras la recolección de datos en Brasil se realiza en forma prospectiva, en Chile la recopilación de datos es retrospectiva.

En México y EEUU la morbilidad fue el efecto en la salud seleccionado y su evaluación se basó en efectos específicos y no en las grandes categorías de efectos utilizadas en Brasil y Chile. En México la vigilancia se basó en datos obtenidos en entrevistas personales; en cambio, en EEUU se obtienen en las fichas de egresos hospitalarios y de salas de urgencia.

#### *Riesgos bajo vigilancia y fuentes de datos*

En la mayoría de las zonas bajo vigilancia hay sistemas de monitoreo del aire que recolectan concentraciones ambientales de contaminantes según varios criterios (por ejemplo, partículas, ozono, monóxido de carbono, dióxido de azufre, o dióxido de nitrógeno). Todos los sitios contarían con disponibilidad de datos sobre concentraciones de partículas. La disponibilidad de datos de otros contaminantes varía de un lugar a otro.

En la iniciativa de EEUU se utilizarán datos satelitales y modelos de la calidad del aire para obtener datos de concentraciones de las zonas del estado donde no se dispone de monitoreo del aire.

#### *Análisis de datos*

En contraste con el enfoque más tradicional de vigilancia, en que el análisis de datos consistía en informar las tasas de mortalidad y morbilidad, estas iniciativas generarán estimaciones del riesgo de enfermedad o muerte relacionadas con la exposición a la contaminación del aire. Para esto se usa modelos de regresión multivariados.

#### *Otras iniciativas*

Aunque este reporte está enfocado en las iniciativas de vigilancia realizadas en la Región, hay otras iniciativas, no analizadas durante el taller, que vale la pena mencionar. Estas incluyen: 1) Programa Nacional de Seguimiento en Salud Ambiental del Centro de Control de Enfermedades de Atlanta ([www.cdc.gov/nceh/tracking/](http://www.cdc.gov/nceh/tracking/)); 2) Contaminación de Aire y Salud: Un Sistema de Información Europeo ([www.apheis.net](http://www.apheis.net)), 3) Sistema de Información en Salud y Ambiente de la Oficina de Europa de la Organización Mundial de la Salud ([www.euro.who.int/EHindicators](http://www.euro.who.int/EHindicators)).

Tabla 2. Experiencia Regional

<i>País</i>	<i>Población bajo vigilancia</i>	<i>Período de recolección de datos</i>	<i>Efectos en salud bajo vigilancia</i>	<i>Fuentes de datos</i>	<i>Riesgos o exposición bajo vigilancia</i>	<i>Fuentes de datos</i>	<i>Análisis de datos</i>
Brasil	Araucária Camaçari Canoas Área Metropolitana de Sao Paulo Vitória Volta Redonda	Iniciado en 2004	Mortalidad por enfermedades respiratorias (niños, adulto mayor)  Ingreso hospitalario por enfermedades cardiovasculares (adulto mayor)  Ingreso hospitalario por enfermedades respiratorias (niños, adulto mayor)	Certificados de defunción, egreso hospitalario	PM <sub>10</sub>	Monitores del aire	Series de tiempo
Chile	Residentes del Área Metropolitana de Santiago	1997-2003	Mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (todas las edades)	Certificados de defunción	Contaminantes criterio	Monitores del aire	Series de tiempo
México	Muestra representativa de residentes del Área Metropolitana de Ciudad de México	1995-2001	<i>Efectos agudos</i> resfriados tos seca tos con expectoración dolor de garganta disnea disfonía	Entrevistas personales	PM <sub>10</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>	Monitores del aire	Regresión logística

			ruidos pulmonares cefalea irritación ocular ardor ocular prurito ocular inyección ocular ojos lacrimosos  <i>Efectos crónicos</i> bronquitis enfisema asma				
EEUU	Residentes de Maine, Estado de Nueva York y Wisconsin	2001	Crisis asmática (niños, adulto mayor)  Infarto al miocardio (adulto mayor)	Egreso hospitalario, departamento de urgencia	PM <sub>2.5</sub> , O <sub>3</sub>	Monitores del aire, Modelos de calidad del aire (datos satelitales - a futuro)	Case-crossover

## Desafíos conceptuales y operativos

La realización de vigilancia para evaluar los efectos en la salud de la contaminación del aire presenta numerosos desafíos. A continuación se enumeran los elementos que es preciso considerar al planificar el desarrollo de un sistema de vigilancia.

### **1. No hay un modelo vigilancia estándar para abordar los efectos en la salud de la contaminación del aire**

La revisión de las experiencias Regionales mostró una diversidad de enfoques en la implementación de la vigilancia. Sus características particulares dependieron de numerosos factores, entre ellos la disponibilidad de datos sobre salud y contaminación del aire.

- *Fuentes de datos*

La vigilancia puede ser activa o pasiva. La vigilancia activa significa la identificación directa y sistemática (o el seguimiento) de individuos con el fin de determinar la ocurrencia del evento bajo vigilancia. La información se recopila habitualmente por medio de entrevistas personales estructuradas o cuestionarios auto-administrados a intervalos determinados.

La realización de entrevistas personales es intensiva en el uso de recursos, aunque la información que se obtiene por este medio es generalmente más completa y específica frente a las metas de la vigilancia.

En Ciudad de México funcionó un sistema de vigilancia activo entre 1995 y 2001. La recolección diaria de efectos en la salud mediante entrevistas personales se realizó con una muestra de residentes dentro de un radio de 2 Km. de las estaciones de monitoreo del aire en la Cuenca de Ciudad de México. Se realizó un promedio de 290 entrevistas diarias para toda la Cuenca que incluyó 74.000 hogares. La muestra se amplió durante períodos de alta contaminación (Sanchez-Carrillo, 2003).

En cambio, la vigilancia pasiva consiste en la recepción de informes sobre la ocurrencia del evento bajo vigilancia ante la solicitud de atención médica en hospitales, salas de urgencia o consultorios, o cuando se registra en los certificados de defunción. Normalmente se emplea un formulario de notificación para asegurar la uniformidad del proceso de reporte.

Este método exige menos recursos, sin embargo el uso de datos generados con fines distintos de la investigación tiene limitaciones. Al integrarse o compararse datos similares, pero de diferentes fuentes, pueden haber diferencias en el diagnóstico, registro y reporte. Los registros de egresos hospitalarios y de departamentos de urgencias excluyen los casos menos severos que no requieren atención médica. Además, los datos provenientes de bases de datos secundarias pueden no ser representativos de la población expuesta o no estar disponibles para el evento de salud de interés.

Otro problema con el uso de bases de datos secundarias es la oportunidad, porque estos datos no están disponibles habitualmente en el momento presente. Los datos de registros siempre se evalúan con cierta tardanza y podría no ser útiles para la predicción. Son mas bien útiles para las variaciones temporales (Choi, 2000).

Con excepción de México, los países utilizaron un enfoque de vigilancia pasivo para la recopilación de datos. En Brasil la recolección de datos fue prospectiva, y retrospectiva en Chile y EEUU.

- *Análisis de Datos*

Como se mencionó previamente en este documento, el análisis de datos que se utiliza con más frecuencia en la vigilancia “tradicional” es la estimación de la medición absoluta de la ocurrencia de enfermedad. Esto es, las tasas de incidencia o prevalencia, o las tasas de mortalidad.

En la realización de vigilancia de efectos en la salud de la contaminación del aire, la sola estimación de mediciones absolutas de la ocurrencia de enfermedad podría enmascarar la verdadera relación entre la contaminación del aire y los efectos en la salud, y por tanto necesitar un análisis más complejo.

A comienzos del siglo pasado, hubo aumentos marcados en mortalidad y morbilidad después de episodios de corto plazo con niveles extremadamente altos de contaminación del aire. Las distribuciones de frecuencia de concentraciones de contaminantes y el número de muertes fueron los análisis de datos que se utilizaron para corroborar estas correlaciones con bastante claridad (OMS, 2006).

Luego de reducciones en las concentraciones de contaminación del aire durante la segunda mitad del siglo pasado, parecía que la contaminación del aire no representaba efectos perjudiciales para la salud. De hecho, estudios realizados durante las décadas de 1960 y 1970 planteaban que los niveles de contaminación del aire de aquella época eran inocuos. El aumento en las capacidades computacionales, que a su vez ayudó al desarrollo y aplicación de técnicas estadísticas más sensibles, demostró a poco andar la presencia de efectos en la salud con niveles inferiores a los que tradicionalmente se consideraban inocuos. (OMS, 2006).

La experiencia Regional sugiere que la vigilancia de efectos en la salud de la contaminación del aire debe abarcar la recolección de datos tanto de salud como de contaminantes, y la estimación de medidas de asociación en vez de las tasas de mortalidad o morbilidad. En los ejemplos de la Región, el análisis de datos consistió en la estimación de medidas de asociación. México utilizó modelos de regresión logística para estimar la asociación entre la contaminación del aire y los episodios bajo vigilancia. Chile y Brasil están utilizando métodos basados en series de tiempo, y en EEUU se está planificando el uso de métodos de *case-crossover*.

Las técnicas de series de tiempo estiman la influencia de las variaciones temporales, normalmente variaciones diarias, en concentraciones de contaminantes del aire, sobre la mortalidad y la morbilidad. Estos modelos estadísticos vinculan los recuentos diarios de eventos de salud en una población geográficamente definida, con mediciones diarias de contaminación del aire y otras variables dependientes del tiempo. Son análisis retrospectivos de base poblacional (OMS, 2006).

El análisis de los efectos en la salud de la contaminación del aire exige la implementación de técnicas avanzadas de análisis de datos. Es esencial disponer de personal capacitado y de los paquetes estadísticos apropiados.

También exige la colaboración de las instituciones generadoras de datos de la calidad del aire. Además, las necesidades de capacitación del personal comprenden la capacidad de manejar los datos de contaminación del aire y de transformar estos para el análisis.

## **2. Selección de indicadores**

Habitualmente, el motivo para desarrollar un sistema de vigilancia es la sospecha de que cierta enfermedad es muy prevalente en una población y que es importante prevenir o reducir su incidencia. Los motivos para la implementación de vigilancia son, entre otros, una alta tasa de letalidad, como la que se observa para la influenza aviar, o la disminución de la calidad de vida y los mayores costos de la atención de salud en enfermedades crónicas como la enfermedad cardiovascular o el cáncer. En estos casos, la variable indicadora elegida es la enfermedad en cuestión.

La vigilancia de factores de riesgo evitables en enfermedades muy prevalentes, como la obesidad y el tabaquismo, también cumple un papel importante en las acciones de salud pública. Inducir cambios hacia hábitos y comportamientos más saludables es un componente esencial de la prevención primaria. En estos casos, la variable indicadora elegida es el hábito o comportamiento en cuestión.

Los contaminantes ambientales son también factores de riesgo de enfermedades, aunque la motivación para poner en marcha una operación de vigilancia de efectos en la salud asociados con la exposición ambiental se desarrolla en forma distinta. Se basa en informes de que una población ha estado expuesta a un agente ambiental el cual se conoce que puede causar un impacto adverso en salud. Por tanto, su papel es proporcionar evidencia sobre la ocurrencia de efectos en la salud que están específicamente asociados a la exposición referida.

Al realizar vigilancia sobre efectos en la salud de la contaminación ambiental, un primer paso en la elección de un indicador es tener una comprensión acabada de las circunstancias de exposición de la población objetivo así como de las características del indicador.

- *Entendiendo las condiciones de exposición*

La población objetivo en la vigilancia debe componerse de los individuos expuestos. Por eso es indispensable tener una comprensión acabada del potencial de exposición de la población de interés. Una clasificación incorrecta de la exposición puede conducir a la generación de conclusiones erróneas acerca del problema en estudio.

Comprender el concepto de dosis es clave para hacer frente a la exposición a contaminantes del aire. La dosis es la cantidad de la sustancia presente para interactuar con procesos metabólicos o receptores biológicamente significativos luego de cruzar una barrera de absorción específica (epidermis, intestino, tracto respiratorio) (Last, 2001). La dosis depende tanto de la concentración de la sustancia como de la duración de la exposición y de su frecuencia.

En la epidemiología de la contaminación del aire se utilizan diversos enfoques para establecer la carga de exposición. Es importante reconocer que en muchas ocasiones no se conoce cual es la dosis verdadera. La carga de exposición es mas bien utilizada como un sustituto de la dosis. El uso de datos provenientes de estaciones de monitoreo es el método mas utilizado para estimar la carga de exposición a contaminantes del aire.

El monitoreo de calidad de aire provee información sobre la concentraciones de contaminantes en el ambiente del sujeto. Esta es una medida indirecta de la dosis porque se refiere a la exposición potencial. El uso de monitores personales de calidad del aire o de marcadores biológicos que representan el ingreso y la dosis absorbida, respectivamente, son mejores aproximaciones de la dosis real a la que esta expuesta un sujeto; pero estos métodos son intensivos en recursos y no es viable su aplicación en poblaciones muy numerosas

La contaminación del aire tiende a variar dentro de la misma área geográfica y conduce a diferentes potenciales de exposición en los individuos que viven en la misma área. Algunas fuentes de variación incluyen patrones meteorológicos de contaminantes y la distribución espacial de las fuentes de contaminantes.

- *Elementos asociados con la elección de indicadores*

Una vez comprendida la exposición, es importante identificar lo que reporta la literatura científica sobre sus efectos en la salud. La elección de indicadores de salud debe basarse en el mejor conocimiento científico disponible.

Como se señaló, la literatura científica actual ha informado de una amplia gama de efectos asociados con la contaminación. Como se dijo, esto se explica en parte por las diferentes susceptibilidades a los contaminantes del aire, que dependen tanto del huésped como de factores ambientales.

Ciertas experiencias de vigilancia de la Región como las realizadas en Brasil y Chile, optaron por la mortalidad como el indicador. Los datos de mortalidad se registran de rutina y se informan en la mayoría de las poblaciones dentro de un enfoque relativamente estandarizado que facilita su uso (OMS, 2006).

En experiencias de vigilancia en México y EEUU, y también en Brasil, se utilizaron datos de morbilidad. En México, los datos para la vigilancia se generaron mediante entrevistas personales. En EEUU y Brasil se obtienen de bases de datos secundarias. Los ingresos hospitalarios y a sala de urgencia también se registran e informan en muchas poblaciones. Otros datos de morbilidad rara vez se encuentran disponibles y se necesita realizar recolección primaria para obtenerlos.

Como regla general, los indicadores deben ser sencillos, fáciles de obtener y de costo razonable. Por estos motivos, la disponibilidad de los datos es el principal impulsor en la elección de los indicadores. Un inconveniente es que el uso de fuentes secundarias de datos reduce la elección de indicadores a lo que se encuentra disponible y no a lo más deseable.

Los indicadores deben además originarse en datos de buena calidad. Como se dijo anteriormente, podría haber dificultades con bases de datos secundarias. Cuando se planifica el uso de registros de mortalidad o de morbilidad, se debe realizar una evaluación para determinar pertinencia y completitud.

A falta de datos de buena calidad, se debe considerar la recolección de datos primarios. Evidentemente, la factibilidad de la recolección dependerá de los recursos disponibles. Estudios de panel o vigilancia centinela son algunos diseños que se pueden implementar para abordar la morbilidad cuando se necesita recolección de datos primarios.

Al escoger indicadores importa comprender que la frecuencia con que ocurre un efecto en la salud asociado con la exposición a la contaminación del aire es inversamente proporcional a su gravedad (OMS, 2000). Por tanto, en presencia de exposición, la proporción de población afectada por resultados menos graves es mucho mayor que la proporción afectada por los resultados más graves (Figura 1).

Cuando el análisis de los datos se basa en los efectos más graves y la proporción de población expuesta es pequeña, puede que no haya potencia suficiente para obtener resultados estadísticamente significativos debido a lo reducido de los números.

Se prevé que los indicadores covaríen con la presencia del factor de riesgo pertinente. De hecho, la eliminación del factor de riesgo debe conducir a la reducción del efecto. Como se dijo antes, diferentes factores de riesgo cumplen diferentes funciones en causalidad, y es importante comprender estas diferencias al elegir indicadores de efecto. Por ejemplo, se han formulado hipótesis acerca de la contaminación del aire como factor

desencadenante y también como factor facilitador. Tal vez efectos atribuidos a la exposición de corto plazo, en que es más probable que la contaminación del aire actúe como factor desencadenante, ilustra de mejor manera la correlación.

Al escoger indicadores es esencial considerar la naturaleza multifactorial de los efectos en la salud relacionados con exposiciones a la contaminación del aire. Hay varios otros factores de riesgo también vinculados con la causalidad de la enfermedad. Frecuentemente el efecto de éstos, como lo sugiere el tamaño de las medidas de asociación reportadas en los estudios epidemiológicos, sea aún mayor que los observados para la contaminación del aire.

Cuando concurren diversas causas del efecto bajo estudio que son muy prevalentes en la población objetivo, el indicador pueden no ser tan específico para el factor en estudio. En comparación con otros, el enfoque de vigilancia “tradicional” pudiera ser incapaz de distinguir entre los efectos de la contaminación del aire y los relacionados con los demás factores de riesgo. Por tanto, este enfoque puede conducir a la generación de conclusiones erróneas acerca de los efectos de la contaminación del aire.

### **3. Reflexiones sobre el reporte de resultados**

Al planificar una vigilancia es indispensable identificar cuál es la frecuencia más apropiada para los informes. Esto se relaciona tanto con el episodio bajo vigilancia como los métodos utilizados para implementar la vigilancia.

La vigilancia de enfermedades infecciosas, por ejemplo, exige la realización rápida y continua de la recolección, análisis e interpretación de los datos. Los informes son habitualmente semanales.

Por otra parte, la vigilancia de factores de riesgo se realiza mediante estudios anuales de prevalencia de base poblacional. Lleva más tiempo modificar los hábitos y conductas, y una recolección semanal de datos no mostraría ningún cambio sustantivo en respuesta a medidas de prevención.

Las experiencias Regionales implementaron la vigilancia de efectos en salud de la contaminación del aire mediante estudios transversales poblacionales para investigar los efectos atribuidos a exposiciones de corto plazo. Estos estimaron la influencia de variaciones temporales en las concentraciones de contaminantes del aire sobre la mortalidad o morbilidad en un plazo específico.

Los métodos utilizados en las experiencias Regionales conducen al informe de una estimación del riesgo y no un número semanal de eventos o tasas de prevalencia anual. Una pregunta que surge es si esta metodología es apropiada para la generación de estimaciones periódicas del riesgo, como las anuales o bianuales, y tratar de graficarlas para tomar en cuenta los cambios en el tiempo.

Para comenzar, en poblaciones más pequeñas un año de datos podría no ser suficiente para garantizar la potencia estadística. En poblaciones pequeñas la generación de los estimados de riesgo puede requerir varios años de datos. Otro asunto importante es la variabilidad en las estimaciones del riesgo debida al error aleatorio. Al compararse estimaciones periódicas sería difícil separar la variación que se debe al error aleatorio de la variación relacionada con acciones preventivas. En la epidemiología de la contaminación del aire este asunto es muy importante porque el tamaño de la asociación es relativamente pequeño.

## Resumen Final

- La vigilancia “tradicional” basada en la población desempeña un papel importantísimo en el ejercicio de la salud pública. La recolección y evaluación de datos en salud brinda apoyo a las autoridades de salud para la toma de decisiones basadas en evidencia. Hay limitaciones metodológicas para utilizar este enfoque frente a los efectos en la salud de la contaminación del aire. Estos se deben comprender y enfrentar bien.
- Hoy también es necesaria la recolección sistemática de información sobre riesgos ambientales como las concentraciones de contaminantes del aire. Esto incluye datos sobre concentraciones de contaminantes e inventarios de emisiones y fuentes.
- Las normas de calidad del aire se basan en datos humanos; es decir, los resultados de estudios epidemiológicos y exposición humana (toxicológicos). El fundamento de la normativa y su cumplimiento debe ser el logro de estas normas y la vigilancia de efectos en la salud no es un sustituto comprobado.
- Es preciso aplicar técnicas estadísticas sensibles para tratar los efectos en la salud de la contaminación del aire. Tal vez se deban realizar estudios de exposición de corto plazo, como estudios de panel o *case-crossover* en lugar de la vigilancia “tradicional”.
- La elección de indicadores depende de numerosos factores, entre ellos la disponibilidad y calidad de la información, los recursos disponibles y la capacidad para alcanzar poder estadístico.
- Los efectos en salud y los datos de contaminación del aire que se necesitan para abordar estos efectos en la salud no se encuentran en un solo sector o institución. Es necesario procurar la colaboración interdisciplinaria e interinstitucional.
- Abordar los factores sociales y culturales relacionados con la producción de la contaminación del aire, que no se evalúan habitualmente como parte de los efectos en salud o el análisis económico puede ser beneficioso. Esto proporcionaría información adicional con la cual profundizar la comprensión de la relación entre salud humana, factores ambientales y acciones preventivas.

## Referencias

Cohen AJ, Anderson HR, Ostro B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Kuenzli N, Gutschmidt K, Pope CA, Romieu I, Samet JM, Smith K (2004). Mortality impacts of urban air pollution. En: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL, eds. Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, Vol. 2. 2004 (p. 1353-1433)

Choi BCK. Perspectives on epidemiologic surveillance in the 21<sup>st</sup> century. *Chronic Diseases in Canada* 2000;19:145-151.

Corvalán C, Briggs D, Zielhuis G. Decision-making in environmental health: from evidence to action. Organización Mundial de la Salud. 2000

Gouveia N, Maisonet M. Health effects of air pollution. En: Organización Mundial de la Salud. *WHO Air Quality Guidelines:2005 update*. Holanda, 2006. (en revisión)

HEI Accountability Working Group. 2003. Assessing Health Impacts of Air Quality Regulations: Concepts and Methods for Accountability Research. Communication 11. Health Effects Institute, Boston MA.

Last JM. A dictionary of epidemiology. Oxford University Press. New York, 2001.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). An Assessment of Health Effects of Ambient Air Pollution in Latin America and the Caribbean. Organización Panamericana de la Salud, Santiago; Chile 2005.

Sanchez Carrillo CI, Ceron Mireles P, Rojas Martínez MR, Mendoza Alvarado L, Olaiz Fernandez G, Borja Aburto VH. Surveillance of acute health effects of air pollution in Mexico City. *Epidemiology* 2003;14:536-544.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution. Organización Mundial de la Salud: Holanda, 2000.

## Apéndice I – Programa del Taller



Secretaria de  
Vigilância em Saúde

Ministério  
da Saúde



### DESAFÍOS METODOLÓGICOS EN LA VIGILANCIA DE EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EXTERIOR

AGENDA	
28/11/2005	08:30h Cesi3n de apertura – Presentaci3n de los participantes
	09:00h a 13:00h – Presentaciones <b>Contexto Internacional y Latino Americano de los efectos en Salud de la Contaminaci3n del Aire</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Introducci3n a la Reuni3n y Perspectiva Latino Americana – Mildred Maisonet</i></li> <li>• <i>Carga de Enfermedad por la Contaminaci3n del Aire Urbano – Aaron Cohen</i></li> </ul> <b>Vigilancia en Am3rica Latina – Experiencia de los Países</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Brasil – Desarrollo de Vigilancia de Salud Ambiental en relaci3n a la Calidad del Aire en el Sistema de Informe de Salud de Brasil – Guilherme Franco Netto</i></li> <li>• <i>Chile - Indicadores de calidad del aire relacionados a la salud – Claudia Blanco</i></li> <li>• <i>M3xico – Vigilancia de los Efectos Graves en Salud por la Contaminaci3n del Aire en Ciudad de M3xico – Victor Borja</i></li> <li>• Debate</li> </ul>
	13:00h a 14:30h – Almuerzo
29/11/2005	14:30h a 17:30h – Presentaciones <b>Otras Iniciativas Relacionadas a la Evaluaci3n de los Efectos en Salud por Contaminaci3n del Aire</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Center for Disease Control and Prevention (CDC) – Public Health Air Surveillance Evaluation Project (PHASE) – Vickie Boothe: <b>Teleconferencia</b></i></li> <li>• <i>Estudio Internacional del Asma y Alergias en la Niñez - Estudios de Prevalencia – ISAAC en Am3rica Latina – Javier Mallol (<b>cancelled</b>)</i></li> <li>• <i>Swisscontact – Desarrollo de las Capacidades de Monitoreo del Aire en Am3rica del Sur y Central – Jon Bickel</i></li> <li>• <i>Brasil – Estudio en varias ciudades de la Contaminaci3n del Aire y Efectos en Salud en Am3rica Latina – Nelson Gouveia</i></li> <li>• Debate</li> </ul>
	09:00h a 13:00h – Grupos de Trabajo
	13:00h a 14:30h – Almuerzo
	14:30h a 17:00h – Sesi3n Plenaria
	17:00h - Cierre

## **Apéndice II – Lista de participantes**

### **BRASIL**

BARRETO, Salzano  
Departamento de Salud Estatal

FREITAS, Clarice Umbelino de  
Secretaria de Salud del Estado de Sao Paulo

GOUVEIA, Nelson  
Universidad de Sao Paulo

HACON, Sandra  
Fundación Oswaldo Cruz

JUNIOR, Cicero Dedice de Góes  
Ministerio de Salud

LEAL, Ana Paula Pinho Rodrigues  
Ministerio de Salud

LINHARES, Ana Cristina Soares  
Ministerio de Salud

MARTINS, Lourdes Conceição  
Universidad de Sao Paulo

NETTO, Guilherme Franco  
Ministerio de Salud

SANTOS, Carlos Alberto Ferreira dos  
Ministerio del Medio Ambiente

SANTOS, Cleide Moura dos  
Ministerio de Salud

SALDIVA, Paulo Hilário  
Universidad de Sao Paulo

SILVA, Lorenza Alberici da  
Ministerio del Medio Ambiente

STARON, Telma Lis Maranhão Pinto  
Departamento de Salud Estatal

### **CHILE**

BLANCO, Claudia  
Comisión Nacional del Medio Ambiente

CAMELIO, Carolina  
Ministerio de Salud

FOLCH, Walter  
Ministerio de Salud

### ***MEXICO***

BORJA, Víctor  
Instituto Mexicano del Seguro Social

GONZÁLEZ, Guadalupe de la Luz  
Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios

### ***ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD***

MAISONET , Mildred  
Área de Desarrollo Sustentable y Salud Ambiental

ESCAMILLA, José  
Representación OPS/OMS de Brasil

### ***PANAMÁ***

ARAÚZ, David  
Ministerio de Salud

### ***PERÚ***

BICKEL, Jon  
Fundación Suiza para la Cooperación Técnica

NAYHUA, Laura  
Ministerio de Salud

LOMBARDI, Gina  
Consejo Nacional del Medio Ambiente, CONAM

TALAVERA, Eduardo  
Consejo Nacional del Medio Ambiente, CONAM

### ***ESTADOS UNIDOS***

BOOTHE, Vickie  
Centros de Control y Prevención de Enfermedades

COHEN, Aaron  
Instituto de Efectos en Salud