

Guías para la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud

Presentación

Los logros obtenidos en la gestión de la calidad del aire, en muchos países en desarrollo, respaldan su creciente bienestar económico y social. Se ha comprobado también que la adecuada gestión de la calidad del aire mejora la salud pública, ya que la contaminación está asociada con el incremento de pacientes ambulatorios, de ingresos a hospitales y de mortalidad debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Estimados recientes del aumento de mortalidad diaria indican que en una escala mundial, la causa de 4 a 8% de las muertes prematuras se debe a la exposición a partículas en ambientes exteriores e interiores. Es más, alrededor de 20 a 30% de todas las enfermedades respiratorias ocurren por la contaminación del aire en exteriores e interiores, especialmente en los últimos. Se supone que sin aire limpio, el desarrollo económico adecuado se vuelve prácticamente imposible y los conflictos sociales, inevitables.

Si bien ha habido un gran avance en la elaboración de los planes de acción para mejorar la calidad del aire en zonas urbanas, especialmente en países desarrollados, un considerable número de personas que viven en áreas urbanas –alrededor de 1,5 mil millones o 25% de la población mundial– aún está expuesta a altas concentraciones de compuestos gaseosos y partículas en el aire que respiran. Actualmente, la quema de biomasa para la cocina y calentamiento en interiores expone a cerca de 2 mil millones de personas a concentraciones muy elevadas de partículas en suspensión, 10 a 20 veces más que las concentraciones ambientales reportadas en las limitadas mediciones disponibles. Otras fuentes de contaminación del aire son las emisiones industriales y de vehículos, así como los incendios de vegetación. Además, la tasa de crecimiento de la población continúa en aumento y es probable que llegue al máximo alrededor del año 2000, lo cual duplicaría la población mundial a mediados del siglo 21. El mayor crecimiento de la población ocurrirá en los países de bajos ingresos y afectará aún más la ya inadecuada infraestructura y la capacidad técnica y financiera. De manera similar, el proceso de urbanización continuará, de tal manera que la proporción de la población mundial que vive en las ciudades aumentará de 45% a 62% en el año 2025, lo cual creará densos centros de emisiones antropogénicas.

El objetivo principal de las *Guías para la calidad del aire*, de la OMS, es proteger la salud pública de los efectos de la contaminación del aire y eliminar o minimizar la exposición a contaminantes peligrosos. Las Guías se han elaborado para ayudar a los gobiernos en la preparación de sus normas legales de calidad del aire y para orientar a las autoridades y profesionales de la salud y el ambiente que se encargan de proteger a la población de los efectos perjudiciales de la contaminación del aire.

La Agenda 21, en el capítulo 6 sobre los riesgos para la salud derivados de la contaminación ambiental, señala:

En los programas de acción nacionales que reciben asistencia, apoyo y coordinación internacionales, se debería incluir, cuando se requiera, lo siguiente:

(a) *Contaminación del aire en zonas urbanas:*

(i) *Desarrollo de la tecnología adecuada para combatir la contaminación, basada en la evaluación de riesgos e investigación epidemiológica, con miras a introducir procesos de producción ambientalmente racionales y un sistema de transporte de masas adecuado y seguro.*

(ii) *Desarrollo de la capacidad de control de la contaminación del aire en las grandes ciudades, con énfasis en los programas de fiscalización y el uso de redes de vigilancia, donde sea apropiado.*

(b) *Contaminación del aire en interiores:*

(i) *Apoyo a la investigación y desarrollo de programas para la aplicación de métodos de prevención y control, incluidos los incentivos económicos para la instalación de tecnología adecuada, a fin de reducir la contaminación en interiores.*

(ii) *Organización de campañas de educación sanitaria, especialmente en países en desarrollo, para disminuir las repercusiones del uso doméstico de biomasa y carbón en la salud.*

Las *Guías para la calidad del aire*, de la OMS, deben ayudar a reducir en gran medida la carga de mortalidad excesiva e incapacidad previsible que padecen las personas de bajos recursos. También deben ayudar a combatir las amenazas potenciales para la salud debido a las crisis económicas, ambientes insalubres y comportamiento peligroso. En este sentido, las *Guías* cumplen dos de los retos clave del Informe de Salud Mundial de 1999 y, por lo tanto, contribuyen a que la salud sea un derecho humano fundamental.

Dr. Richard Helmer
Director, Departamento de Protección Ambiental

Prólogo

Los riesgos para la salud humana debido a la contaminación del aire se han evaluado desde los años cincuenta y los valores guía se establecieron en 1958. En 1987, la Oficina Regional de la OMS para Europa (EURO, por su sigla en inglés) publicó las *Guías para la calidad del aire de Europa*. Desde 1993, esas guías se han revisado y actualizado. En una reunión reciente del Grupo de Trabajo de Expertos convocada en diciembre de 1997 en Ginebra, Suiza, la cobertura y aplicación de las Guías se extendió en una escala global y los temas de evaluación y control de la calidad del aire se abordaron más detalladamente. Las *Guías para la calidad del aire*, de la OMS, son el resultado de las deliberaciones consensuales del Grupo de Trabajo de Expertos de la OMS.

Las *Guías para la calidad del aire* constituyen el cimiento para proteger la salud pública de los efectos adversos de los contaminantes ambientales y para eliminar o minimizar los contaminantes conocidos o probablemente peligrosos para la salud y el bienestar humano. Esto se logra mediante la provisión de información y orientación a los gobiernos para que tomen decisiones sobre la gestión de riesgos, en particular, al momento de establecer normas. También ayuda a los gobiernos a implementar medidas de control de la contaminación del aire en el nivel local.

Los valores de las *Guías para la calidad del aire*, de la OMS, son niveles de contaminación del aire por debajo de los cuales la exposición durante toda la vida o por un tiempo promedio determinado, no constituye un riesgo significativo para la salud. Si estos límites se exceden en el corto plazo, no significa que los efectos adversos ocurran automáticamente, sin embargo, el riesgo de estos efectos se incrementa. Si bien los valores de las *Guías para la calidad del aire* son niveles basados en el ambiente o la salud, no son normas *per se*. Las normas de calidad del aire son guías de calidad promulgadas por los gobiernos y pueden considerar factores adicionales. Por ejemplo, niveles de exposición predominantes, contaminación natural de fondo, condiciones ambientales tales como temperatura, humedad y altitud y factores socioeconómicos.

Cuando las *Guías para la calidad del aire* se convierten en normas, la política debe determinar aspectos tales como qué proporción de la población general y qué grupos susceptibles deben ser protegidos. También deben considerarse los asuntos legales; una definición de los efectos adversos; una descripción de la población en riesgo; la relación exposición-respuesta; la caracterización de la exposición; la evaluación de riesgos y su aceptabilidad y los costos financieros del control de la contaminación del aire y sus beneficios.

La preparación de las *Guías para la calidad del aire* responde a la necesidad de tomar acción respecto a la contaminación del aire en el nivel local y a la necesidad de mejorar la legislación, manejo y orientación en los ámbitos nacionales y regionales. A la OMS le complacerá que estas *Guías* se usen ampliamente. Se realizarán esfuerzos continuos para mejorar su contenido y estructura. Se apreciaría que los usuarios de las *Guías* aportaran retroalimentación y sus propias experiencias. Sus comentarios y sugerencias sobre las *Guías para la calidad del aire* las puede dirigir al Department of Protection of the Human Environment, Occupational and Environmental Health, World Health Organization, Ginebra, Suiza (Fax: +41 22-791 4123, dirección electrónica: schwelad@who.int).

Agradecimientos

La OMS agradece a todas las personas que contribuyeron en la preparación de las *Guías para la calidad del aire*. El grupo internacional y multidisciplinario de colaboradores y revisores se presenta en la "Lista de participantes" en el anexo 5. Se reconoce especialmente a los presidentes de la reunión y participantes de la reunión del Grupo de Trabajo de Expertos de la OMS, realizada en Ginebra, Suiza en diciembre de 1997: Dr. Robert Maynard, quien actuó como presidente de la sesión, profesor Morton Lippmann y profesor Bernd Seifert, quienes presidieron los tres grupos de trabajo. También se agradece al Dr. Frank Murray, quien actuó como relator de la sesión y revisó la versión preliminar. Asimismo, se reconoce a aquellos que contribuyeron con los documentos base y fueron responsables del éxito de la reunión de expertos de la OMS.

Prof. Dr. Ursula Ackermann-Liebrich, University of Basel, Suiza
Dr. Amrit Aggarwal, National Environmental Engineering Research Institute, Nagpur, India
Sr. Jonathan Bower, AEA Technology, Culham, Reino Unido
Dr. Bingheng Chen, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
Dr. Mostafa El-Desouky, Ministerio de Salud, Kuwait
Dr. Ruth Etzel, Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA, Estados Unidos
Dr. Hidekazu Fujimaki, National Institute for Environmental Studies, Ibaraki, Japón
Dr. Kersten Gutschmidt, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
Dr. Richard Helmer, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
Dr. Michal Krzyzanowski, WHO European Centre for Environment & Health (ECEH), De Bilt, Países Bajos
Dr. Rolaf van Leeuwen, WHO European Centre for Environment & Health (ECEH), De Bilt, Países Bajos
Sr. Gerhard Leutert, Federal Office of Environment, Forests and Landscape, Bern, Suiza
Prof. Morton Lippmann, New York University Medical Center, Tuxedo, NY, Estados Unidos
Sra. Angela Mathee, Eastern Metropolitan Substructure (Johannesburgo), Sandton, Sudáfrica
Dr. Robert L. Maynard, Department of Health, Londres, Reino Unido
Prof. Frank Murray, Murdoch University, Murdoch, Australia
Prof. Mahmood Nasralla, National Research Centre, Dokki, El Cairo, Egipto
Dr. Roberto Romano, Organización Panamericana de la Salud/Oficina Regional de la OMS para las Américas, Washington, D.C, Estados Unidos
Dr. Isabelle Romieu, Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA, Estados Unidos
Dr. Dieter Schwela, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
Prof. Bernd Seifert, Institute for Water, Soil & Air Hygiene, Federal Environmental Agency, Berlín, Alemania
Dr. Bimala Shrestha, WHO Representative's Office, Kathmandu, Nepal
Prof. Kirk Smith, University de California, Berkeley, CA, Estados Unidos
Dr. Yasmin von Schirnding, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
Prof. Gerhard Winneke, Univerität Düsseldorf, Alemania
Dr. Ruqiu Ye, National Environmental Protection Agency, Beijing, República Popular China
Dr. Maged Younes, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.

Se agradece especialmente al Ministerio del Ambiente, Bonn, Alemania, y a la Federal Office of Environment, Forests and Landscape, Berna, Suiza, por el apoyo financiero para convocar a la reunión del Grupo de Trabajo de Expertos de la OMS en Ginebra, Suiza, en diciembre de 1997, a fin de elaborar las Guías.

Resumen ejecutivo

Introducción

La contaminación del aire es un problema de salud ambiental importante que afecta a países desarrollados y en desarrollo de todo el mundo. En una escala global, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de gases y partículas potencialmente nocivas, lo cual afecta la salud humana y el ambiente. Asimismo, daña los recursos necesarios para el desarrollo sostenible del planeta a largo plazo.

Existen tres fuentes de contaminación del aire provenientes de actividades humanas: fuentes estacionarias, móviles e interiores. En los países en desarrollo, la contaminación del aire en interiores debido al uso de quema de biomasa para cocinar y calentar alimentos puede representar un problema grave. Se ha estimado que cerca de 1,9 millones de personas mueren anualmente debido a la exposición a concentraciones altas de partículas suspendidas en interiores, mientras que la mortalidad excesiva debido a partículas suspendidas y dióxido de azufre en exteriores alcanza a 500.000 personas anualmente. Si bien los datos sobre aire en ambientes interiores son escasos debido a la falta de vigilancia, estos estimados indican que puede existir un problema de contaminación del aire en interiores en países en desarrollo.

Por lo general, los contaminantes del aire se clasifican en partículas suspendidas (polvos, gases, neblinas, humos), contaminantes gaseosos (gases y vapores) y olores. Las técnicas actuales suelen medir la concentración de partículas en el aire a través de dispositivos de muestreo de tamaño específico. Por lo tanto, se puede determinar la masa de partículas de menos de 10 μm de diámetro (MP_{10}) como un índice de la concentración de partículas que pueden ingresar al tórax humano. La concentración de partículas de menos de 2,5 μm de diámetro ($\text{MP}_{2,5}$) es una manera de medir la concentración total de varias clases de partículas químicamente distintas que son emitidas o se forman en el aire como partículas muy pequeñas.

Por lo general, las partículas finas y gruesas tienen fuentes y mecanismos de formación distintos, si bien puede haber alguna sobreposición. El material biológico tales como bacterias, polen y esporas también puede encontrarse en las partículas gruesas. Generalmente, las partículas finas y gruesas se comportan de manera diferente en la atmósfera y estas variaciones deben considerarse al interpretar los valores que se monitorean en un sitio específico, así como el comportamiento de las partículas después de que ingresan a las viviendas y edificios, donde las personas pasan la mayor parte de su tiempo. Por lo general, las partículas finas tienen más tiempo de vida en la atmósfera (días a semanas) que las partículas gruesas y tienden a ser más uniformes cuando se dispersan en un área urbana o región geográfica grande. Con frecuencia, las partículas más grandes se depositan más rápido que las partículas pequeñas; como resultado, la masa total de partículas gruesas es menos uniforme en concentración que la de partículas finas a lo largo de una región.

Esta publicación se centra en aquellos gases y partículas que representan una amenaza para la salud. La amenaza relativa para la salud que representan diferentes gases y partículas contaminantes depende de sus concentraciones en el tiempo y la distancia, lo cual implica que los efectos de los contaminantes del aire sobre la salud pueden variar entre países. En consecuencia, se requiere una vigilancia cuidadosa de las concentraciones de gases contaminantes, así como de la distribución de tamaños, niveles de concentración y composición

química de las partículas, antes de realizar un cálculo aceptable de los efectos. La situación se complica aún más debido a que algunas combinaciones de contaminantes actúan de manera aditiva y algunos quizás de manera sinérgica.

Las Guías se publicaron por primera vez como *Guías para la calidad del aire de Europa* en 1987 (OMS 1987). Desde 1993, se han revisado y actualizado y se ha incorporado una revisión de la bibliografía publicada desde 1987 (OMS, 1999a). Además, se consideraron los siguientes compuestos adicionales en el procedimiento de revisión: 1,3 butadieno, humo de tabaco ambiental (HTA), fluoruro, fibras de vidrio producidas por el hombre y platino. Junto con la revisión de las *Guías para la calidad del aire de Europa*, se ha continuado con la serie de Criterios de Salud Ambiental del Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS, por su sigla en inglés) y se han evaluado los riesgos para la salud de más de 120 compuestos y mezclas químicas entre 1987 y 1998.

Las *Guías para la calidad del aire de Europa* (OMS, 1987) se basaron en evidencias de la bibliografía sobre epidemiología y toxicología publicada en Europa y América del Norte. No se consideraron los efectos de la exposición a las concentraciones ambientales de partículas en el aire en países en desarrollo ni las condiciones de esos países. Sin embargo, las guías se han usado intensivamente en todo el mundo. Dadas las diferentes condiciones de los países en desarrollo, la aplicación literal de las *Guías para la calidad del aire de Europa* podría ser contraproducente. Los factores como la temperatura alta o baja, humedad, altitud, concentraciones de fondo y estado de nutrición podrían influir en los efectos sobre la salud después de que la población haya estado expuesta a la contaminación del aire. A fin de que las *Guías* referidas a Europa pudiesen ser aplicadas en todos los países, se convocó a una reunión del Grupo de Trabajo de Expertos del 2 al 5 de diciembre de 1997 en la sede de la OMS. El resultado es la publicación de estas guías que pueden aplicarse en el nivel mundial.

El objetivo de las *Guías para la calidad del aire*, de la OMS, es ayudar a que los países establezcan sus propias normas nacionales de calidad del aire. Las guías son tecnológicamente factibles y consideran limitaciones socioeconómicas y culturales. Brindan una base para proteger la salud pública de los efectos adversos de la contaminación del aire y eliminar o minimizar aquellos contaminantes que pueden ser peligrosos para la salud humana. En consecuencia, los instrumentos de gestión de la calidad del aire también se abordan en esta publicación.

2. Factores que afectan la concentración de los contaminantes del aire

La concentración local de los contaminantes del aire depende de la magnitud de las fuentes y eficiencia de la dispersión. Las variaciones cotidianas en las concentraciones están más afectadas por las condiciones meteorológicas que por los cambios en la magnitud de las fuentes. El viento es un elemento clave en la dispersión de los contaminantes del aire y para las fuentes terrestres, la concentración de los contaminantes tiene una relación inversa con la velocidad del viento. La turbulencia también es importante; un espacio, como el que presenta un conglomerado de edificios, tiende a incrementar la turbulencia y la dispersión de contaminantes.

3. Exposición a los contaminantes del aire

La exposición total diaria de un individuo a los contaminantes del aire es la suma de los contactos separados que experimenta cuando pasa a través de una serie de ambientes (también

denominados microambientes) durante el curso del día (por ejemplo, en su casa, en el transporte diario, en las calles, etc.). La exposición en cada uno de esos ambientes puede calcularse como el producto de la concentración del contaminante en cuestión y el tiempo que ha permanecido en cada ambiente.

Existen varios factores que marcan una diferencia substancial entre la concentración de los contaminantes medidos en sitios específicos y los de las zonas comunes de la comunidad. Muchos de esos factores se consideran en los modelos y se han usado para calcular la distribución de las dosis asociadas con concentraciones en el aire.

4. Importancia de la contaminación del aire para la salud

A finales de los ochenta e inicios de los noventa, se realizaron numerosos estudios epidemiológicos. Estas bases de datos de series temporales se desarrollaron primero en los Estados Unidos y posteriormente en Europa y otras áreas. En esencia, el enfoque de la serie temporal toma el día como la unidad de análisis y relaciona la ocurrencia diaria de defunciones o ingresos a hospitales con la concentración promedio diaria de los contaminantes, a la vez que considera cuidadosamente los factores de confusión tales como la estación, temperatura y día de la semana. Se han aplicado técnicas estadísticas poderosas y se han generado coeficientes que relacionan la concentración promedio diaria de los contaminantes con sus efectos. Se han demostrado asociaciones entre la concentración diaria promedio de partículas, ozono, dióxido de azufre, acidez transmitida por el aire, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono. Si bien las asociaciones para cada uno de esos contaminantes no fueron significativas en todos los estudios, si se toma la evidencia en su totalidad, la consistencia de los resultados es sorprendente. Para partículas y ozono, muchos han coincidido que los estudios no indican un efecto umbral.

5. Concentración de los contaminantes del aire y factores que afectan la sensibilidad

La concentración de los contaminantes clásicos del aire en exteriores en Europa y Estados Unidos se han tratado detalladamente en las *Guías para la calidad del aire de Europa* (OMS, 1990a). En países en desarrollo, los niveles de concentración de contaminación en exteriores son 10 veces mayores, según el Sistema de Información sobre Gestión de la Calidad del Aire (AMIS, por su sigla en inglés), que es la principal fuente de información en el tema sobre países en desarrollo.

Los contaminantes del aire en interiores generalmente se diferencian de los del aire en exteriores por el tipo y nivel de concentración. Los contaminantes en interiores incluyen el humo de tabaco ambiental, partículas biológicas y no biológicas, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno, plomo, radón, monóxido de carbono, asbesto, productos químicos sintéticos y otros. El deterioro de la calidad del aire en interiores se ha asociado con una variedad de efectos sobre la salud, desde malestar e irritación hasta enfermedades crónicas y cáncer.

Los combustibles de biomasa se usan diariamente como energía para cocinar o calentar en casi la mitad de las viviendas en todo el mundo. El humo de la biomasa contiene cantidades significativas de contaminantes importantes: monóxido de carbono, material particulado, hidrocarburos y, en menor grado, óxidos de nitrógeno. También contiene muchos compuestos orgánicos, incluidos los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos), considerados tóxicos, carcinógenos, mutágenos o al menos, de cuidado. En China, la quema de carbón es una fuente

principal de contaminación del aire en interiores y su humo contiene todos esos contaminantes y otros adicionales, como los óxidos de azufre y metales pesados como el plomo.

Una proporción desconocida, pero significativa, de quema de combustible de biomasa sucede en viviendas con deficiente ventilación. Por ende, en países en desarrollo, algunas de las concentraciones más altas de partículas y otros contaminantes ocurren en ambientes rurales e interiores. Debido a las altas concentraciones de contaminantes y las grandes poblaciones expuestas, la exposición humana total a muchos contaminantes del aire puede ser mucho mayor en las viviendas pobres de los países en desarrollo que en el aire exterior de ciudades del mundo desarrollado.

La altitud, temperatura y humedad varían significativamente en todo el mundo. A mayor altitud, la presión parcial de oxígeno se reduce y la inhalación se incrementa como compensación. Para partículas, esta mayor inhalación conducirá a una mayor ingesta de partículas transmitidas por el aire. Por otro lado, para contaminantes gaseosos, no se espera ningún aumento en los efectos respecto a aquellos esperados en el nivel del mar. La temperatura tiene un efecto considerable sobre la salud, pero la humedad no ejerce una influencia considerable sobre la toxicidad de los contaminantes gaseosos.

La distribución de la población por grupos de edad varía notablemente de un país a otro. Las personas mayores son más sensibles a la contaminación del aire. Los niños muy pequeños también pueden estar en mayor riesgo. Las personas con bajo nivel de vida sufren deficiencias en la nutrición, enfermedades infecciosas debido a condiciones insalubres y hacinamiento, y tienden a recibir atención médica de baja calidad. Cada uno de esos factores puede hacer que los individuos se vuelvan más susceptibles a los efectos de la contaminación del aire. Las enfermedades que producen una limitación de las vías respiratorias, reducción en el área de superficie de intercambio de aire del pulmón y una mayor alteración de la proporción de inhalación-perfusión, hacen que el sujeto sea más susceptible a los efectos de los contaminantes del aire.

6. Función de las guías y normas

El propósito de las *Guías para la calidad del aire* es ofrecer un fundamento para proteger la salud pública de los efectos adversos de la contaminación del aire y eliminar o minimizar aquellos contaminantes que son o pueden ser peligrosos para la salud y el bienestar humano. Las *Guías* brindan información básica a las naciones que están estableciendo sus normas de calidad del aire, si bien su uso no se limita a ello. Estas *Guías* no están concebidas como normas. En el proceso de convertir estas guías a normas, se deben considerar los niveles prevalentes de exposición y las condiciones ambientales, sociales, económicas y culturales de cada nación o región. En ciertas circunstancias, pueden haber razones válidas para fijar concentraciones de contaminantes por encima o por debajo de los valores guía.

En la versión actualizada de las *Guías para la calidad del aire* de Europa, se usó un enfoque similar al de 1987. Sin embargo, las aspiraciones tolerables totales se calcularon primero para contaminantes provenientes de múltiples medios y luego se dividieron adecuadamente entre las diferentes rutas de exposición. El término "factor de protección" usado en las guías de 1987 fue dejado de lado. En cambio, se adoptó el concepto "factores de incertidumbre" para dar cuenta de la extrapolación de animales a humanos (de manera alternativa, se calcularon las concentraciones equivalentes en el ser humano) y la variabilidad individual. Para las diferencias

farmacocinéticas entre especies y dentro de las mismas especies, se emplearon factores de incertidumbre derivados de los datos. Se aplicaron factores de incertidumbre adicionales cuando fue necesario representar la naturaleza y gravedad de los efectos observados y para la adecuación de las bases de datos. Para la mayoría de compuestos considerados, se brindó información sobre la relación entre dosis-respuesta a la exposición a fin de brindar guías claras sobre el posible impacto del contaminante en los diferentes niveles de exposición y lograr un proceso de toma de decisiones debidamente informado. Para algunos compuestos, el platino por ejemplo, se consideró innecesario un valor guía porque la exposición al platino a través de los niveles de aire estuvo considerablemente por debajo del nivel más bajo en el que se observaron efectos. Para otros compuestos, por ejemplo, material particulado (MP₁₀), no se pudo encontrar un efecto umbral, por ende, no fue posible derivar un valor guía. En cambio, se brindó información sobre la exposición-efecto y se dio énfasis a las consecuencias de los diferentes niveles de contaminantes sobre la salud pública.

En el proceso de actualización, para los carcinógenos se aplicó un enfoque más flexible que el de 1987. Se realizó una extrapolación del riesgo con dosis baja para los grupos 1 (carcinógeno humano comprobado) del IARC (por sus siglas en inglés, International Agency on Research of Cancer) y 2A (carcinógeno humano probable, evidencia limitada) y se aplicó un factor de incertidumbre para los grupos 2B (posible carcinógeno humano, evidencia insuficiente) y 3 (sustancias químicas no clasificadas). Sin embargo, el mecanismo de acción del carcinógeno fue lo que determinó el método de evaluación. En consecuencia, se decidió que los compuestos clasificados bajo 1 o 2A podrían evaluarse con factores de incertidumbre si existiera evidencia de un mecanismo no umbral de carcinogenicidad. A modo de contraste, los compuestos clasificados bajo 2B podrían ser evaluados por los métodos de extrapolación con dosis baja, si se comprobaba un mecanismo no umbral de carcinogenicidad en animales. También se dio flexibilidad en la elección del modelo de extrapolación, según los datos disponibles (incluidos los datos para el modelo de PBPK). Como enfoque predeterminado se usó el modelo linealizado de múltiples etapas. Además de proporcionar estimados del riesgo unitario en casos de extrapolación de riesgos con dosis baja, se calcularon los niveles asociados con riesgo excesivo de cáncer de 1: 10 000, 1: 100 000 y 1: 1 000 000.

7. La relación exposición-respuesta

Estas guías dan énfasis a los datos epidemiológicos. Algunas veces, se prefieren los estudios epidemiológicos en lugar de los estudios de exposición controlada porque brindan información sobre la respuesta en la población y sobre los efectos de la exposición real a los contaminantes y sus mezclas. Sin embargo, cuando se definen lineamientos, los resultados de los estudios epidemiológicos son más difíciles de usar que los resultados de los estudios de exposición controlada.

Para definir la relación exposición-respuesta, incluida en las guías revisadas, se supuso una linealidad tanto para el material particulado como para el ozono. La extrapolación más allá de los datos disponibles es peligrosa; la evidencia sugiere que la relación exposición-respuesta puede volverse menos pronunciada a medida que se incrementan los niveles de material particulado. Para el ozono, la relación en concentraciones bajas puede ser cóncava hacia arriba. Estos son puntos importantes que deben considerarse si las guías se van a usar en países con niveles de contaminación diferentes del rango cubierto por las guías.

8. Conversión de las guías a normas

Una norma de calidad del aire describe un nivel de calidad del aire adoptado como obligatorio por una autoridad reguladora. En términos más simples, una norma de calidad del aire podría definirse en función de una o más concentraciones y tiempos promedio. Se debe incorporar información adicional sobre la forma de exposición (por ejemplo, en exteriores), vigilancia para evaluar el cumplimiento de la norma, métodos de análisis de datos y requisitos para el aseguramiento y control de la calidad. Otros factores que deben considerarse cuando se establece una norma de calidad del aire incluyen la naturaleza de los efectos de la contaminación, los efectos adversos sobre la salud y los riesgos de determinados grupos de población.

El desarrollo de normas de calidad del aire es sólo parte de una estrategia adecuada de gestión de la calidad del aire. También se requiere la legislación, la identificación de las autoridades responsables de hacer cumplir las normas de emisión y las sanciones por exceder las normas. Las normas de emisión pueden desempeñar una función importante en la estrategia de gestión, especialmente si la multa por infracción se usa como mecanismo para reducir la contaminación. Esto puede ser importantes tanto en el nivel nacional como local. Las normas de calidad del aire también son relevantes para informar al público sobre la calidad del aire. Usados de esa manera, son un arma de doble filo porque el público comúnmente supone que una vez que se excede una norma, ocurrirán efectos adversos sobre la salud, lo cual no siempre es el caso.

La transferencia de la relación dosis-respuesta a otras partes del mundo, especialmente para partículas, debe realizarse con cuidado debido a las siguientes razones:

1. Composición química del material particulado
2. Rango de la concentración
3. Respuesta de la población
4. Limitación de las relaciones establecidas.

9. Análisis de costo-beneficio y otros factores

El análisis de costo-beneficio es una manera de medir formalmente los costos de la reducción de la contaminación del aire contra los beneficios producidos. El concepto es que las emisiones se reducen hasta que los costos marginales y beneficios sean iguales. Si bien el costo de las medidas de reducción puede ser relativamente fácil de cuantificar, éste puede no ser el caso cuando se emplean medidas no técnicas. En cualquier caso, es probable que sea más difícil asignar valores monetarios a los beneficios obtenidos. Algunos aspectos de la disminución de la morbilidad, tales como el menor uso de centros hospitalarios y medicamentos, son comparativamente fáciles de medir; otros, tales como la reducción del número de muertes prematuras y síntomas, no lo son. Se ha sugerido la aplicación de valores monetarios basados en la "voluntad de pagar", lo que ha sido aceptado por muchos economistas de la salud. Este enfoque se prefiere al basado sólo en índices, tales como pérdida de producción, ganancia o gastos hospitalarios.

Cuando se establecen normas nacionales de calidad del aire, además de los factores monetarios, también debe considerarse la capacidad técnica del país para lograr y mantener la calidad del aire estipulada en las normas, las implicaciones sociales de adoptar ciertas normas para asegurar la equidad de los costos y los beneficios entre la población, y los costos y beneficios ambientales.

10. Guías basadas en la salud

En las guías para la calidad del aire basadas en la salud, se describen brevemente los contaminantes clave, también denominados “clásicos” –SO₂, NO₂, CO, O₃, MPS y plomo– y se señalan la evaluación de riesgos para la salud y los valores guía recomendados. Se da énfasis a las partículas suspendidas <10 µm de diámetro (MP₁₀) y <2,5 µm de diámetro (MP_{2,5}). Las guías se presentan en los cuadros 3.1 a 3.5 y en las figuras 3.1 a 3.9 del capítulo 3. La información disponible para otros contaminantes del aire (incluidos carcinógenos y no carcinógenos) también se resumen y se presentan en cuadros.

11. Contaminantes clásicos del aire. Aplicación mundial de las Guías para la calidad del aire de Europa (OMS)

Cuando se extendió la cobertura de las *Guías para la calidad del aire de Europa* (OMS), algunas suposiciones para determinados compuestos pueden no ser aplicables en todos los países. Por ejemplo, la importancia de las diferentes rutas de exposición para algunos contaminantes puede variar de un país a otro. Se debe entender que si esos factores se tomaran en cuenta, se pueden derivar diferentes guías. Para varios contaminantes se ha proporcionado una unidad de riesgo (UR) para las evaluaciones. Estas evaluaciones dependen también de la importancia comparativa de las diferentes rutas de exposición.

Es importante que las autoridades normativas evalúen si las circunstancias locales se ajustan a los lineamientos de las *Guías para la Calidad de Aire* antes de establecer sus normas locales.

12. Calidad del aire en interiores

Los espacios interiores son microambientes importantes cuando se evalúan los riesgos de la contaminación del aire. La mayor parte de la exposición diaria a muchos contaminantes, por inhalación, ocurre en locales cerrados debido a la cantidad de tiempo que se pasa en interiores o a los niveles de concentración. La calidad del aire dentro de los edificios se ve afectada por muchos factores. En un esfuerzo por conservar la energía, el diseño de los edificios modernos ha favorecido las estructuras con tasas bajas de ventilación. Por contraste, en algunas áreas del mundo, sólo se usa la ventilación natural; en otros, lo más usual es la ventilación mecánica. En los edificios modernos, la mayoría de problemas de contaminación se debe a las bajas tasas de ventilación y a los productos y materiales que emiten una amplia variedad de compuestos, mientras que los habitantes de muchos países menos desarrollados enfrentan problemas relacionados con contaminantes generados por actividades humanas, en particular por los procesos de combustión.

Si sólo se consideran los efectos sobre la salud de la contaminación del aire, no interesa si un contaminante se inhala por respirar aire en exteriores o interiores. Sin embargo, existen diferencias importantes en la composición de mezclas contaminantes en el aire exterior y interior. En el aire exterior, por ejemplo, existen emisiones de los vehículos, mientras que la contaminación del aire en interiores se genera por el humo del tabaco o por las cocinas que usan biomasa como combustible. No todas esas composiciones se han tenido en cuenta al desarrollar las *Guías para la calidad del aire* y no pueden ser aplicadas a todas las circunstancias, de manera que se debe tener cuidado para evitar malinterpretaciones.

13. Vigilancia y evaluación de la calidad del aire

Las tres herramientas principales de evaluación de la calidad del aire son: i) monitoreo del ambiente; ii) modelos e iii) inventarios y medición de emisiones.

El propósito final del monitoreo no es simplemente recopilar datos, sino proporcionar la información requerida por científicos, políticos y planificadores para que tomen decisiones fundamentadas en lo que respecta a la gestión y mejora del ambiente. El monitoreo cumple una función central en este proceso, ya que brinda la base científica necesaria para el desarrollo de políticas y estrategias, establecimiento de objetivos, medición del cumplimiento en relación con las metas y actividades de control. Sin embargo, se deben reconocer las limitaciones del monitoreo. Ningún programa de monitoreo, por muy bien fundamentado y diseñado que esté, puede llegar a cuantificar totalmente los patrones de contaminación del aire en el espacio y tiempo. En muchas circunstancias, las mediciones por sí solas pueden ser insuficientes o impracticables para definir cabalmente la exposición de la población en una ciudad o país. Por ello, el monitoreo a menudo debe usarse conjuntamente con otras técnicas objetivas de evaluación, incluidos los modelos, la medición e inventarios de emisiones, la interpolación y elaboración de mapas. En el mejor de los casos, el monitoreo brinda una imagen incompleta, pero útil, de la calidad ambiental en determinado momento.

Tampoco se recomienda confiar sólo en los modelos. Si bien representan una herramienta poderosa para la interpolación, predicción y optimización de las estrategias de control, son inútiles a menos que estén validados por datos reales de la vigilancia. Además, es importante que los modelos sean apropiados para las condiciones, fuentes y topografía locales y que sean compatibles con las bases de datos meteorológicos y de emisiones disponibles. Muchos modelos dependen de la disponibilidad de datos de emisiones confiables.

Un inventario completo de emisiones para una ciudad o país puede requerir incluir fuentes puntuales, móviles y del área. En algunas circunstancias, también puede considerarse la evaluación de contaminantes transportados a la zona de estudio. Los inventarios, en general, se calcularán mediante factores de emisión apropiados para los diversos sectores de fuentes (verificados con mediciones) y se usarán conjuntamente con estadísticas substitutas como densidad de la población, uso de combustibles, kilómetros recorridos por vehículo o producción industrial. Por lo general, solo se dispone de mediciones de grandes fuentes industriales puntuales o de vehículos representativos bajo condiciones estandarizadas.

Las tres herramientas de evaluación son interdependientes en alcance y aplicación. En consecuencia, el monitoreo, los modelos y la evaluación de emisiones deben considerarse como componentes complementarios en cualquier enfoque integrado para la evaluación de la exposición o para determinar el cumplimiento de los criterios de calidad del aire.

14. Gestión de la calidad del aire en exteriores

La gestión de la calidad del aire está basada en políticas internacionales y nacionales. Una iniciativa mundial importante fue la de 1983, cuando la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, encabezada por Gro Harlem Brundtland. El informe de la Comisión, *Nuestro futuro común*, fue presentado y aprobado por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1987. El informe ha ejercido gran

influencia, ha introducido temas ambientales en el escenario mundial y ha expresado conceptos fundamentales de la gestión de la calidad del aire.

La Comisión indicó que para cumplir las aspiraciones legítimas de la población mundial sin destruir el ambiente, se requeriría un desarrollo sostenible. Definió el **desarrollo sostenible** como: *desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*. Este concepto ha sido adoptado como un medio de integrar la política ambiental y el desarrollo económico.

Después de la Comisión Brundtland, se celebró en Río de Janeiro la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992. El objetivo fue asegurar que los cimientos prácticos para el desarrollo sostenible tuvieran prioridad. La Agenda 21 y la Declaración de Río fueron los resultados más notables de esa conferencia. La Agenda 21 es un documento sobre desarrollo sostenible que no es obligatorio para los países, pero su implementación nacional es revisada por la Comisión de Desarrollo Sostenible y la Asamblea General de las Naciones Unidas. La Agenda 21 apoya varios principios de gestión sobre los cuales se basan algunas políticas gubernamentales, incluida la gestión de la calidad del aire. Estos incluyen:

El principio precautorio – según el cual, cuando exista una posibilidad clara de consecuencias ambientales perjudiciales, se deben tomar medidas para proteger el ambiente sin esperar pruebas científicas de que el ambiente se verá afectado.

El principio el que contamina paga – según este principio, la organización responsable de la fuente de contaminación debe cumplir con los costos totales asociados con la contaminación (incluidos la vigilancia, gestión, corrección y supervisión).

Además, muchos países han adoptado el principio de **prevención de la contaminación**, cuyo objetivo es reducir la contaminación en la fuente.

La responsabilidad de los gobiernos nacionales para la notificación internacional sobre la situación ambiental de su país ha permitido un mayor intercambio de información sobre calidad del aire en todo el mundo.

La base para la gestión de la calidad de aire es el marco de la política gubernamental. Sin un marco de política apropiado y una legislación adecuada, es difícil mantener un programa activo y exitoso de gestión de la calidad del aire. El marco político incluye el transporte, energía, planificación, desarrollo y política en otras áreas, así como en la política ambiental. Los objetivos de la calidad del aire se logran más fácilmente si esas políticas interconectadas son compatibles y si existen mecanismos para coordinar las respuestas a las políticas de los diferentes sectores del gobierno. En muchos países desarrollados, se han adoptado medidas para lograr la integración de las políticas de calidad del aire con las de salud, energía, transporte y otras áreas.

Generalmente, el establecimiento de la meta de la gestión de la calidad del aire apunta al mantenimiento de una calidad que proteja la salud y el bienestar humano. Esa meta reconoce que la calidad del aire debe mantenerse en niveles que protejan la salud humana y también a los animales, plantas (cultivos, bosques y vegetación natural), ecosistemas, materiales y calidad estética, incluidos los niveles naturales de visibilidad. El logro de la meta de calidad del aire requiere el desarrollo de políticas y estrategias.

15. Gestión de la calidad del aire en interiores

La mayoría de los seres humanos pasa la mayor parte de su tiempo en ambientes interiores, donde pueden estar expuestos a una deficiente calidad del aire. La contaminación y deterioro del aire en ambientes interiores causa enfermedades, incrementa la mortalidad, produce pérdidas en la productividad y tiene serias consecuencias económicas y sociales. Los efectos sobre la salud pueden incluir tasas elevadas de cáncer, enfermedades pulmonares, alergia y asma, así como envenenamiento con monóxido de carbono y la enfermedad de los legionarios, como se discute en la sección 4.1. El costo médico y social asociado con estas enfermedades y la reducción de la productividad humana, conllevan a pérdidas económicas asombrosas.

Los problemas de calidad del aire en interiores afectan a las construcciones, incluidas las viviendas, escuelas, oficinas, centros de salud y otros edificios públicos y comerciales. Los problemas del aire en interiores pueden reducirse a través de una mejor planificación urbana, diseño y operación, así como mantenimiento de edificios, materiales y equipo.

Este documento considera la gestión de la calidad del aire en interiores en países desarrollados y, en algunas situaciones, en países en desarrollo. Hace hincapié en el manejo del uso de biomasa como combustible en interiores, el cual es un problema importante y generalizado de los países en desarrollo.

16. Establecimiento de prioridades en la gestión de la calidad del aire

Es importante brindar orientación a los países sobre cómo establecer prioridades para la gestión racional de la calidad del aire. Las prioridades diferirán de acuerdo con el país; por ello, cada país establece prioridades en la gestión de la calidad del aire según sus objetivos de política, necesidades y capacidades. El establecimiento de prioridades en la gestión de la calidad del aire se refiere a otorgar prioridad a los riesgos para la salud que deben evitarse, a la importancia que se debe dar a los compuestos de los contaminantes del aire y a la concentración de las fuentes más importantes de contaminación. Conceptualmente, la priorización de riesgos para la salud es directa. Se dará mayor prioridad a aquellos compuestos de "alta" toxicidad y "alta" exposición. Por el contrario, los riesgos para la salud de baja prioridad incluyen agentes de "baja" toxicidad y "baja" exposición. Los riesgos prioritarios "medianos" incluyen compuestos cuya toxicidad o exposición es "baja" mientras que la otra es "alta".

Se requiere un marco para un enfoque político, normativo y administrativo a fin de garantizar la preparación uniforme y transparente de las normas de calidad del aire y proveer fundamentos para las decisiones sobre medidas y estrategias de reducción de riesgos. En ese marco, se deben incluir las siguientes consideraciones:

- aspectos legales
- potencial de la contaminación del aire para causar efectos adversos sobre la salud, teniendo en cuenta las poblaciones en riesgo
- relación exposición-respuesta de los contaminantes y mezclas de contaminantes y exposición real que constituyen riesgos para el ambiente y la salud
- aceptabilidad del riesgo
- análisis de costo-beneficio

- contribución de las partes interesadas en el establecimiento de las normas.

17. Cumplimiento de las normas de calidad del aire. Planes para mejorar la calidad del aire

El cumplimiento de las normas de calidad del aire procura evaluar la necesidad de adoptar medidas de control en las fuentes de emisión. Los instrumentos para lograr esa meta son los planes de acción para mejorar la calidad del aire. Los principios generales de esos planes deben definirse en las políticas y estrategias normativas. Durante los años setenta y ochenta se elaboraron planes de acción para mejorar la calidad del aire en diversos países desarrollados. La contaminación del aire se caracterizó por una multitud de fuentes de varios tipos de contaminantes del aire. En consecuencia, fue sumamente difícil evaluar los riesgos de salud pública asociados con una fuente única o grupo de fuentes. Por ende, teniendo en cuenta el principio “el que contamina paga” (capítulo 6), se elaboraron herramientas complejas que evaluaron las fuentes, concentración de contaminantes, efectos sobre la salud y el ambiente, y medidas de control y establecieron una relación causal entre emisión, contaminación del aire y medidas de control. Un típico plan de acción para mejorar la calidad del aire incluye:

- una descripción del área
- un inventario de emisiones
- un inventario de concentraciones de contaminantes del aire –monitoreado y simulado
- una comparación de emisiones y normas o guías para la calidad del aire
- un inventario de los efectos sobre la salud pública y el ambiente
- un análisis causal de los efectos y su atribución a las fuentes individuales
- medidas de control y sus costos
- transporte y planificación del uso del terreno
- procedimientos para hacer cumplir las normas
- asignación de recursos
- proyecciones para el futuro.

En países en desarrollo, la situación de la contaminación del aire a menudo se caracteriza por una multitud de fuentes de pocos tipos o pocas fuentes. La experiencia obtenida en países desarrollados sugiere que en la mayoría de los casos la medida de control que debe tomarse es muy obvia. En consecuencia, cuando existen pocos datos útiles de vigilancia disponibles, puede ser suficiente una vigilancia general y los modelos de dispersión podrían ayudar a simular la distribución espacial de la concentración de contaminantes. Para las ciudades de países en desarrollo o países en transición se tendría que desarrollar planes más simplificados para mejorar la calidad del aire. Actualmente, las fuentes principales de emisión en muchas ciudades del mundo en desarrollo son los vehículos viejos y las fuentes industriales de centrales eléctricas, hornos de ladrillo, fábricas de cemento y algunos otros. Su contribución relativa a la contaminación del aire podría determinarse mediante inventarios rápidos de emisiones. Los factores de emisión usados en esos inventarios están publicados y existe un software disponible que permite estimar las emisiones y concentraciones en el aire de exteriores, además de evaluar el impacto de las posibles medidas de control. El software también permite evaluar las proyecciones para el futuro.