



**Organización
Mundial de la Salud**

OMS Guías de Calidad del Aire Actualización Mundial 2005

**Informe de la Reunión del Grupo de Trabajo,
Bonn, Alemania, 18-20 Octubre 2005**



**Organización
Panamericana de Salud**



**Organización
Mundial de la Salud**

OMS
Guías de calidad del aire
actualización mundial
2005

**Informe de la Reunión del Grupo de Trabajo,
Bonn, Alemania, 18-20 Octubre 2005**

RESUMEN

Con el fin de actualizar las Guías de Calidad del Aire de la OMS y asegurar su aplicabilidad mundial, la OMS estableció un Grupo de Trabajo compuesto de expertos en epidemiología, toxicología, evaluación de exposición a la calidad del aire, manejo de la calidad del aire y políticas públicas. Con base en la revisión de las nuevas evidencias acumuladas sobre aspectos sanitarios de la contaminación del aire, el grupo de trabajo aprobó las guías actualizadas relativas a material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Para facilitar la implementación de las guías en todas las Regiones de la OMS, especialmente en las más contaminadas, el grupo recomendó metas intermedias que, de cumplirse, traerían reducciones significativas en los riesgos de salud relacionados con la contaminación y serían indicio de progreso hacia los valores guías.

Palabras Clave

CONTAMINACIÓN DEL AIRE – prevención y control
AGENTES CONTAMINANTES DEL AIRE
GUÍAS

EUR/05/5046029

"Publicado en inglés por la Oficina Regional de Europa de la OMS bajo el título OMS Guías de Calidad de Aire Actualización Mundial 2005 – Reporte de la reunión de un grupo de trabajo, Alemania, 18-20 Octubre 2005.

© World Health Organization 2005

Derechos reservados.

Las designaciones utilizadas y la presentación del material en esta publicación no significan expresión de opinión de ningún tipo, por parte de la Organización Mundial de la Salud, relativa a aspectos legales de ningún país, territorio, ciudad o zona, ni de sus autoridades, ni relativa a la delimitación de sus fronteras o límites. Las líneas punteadas que aparecen en los mapas representan líneas fronterizas aproximadas respecto a las cuales puede que aún no haya acuerdo total.

La referencia a empresas determinadas o a ciertos productos de ciertos fabricantes no significa que la Organización Mundial de la Salud los apoye ni recomiende en preferencia a otros de naturaleza semejante que no se nombran. Salvo error u omisión, los nombres de productos patentados se distinguen por la letra inicial mayúscula.

La OMS ha tomado todas las precauciones razonables para verificar la información que contiene esta publicación. No obstante, el material publicado se está distribuyendo sin garantía de ningún tipo, ni implícita ni explícita. La responsabilidad por la interpretación y el uso del material recae en el lector. La Organización Mundial de la Salud no deberá ser responsable, en ningún caso, por daños y perjuicios que surgen de su utilización.

Traducción realizada por Medwave Ediciones y Traducciones Limitada, que responde por la precisión de la traducción.

www.medwave.cl

Revisión técnica de la traducción:

Mildred Maisonet, Organización Panamericana de la Salud

Walter Folch, Ministerio de Salud de Chile

© Organización Panamericana de la Salud

Dirigir solicitudes acerca de esta publicación a:

Organización Panamericana de la Salud

Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental

525 Twenty-third Street, N.W.

Washington, D.C. 20037

tel: (202) 974-3000

www.cepis.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
Introducción	1
Alcance de la actualización	1
Proceso	2
Financiamiento	3
Resumen del debate	3
Aplicación de las guías de calidad del aire en la formulación de políticas y reducción del riesgo	3
Comentarios sobre los capítulos de la Parte 1	5
Guías de calidad del aire actualizadas	5
Observaciones preliminares	5
Material particulado	8
Ozono	14
Dióxido de Nitrógeno	16
Dióxido de Azufre	19
Resumen de los niveles de las GCA actualizadas	22
Referencias	22
Anexo 1	24
Índice de materias y autores de los primeros borradores.....	24
Anexo 2	25
Lista de los miembros del grupo de trabajo presentes en la reunión del grupo de trabajo	25
Anexo 3	28
Lista de revisores y autores ausentes de la reunión del grupo de trabajo	28

Introducción

Las Guías de Calidad del Aire de la OMS (GCA) tienen por objeto ofrecer asesoría en la reducción de los impactos sobre la salud provenientes de la contaminación del aire, sobre la base de la evaluación, hecha por expertos, de la evidencia científica actual. Desde la actualización más reciente de las GCA de la OMS, terminada en 1997 e impresa como publicación de la OMS en 2000 (OMS 2000), ha habido una creciente toma de conciencia, en la comunidad científica y entre las autoridades que formulan las políticas públicas, acerca de la índole mundial de los problemas de salud pública que se deben a la exposición a la contaminación del aire. En la literatura científica se han publicado cientos de nuevos estudios sobre los efectos en la salud de la contaminación del aire, incluso importantes investigaciones nuevas en los países de ingresos bajos y medios, en los cuales los niveles de contaminación del aire son los más elevados. Una evaluación que organizó la OMS acerca de la carga mundial y regional de enfermedades debidas a la contaminación del aire atrajo atención a la distribución geográfica y la escala del problema: más de 2 millones de muertes prematuras al año se atribuyen a contaminación del aire exterior urbano y a la contaminación del aire intramuros por la quema de combustibles sólidos, y más de la mitad de dicha carga pesa sobre las poblaciones de países en desarrollo (Informe de Salud Mundial, 2002). La OMS inició entonces una consulta mundial referida a las conclusiones que iban surgiendo de la evidencia científica acumulada y su utilidad para la actualización de las GCA de la OMS. Se pretende que las GCA de la OMS actualizadas sean aplicables a la amplia diversidad de emisiones, exposiciones humanas y enfermedades relacionadas con la exposición que se presentan a lo largo y ancho de las regiones de la OMS y para apoyar un amplio espectro de opciones de políticas en materia de gestión de la calidad del aire en diversas partes del mundo.

Alcance de la actualización

La OMS estableció un grupo de dirección para asesorar y guiar el proceso de formulación de las guías¹. El grupo de dirección llegó a un acuerdo sobre el alcance y la metodología de la actualización, e identificó a expertos que contribuyeran a la revisión de la literatura científica. Las guías actualizadas constan de dos partes. La Parte 1 comprende los antecedentes, que entregan una revisión breve, pero completa, de los aspectos que afectan la aplicación de las GCA de la OMS en evaluación de riesgos y formulación de políticas. La Parte 2 pasa revista a los riesgos para la salud que trae el material particulado (MP), el ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el dióxido de azufre (SO₂), y, con base en dicha revisión, formula guías relativas a la salud para cada uno de los agentes contaminantes (Anexo 1). El alcance de

¹ Miembros del Grupo de Dirección: RH Anderson (RU), B. Brunekreef (Países Bajos), B. Chen (China), A. Cohen (EEUU), R. Maynard (RU), I. Romieu (México), KR. Smith (EEUU), S. Wangwongwatana (Tailandia).

las guías actualizadas refleja el criterio del grupo de dirección en relación, tanto con la disponibilidad de nueva evidencia sobre los efectos en la salud de determinados agentes contaminantes, como con la importancia relativa de dichos agentes contaminantes en cuanto a los efectos actuales y futuros sobre la salud producto de la contaminación del aire en cada una de las Regiones de la OMS. El hecho de que otros agentes contaminantes, como el monóxido de carbono, no estén contemplados en la presente versión corregida es reflejo de los recursos limitados de que dispuso el proyecto. En consecuencia, las GCA de 2000 relativas a agentes contaminantes que no están considerados en la presente actualización siguen en vigencia. El Grupo de Dirección (GD) recomienda que la actualización de las guías se amplíe para dar cabida a otros agentes contaminantes tan pronto como sea posible, en cuanto haya fondos disponibles.

Proceso

El GD recomendó a la OMS a diversos expertos en epidemiología, toxicología, evaluación de exposición a calidad del aire, manejo de calidad del aire y políticas públicas, para que redactaran el borrador de las Partes 1 y 2 del documento de las guías. Después de la revisión y aprobación iniciales del GD, los primeros borradores se distribuyeron para revisión externa a un extenso grupo de expertos en todas las disciplinas pertinentes. La OMS también solicitó las opiniones de directores de calidad del aire y autoridades encargadas de formular políticas públicas, respecto al criterio fundamental y el formato de las guías, con miras a mejorar la aplicabilidad de éstas en diversas partes del mundo. Se procuró asegurar la representación de un extenso grupo de Estados Miembros de todas las Regiones de la OMS.

La OMS convocó al Grupo de Trabajo sobre las Guías de Calidad del Aire en Bonn, los días 19-20 de octubre de 2005, para terminar las GCA de la OMS actualizadas. Las tareas de la reunión fueron las de formular las guías relativas a los cuatro agentes contaminantes determinados y llegar a un acuerdo sobre el texto complementario. El Grupo de Trabajo (GT) estuvo compuesto de los autores de los capítulos en borrador, los revisores externos de los borradores y los miembros del grupo de dirección (Anexo 2). El Dr. Robert Maynard presidió la reunión y el Dr. Aaron Cohen actuó como relator. Las observaciones sobre los borradores de las Partes 1 y 2, recibidas de los revisores, se distribuyeron con anticipación a los miembros del grupo de dirección, a los autores y a todos los revisores. Puesto que no todos los revisores tomaron parte en la reunión del GT, la lista de quienes entregaron observaciones escritas, pero no asistieron a la reunión, se presenta en el Anexo 3.

En una serie de debates plenarios y sesiones de pequeños grupos de redacción, el GT revisó el criterio general de la formulación de las guías, analizó las observaciones más importantes de los revisores y se puso de

acuerdo sobre el contenido general del material informativo. Los grupos de redacción analizaron en detalle la formulación de las guías actualizadas y el texto de respaldo. Las decisiones definitivas respecto a las guías se tomaron en plenario por consenso. Este informe presenta las guías actualizadas relativas a material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre que acordó el grupo de trabajo y resume los debates del GT. El informe comprende las correcciones que se recibieron de los integrantes del GT, surgidas luego de su revisión de la primera versión del informe que se distribuyó después de la reunión. El GT está preparando el texto completo de las Partes 1 y 2 para su publicación de acuerdo con el calendario de medidas de seguimiento que se acordó en la reunión. La fecha que se ha fijado como meta para la publicación del material completo es a fines del verano de 2006.

Financiamiento

La presente actualización de las GCA de la OMS ha recibido apoyo financiero del programa de Protección del Medio Ambiente Humano, de la sede de la OMS, además de fondos del Centro Europeo del Medio Ambiente y Salud, de la OMS (Oficina de Bonn), otros fondos donados por el Ministerio del Medio Ambiente, de Alemania; el Ministerio de Salud, del Reino Unido; y la Agencia Federal del Medio Ambiente, de los Países Bajos. También se agradece el aporte de la Organización Panamericana de la Salud para los gastos de viaje de los expertos de América Latina.

Resumen del debate

Aplicación de las guías de calidad del aire en la formulación de políticas y reducción de riesgos

Parte importante del debate en las sesiones plenarias se centró en el uso de las guías en el manejo de la calidad del aire y la incidencia de dicho uso en el formato e interpretación de las guías. Frente a ciertos agentes contaminantes clave, como el material particulado (MP), en la revisión que se realizó para la segunda edición de las GCA de la OMS (OMS 2000) se observó que había evidencia creciente de efectos perjudiciales para la salud a niveles de exposición bajos y que los investigadores no habían logrado identificar con claridad un umbral o nivel bajo el cual no había efectos adversos. Lo anterior se estimó problemático, dado que la noción vigente de un valor de GCA suponía una "concentración de compuestos químicos en el aire que no ejerciera un efecto adverso en la salud." Por lo tanto, la segunda edición de las GCA de la OMS se abstuvo de establecer un valor de pauta para el MP y en lugar de eso ofreció a los responsables del área de riesgo un modelo estadístico que relaciona la exposición con el riesgo, y propuso que ellos cuantificaran el riesgo a los niveles locales de exposición pertinentes y utilizaran dichas estimaciones locales para guiar la formulación de políticas.

Este enfoque de los agentes contaminantes sin umbral se ha aplicado extensamente en la gestión de riesgos de productos químicos en el ambiente (por ejemplo, en evaluación de riesgo de carcinógenos genotóxicos).

Aunque la OMS no ha evaluado oficialmente cómo se han utilizado las guías vigentes en la gestión de la calidad del aire, la opinión de integrantes del grupo de trabajo procedentes de países en desarrollo fue que el trato que se da al MP en las GCA de la OMS de 2000 no había tenido buena aceptación entre los encargados de calidad del aire y las autoridades que formulan las políticas. Por lo tanto, numerosos miembros del GT recomendaron que las guías actualizadas definieran concentraciones de los agentes contaminantes estudiados que, de cumplirse, se podría prever que determinarían tasas significativamente reducidas de efectos adversos para la salud. Dichas concentraciones debían fundarse en la evidencia científica disponible y proporcionarían a los encargados de calidad del aire y a las autoridades que formulan las políticas un objetivo explícito que considerar cuando fijaran las normas nacionales de calidad del aire y las estrategias nacionales de gestión. Dado que en países en desarrollo los niveles de contaminación del aire suelen exceder con creces las GCA recomendadas por la OMS, el GT también propuso fijar niveles como objetivos intermedios (OI), superiores a las propias GCA de la OMS, con el fin de promover un progreso constante hacia el cumplimiento de las GCA de la OMS.

El GT estimó que el hecho de señalar una concentración única de un agente contaminante como GCA de la OMS, en un contexto “sin umbral”, se podría interpretar en el sentido de establecer un nivel “aceptable” de efectos adversos en la salud de la población. El grupo observó, sin embargo, que en todas las situaciones siempre habría un grupo de individuos sensibles que sufren efectos adversos cuando se exponen a niveles inferiores a los de las GCA de la OMS. Algunos miembros señalaron que la especificación de valores de OI constituía un reconocimiento implícito de un riesgo relativo de exposición en continuo aumento. Por último, el GT resolvió por mayoría que la especificación en las guías de niveles explícitos y de objetivos intermedios, como se explicó, sería utilísima en la gestión de calidad del aire y en la protección de la salud pública en todo el mundo, especialmente en las regiones que en la actualidad soportan la carga más grande de enfermedades debidas a la contaminación del aire. El GT subrayó la necesidad de reducir la exposición a agentes contaminantes sin umbral, aun donde las concentraciones actuales se aproximen a las que se proponen en las guías o sean inferiores a ellas.

Las deliberaciones del GT se centraron principalmente en la exposición a agentes contaminantes de fuentes externas y sus efectos sobre la salud. Sin embargo, se reconoció que en el caso del MP las exposiciones más altas y la mayor carga estimada de enfermedades se daban en países en desarrollo y se

debían a la combustión intramuros de combustibles sólidos, y que otros agentes contaminantes emitidos en el interior de las viviendas, como el NO_2 , también podían representar peligros importantes. El GT concluyó que se debe entender que las guías son aplicables a todos los microambientes donde la población esté expuesta, tanto dentro como fuera de las viviendas. La importancia de la exposición a la contaminación intramuros se analiza en la Parte 1 del documento de las guías, donde se destaca la carga sanitaria debida a la contaminación del aire por la combustión de combustibles sólidos en recintos cerrados sin ventilación. Pero el manejo de la calidad del aire dentro de los hogares, incluso la preparación de guías más precisas, puede exigir puntos de vista distintos de los que se aplican a la exposición en exteriores. El GT y el GD recomendaron que la OMS se ocupe de este aspecto en sus actividades de seguimiento.

Los ambientes ocupacionales no se han considerado en estas guías, puesto que generalmente corresponden a poblaciones de trabajadores adultos, cuya susceptibilidad a los agentes contaminantes puede diferir en diversos aspectos frente a la de la población general, y cuyos criterios de gestión de riesgos pueden ser diferentes de los que se aplican al aire ambiental.

Comentarios sobre los capítulos en la Parte 1

Como ya se dijo, la Parte 1 comprende materiales informativos que entregan un panorama breve pero amplio de los temas que afectan la aplicación de las GCA de la OMS en evaluación de riesgo y formulación de políticas. El GT destacó la necesidad de asegurar un equilibrio adecuado al presentar asuntos de importancia mundial, además de inquietudes regionales precisas. Los autores que preparan la segunda versión de los capítulos de la Parte 1 utilizarán las observaciones concretas que surgieron durante el debate sobre cada capítulo, junto con las observaciones que enviaron por escrito los revisores.

Guías de calidad del aire actualizadas

Una vez acordado el alcance general y la cobertura de los capítulos que revisan la evidencia relativa a los efectos sobre la salud del material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, cuatro grupos de redacción analizaron en detalle la formulación de las guías relativas a sendos agentes contaminantes.

Observaciones preliminares

Estas guías están escritas para su uso mundial, orientadas a apoyar las medidas que apunten a dar al aire una calidad que cumpla los niveles óptimos al alcance de la protección de la salud pública en diferentes

entornos. Las normas de calidad del aire son un instrumento importante de manejo del riesgo y de las políticas ambientales, y cada país debe establecerlas para proteger la salud pública de sus ciudadanos. Las normas que se establezcan en cada país variarán de acuerdo con las actitudes concretas del país en cuanto a equilibrar riesgos sanitarios, disponibilidad tecnológica, consideraciones económicas y demás factores políticos y sociales. Dicha variabilidad dependerá del nivel de desarrollo del país, su capacidad de gestión de la calidad del aire y otros factores. Las guías que recomienda este GT y que se presentan a continuación se hacen cargo de esta heterogeneidad y reconocen, en particular, que los gobiernos, cuando plantean metas en las políticas, deben estudiar con cuidado las condiciones locales propias antes de utilizar las guías directamente como normas con validez legal.

El GT se abstuvo de proporcionar orientación actualizada relativa a la forma en que los modelos estadísticos de relación entre exposición y riesgo se pueden utilizar en apoyo de la gestión de calidad del aire y la fijación de normas. Lo dicho se debió, en parte, a las dificultades percibidas de hacer uso de la evidencia científica, disponible en estudios epidemiológicos realizados en países desarrollados, para estimar impactos en países en desarrollo; pero cuando se han hecho comparaciones se ha comprobado que los coeficientes de riesgo en países subdesarrollados se asemejan a los de países desarrollados. Para la formulación de políticas, es razonable suponer que los modelos de riesgo son transferibles.

Las GCA de la OMS se basan en la abundante evidencia científica relativa a la contaminación del aire y sus consecuencias para la salud. Dicha información, aun cuando posee vacíos e incertidumbres, ofrece una base firme para las guías. Varias conclusiones globales de la investigación necesitan que se las destaque más en las guías.

En primer lugar, la evidencia relativa al ozono y el material particulado demuestra riesgos para la salud a niveles de concentración que hoy se observan en numerosas ciudades de países desarrollados; estos resultados epidemiológicos dan a entender que una pauta no puede proporcionar protección completa, pues no se han identificado los umbrales bajo los cuales no ocurren efectos perjudiciales.

Segundo, un rango creciente de efectos adversos se asocia con la contaminación del aire, especialmente con el material particulado suspendido en concentraciones cada vez más bajas. Las guías podrían basarse en los indicadores de salud más críticos, como la mortalidad y las hospitalizaciones imprevistas, o en indicadores más sutiles pero sensibles, como las medidas fisiológicas.

Tercero, se ha caracterizado mejor la complejidad de la mezcla de contaminantes en el aire y se aclaran las limitaciones que afectan el control de la contaminación del aire por medio de guías relativas a un solo agente contaminante. El dióxido de nitrógeno, por ejemplo, es un producto de los procesos de combustión y generalmente se encuentra en la atmósfera íntimamente asociado con otros agentes contaminantes primarios como las partículas ultrafinas. Es también un precursor del ozono y por lo tanto coexiste en la contaminación con oxidantes de generación fotoquímica. El dióxido de nitrógeno es de por sí tóxico y sus concentraciones con frecuencia tienen una fuerte correlación con las de otros agentes contaminantes tóxicos. Puesto que es más fácil medirlo, a menudo se le utiliza en lugar de la mezcla completa. Por tanto, la publicación de guías relativas a un solo agente contaminante, como el dióxido de nitrógeno, puede ofrecer más beneficios para la salud pública que los previstos sobre la base de las estimaciones de toxicidad específica del contaminante en cuestión.

La actual versión corregida de las GCA de la OMS entrega valores de orientación actualizados de tres entre los cuatro agentes contaminantes examinados. En cuanto a dos de ellos (material particulado y ozono), se puede estimar la relación cuantitativa entre la concentración monitorizada y los riesgos concretos para la salud. Dichas estimaciones constituyen un insumo de información para evaluar el impacto en la salud y revelan las cargas de mortalidad y morbilidad, a los niveles actuales de contaminación del aire y a niveles que se alcanzarían en diversos casos de contaminación reducida. Las estimaciones de carga también podrían servir para realizar análisis de costo-beneficio. Los enfoques de las evaluaciones de impacto en salud y las limitaciones que las afectan se resumen en la Parte 1 de las guías actualizadas.

Para los fines de este documento, 'promedio anual' significa la media aritmética de las concentraciones típicas que se medirán o comunicarán por cada día del año. Además, los valores de concentración dados se refieren a sitios de monitorización representativos de los niveles de exposición poblacional; los niveles pueden ser más altos cerca de ciertas fuentes como carreteras, centrales eléctricas y fuentes estacionarias de gran tamaño, y la protección de las poblaciones que viven en tales situaciones puede exigir medidas especiales para llevar los niveles de contaminación a niveles inferiores a los valores de pauta.

Los acápites siguientes de este informe presentan:

- **Valores Guía de MP, ozono, NO₂ y SO₂.** Como ya se dijo, la evidencia epidemiológica señala que la posibilidad de efectos perjudiciales persiste aun cuando se alcance el valor de pauta y algunos países podrían fijar en sus normas concentraciones aún más bajas.

- **Objetivos intermedios frente a cada agente contaminante.** Como ya se explicó, estos objetivos están previstos como escalones en una reducción progresiva de la contaminación del aire, con el objeto de pasar de aquellas concentraciones que traen consecuencias agudas y graves para la salud a aquellas que, si se alcanzan, determinarían reducciones importantes en los riesgos de efectos agudos y crónicos. Un progreso semejante hacia valores de pauta debe ser la meta de la gestión de calidad del aire y de la reducción del riesgo en salud en todos sus aspectos.

Material particulado

La evidencia relativa a MP suspendido y a salud pública concuerda en demostrar que hay efectos perjudiciales para la salud en las exposiciones que experimentan las poblaciones urbanas que viven en ciudades de todo el mundo, en países tanto desarrollados como en desarrollo. El abanico de efectos es amplio: afecta los sistemas respiratorio y cardiovascular, y abarca a niños, a adultos y a varios grandes grupos susceptibles dentro de la población general. Se ha demostrado que el riesgo de diversas patologías aumenta con la exposición y hay poca evidencia que plantee un umbral bajo el cual no se prevería efectos adversos para la salud. De hecho, el rango más bajo de concentraciones que ejercen efectos adversos demostrados no es muy superior a la concentración base, la que se ha estimado en $3-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Estados Unidos y Europa Occidental, en el caso de partículas menores de $2,5$ micrómetros, MP $2,5$. La evidencia epidemiológica demuestra efectos adversos de las partículas luego de exposiciones tanto de corto plazo como de largo plazo.

La evidencia científica actual señala que no se puede proponer guías que ofrezcan protección completa contra los efectos sanitarios perjudiciales del material particulado, ya que no se ha identificado umbrales. Al contrario, el proceso de fijar normas debe alcanzar las concentraciones más bajas posibles, dadas las limitaciones, capacidades y prioridades de salud pública locales. La evaluación cuantitativa del riesgo ofrece un procedimiento para comparar diferentes situaciones de control y estimación del riesgo residual relacionado con el logro de cualquier valor de pauta determinado. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y la Comisión Europea utilizaron recientemente este procedimiento en sus recomendaciones de corrección de las normas vigentes relativas a material particulado. Se estimula a los países a estudiar un grupo de normas cada vez más estrictas y a rastrear el progreso mediante la reducción de las emisiones y la disminución de las concentraciones de material particulado. Los valores de pauta numéricos que aparecen en los cuadros orientan acerca de las concentraciones a cuyo nivel, según los descubrimientos científicos actuales, se prevé que habrá un efecto de mortalidad creciente y específica debida a MP. Como se mencionó, en la medida que se ha informado de efectos de salud asociados con MP ambiental a niveles bajos de concentración en el

ambiente y que hay gran variabilidad entre individuos en cuanto a exposición y a la respuesta a una exposición determinada, es improbable que alguna norma o nivel de pauta relativo a MP proporcione protección universal a todos los individuos frente a todos los efectos posibles relativos al MP.

La selección de un indicador de material particulado también merece consideración. La evidencia epidemiológica más reciente y más extensa se basa principalmente en estudios que utilizan MP_{10} como indicador de exposición. Además, en la actualidad, la mayor parte de los datos de monitorización se basan en mediciones de MP_{10} frente a otras mediciones de material particulado. Como indicador, MP_{10} comprende la masa de partículas que entra al tracto respiratorio y abarca tanto las partículas gruesas (MP_{10} - $MP_{2,5}$) como las finas ($MP_{2,5}$), que se estima que contribuyen a los efectos sobre la salud que se observan en los ambientes urbanos. En la mayoría de los ambientes urbanos, es probable que predominen tanto las partículas gruesas como las finas, aquéllas producidas principalmente por procesos mecánicos, como obras de construcción, resuspensión de polvo de caminos y viento, y éstas principalmente de fuentes de combustión. Es probable que la composición de partículas de estos dos rangos de tamaños varíe sustancialmente dentro de las mismas ciudades en todo el mundo, según la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de la localidad. La combustión de leña y otros elementos de biomasa también puede ser una fuente importante de contaminación atmosférica; las partículas de combustión resultantes son en su mayoría del tipo fino ($MP_{2,5}$). Si bien escasos estudios epidemiológicos comparan la toxicidad relativa de la combustión de combustible fósil frente a la biomasa, se han comunicado estimaciones de efectos similares en un amplio abanico de ciudades en países tanto desarrollados como en desarrollo. Es razonable, pues, suponer efectos generalmente similares de $MP_{2,5}$ de estas fuentes diversas. En el mundo en desarrollo, hay grandes poblaciones expuestas a niveles elevados de partículas de combustión interior y las GCA de la OMS relativas a MP también rigen en estas situaciones.

Se plantea el MP_{10} como un indicador relevante a la mayor parte de los datos epidemiológicos, para el cual hay disponible el conjunto más extenso de datos de medición a través del mundo. Pero, como se verá más adelante, el valor guía **numérico** propiamente tal se basa en estudios que utilizaron $MP_{2,5}$ como indicador y la razón $MP_{2,5}/MP_{10}$ de 0,5 se usa para derivar un valor guía apropiado de MP_{10} . Esta razón de 0,5 se aproxima a la razón típica que se observa en zonas urbanas de países en desarrollo y al tramo inferior (0,5-0,8) del rango que se observa en zonas urbanas de países desarrollados. Si las condiciones locales lo justifican, esta razón se puede cambiar, con base en los datos locales, al fijar las normas locales.

Sobre la base de los efectos conocidos sobre la salud, se necesitan guías, tanto de corto plazo (24 horas) como de largo plazo (anuales), relativas a los dos indicadores de MP. Los cuadros 1 y 2 entregan un rango de valores, de los cuales el más bajo queda designado como Guía de Calidad del Aire de la OMS. Las GCA de la OMS propiamente tales son

MP_{2,5}: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ media anual, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ media de 24 horas

MP₁₀: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ media anual, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ media de 24 horas

Se eligió el valor guía promedio anual de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el MP 2,5 como extremo inferior del rango en el cual se observaron efectos significativos en la sobrevida, en el estudio de la Sociedad Americana del Cáncer (ACS) (Pope *et al.*, 2002). La adopción de una guía a este nivel da un peso importante a los estudios de exposición de largo plazo que utilizan los datos del ACS y del estudio Harvard Six-Cities (Dockery *et al.*, 1993; Pope *et al.*, 1995; Krewski *et al.*, 2000, Pope 2002, Jarrett 2005). Estos estudios reportaron asociaciones robustas entre la exposición de largo plazo a MP 2,5 y la mortalidad. La concentración histórica media de MP 2,5 fue 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rango de 11,0 a 29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el estudio Six-Cities y 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rango de 9,0 a 33,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el estudio ACS. No se aprecian umbrales en ninguno de los dos estudios, aunque ni el periodo ni el patrón preciso de exposición pudo ser conocido. En el estudio ACS, la incertidumbre estadística de las estimaciones de riesgo se presenta a niveles de concentración de alrededor de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bajo cuyo nivel se amplían significativamente los intervalos de confianza, puesto que las concentraciones están relativamente alejadas de la media. En el estudio de Dockery *et al.*, los riesgos son similares en las ciudades con las concentraciones de MP 2,5 de largo plazo más bajas, de 11 y 12,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aparecen mayores riesgos en la ciudad que tiene la media de MP 2,5 de largo plazo más baja siguiente, de 14,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que señala efectos probables en el rango de 11 a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Luego, una concentración anual de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estaría por debajo de la media de los niveles de efectos más probables que figuran en la literatura disponible. La fijación como meta de una concentración media de MP 2,5 de largo plazo de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ también colocaría algún peso sobre los resultados de los estudios por series cronológicas de exposición diaria que examinen las relaciones entre MP 2,5 y los efectos adversos sobre la salud. Estos estudios arrojan medias de largo plazo (tres a cuatro años) del orden de 13 a 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Si bien no se pueden descartar del todo los efectos adversos sobre la salud, incluso por debajo de dicho nivel, el promedio anual de las GCA de la OMS representa niveles demostrados como alcanzables en zonas urbanas extensas en países muy desarrollados y se prevé que su logro reduzca efectivamente los riesgos para la salud.

Además de los valores guía, se definieron tres objetivos intermedios (OI), los cuales se ha demostrado que son alcanzables con medidas sucesivas y sostenidas de reducción. Los países pueden estimar que estos valores

intermedios son útiles para evaluar el progreso en el tiempo del difícil proceso de reducir constantemente las exposiciones a MP de la población.

A nivel de OI-1 se fijó una media de concentración de MP 2,5 de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este nivel se relaciona con los valores más altos observados en los estudios sobre los efectos de largo plazo en la salud y puede también reflejar concentraciones históricas más elevadas, pero desconocidas, que pueden originar los efectos observados sobre la salud. En el mundo desarrollado se ha demostrado que este nivel está relacionado con mortalidad elevada.

El nivel de protección intermedio OI-2 es $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y atribuye más importancia a los estudios de exposición de largo plazo asociados con mortalidad. Este valor supera la media observada en estos estudios de los valores a los cuales se observan efectos sobre la salud, y probablemente se asocie con impactos significativos provenientes de la exposición a MP 2,5, tanto diaria como de largo plazo. El logro de este valor OI-2 reduciría los riesgos de exposición a largo plazo en alrededor de 6% (IC95%: 2 – 11%) relativo al valor del OI-1. El nivel OI-3 es $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y pondera aún más la posibilidad de efectos importantes relacionados con la exposición de largo plazo. Este valor se acerca a las medias de concentración observadas en estudios de exposición de largo plazo y determina una reducción adicional de 6% en el riesgo de mortalidad relativo al valor OI-2.

Tabla 1. Guías de calidad del aire y objetivos intermedios para material particulado: media anual

Nivel de la media anual	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fundamento del nivel escogido
Objetivo intermedio-1 (OI-1) de la OMS	70	35	Se estima que estos niveles se asocian con una mortalidad a largo plazo 15% más alta, aproximadamente, que en las GCA
Objetivo intermedio-2 (OI-2) de la OMS	50	25	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles disminuyen el riesgo de mortalidad prematura en 6%, aproximadamente [2-11%], en comparación con el OI-1 de la OMS
Objetivo intermedio-3 (OI-3) de la OMS	30	15	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad en otro 6% [2-11%], aproximadamente, en comparación con los niveles OI-2 de la OMS.

Guías de calidad del aire de la OMS (GCA)	20	10	Estos son los niveles más bajos a los cuales se ha demostrado, con más de 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer pulmonar aumenta en respuesta al MP _{2,5} en el estudio ACS (Pope <i>et al.</i> , 2002). Se prefiere el uso de la pauta de MP _{2,5} .
--	-----------	-----------	--

Además de las GCA de la OMS y de los objetivos intermedios de MP_{2,5}, la OMS recomienda GCA y objetivos intermedios de MP₁₀. Esto se debe a que el MP grueso (la fracción entre 10 y 2,5 µm) no se puede considerar inocuo y la sola pauta de MP 2,5 no ofrecería protección contra los efectos dañinos del MP grueso. Al mismo tiempo, se estima que la evidencia cuantitativa sobre MP grueso es insuficiente para preparar una pauta separada. En cambio, hay abundante literatura sobre los efectos a corto plazo del MP₁₀, la que se ha utilizado como base para la formulación de las GCA de la OMS y los objetivos intermedios (Cuadro 1).

Los valores promedio de 24 horas se refieren al percentil 99 de la distribución de valores diarios, es decir, el cuarto valor más elevado del año. La distribución de frecuencia de los valores diarios de MP 2,5 y MP 10 es, la mayor parte de las veces, una función logarítmica de distribución aproximadamente normal. Según las características específicas de sus fuentes y ubicación, los países podrían estimar que las guías de 24 horas o bien los OI que aparecen en este documento, o bien los valores promedio anuales son más estrictos. Al evaluar las GCA de la OMS y los objetivos intermedios, se sugiere que se prefiera el promedio anual sobre el promedio de 24 horas, ya que, a niveles bajos, habrá menos inquietud por las excursiones periódicas restantes. El logro de los valores guía de la media de 24 horas debe proteger contra alzas máximas de contaminación que determinarían un exceso sustancial de morbilidad o mortalidad. Se recomienda que los países en que haya zonas que no cumplan estos valores guía tomen de inmediato medidas dirigidas a alcanzar estos niveles en el menor tiempo posible.

Cuadro 2. Guías de calidad del aire y objetivos intermedios para material particulado: media de 24 horas

Nivel de la media de 24 horas *	MP₁₀ (µg/m³)	MP_{2,5} (µg/m³)	Fundamento del nivel escogido
Objetivo intermedio - 1 (OI-1) de la OMS	150	75	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor de 5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA)

Objetivo Intermedio - 2 (OI-2) de la OMS*	100	50	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor de 2,5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA)
Objetivo Intermedio - 3 (OI-3)** de la OMS	75	37,5	(Incremento de alrededor de 1,2% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA)
Guías de calidad del aire de la OMS (GCA)	50	25	Basado en la relación entre niveles de 24 horas y anuales de MP

* percentil 99 (3 días/año)

** para fines administrativos, basado en valores guía promedio anuales; el número preciso se determinará sobre la base de la distribución de frecuencia local de las medias diarias

Estudios multicéntricos de 29 ciudades en Europa (Katsouyanni *et al.* 2001) y 20 ciudades en Estados Unidos (Samet *et al.* 2000) comunicaron efectos sobre la mortalidad a corto plazo con MP₁₀, de 0,62% y 0,46% por 10 µg/m³, respectivamente. Un metaanálisis de 29 ciudades fuera de Europa Occidental y América del Norte comunicó un efecto de 0,5% (Cohen *et al.* 2004). Un metaanálisis limitado a ciudades asiáticas comunicó un efecto de 0,49% (HEI International Oversight Committee 2004). Lo anterior plantea que la probabilidad de que los riesgos en salud del MP₁₀ sean semejantes en ciudades de países desarrollados y subdesarrollados, alrededor de 0,5%. Luego, una concentración de 150 µg/m³ se relacionaría con un incremento de 5%, aproximadamente, en la mortalidad diaria, impacto que sería de preocupación significativa, para el cual se recomendarían medidas mitigantes inmediatas. El nivel OI-2 de 100 µg/m³ se asociaría con un incremento de mortalidad diaria aproximado de 2,5%. El nivel OI-3 y de las GCA del promedio de 24 horas para el MP₁₀ son 75 y 50 µg/m³, respectivamente, y reflejan la relación entre el promedio de 24 horas y el promedio anual, como se analizó más arriba.

Además del MP_{2,5} y MP₁₀, las partículas ultra finas (UF) han concitado crecientemente el interés de la comunidad científica y médica. Son partículas de menos de 0,1 micrómetro y se miden en número de partículas. Si bien hay abundante evidencia toxicológica relativa a los potenciales efectos perjudiciales de las partículas UF sobre la salud humana, el cuerpo actual de evidencia epidemiológica es insuficiente para llegar a una conclusión acerca de la relación de exposición-respuesta de las partículas UF. En consecuencia, por ahora no se puede hacer recomendaciones relativas a concentraciones guía de partículas UF.

Ozono

En la segunda edición de las GCA de la OMS (OMS 2000) se estableció el valor guía del ozono en $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un promedio diario de 8 horas. Desde mediados de la década de 1990 no se agregó mayor evidencia de los estudios de cámara o en terreno. Ha habido, en cambio, un aumento marcado de la evidencia relativa a los efectos en la salud procedente de estudios epidemiológicos por series cronológicas. La evidencia combinada de estos estudios demuestra asociaciones positivas convincentes, aunque pequeñas, entre niveles de mortalidad diaria y de ozono, independiente de los efectos del material particulado. Se ha observado asociaciones semejantes tanto en Estados Unidos como en Europa. Dichos estudios por series cronológicas han demostrado efectos con concentraciones de ozono menores que el valor guía anterior de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sin que haya evidencia clara de un umbral. La evidencia de estudios tanto de cámara como en terreno también señala que la respuesta al ozono varía notablemente entre individuos. En vista de lo anterior, habría motivos para reducir la GCA de la OMS de su nivel actual de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se recomienda que la guía de calidad del aire respecto al ozono se establezca en el nivel de

ozono: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una media máxima diaria de 8 horas

Es posible que algunos sujetos sensibles experimenten efectos sobre la salud con niveles inferiores al señalado. Con base en estudios por series cronológicas, se puede estimar un exceso de las muertes atribuibles en 1%-2%, en los días en que la concentración de ozono alcance dicho nivel guía, comparado con el nivel de ozono de base.

Hay alguna evidencia en el sentido de que el ozono representa también oxidantes tóxicos que no se miden y que surgen de iguales fuentes. Es probable que las medidas de control del ozono también controlen los efectos de dichos agentes contaminantes.

Las concentraciones hemisféricas básicas del ozono troposférico varían en el tiempo y el espacio, pero pueden alcanzar niveles promedio de alrededor de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dichas concentraciones se deben a emisiones tanto antropogénicas como biogénicas de precursores del ozono y de la intrusión descendente del ozono estratosférico hacia la troposfera. El valor guía propuesto se puede exceder ocasionalmente debido a causas naturales.

Hay alguna evidencia en el sentido de que la exposición de largo plazo al ozono puede causar efectos crónicos, pero no es suficiente para recomendar una guía anual.

A medida que las concentraciones aumentan sobre el valor guía, los efectos en la salud a nivel de la población resultan cada vez más numerosos y

graves. Dichos efectos pueden presentarse en lugares donde las concentraciones ya son elevadas debido a las actividades humanas o durante episodios de clima muy caluroso.

El objetivo intermedio OI-1 de 8 horas se ha establecido en $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nivel en el que se ha demostrado que hay cambios medibles, aunque transitorios, en la función pulmonar e inflamación pulmonar en adultos jóvenes sanos en presencia de ejercicio intermitente en pruebas de cámara controladas. Aun cuando algunos podrían sostener que estas reacciones pudieran no ser adversas y que sólo se observaron con el ejercicio vigoroso, a estas opiniones se contraponen la posibilidad de que haya cantidades importantes de personas en la población general, incluidas personas de diferentes edades, condiciones de salud existentes y co-exposiciones, cuya susceptibilidad podría ser mayor que la de los sujetos jóvenes y en general sanos que fueron objeto de estudio. Además, los estudios de cámara proporcionan poca evidencia acerca de exposiciones repetidas. También es probable que la exposición a $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se asocie con los mismos efectos observados a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Con base en la evidencia de los estudios por series cronológicas, el exceso de muertes atribuibles se puede estimar en 3%-5% respecto a exposiciones sobre el nivel de base estimado.

A niveles de concentración superiores a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es probable encontrar efectos importantes sobre la salud. Esta afirmación se funda en los resultados de numerosos estudios de inhalación clínica y en terreno. Tanto los adultos sanos como los asmáticos experimentarían reducciones significativas en la función pulmonar, además de inflamación de las vías aéreas, las que pueden causar síntomas y alterar el desempeño. Hay otras inquietudes relativas a la creciente morbilidad respiratoria en niños. Con base en la evidencia de las series cronológicas, el exceso de muertes atribuibles se puede estimar en 5%-9% respecto a exposiciones diarias superiores al nivel de base estimado.

Tabla 3. Guías de calidad del aire en Ozono y objetivo intermedio

	Media máxima diaria 8 horas	Efectos en el nivel de ozono escogido
Nivel alto	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Efectos importantes en la salud, proporción importante de la población vulnerable afectada.

<p>Objetivo intermedio-1 (OI-1) de la OMS</p>	<p>160³ µg/m</p>	<p>Efectos importantes en la salud, objetivo intermedio para poblaciones con concentraciones de ozono superiores a este nivel. No entrega protección adecuada de salud pública. Criterio fundamental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel inferior de exposición de 6,6 horas en cámara, de adultos jóvenes sanos realizando ejercicio, que demuestran efectos fisiológicos y pulmonares inflamatorios. • Niveles ambientales en varios estudios de campamentos de verano que demuestran los efectos en la salud de los niños. • Aumento estimado de 3%-5% en mortalidad diaria* (basado en resultados de estudios diarios por series cronológicas)
<p>Guías de calidad del aire de la OMS (GCA)</p>	<p>100³ µg/m</p>	<p>Esta concentración proporcionará protección adecuada de la salud pública, aunque puede haber efectos en la salud bajo este nivel. Criterio fundamental</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento estimado de 1%-2% en mortalidad diaria* (basado en resultados de estudios diarios por series cronológicas). • Extrapolación de estudios en cámara y en terreno basados en la probabilidad de que la exposición en la vida real tiende a ser repetitiva y que los estudios en cámara no analizan a sujetos muy sensibles o clínicamente comprometidos, ni a niños. • Probabilidad de que el ozono ambiental sea un marcador de oxidantes relacionados.

* Muertes atribuibles a concentraciones de ozono superiores a la línea de base de 70 µg/m³. Basado en un aumento de 0,3% a 0,5% en la mortalidad diaria a 10µg/m³ de ozono de 8 horas.

Dióxido de nitrógeno

La evidencia de estudios toxicológicos en animales señala que la exposición de largo plazo al NO₂ en concentraciones superiores a las concentraciones ambientales actuales causa efectos adversos. En estudios de población se ha asociado el NO₂ con efectos perjudiciales para la salud aun cuando la concentración promedio anual de NO₂ cumpla con el valor anual guía de la OMS 2000, de 40 µg/m³. Algunos estudios intramuros plantean efectos sobre síntomas respiratorios en lactantes, a niveles de concentración inferiores a 40 µg/m³. En conjunto, estos resultados apoyan

la disminución del valor guía anual de NO_2 . Pero el NO_2 es un constituyente importante de la contaminación del aire debida a combustión y se correlaciona en gran medida con otros productos de combustión primaria y secundaria; no está claro en qué medida los efectos observados sobre la salud en los estudios epidemiológicos son atribuibles al NO_2 propiamente tal o a otros agentes contaminantes correlacionados. Por tanto, la literatura científica actual no ha acumulado evidencia suficiente para cambiar el valor guía de la OMS 2000: $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentración anual de NO_2 .

Numerosos estudios toxicológicos experimentales de corto plazo, en seres humanos, demuestran efectos agudos sobre la salud con niveles superiores a $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y un metaanálisis ha señalado efectos a niveles mayores de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La literatura científica actual no ha acumulado evidencia para apartarse del valor guía de la OMS 2000: $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentración de NO_2 de 1 hora.

En conclusión, los valores guía permanecen sin modificaciones en los niveles siguientes:

Concentración de NO_2 : $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual;

Concentración de NO_2 : $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 1 hora.

Raciocinio

En su calidad de agente contaminante del aire, el NO_2 cumple múltiples funciones, con frecuencia difíciles y a menudo imposibles de separar entre sí:

(i) La toxicología experimental en animales y humanos señala que el NO_2 – en concentraciones de corto plazo mayores de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – es en sí mismo un gas tóxico con efectos significativos para la salud.

(ii) En numerosos estudios epidemiológicos se ha utilizado el NO_2 como marcador de la mezcla de contaminación ambiental debida a agentes contaminantes relacionados con la combustión, en particular los gases de escape vehiculares o las fuentes de combustión intramuros. En dichos estudios los efectos observados sobre la salud también podrían estar asociados con otros productos de combustión, p.ej. partículas ultrafinas, NO, material particulado o benceno. En otros estudios, tanto al aire libre como intramuros, se ha intentado centrarse en los riesgos para la salud del NO_2 , pero muchas veces ha resultado difícil descartar los efectos contribuyentes de otros co-contaminantes muy correlacionados.

(iii) La mayor parte del NO_2 atmosférico se emite como NO, el que se oxida rápidamente con el O_3 y forma NO_2 . Este último, en presencia de hidrocarburos y luz ultravioleta, es la fuente principal del ozono

troposférico y de nitrato, que forman una fracción importante de la masa de MP 2,5 del aire ambiental.

La guía actual se estableció con el fin de proteger al público contra los efectos en la salud del gas NO₂ propiamente tal. El fundamento de esta medida es que la mayoría de los métodos de reducción son específicos para NO_x, no están hechos para controlar otros co-agentes contaminantes y pueden incluso aumentar sus emisiones. Si, en cambio, se monitoriza el NO₂ como marcador de las concentraciones y los riesgos de las mezclas de agentes contaminantes generados por combustión compleja, habría que usar un valor de guía anual menor de 40 µg/m³.

Aún no se cuenta con una base sólida para establecer un valor guía promedio de NO₂ mediante cualquier efecto tóxico directo. Pero ha surgido evidencia epidemiológica que acrecienta la inquietud por los efectos sobre la salud que acompañan las mezclas de contaminación ambiental exterior que contienen NO₂. Dichos estudios han demostrado, por ejemplo, que los síntomas bronquíticos de los niños asmáticos aumentan en relación con la concentración anual de NO₂ y que el crecimiento reducido de función pulmonar en niños se vincula con aumentos en las concentraciones de NO₂ en comunidades con niveles similares a los de las áreas urbanas de Estados Unidos y Europa. Estudios publicados últimamente documentan que el NO₂, como marcador de mezclas complejas de contaminación relacionada con la combustión vehicular, puede variar más en el espacio que la masa particulada. Además, estos estudios comunican efectos adversos a la salud de niños que viven en zonas que se caracterizan por aumentos en los niveles de NO₂ aunque el nivel general fuera bajo. También, estudios recientes sobre las concentraciones de NO₂ intramuros agregaron evidencia sobre los efectos del NO₂ en los síntomas respiratorios en niños. El valor guía de las GCA de la OMS 2000 que establece un promedio anual de 40 µg/m³ para el NO₂ se encuentra dentro de los rangos de exposiciones comunicados en estas investigaciones. Ellas también demuestran que estas asociaciones no se pueden explicar completamente por co-exposición a MP, pero que otros componentes en la mezcla, como el carbón orgánico y el vapor de ácido nitroso, podrían explicar parte de la asociación. Puesto que tales componentes no se miden rutinariamente y que las concentraciones de NO₂ en el aire exterior están disponibles sin dificultad, parece razonable mantener un valor límite promedio anual prudente para el NO₂. Este límite toma en cuenta que hay muchos efectos tóxicos directos debidos a la exposición crónica a niveles bajos de NO₂. Además, el valor guía anual puede ayudar a controlar mezclas complejas de contaminación relacionadas con la combustión (principalmente del tránsito vehicular).

En estudios experimentales, el nivel más bajo de exposición a dióxido de nitrógeno informado en más de un laboratorio demuestra efecto directo sobre la función pulmonar en asmáticos, a 560 µg/m³. Estudios sobre la

sensibilidad bronquial en asmáticos indican que a niveles mayores de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aumenta la sensibilidad. El valor guía de corto plazo de las GCA de la OMS 2000, que da $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el NO_2 , no está impugnado en los estudios más recientes, por lo que debe mantenerse.

Dióxido de azufre

Exposiciones de corto plazo

Estudios controlados con asmáticos que hacen ejercicio indican que algunos de ellos experimentan cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios después de periodos de exposición breves, incluso de 10 minutos. Con base en esta evidencia, se recomienda que no se exceda un valor de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por **periodos promedio de 10 minutos**. Debido a que la exposición a elevaciones bruscas depende de la naturaleza de las fuentes locales y de las condiciones meteorológicas, no se puede aplicar a este valor un factor único que permita estimar los valores guía correspondientes a lapsos más prolongados como, por ejemplo, una hora.

Exposición sobre un periodo de 24 horas y exposición de largo plazo

Los cambios cotidianos en mortalidad, morbilidad o función pulmonar relativos a las concentraciones promedio de 24 horas de dióxido de azufre se basan forzosamente en estudios epidemiológicos en los cuales, en general, las personas están expuestas a una mezcla de agentes contaminantes, con escasa base para separar los aportes de cada uno a los efectos, por cuyo motivo, antes de 1987, los valores guía del dióxido de azufre se asociaron con los valores correspondientes de material particulado. Este enfoque llevó a un valor guía anterior a 1987 de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio de 24 horas, luego de aplicar un factor de incertidumbre 2 al nivel más bajo en que se observaron efectos adversos. En la versión corregida de 2000, se observó que estudios epidemiológicos recientes demostraban efectos perjudiciales en la salud pública separados e independientes para el material particulado y para el dióxido de azufre, lo que determinó un valor de GCA de la OMS propio para el dióxido de azufre de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas. Evidencias más recientes, comenzando con el estudio de Hong Kong (Hedley et al, 2002), que señala una reducción considerable en el contenido de azufre en los combustibles, reducción que se produce en un lapso muy breve, demuestran una marcada disminución del impacto sobre la salud (enfermedades respiratorias infantiles y mortalidad en todas las edades). En estudios por series cronológicas de ingresos al hospital por enfermedad cardíaca, no se evidencia un umbral de concentración en el rango de 5 a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ni en Hong Kong ni Londres (Wong et al, 2002). El nivel diario de SO_2 se asoció significativamente con la mortalidad diaria en 12 ciudades canadienses, con una concentración promedio de sólo $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Burnett et al, 2004). Si hubiera un valor de umbral para el SO_2 , en el estudio de mortalidad diaria de Burnett et al. o en el estudio de mortalidad anual de Pope et al. (2002), dichos valores tendrían que ser muy bajos. En cuanto a

las asociaciones significativas observadas en la cohorte del ACS en el período 1982-1998, en 126 áreas metropolitanas de Estados Unidos, el valor promedio de SO₂ fue 18 µg/m³ (Pope et al, 2002).

No obstante, subsiste gran incertidumbre en torno a si el dióxido de azufre es el agente contaminante causante de los efectos adversos observados o es un sustituto de las partículas ultra finas o de alguna otra sustancia correlacionada. Por ejemplo, en Alemania (Wichmann et al. 2000) y en los Países Bajos (Buringh et al. 2000) hubo una fuerte reducción de las concentraciones de SO₂ que duró una década. Aun cuando la mortalidad también disminuyó con el tiempo, se estimó que la asociación entre SO₂ y mortalidad no era causal y se la atribuyó a una tendencia similar en el tiempo de un agente contaminante distinto (MP).

Dadas: (1) la incertidumbre del SO₂ en la causalidad; (2) la dificultad práctica de alcanzar niveles que con certeza no causen ningún efecto; y (3) la necesidad de proporcionar grados de protección superiores a los que proporcionan las guías publicadas en 2000, y suponiendo que si se reduce la exposición a una sustancia causal y correlacionada se reducen las concentraciones de dióxido de azufre, entonces hay base suficiente para corregir hacia abajo el valor guía de 24 horas del dióxido de azufre, y se recomienda la guía siguiente como nivel precautorio prudente:

Dióxido de azufre:

20 µg/m³ promedio de 24 horas

500 µg/m³ promedio de 10-minutos (sin modificación)

No hace falta una guía anual, puesto que el cumplimiento con el nivel para 24 horas asegurará niveles bajos del promedio anual.

Cuadro 4. SO₂ Guías de calidad del aire y objetivos intermedios por lograr para mejorar la calidad del aire

	SO₂ promedio de 24-horas	SO₂ promedio 10 minutos
Objetivo intermedio-1 (OI-1) de la OMS (nivel de GCA 2000)	125 µg/m ³	-

Objetivo intermedio-2 (OI-2) de la OMS	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Objetivo intermedio basado en controlar (1) los vehículos motorizados, (2) las emisiones industriales o bien (3) la producción de energía; sería un objetivo razonable y alcanzable en pocos años en algunos países en desarrollo, y determinaría mejoras significativas en la salud que justificarían avances adicionales (por ejemplo, procurar cumplir las guías).	-
Guías de calidad del aire de la OMS (GCA)	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Respecto a la guía de 24 horas, que podría ser bastante difícil de alcanzar en algunos países en el corto plazo, planteamos un proceso escalonado con objetivos intermedios, como se ve en el Cuadro 4.

Por ejemplo, un país podría avanzar hacia el cumplimiento de las guías controlando las emisiones de fuentes principales a razón de una a la vez, con opción entre las fuentes de vehículos motorizados, fuentes industriales y fuentes energéticas, y lograr el mayor efecto sobre el SO_2 al menor costo; luego monitorizar la salud pública y los niveles de SO_2 para observar las ganancias en los efectos sobre la salud. La demostración de beneficios en la salud ofrecerá un incentivo para implantar controles sobre la categoría siguiente de fuentes principales.

Estos valores guía recomendados del dióxido de azufre no están vinculados con las guías de partículas.

Resumen de los niveles de GCA actualizados

El cuadro 5 resume los niveles actualizados de las guías de calidad del aire de la OMS que se presentan en los acápites anteriores. Se recomienda que se cumplan en todo el mundo con el fin de reducir significativamente los efectos perjudiciales de la contaminación sobre la salud.

Cuadro 5. Valores actualizados de las guías de calidad del aire de la OMS

Agente contaminante	Tiempo de promedio	Valor GCA
Material Particulado MP_{2,5}	1 año	10 µg/m ³
	24 horas (percentil 99)	25 µg/m ³
MP₁₀	1 año	20 µg/m ³
	24 horas (percentil99)	50 µg/m ³
Ozono, O₃	8 horas, máximo diario	100 µg/m ³
Dióxido de nitrógeno, NO₂	1 año	40 µg/m ³
	1 hora	200 µg/m ³
Dióxido de azufre, SO₂	24 horas	20 µg/m ³
	10 minutos	500 µg/m ³

Referencias

Buringh E, Fischer P, Hoek G. 2000. Is SO₂ a causative factor for the PM-associated mortality risks in the Netherlands? *Inhalation Toxicol* 12 (Suppl):55–60.

Burnett, R.T., et al Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Archives of Environmental Health*, 59: 228-236 (2004).

Cohen, A., et al "Mortality Impacts of Urban Air Pollution," in *Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors*, M. Ezzati et al., eds., World Health Organization, Geneva, pp. 1353-1434 (2004)

Dockery, D.W. et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med*;329 (24):1753-9 (1993).

Hedley, A.J. et al. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulfur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet*, 360: 1646-1652 (2002).

HEI International Oversight Committee 2004, *Health effects of outdoor air pollution in developing countries of Asia: a literature review. Special Report 15* Health Effects Institute, Boston MA.(2004).

Jerrett M, et al. Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology*,16; 727-736 (2005).

Katsouyanni, K. et al, "Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project", *Epidemiology*, vol. 12, no. 5, pp. 521-531(2001).

Krewski D. et al. Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality. *Health Effects Institute Special Report, July 2000*.

Pope, C.A. et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 287: 1132-1141 (2002).

Pope, C.A.et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am J Respir Crit Care Med*; 151(3 Pt 1):669-74. (1995).

Samet, J. M. et al , The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II: Morbidity and mortality from air pollution in the United States, *Res.Rep.Health Eff.Inst.*, vol. 94, no. Pt 2, pp. 5-70. (2000).

Wong, C.M., et al. A tale of two cities: effects of air pollution on hospital admissions in Hong Kong and London compared. *Environmental health perspectives*, 110: 67-77 (2002).

Air quality guidelines for Europe; second edition Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2000 (WHO regional publications. European series; No 91), (full background material available on http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_4)

The world health report 2002: Reducing risks, promoting healthy life. Geneva, World Health Organization 2002.

Wichmann, H.E. et al. *Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany part 1: Role of particle number and particle mass.* Research Report 98. Cambridge, MA: Health Effects Institute (2000)

Anexo 1

ÍNDICE DE MATERIAS Y AUTORES DE LOS PRIMEROS BORRADORES

Capítulo	Título	Autor
Parte 1. Aplicación de GCA en formulación de políticas y reducción de riesgos		
1	Fuentes de contaminación del aire	Roy Harrison (Reino Unido)
2	Niveles de contaminación del aire	Bjarne Sivertsen (Noruega)
3	Exposición humana a la contaminación del aire	Nicole Janssen (Países Bajos) Sumi Mehta (Estados Unidos)
4	Efectos sobre la salud de la contaminación del aire	Nelson Gouveia (Brasil), Mildred Maisonet (OPS/Chile)
5	Determinantes de susceptibilidad	Mark Utell (Estados Unidos) Mark Frampton (Estados Unidos)
6	Equidad ambiental	Patrick Kinney (Estados Unidos)
7	Evaluación de impacto en salud	Bart Ostro (Estados Unidos)
8	Aplicación de las guías en formulación de políticas	Adrian Fernandez (México) Miriam Zuk (México)
9	Calidad del aire bajo techo: aspectos especiales en evaluación y manejo de riesgos	Kalpana Balakrishnan (India), Nigel G Bruce (Reino Unido)
Parte 2. Evaluación de riesgo de ciertos agentes contaminantes		
10	Material particulado	Jonathan Samet (Estados Unidos) Michael Brauer (Canadá) Richard Schlesinger (Estados Unidos)
11	Ozono	Paulo Saldiva (Brasil), Nino Künzli (Estados Unidos)
12	Dióxido de nitrógeno	Francesco Forastiere (Italia) Annette Peters (Alemania) Frank Kelly (Reino Unido) Stephen T Holgate (Reino Unido)
13	Dióxido de azufre	Morton Lippmann (Estados Unidos) Kazuhiko Ito (Estados Unidos)

Anexo 2

LISTA DE MIEMBROS DEL GRUPO DE TRABAJO PRESENTES EN LA REUNIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO

(A) Autor del primer borrador

(S) Miembro del Grupo de Dirección

Nombre	Institución
Sameer Akbar	South Asia Environment Unit, The World Bank Group, New Delhi, India
H. Ross Anderson (S)	St George's Hospital Medical School, London, United Kingdom
Simon Avaliani	Russian Academy for Advanced Medical Studies, Moscow, Russian Federation
Kalpana Balakrishnan (A)	Sri Ramachandra Medical College, Chennai, India
Tom Bellander	Stockholm County Council, Stockholm, Sweden
Michael Brauer (A)	The University of British Columbia, Vancouver, Canada
Nigel Bruce (A)	The University of Liverpool, Liverpool, United Kingdom
Bert Brunekreef (S)	Utrecht University, Utrecht, Netherlands
Bingheng Chen (S)	Fudan University, Shanghai, China
Aaron Cohen (S)	Health Effects Institute, Boston, United States
Nelson Cruz Gouveia (A)	University of Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil
Walter Folch Ariza	Ministry of Health, Santiago, Chile
Francesco Forastiere (A)	Department of Epidemiology, Rome E Local Health Authority, Rome, Italy
Bertil Forsberg	Umeå University, Umeå, Sweden
Kong Ha	Clean Air Initiative for Asian Cities (CAI-Asia), Hong Kong, China
Roy M. Harrison (A)	University of Birmingham, Birmingham, United Kingdom
Anthony J Hedley	University of Hong Kong, Hong Kong, China
Matti Jantunen	KTL, Kuopio, Finland
Klea Katsouyanni	University of Athens, Athens, Greece
Frank J Kelly (A)	King's College London, London, United Kingdom
Patrick L. Kinney (A)	Columbia University, New York, United States

Wolfgang Kreyling	GSF Research Center, Neuherberg, Germany
Birgit Kuna-Dibbert	Radevormwald, Germany
Jong Tae Lee	Hanyang University, Seoul, Republic of Korea
Morton Lippmann (A)	New York University School of Medicine, Tuxedo, United States
Patricia Isabel Matus Correa	Universidad de Chile, Santiago, Chile
Robert L. Maynard (S)	Department of Health, London, United Kingdom
Sumi Mehta (A)	Health Effects Institute, Boston, United States
Lidia Morawska	Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
Paulo Hilário Nascimento Saldiva (A)	University of Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil
Marie S. O'Neill	University of Michigan, Ann Arbor, United States
Imoh Obioh Bassey	OBAFEMI AWOLOWO University, Ile Ife, Nigeria
Bart Ostro (A)	California Office of Environmental Health Hazard Assessment, Oakland, United States
Annette Peters (A)	GSF Institute of Epidemiology, Neuherberg, Germany
Uma Rajarathnam	Centre for Environmental Studies TERI, New Delhi, India
Regula Rapp	Universität Basel, Basel, Switzerland
Peter Rombout	National Institute of Public Health and Environment (RIVM), Bilthoven, Netherlands
Jonathan M Samet (A)	Johns Hopkins University, Baltimore, United States
Jürgen Schneider	Federal Environment Agency, Vienna, Austria
Rod Simpson	University of the Sunshine Coast, Queensland, Australia
Bjarne Sivertsen	NILU, Kjeller, Norway
Kirk R Smith (S)	University of California, Berkeley, United States
Mark J Utell (A)	University of Rochester Medical Center, Rochester, United States
Erich Wichmann	GSF - Institute of Epidemiology, Neuherberg, Germany
Martin L. Williams	DEFRA, London, United Kingdom
Andre Zuber	European Commission, DG Environment, Brussels
Miriam Zuk (A)	Institute Nacional de Ecología, Mexico City, Mexico

World Health Organization

Jacobo Finkelman	PAHO/WHO Representative in Mexico, Mexico City
Michal Krzyzanowski	Regional Office for Europe, Bonn, Germany (Scientific Secretary of the Project)
Mildred Maisonet	PAHO, Area of Sustainable Development and Environmental Health

Anexo 3

LISTA DE REVISORES Y AUTORES AUSENTES EN LA REUNIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO

Nombre	Institución
Autores	
Adrian Fernandez	Instituto Nacional de Ecología, México, D.F, Mexico
Mark Frampton	University of Rochester, Rochester, United States
Stephen T Holgate	General Hospital, RCMB Division, Southampton, United Kingdom
Nicole Janssen	RIVM, Bilthoven, Netherlands
Kazuhiko Ito	New York School of Medicine, Tuxedo, United States
Nino Künzli	Keck School of Medicine University of Southern California, Los Angeles, United States
Richard Schlesinger	Pace University, Pleasantville, United States
Revisores	
Ursula Ackermann-Liebrich	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Basel, Switzerland
Mauricio Hernandez Avila	Instituto Nacional de Salud Publica, Cuernavaca, Mexico
David V Bates	Vancouver, Canada
Leonora Rojas Brajo	Instituto Nacional de Ecología, Mexico, D.F, Mexico
Rick Burnett	Health Canada, Ottawa, Canada
Changhong CHEN	Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai, China
Pietro Comba	Istituto Superiore di Sanità, Rome, Italy
Richard Derwent	Rdscientific, Newbury, United Kingdom
Majid Ezzati	Harvard School of Public Health, Boston, United States
Dan Greenbaum	Health Effects Institute, Boston, United States of America
Yun-Chul Hong	Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea
Fintan Hurley	Institute of Occupational Medicine, Edinburgh, United Kingdom

Jonathan Levy	Harvard School of Public Health, Boston, United States
Joe Mauderly	Lovelace Respiratory Research Institute, Albuquerque, United States
Sylvia Medina	Institut de Veille Sanitaire, St. Maurice, France
Juha Pekkanen	KTL, Kuopio, Finland
Judith Petts	The University of Birmingham, Birmingham, United Kingdom
Sumeet Saxena	East-West Center, Honolulu, United States of America
Ira Tager	University of California, Berkeley, United States of America
Sverre Vedal	University of Washington, Seattle, United States of America
Paolo Vineis	St. Mary's Hospital, London, United Kingdom
Roger Waeber	Swiss federal office of public health, Bern, Switzerland
Denis Zmirou-Navier	Faculté de Médecine, Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France