

Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe

Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental
Organización Panamericana de la Salud
Organización Mundial de la Salud



**Organización
Panamericana
de la Salud**



Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

...

Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe

Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental
Organización Panamericana de la Salud
Organización Mundial de la Salud

Edición original en inglés
An assessment of health effects of ambient air pollution
in Latin America and the Caribbean
ISBN 92 75 12598 8

Biblioteca Sede OPS - Catalogación en la fuente
Organización Panamericana de la Salud
Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la Salud de América Latina y el Caribe
Washington, D.C: OPS, © 2005.

ISBN 92 75 32598 7

I. Título

1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE
2. CONTAMINANTES AMBIENTALES DEL AIRE
3. SALUD AMBIENTAL
4. AMÉRICA LATINA
5. REGIÓN DEL CARIBE

NLM WA 754

La Organización Panamericana de la Salud dará consideración muy favorable a las solicitudes de autorización para reproducir o traducir, íntegramente o en parte, alguna de sus publicaciones. Las solicitudes y las peticiones de información deberán dirigirse al Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, SDE/RA,, Organización Panamericana de la Salud, Washington, DC, Estados Unidos de América, que tendrá sumo gusto en proporcionar la información más reciente sobre cambios introducidos en la obra, planes de reedición, y reimpressiones y traducciones ya disponibles.

©Organización Panamericana de la Salud, 2005

Las publicaciones de la Organización Panamericana de la Salud están acogidas a la protección prevista por las disposiciones sobre reproducción de originales del Protocolo 2 de la Convención Universal sobre Derecho de Autor. Reservados todos los derechos.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Secretaría de la Organización Panamericana de la Salud, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o de nombres comerciales de ciertos productos no implica que la Organización Panamericana de la Salud los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las denominaciones de productos patentados llevan en las publicaciones de la OPS letra inicial mayúscula.

MENSAJE DE LA DIRECTORA

La Organización Panamericana de la Salud, OPS, trabaja desde 1902 con todos los países de las Américas para mejorar la salud y la calidad de vida de sus habitantes. También funciona como la Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud.

La OPS, con la colaboración de numerosas instituciones a lo largo de toda la Región, tiene el compromiso de promover y apoyar el desarrollo de las actividades que identifican y cuantifican los riesgos a la salud humana derivados de la contaminación ambiental.

La contaminación del aire es una forma de degradación del ambiente que se ha generalizado en toda la Región. El crecimiento económico y de la población, especialmente en las áreas urbanas, son las principales causas de la contaminación atmosférica. Por ello, las políticas y las prácticas del desarrollo económico y social deben tener en cuenta las consecuencias en la salud y en el ambiente que se están presentando ahora y las que ocurrirán en el futuro.

El desarrollo sostenible no es posible cuando hay una alta prevalencia de enfermedades debilitantes y pobreza, más aun, la salud de una población no es sostenible sin un ambiente saludable y un sistema de salud que no responde a las necesidades de sus usuarios. La salud se ve afectada por los estilos de vida y los patrones de consumo no saludables, el manejo inadecuado de los recursos naturales, y la degradación del ambiente. La mala salud impide el desarrollo económico y también frena los esfuerzos que se realizan para aliviar la pobreza.

El objetivo de este documento es divulgar lo que se conoce actualmente sobre la relación que existe entre la contaminación del aire y los efectos adversos en la salud con el propósito de informar al público, así como orientar la asignación de recursos y la implementación de acciones.

Mirta A. Roses

Directora

Organización Panamericana de la Salud

PREFACIO

En nuestro mundo globalizado y de rápidos cambios, los riesgos a la salud provenientes del ambiente, del trabajo y de los hábitos de consumo, incluidos la violencia y el tabaquismo, no solo están aumentando sino que están tomando nuevas formas. Las políticas de salud pública y las intervenciones para monitorear, evaluar, comunicar y controlar esos riesgos merecen especial atención debido a su impacto en el desarrollo sostenible. A fin de atender estos desafíos, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha creado recientemente una unidad para evaluar y manejar los riesgos a la salud derivados de la contaminación ambiental, de las condiciones desfavorables en el trabajo y de los patrones de consumo. Esa unidad trata también de involucrar a todos los sectores responsables a fin de reducir la carga que implican las enfermedades, los accidentes laborales, discapacidades y muertes prematuras, que se atribuyen a esos riesgos. Como parte de esos esfuerzos, la OPS ha llevado a cabo el presente análisis regional que examina el impacto de la contaminación del aire en la salud humana. Mediante un acuerdo de cooperación se contó con la asistencia de la Agencia de Protección del Ambiente, de los Estados Unidos de América.

La contaminación del aire se ha convertido en una de las principales preocupaciones de la salud pública en muchas ciudades de América Latina y el Caribe, donde las concentraciones de partículas y de otros contaminantes exceden las normas nacionales de calidad del aire. La exposición a los tipos y concentraciones de contaminantes que frecuentemente se encuentran en las zonas urbanas se ha relacionado con un aumento de riesgo de mortalidad y morbilidad debido a una variedad de condiciones, incluidas las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La exposición de las madres a los contaminantes del aire durante el embarazo también se ha ligado a efectos adversos en el crecimiento del feto.

Comprender las asociaciones entre los efectos reportados y la exposición a la contaminación del aire significa avanzar pasos importantes hacia la caracterización de la exposición a los contaminantes del aire, hacia la definición de las poblaciones en riesgo y hacia el establecimiento de los niveles específicos de exposición que producen consecuencias negativas en la salud.

El primero de los dos capítulos de este documento describe las principales características sociales y las condiciones ambientales de la Región en relación con la exposición potencial a la contaminación del aire y su impacto en la salud humana. El siguiente capítulo presenta una búsqueda sistemática y una revisión de la investigación regional sobre los efectos en la salud que produce la exposición al material particulado. Se han efectuado y reportado estimaciones cuantitativas de resumen y se discute el significado de la evidencia para la Región. Aunque la exposición al humo del tabaco es un tema muy importante, este no ha sido tratado de manera extensa en esta publicación. Esperamos hacerlo pronto en un documento más específico.

Además de determinar los riesgos a la salud pública, este reporte ofrece la base para establecer los requisitos de la investigación y de la información que debe apoyar los procesos de toma de decisiones orientados a mejorar la calidad del aire en la Región. Finalmente, tenemos confianza en que este reporte contribuirá a crear una mayor conciencia y acción en favor de los niños y del ambiente. Estos dos temas han sido incluidos en la Alianza para los Ambientes Saludables de los Niños, la que fue establecida en 2002 por la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible. Las acciones que se tomen para reducir y eliminar los riesgos ambientales que afectan la salud del niño y de la madre harán posible que cada niño y que cada madre sean tomados en cuenta.

Luis Galvão

Gerente

Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental

CONTENIDO

ABREVIATURAS	11
RESUMEN EJECUTIVO	13
RECONOCIMIENTO	15
1. ASPECTOS GENERALES DE LA SALUD, DE LA ECONOMÍA Y DEL AMBIENTE EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	17
1.1 INTRODUCCIÓN	17
1.2 TENDENCIAS DE POBLACIÓN Y DE URBANIZACIÓN	17
1.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS	19
1.4 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN EL AMBIENTE	20
1.4.1 Fuentes de contaminación del aire	20
1.4.2 Concentraciones de partículas en el ambiente	23
1.4.3 Contaminación del aire en interiores	24
1.5 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA SALUD	26
1.6 RESUMEN	28
2. REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA SOBRE LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA SALUD DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	31
2.1 BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	31
2.1.1 Estrategia de búsqueda	31
2.2 SITUACIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA	32
2.3 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE SERIES TEMPORALES	36
2.3.1 Principales hallazgos	38
2.3.1.1 Aspectos metodológicos de los estudios	39
2.3.1.2 Mortalidad	39
a. Muerte por todas las causas	40
b. Muerte por todas las causas respiratorias	42
c. Muerte por enfermedades cardiovasculares	43
2.3.1.3 Admisiones hospitalarias	44
d. Admisión por causas respiratorias	44
e. Admisión por neumonía	45
2.3.1.4 Visitas a la sala de emergencia	45
2.4 DISCUSIÓN	46
3. CONCLUSIONES	49
APÉNDICES	51
APÉNDICE I - Resumen de la información de los estudios	53
APÉNDICE II - Referencias	61

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1-1	Población total estimada de América Latina y el Caribe 2000 ^{a,b}	18
Cuadro 1-2	Indicadores demográficos y socioeconómicos de subregiones de América Latina y el Caribe	19
Cuadro 1-3	Ciudades de América Latina y el Caribe con cinco millones de habitantes o más	19
Cuadro 1-4	Inventarios de emisiones de MP ₁₀ en países seleccionados de ALC	21
Cuadro 1-5	Norma nacional anual y concentraciones promedio de MP ₁₀ (µg/m ³) en el ambiente de algunas ciudades de América Latina y el Caribe, 2000-2004	24
Cuadro 1-6	Tasas de mortalidad ajustada por edad, 2000-2005 (100.000 hab.) ^a	26
Cuadro 1-7	Mortalidad en menores de 5 años	27
Cuadro 1-8	Tasa de prevalencia de sibilancia y asma en ciudades seleccionadas de América Latina	28
Cuadro 2-1	Estudios de series temporales excluidos de la revisión sistemática de la literatura	38
Cuadro 2-2	Distribución de los estimadores de riesgo por causa de muerte y grupo de edad	39
Cuadro 2-3	Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m ³ en el MP ₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas, todas las edades”	40
Cuadro 2-4	Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m ³ en el MP ₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas, ancianos”	41
Cuadro 2-5	Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m ³ en el MP ₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas, niños”	42
Cuadro 2-6	Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m ³ en el MP ₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas, respiratorias, todas las edades”	43
Cuadro 2-7	Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m ³ en el MP ₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas respiratorias, ancianos”	43
Cuadro 2-8	Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m ³ en el MP ₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas de ECV, todas las edades”	43
Cuadro 2-9	Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m ³ en el MP ₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas de ECV, ancianos”	44
Cuadro 2-10	Distribución de los estimadores de riesgo por causa de admisión hospitalaria y grupo de edad	44

Cuadro 2-11 Cambio de porcentaje de la admisión hospitalaria por un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el MP_{10} reportado en estudios individuales sobre “todas las causas respiratorias, niños”	45
Cuadro 2-12 Cambio de porcentaje de la admisión hospitalaria por un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el MP_{10} reportado en estudios individuales de “neumonía, niños”	45
Cuadro 2-13 Estimadores de la distribución de riesgo por causa de visita a la sala de emergencia y grupo de edad	46
Cuadro 2-14 Estimación cuantitativa de resumen del cambio de porcentaje en todas las causas de mortalidad por un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el MP_{10} en otras regiones del mundo por grupo de edad	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Evolución del consumo de energía per cápita (barras) y del consumo total (símbolos y números) en el periodo 1980-2000	22
Figura 2-1 Estudios epidemiológicos de la contaminación del aire y sus efectos en la salud en América Latina y el Caribe	32
Figura 2-2 Número de estudios epidemiológicos de la contaminación del aire y sus efectos en la salud en América Latina y el Caribe por año de publicación, 1994-2004	32
Figura 2-3 Diseños utilizados en los estudios epidemiológicos sobre los efectos en la salud causados por la contaminación del aire en exteriores en América Latina y el Caribe, 1994-2004	33
Figura 2-4 Resultados de salud encontrados en estudios epidemiológicos sobre la contaminación del aire en exteriores en América Latina y el Caribe, 1994-2004	35
Figura 2-5 Resumen de los estimadores de los efectos aleatorios y fijos de la mortalidad por todas las causas en todos los grupos de edad debido a un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el MP_{10}	40
Figura 2-6 Resumen de los estimadores de los efectos aleatorios y fijos de la mortalidad por todas las causas en ancianos debido a un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la exposición a partículas	42

ABREVIATURAS

ALC	América Latina y el Caribe
BIREME	Centro Latinoamericano y del Caribe en Ciencias de la Salud
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CI	Cardiopatía Isquémica
CIE	Clasificación Internacional de Enfermedades
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
ECV	Enfermedad Cardiovascular
EE	Errores Estándar
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
FME	Flujo Máximo de Espiración
IAM	Infarto Agudo al Miocardio
IC	Intervalo de Confianza
IRA	Infecciones Respiratorias Agudas
ISAAC	Estudio Internacional de Asma y Alergias en Niños (International Study of Asthma and Allergies in Childhood)
ISR	Índice de Sostenibilidad Residencial
LILACS	Literatura Latinoamericana y del Caribe en Ciencias de la Salud
MAG	Modelo Aditivo Generalizado
MEDCARIB	Literatura del Caribe en Ciencias de la Salud
MP	Material Particulado
MP _{2,5}	Material Particulado de 2,5 micrómetros de diámetro
MP ₁₀	Material Particulado de 10 micrómetros de diámetro
NO _x	Óxidos de nitrógeno
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
NU	Naciones Unidas
O ₃	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
Pb	Plomo
PPM	Partes Por Millón
PPB	Partes Por Billón
PST	Partículas Suspendidas Totales
REPIDISCA	Red Panamericana de Información en Salud Ambiental
RR	Riesgo Relativo
SCIELO	Scientific Electronic Library Online
SE	Sala de Emergencia
SO ₂	Dióxido de azufre
µg/m ³	Microgramo por metro cúbico
µm	Micrómetro
VSE	Visitas a la Sala de Emergencia

RESUMEN EJECUTIVO

En muchas ciudades de América Latina y el Caribe (ALC) la contaminación del aire se ha convertido en una de las principales preocupaciones de salud pública. La exposición a los diferentes tipos y concentraciones de contaminantes del aire, que a menudo se encuentran en las áreas urbanas, se ha relacionado de manera científica con un mayor riesgo de mortalidad y morbilidad debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Los reportes científicos también sugieren que la exposición materna a los contaminantes del aire durante el embarazo podría tener un efecto adverso en el crecimiento del feto.

El primer capítulo describe las principales características y condiciones de la Región en relación a las potenciales exposiciones a la contaminación del aire exterior y su impacto en la salud humana. El siguiente capítulo contiene una búsqueda sistemática y una revisión de la evidencia científica que se ha producido en la Región sobre los efectos de la exposición al material particulado. Se han generado y reportado resúmenes cuantitativos de estimados. También se discute la evidencia y lo que esto significa para la Región.

Las concentraciones de MP_{10} exceden las normas de calidad del aire en muchas ciudades de América Latina. Las fuentes móviles son responsables de una gran proporción de la contaminación del aire en las áreas urbanas de la Región debido a que la flota total de vehículos está constituida en su mayor parte por automóviles y buses antiguos que no usan tecnología limpia. En muchos países a lo largo de la Región, el uso de combustible diesel exacerba esta situación. En algunos casos, este problema se magnifica por las condiciones del clima y la topografía, como la inversión térmica que suele ocurrir en la Ciudad de México y en Santiago, lo que causa una reducida dispersión de contaminantes y el aumento del potencial de exposición.

ALC es una Región altamente urbanizada. Varias ciudades tienen más de cinco millones de habitantes. Aproximadamente 75% de los habitantes viven en áreas urbanas densamente pobladas. Por lo tanto una gran parte de la población está expuesta a partículas y otros contaminantes del aire exterior. En México solamente, cerca de 25 millones de personas están afectadas por la contaminación del aire. Otros 85 millones viven en otras áreas urbanas de ALC que también exceden las normas de calidad del aire, como Arequipa, Bogotá, Fortaleza, Lima, Medellín, Santiago y San Salvador. Sin duda, en ALC el total de la población potencialmente expuesta está subestimado, sin embargo, la información disponi-

ble es insuficiente como para determinar cifras reales.

La mayor parte de la población en ALC enfrenta una doble carga ambiental. Además de los riesgos recientes que se han creado durante la última mitad del siglo pasado, tales como la contaminación del aire, muchos todavía deben encarar riesgos tradicionales como la falta de acceso al agua segura y la inadecuada disposición de residuos. La mala nutrición, la carencia de servicios de salud y otras enfermedades relacionadas con la pobreza pueden hacer que la población sea más susceptible a desarrollar efectos adversos en la salud derivados de la contaminación del aire. Es necesario prestar más atención a la relación que existe entre el estatus socioeconómico y cómo este puede modificar los efectos de la contaminación del aire en la salud. En 2002, cerca de 43% de latinoamericanos vivían en la pobreza.

Las variaciones temporales de la concentración de MP_{10} en el ambiente se han asociado con un aumento de la mortalidad diaria. La literatura científica ha demostrado una relación entre el aumento de la contaminación del aire y el exceso de mortalidad diaria cuando se observan elevados niveles de contaminación del aire en ALC. Sin embargo, actualmente no hay suficiente información como para definir un umbral debajo del cual no se observen efectos de la contaminación del aire. El exceso de mortalidad podría identificarse aún en los niveles que estén por debajo de lo que exigen las normas de contaminación del aire vigentes en la Región.

Se realizaron búsquedas bibliográficas sistemáticas para identificar todos los estudios que relacionan los efectos de la contaminación del aire con la salud y que se llevaron a cabo de 1994 a 2004 en ALC. Las búsquedas de efectuaron en español, inglés y portugués en las bases de datos bibliográficas disponibles en la Internet.

La búsqueda identificó un total de 85 estudios publicados en revistas científicas entre 1994 y agosto de 2004, que exploraban la asociación entre la contaminación del aire y sus efectos en la salud en la Región de ALC. Se incluye un listado completo de las referencias. Los resultados de la búsqueda identificaron estudios solo en seis países de ALC: Brasil, México, Chile, Perú, Cuba y Venezuela. Si bien en estos países se investigaba un total de 25 ciudades, una revisión más detallada reveló que la mitad de esos estudios se referían a Brasil y México.

El análisis más detallado de la literatura regional sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud se limitó a la evaluación de los resultados de los estudios de series temporales efectuados en ALC entre 1994 y 2004 y que se centraban en el material particulado. Aunque

se encontraron otros tipos de estudios en la búsqueda bibliográfica, el diseño más utilizado fue la evaluación de los efectos en la salud según las variaciones temporales de los niveles de contaminación del aire (47 de los 85 estudios citados). En la revisión sistemática se tuvo que elegir un tipo de diseño para facilitar la comparación de los resultados. La investigación de series temporales fue la ofreció el mayor número de evidencia para trabajar. Además, como en Asia y en Europa se han llevado a cabo revisiones sistemáticas de estudios de series temporales, la elección de este tipo de diseño nos permitirá comparar los resultados de ALC con datos de otras latitudes.

En términos generales, el análisis de los estudios de ALC sugiere que las variaciones temporales en el material particulado contribuyen a la mortalidad y morbilidad adicionales. Un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentraciones de partículas en el ambiente se relacionó con el incremento de la mortalidad diaria por todas las causas, enfermedades respiratorias y ECV. El mismo aumento en las concentraciones de partículas en el ambiente también se relacionó con el aumento de admisiones hospitalarias debido a todas las causas respiratorias.

Se calcularon estimaciones cuantitativas de resumen para evaluar el porcentaje de incremento de la mortalidad diaria asociado a un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} para algunas causas de mortalidad. El estimado cuantitativo de resumen del modelo de los efectos aleatorios para todas las causas en todos los grupos de edad produjo un aumento de 0,61% de muertes diarias (95% IC: 0,16; 1,07). El estimado cuantitativo de resumen del efecto de la exposición a un aumento de los niveles de contaminación del aire en la salud de la población anciana fue mayor que el que se observó para todas las causas en todas las edades. El modelo de efectos aleatorios calculó un incremento de 0,86% de muertes diarias (95% IC: 0,49; 1,24).

De manera general, los efectos de la contaminación del aire observados en estos estudios fueron similares en magnitud a las cifras de otras partes del mundo. Se debe tener especial cuidado al interpretar los resultados de esta revisión. El estimado de resumen de los efectos tuvo como base los estudios realizados en solo tres ciudades de ALC. Por ello, los datos no son representativos de toda la Región.

Se estableció como norma que se derivarían conclu-

siones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud solo si hubiera por lo menos tres estimadores de riesgo para cualquiera de las consecuencias en la salud por grupo de edad. No se evaluaron otros grupos de edad ni consecuencias en la salud. No existe en la Región información significativa sobre los efectos de la exposición a partículas en la mortalidad infantil. Aunque la mortalidad por causas respiratorias en ALC es una de las principales causas de muerte en niños menores de 5 años, pocos estudios de series temporales analizan la mortalidad debido a causas respiratorias en niños.

Algunos estudios sí evaluaron la mortalidad infantil por todas las causas, pero no se pudo comparar la información porque hubo diferencias en las definiciones que utilizaron para diferenciar los grupos de edad. Por lo tanto, esta limitación no pudo ser superada. La evaluación de la morbilidad fue particularmente difícil debido a la escasez de datos. La información sobre el número de estimadores de riesgos para la admisión en los hospitales, la sala de emergencias y las consultas externas resultó ser insuficiente para evaluar la influencia de las partículas ambientales en estos resultados.

Es bastante probable que los resultados que se presentan en este informe resulten subestimados en relación con los efectos reales de la contaminación del aire para las poblaciones de ALC. Esto se debe a que la Región tiene una gran proporción de población infantil, un subgrupo considerado entre los más vulnerables. De igual modo, los niveles promedio de contaminación del aire que se dan en ALC son sustancialmente mayores que los de Europa o de los Estados Unidos. Finalmente, las significativas desigualdades socioeconómicas que prevalecen en la Región podrían amplificar el impacto de la contaminación del aire sobre la salud debido al rol que desempeña la pobreza como un modificador de los efectos.

Si bien se podría mejorar la evidencia sobre la cual se calcularon las estimaciones cuantitativas de resumen, dichas estimaciones dan una idea aproximada de los efectos de la contaminación del aire en las poblaciones de ALC. Estas estimaciones podrían ser usadas por quienes toman decisiones para ayudarlos a calcular los costos relacionados con los niveles de contaminación actuales y los beneficios que las medidas de prevención y de reducción podrían traer.

RECONOCIMIENTO

La OPS agradece a las siguientes personas por sus contribuciones a la elaboración de este documento.

Autores

Nelson Gouveia - Universidad de São Paulo

Mildred Maisonet - Organización Panamericana de la Salud

Colaboradores

Sonia Carlos - Organización Panamericana de la Salud

Luis A. Cifuentes - Pontificia Universidad Católica de Chile

Héctor Jonquera - Pontificia Universidad Católica de Chile

Izabel Marcillo - Universidad de São Paulo

Adrián Montalvo - Cooperación Suiza para la Cooperación Técnica

Pablo Ulriksen - Centro Nacional del Medioambiente, Universidad de Chile

Revisores

Víctor Borja - Instituto Mexicano de Seguridad Social

Aaron Cohen - Health Effects Institute, Estados Unidos

Cicero Goes - Ministerio de Salud del Brasil

Patricia Echenique - Municipio de Quito, Ecuador

José Antonio Escamilla - Organización Panamericana de la Salud

Rocío Espinoza - Ministerio de Salud del Perú

Walter Folch - Ministerio de Salud de Chile

Patricia Matus - Centro Nacional del Medioambiente, Universidad de Chile

Michele Monteil - University of the West Indies

Lucas Neas - Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

Luiz A. Pereira - Universidad de São Paulo

Paulina Pino - Escuela de Salud Pública, Universidad de Chile

Pedro Riveros - Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana, Chile

Editor

Alex Crawford

Traducción

Marta Miyashiro

Capítulo 1

Aspectos generales de la salud, de la economía y del ambiente en América Latina y el Caribe

1.1 Introducción

La mala calidad del aire exterior se ha convertido en uno de los problemas principales de la salud pública. La exposición al material particulado (MP), un componente importante de la contaminación del aire, causa 800.000 muertes prematuras cada año en todo el mundo (Cohen, 2004). La contaminación del aire también es un motivo de preocupación en América Latina y el Caribe (ALC). Las presiones que ejercen la economía y el crecimiento de la población han sido determinantes en el estado de la calidad del aire. La quema de combustibles fósiles es la principal fuente de contaminación del aire exterior debido a la necesidad de satisfacer la creciente demanda del transporte y la generación de energía. La contaminación alcanza niveles inaceptables en las áreas urbanas y la creciente tendencia regional de la urbanización expone cada vez a un mayor número de habitantes a diferentes contaminantes.

La contaminación del aire se encuentra por doquier. Más de 110 millones de personas en ALC viven en áreas donde no se respetan las normas de calidad del aire exterior. La contaminación del aire debido a la combustión está asociada a una alta incidencia de efectos agudos y crónicos en la salud. La evidencia de muchos estudios realizados alrededor del mundo relaciona las concentraciones de contaminantes del aire, que a menudo se encuentran en las áreas urbanas de ALC, con efectos adversos en la salud. El exceso de mortalidad por causas cardiovasculares, respiratorias, cáncer del pulmón e infecciones respiratorias agudas en los niños ha sido asociado con la presencia de niveles de contaminantes que exceden las normas de calidad del aire exterior (Cohen, 2004). También se han reportado las consecuencias de una variedad de indicadores de morbilidad (American Lung Association, 2001). El aumento de mortalidad y morbilidad tiene consecuencias directas e indirectas en la sociedad, desde el incremento de la atención médica hasta la reducción de la productividad y de la calidad de vida.

Este trabajo responde a la necesidad de contar con una visión panorámica del conocimiento que actualmente existe sobre los efectos adversos de la contaminación del aire en la salud humana y sus consecuencias en la sociedad en general. Este capítulo explora tres caracterís-

ticas y condiciones principales de la Región en relación con la exposición potencial a la contaminación del aire exterior y su impacto en la salud humana.

ALC es una Región muy diversa que comprende 40 países con una amplia variedad de geografías, economías, ambientes y culturas. En la medida de lo posible, los datos que se incluyen se han organizado por subregiones. Cuando la información no ha sido suficiente o cuando se han identificado diferencias importantes entre los países, los datos se han desagregado y discutido de manera explícita. Los principales objetivos de este capítulo son la descripción de las tendencias de población y de urbanización, una revisión de la magnitud de los problemas de la contaminación del aire y sus fuentes en la Región, y las principales consecuencias en la salud derivadas de la contaminación del aire y otras características que pudieran alterar el potencial de la exposición y originar efectos adversos en la salud.

1.2 Tendencias de población y de urbanización

En el año 2000, la población de ALC era de aproximadamente 518,9 millones de habitantes o cerca de 8,6% de la población mundial total (CEPAL, 2004a). Brasil y México son los países más poblados de la Región. Ambos representan 51% de la población total mientras que 49% de la población restante están distribuidos en 38 países y territorios. El Área Andina, comprendida por Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, es la subregión más poblada con 113 millones de habitantes. El Caribe inglés es la subregión menos poblada, pero tiene el mayor número de Estados soberanos o unidades políticas (Cuadro 1-1).

En términos generales, las tasas de crecimiento de la población revelan una tendencia decreciente. En la Región, la tasa promedio anual de crecimiento de la población ha disminuido de 2,1 a 1,3 por 100 en los últimos 20 años (OPS, 2002b). En América Central, sin embargo, la tasa de crecimiento está por encima del promedio regional (Cuadro 1-2). A pesar de la disminución de la tasa de crecimiento actual en la Región, ALC tendrá en el año 2020 una población estimada de 667 millones, lo que representa 148 millones de personas adicionales en 15 años (CEPAL, 2004a). Así, muchos niños se verán

Cuadro 1-1 Población total estimada de América Latina y el Caribe 2000^{a,b}

País	Población Total	País	Población Total
Brasil	170.693	Caribe latino	31.768
México	98.881	Cuba	11.199
Área Andina	113.504	República Dominicana	8.396
Colombia	42.321	Haití	8.357
Perú	25.939	Puerto Rico	3.816
Venezuela	24.170	Caribe inglés	6.612
Ecuador	12.646	Jamaica	2.580
Bolivia	8.428	Trinidad y Tobago	1.289
Cono Sur	61.076	Guyana	759
Argentina	37.032	Suriname	425
Chile	15.211	Bahamas	303
Paraguay	5.496	Barbados	267
Uruguay	3.337	Antillas Neerlandesas	215
América Central	31.019	Santa Lucía	146
Guatemala	11.385	San Vicente y las Granadinas	118
Honduras	6.485	Islas Vírgenes (E.U.A.)	109
El Salvador	6.276	Aruba	93
Nicaragua	5.071	Granada	81
Costa Rica	3.925	Dominica	78
Panamá	2.948	Antigua y Barbuda	72
Belice	240	Saint Kitts y Nevis	42
		Islas Vírgenes Británicas	20
		Anguila	11
		Montserrat	4
		Total	518.864

a. Miles de personas a mitad del año

b. CEPAL, 2004a

afectados por la exposición a los contaminantes del aire en los años venideros.

La disminución de la mortalidad debido a enfermedades transmisibles ha sido un factor decisivo para el incremento de la expectativa de vida en la Región. En el año 2004, la expectativa de vida al nacer era de 71 años en América Latina y el Caribe; 74 años para las mujeres y 67 para los hombres (OPS, 2004). El rango promedio de la expectativa de vida en las diferentes subregiones era de 75 años en el Cono Sur y hasta 67 en el Caribe latino (Cuadro 1-2). Una expectativa de vida más alta ocasionará un cambio en la estructura de la distribución por edad e incrementará el grupo de los de mayor edad. Para el año 2020, 8,3% de la población de la Región tendrá más de 65 años en comparación con 5,4% del año 2000 (CEPAL, 2004a).

ALC es una de las regiones más urbanizadas del mundo en desarrollo. Actualmente, 77% de la población vive en áreas urbanas (Cuadro 1-2). La cifra de ALC es

más alta que la de Europa y duplica la actual proporción de África o Asia, aunque una revisión más detallada revela considerables variaciones subregionales (Naciones Unidas, 2003). En países como Argentina y Uruguay, por ejemplo, así como en algunas islas del Caribe, la población urbana excede 90%. En contraste, solo cerca de 50% de la población de América Central vive en áreas urbanas (OPS, 2004).

Siete ciudades de América Latina y el Caribe tenían cinco o más millones de habitantes en el año 2000. Cuatro de estas —Ciudad de México, São Paulo, Buenos Aires y Rio de Janeiro— tenían más de 10 millones (Cuadro 1-3). Ciudad de México y São Paulo están consideradas como la segunda y tercera ciudad más poblada del mundo (Naciones Unidas, 2003). Con la excepción de Ciudad de México, todas las otras megaciudades se encuentran en América del Sur y dos de ellas están en Brasil. Las proyecciones indican que Ciudad de Guatemala y Belo Horizonte tendrán más de cinco millones de habitantes

Cuadro 1-2 Indicadores demográficos y socioeconómicos de subregiones de América Latina y el Caribe

Subregiones y países	Tasa anual de crecimiento de la población (%) 2004 ^a	Expectativa de vida al nacer (años) 2004 ^a	Población urbana 2004 ^a (%)	Ingreso nacional bruto ^a 2002 (US\$ per cápita)
América Latina y el Caribe	1,3	71,1	77,2	3.399
Brasil	1,2	68,7	83,6	2.830
México	1,4	73,8	75,8	5.920
Area Andina ¹	1,6	71,7	76,1	2.251
Cono Sur ²	1,2	74,8	86,7	3.949
América Central ³	2,1	70,2	52,8	1.958
Caribe Latino ⁴	0,9	67,1	64,2	3.083
Caribe inglés ⁵	0,7	73,5	63,9	4.273

1. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.

2. Argentina, Chile, Paraguay y Uruguay.

3. Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá.

4. Cuba, Haití, Puerto Rico y República Dominicana.

5. Anguila, Antigua y Barbuda, Antillas Neerlandesas, Aruba, Bahamas, Barbados, Dominica, Granada, Guadalupe, Guyana, Islas Caimán, Islas Vírgenes Británicas, Islas Vírgenes de los Estados Unidos, Jamaica, Martinica, Montserrat, Saint Kitts y Nevis, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía, Suriname, Trinidad y Tabago e Islas Turcas y Caicos.

a. OPS, 2004.

en el año 2015 (OPS, 2004). La mala calidad del aire es común en casi todas las principales áreas metropolitanas de la Región y solamente las cifras de habitantes que viven en estas zonas dan una idea de la gran proporción de la población de ALC que está expuesta a los contaminantes del aire exterior.

El patrón de urbanización en la Región ha determinado que generalmente haya solamente una ciudad muy grande por país. Santiago, Buenos Aires y Lima son ejemplos de ello y sus poblaciones representan un tercio de la población total del país (Cuadro 1-3). En Arequipa, por ejemplo, la segunda ciudad más grande del Perú, viven menos de 700.000 personas. Las poblaciones urbanas continuarán creciendo más rápidamente que las rurales, pero las tasas de crecimiento más altas ocurrirán en las ciudades más pequeñas (UN, 1999).

1.3 Indicadores socioeconómicos

En los últimos años, casi todos los países de la Región han experimentado mejoras económicas. El crecimiento ha sido sostenido y ha estado a la par con la economía mundial. Los principales motores del desarrollo económico han sido la expansión de los mercados y la mayor demanda de bienes. En 2004 se esperaba que la economía de la Región creciera 4,5% y que dicho incremento tuviera un efecto positivo en el empleo y que contribuyera a reducir la pobreza (CEPAL, 2004b).

En 2002, cerca de 43% de latinoamericanos vivían

en la pobreza (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2004). Una mirada a las cifras del producto bruto interno de 2002 sugiere que la pobreza continúa prevaleciendo en América Central y en la subregión andina (Cuadro 1-2). En el pasado se creía que la pobreza estaba confinada a las áreas rurales, pero muchas zonas urbanas están en la misma situación. En términos generales, en las áreas urbanas de la Región el porcentaje de viviendas en situación de pobreza (i.e., aquellos con ingresos inferiores al doble del costo de una canasta básica) es de cerca de 36%, aunque esta cifra

Cuadro 1-3 Ciudades de América Latina y el Caribe con cinco millones de habitantes o más

Ciudad	Población (miles) 2002 ^a	Porcentaje de la población total del país 2000 ^b
>10 millones		
Ciudad de México	18.259	18,2
São Paulo	18.182	10,1
Buenos Aires	12.819	32,3
Rio de Janeiro	10.756	6,1
5-9 millones		
Lima	7.740	29,1
Bogotá	6.543	16,3
Santiago	5.709	36,0

a. Naciones Unidas, 2003

b. CEPAL, 2004a

varía considerablemente. En Ciudad de México y São Paulo, por ejemplo, entre 30% y 40% de la población vive en o por debajo de la línea de la pobreza. Algunos países reportan niveles de pobreza por encima de 70% (CEPAL, 2004a).

En la Región existen profundas desigualdades en la distribución del ingreso. El quintil más rico de ALC gana aproximadamente 45% del ingreso total, mientras que el quintil más pobre gana solo 5% (OPS, 2002b). La desigualdad en la distribución del ingreso en América Latina es la más extrema del mundo. Los coeficientes Gini para los países de ALC fueron más altos que el promedio mundial de 0,4 y países como Colombia, Chile, Paraguay, Bolivia, Honduras, Brasil y Nicaragua reportaron valores cercanos a 0,6 (CEPAL 2004a).

La pobreza y el crecimiento urbano no planificado han contribuido al desarrollo de los asentamientos urbanos marginales. Sus pobladores, que generalmente habitan viviendas inadecuadas en asentamientos informales, tienen acceso limitado a los servicios básicos o carecen de ellos (Naciones Unidas, 1999). América Central tiene el mayor número de asentamientos informales, una alta tasa de crecimiento urbano y una gran proporción de su población vive en la pobreza (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2004).

Las personas que viven en la pobreza son probablemente las más susceptibles a la contaminación del aire. Un estudio del Brasil encontró una correlación inversa entre la mortalidad debido a la contaminación del aire y los indicadores de estatus socioeconómico. La mortalidad más alta estuvo relacionada con los que vivían en áreas donde las personas recibían menos educación, tenían menores niveles de ingreso y un alto porcentaje vivía en asentamientos marginales (Martins, 2004). Las razones de estas asociaciones podrían incluir la mala nutrición, la carencia de acceso a los servicios de salud, la falta de conciencia sobre los efectos adversos de la contaminación del aire en la salud, la inadecuada protección de la vivienda, así como la exposición potencial a altos niveles de contaminación del aire en interiores.

1.4 Fuentes de contaminación del aire y concentraciones de partículas en el ambiente

1.4.1 Fuentes de contaminación del aire

Los contaminantes del aire se clasifican en primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos donde una fuente emite directamente al ambiente mientras que, los contaminantes secundarios se forman

en el ambiente a través de reacciones químicas y fotoquímicas de los contaminantes primarios.

En ALC existen varias fuentes “naturales” de contaminantes del aire. La mayor parte de América Central y del Sur está ubicada en el llamado “Círculo de Fuego”, donde abundan volcanes activos y dormidos. En América Central solamente hay más de 100 volcanes, incluidos algunos activos (Smithsonian Institution, 2004). Las erupciones volcánicas emiten ceniza y gases. La ceniza puede viajar grandes distancias y afecta la visibilidad y la calidad del aire de las zonas pobladas. Durante las erupciones volcánicas generalmente se emiten a la atmósfera dióxido de carbono y dióxido de azufre (OPS, 2000).

La tala y quema de bosques es una práctica común en la Región para convertir el bosque húmedo en tierra agrícola y para su posterior mantenimiento. Durante los incendios, las partículas en el ambiente y las concentraciones de monóxido de carbono son altas e invariablemente exceden las normas de calidad del aire (Reinhardt, 2001; Arbex, 2004). Los incendios representan una significativa fuente de contaminación del aire, aunque la mayoría generalmente ocurre en áreas rurales, donde los problemas derivados del tráfico o de la industria son menos posibles. Los episodios de quema tienden a ser bastante breves en comparación con las emisiones de otras fuentes; sin embargo, las poblaciones cercanas pueden verse expuestas a altas concentraciones de contaminantes del aire. Es posible que dichos episodios se conviertan en fuentes importantes de la contaminación del aire en la Región. El viento puede acarrear partículas a miles de kilómetros, lo que exacerba los problemas de calidad del aire en las zonas urbanas. La exposición aguda puede afectar a los grupos más susceptibles de la población, tales como los asmáticos y aquellos que tienen dolencias crónicas.

Otra fuente de material particulado en la Región son las tormentas de polvo del Norte de África, que transportan en la atmósfera grandes cantidades de polvo hasta el Caribe y llegan tan lejos como a los estados del sudeste de los Estados Unidos. El transporte es mayor durante el verano (junio a agosto) y en algunos años las concentraciones de polvo en el Caribe han sido particularmente altas. Gran parte de esa masa de polvo es fina, en otras palabras, son partículas con menos de 2,5 μm de diámetro (Prospero, 2003). La deposición del polvo afecta la calidad del aire y es perjudicial para las poblaciones susceptibles porque las partículas finas se alojan profundamente en el pulmón.

La economía y el crecimiento de la población han contribuido a los niveles de contaminación atmosférica

ca en la Región. La rápida industrialización y el mayor número de vehículos en circulación ha producido el aumento de la quema de combustibles fósiles para satisfacer la demanda de energía. El material particulado (MP) es el principal contaminante de la quema de combustibles fósiles. En las áreas urbanas, el MP primario consiste principalmente del carbón (hollín) que emiten los carros, camiones y equipo pesado, y el material de los caminos sin asfaltar y de las operaciones de molienda de piedras, de construcción y de la metalurgia. El MP secundario se forma en la atmósfera con las partículas finas de los gases e incluye a los sulfatos, nitratos y carbón (US EPA, 2004; Suh, 2000).

Las partículas contaminantes están formadas por una mezcla de “partículas gruesas” y material más pequeño llamado “partículas finas”. Las dos fracciones tienen diferente origen y composición. Las partículas gruesas tienen de 2,5 micrómetros (μm) de diámetro hasta más de 40 μm . Se forman por la trituración mecánica, la molienda o la abrasión de superficies; el viento, las acciones del hombre, el tráfico y las actividades agrícolas las suspende o las dispersa. Las partículas gruesas están constituidas por aluminosilicatos y otros óxidos de la corteza del suelo y del polvo fugitivo (US EPA, 2004; Suh, 2000).

Las partículas finas ($\text{MP}_{2,5}$) tienen menos o 2,5 μm de diámetro. Proviene generalmente de fuentes de combustión (como automóviles, plantas de energía y cocinas de leña), ya sea a través de la condensación de materiales volatilizados (material particulado primario) o de gases precursores que reaccionan en la atmósfera y forman partículas secundarias. Los principales componentes de las partículas finas son los sulfatos, material carbonáceo, nitratos, elementos traza y agua. El MP_{10} hace referencia a todas las partículas de menos de 10 μm de diámetro (US EPA, 2004).

Otros contaminantes primarios derivados de los combustibles fósiles y que se emiten a la atmósfera incluyen al dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO). Los contaminantes secundarios como el ozono y los aerosoles ácidos son también muy comunes en las áreas urbanas (Lippman, 2003).

Los inventarios de emisiones ofrecen un estimado de la relativa importancia de las principales fuentes de emisión en una determinada localidad. Los datos de los inventarios de emisiones disponibles en las ciudades de Bogotá (CEPIS, 2005), Buenos Aires (Tarela y Peroné, 2002), Lima (CGIALLC, 2004), Ciudad de México (SMA, 2004), Santiago (CONAMA, 2004) y São Paulo

Cuadro 1-4 Inventarios de emisiones de MP_{10} en países seleccionados de ALC

Ciudad	Porcentaje de emisiones de MP_{10}		
	Móviles	Fijas	Área
Bogotá	33,3	66,6	0,0
Buenos Aires	63,6	4,0	32,4
Lima	66,3	33,0	0,7
Ciudad de México	61,4	32,7	5,9
São Paulo	44,8	55,2	0,0
Santiago	56,4	31,4	12,2

Nota: Las emisiones para São Paulo corresponden a las PST

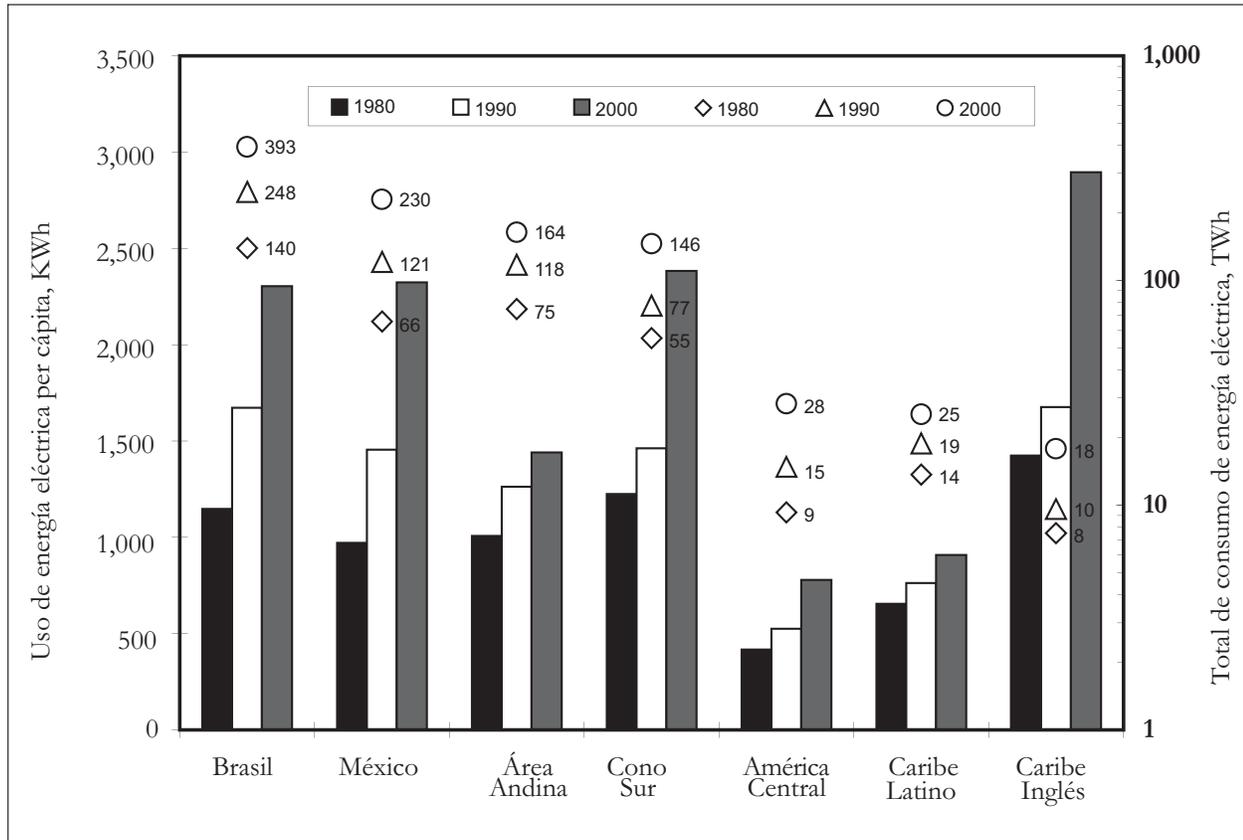
(CETESB, 2002) dan información sobre las diferentes fuentes de MP_{10} . Las fuentes móviles contribuyen significativamente a las emisiones atmosféricas en estas ciudades y representan de un tercio a dos tercios de todas las emisiones de MP_{10} (Cuadro 1-4). Las fuentes fijas, principalmente la industria pesada y ligera, son la segunda fuente más importante y representan desde 4% de la contaminación en Buenos Aires hasta cerca de 55% en São Paulo. En tanto que, las fuentes del área incluyen a las actividades comerciales y residenciales y a los caminos.

La información que proveen los inventarios de emisiones en la Región es limitada. Las cifras de Buenos Aires, por ejemplo, sugieren que la manera como se han clasificado las fuentes ha influenciado el bajo porcentaje atribuido a las fuentes fijas. Además, no se reportaron las fuentes de área para Bogotá ni São Paulo y los datos de Lima parece ser que han sido subestimados considerablemente.

Rara vez se reporta información sobre las emisiones de la erosión del viento y del polvo de la calle porque son difíciles de cuantificar (Veranth y cols, 2003). Sin embargo contribuyen de manera importante al MP_{10} . Las fuentes de los caminos incluyen a la construcción informal y al equipo agrícola. Tal maquinaria generalmente funciona con diesel o petróleo y tiende a ser bastante antigua, con fallas mecánicas y mantenimiento deficiente. Consecuentemente, las cifras de MP_{10} generalmente se subestiman en los inventarios de emisiones disponibles actualmente (Clark y cols, 2002).

Las cifras sugieren que las fuentes móviles son responsables de la mayor parte de la contaminación del aire en las zonas urbanas de la Región. La flota de vehículos de los países de ALC está compuesta generalmente de automóviles y buses que usan tecnología antigua y diesel

Figura 1-1 Evolución del consumo de energía per cápita (barras) y del consumo total (símbolos y números) en el periodo 1980-2000



de baja calidad. Además de la contaminación por partículas, los motores de los vehículos son también una fuente importante de CO y NO_x.

De manera paralela a los patrones de urbanización y mejoras en el desarrollo económico, el transporte en general ha crecido rápidamente en todo ALC. De 1984 a 1993 el total de la flota de vehículos aumentó 42,3% en México, 37,1% en Brasil y 13,6% en Chile (Naciones Unidas, 1996). Los automóviles constituyeron entre 70 a 90% de la flota nacional de vehículos motorizados en 1994 (Banco Mundial, 1997). Tal aumento se debe a que el crecimiento económico alienta la propiedad individual de los vehículos.

Hasta ahora, los vehículos motorizados se concentran en las ciudades principales. En 1994, el Área Metropolitana de Santiago tenía 58% de todos los vehículos motorizados de Chile, mientras que en Argentina, 51% de la flota nacional se concentraba en el Gran Buenos Aires. En Brasil, las tres áreas metropolitanas más grandes –São Paulo, Rio de Janeiro y Belo Horizonte– representan en conjunto el 45% de la flota nacional. La infraestructural vial no se ha mantenido a la par que la

creciente actividad del transporte en muchos lugares. Ese crecimiento ha provocado severas congestiones del tráfico que implican demoras improductivas y un mayor uso de combustible, lo que a su vez genera más emisiones que deterioran la calidad del aire en las zonas urbanas (Banco Mundial, 1997).

Otros factores, además de la infraestructura, que influyen las emisiones de los vehículos en ALC son la edad de la flota, el mantenimiento inadecuado y la calidad del combustible. En muchos países, la práctica de importar vehículos usados ineficientes influye en la edad de la flota. En el Perú, donde esta práctica es común, la flota es antigua. Los datos de Lima revelan que 71% de los carros de la capital peruana tienen 10 o más años. Los vehículos con más de 10 años constituyen 50% de la flota argentina, 60% de Ecuador y 64% de El Salvador (Banco Mundial, 1997).

El combustible diesel se usa extensivamente en ALC. El escape de los motores diesel es una fuente de partículas finas al ambiente. El contenido de azufre en el diesel es crítico para determinar el nivel de partículas en las emisiones; mientras más alto sea el contenido de

azufre, más altas serán las emisiones de partículas (Clark y cols, 2000; COPERT III, 2005).

En ALC, el contenido de azufre en el diesel varía según el país e incluso dentro de un mismo país. Los siguientes datos presentan el rango de contenido de azufre en algunos países: Panamá 0,50-1,50%, Venezuela 0,50%, Bolivia 0,35%, Uruguay 0,25%, Brasil 0,20%, Argentina 0,15%, Colombia 0,10-0,80% y Perú 0,035-0,50%.

Se estima que la reducción del contenido de azufre de 0,5% a 0,035% disminuiría 75% de las emisiones de MP₁₀ de los vehículos diesel (COPERT III, 2005). Mediante la introducción de combustibles más limpios sería posible alcanzar una reducción significativa de las emisiones de MP₁₀, lo que traería beneficios a la salud pública. Con los niveles de azufre que presenta el diesel en toda ALC se espera que el transporte continúe siendo uno de los principales generadores de partículas en el ambiente a lo largo de la Región.

Las plantas de generación de energía son fuentes fijas de partículas en la atmósfera. El consumo de energía eléctrica en ALC es más alto en los países con mayor población y economías más fuertes. En la década pasada, el aumento per cápita del uso de energía eléctrica se dio en los países o subregiones económicamente más dinámicos, como México, el Cono Sur y el Caribe inglés. En comparación con las otras subregiones, el Caribe inglés usa más electricidad per cápita en la Región, lo que probablemente se deba al turismo, dado que los muchos turistas que llegan a sus islas consumen cada año grandes cantidades de electricidad (CEPAL, 2003).

Pocas personas tienen acceso a la electricidad en América Central, el Caribe latino y la subregión andina. De hecho, el consumo de energía ha aumentado poco en los últimos 20 años en el Caribe latino. Es probable que una gran proporción de personas que vive en estas áreas utilice fuentes ineficientes y contaminadoras de energía en comparación con otras áreas de la Región (Figura 1-1 elaborada con datos de la CEPAL, 2003).

Las tecnologías que se emplean en los procesos de quema de combustible y la calidad de los combustibles determinan la cantidad de contaminantes que emite determinada fuente, tales como MP₁₀, MP_{2,5}, NO_x, SO₂ y CO. Los procesos de quema de biomasa son ineficientes y producen más emisiones de contaminantes por unidad de energía generada. Por lo tanto, en los países de la Región, que dependen más de la energía de biomasa, la contaminación del aire, tanto interior como exterior, puede resultar más alta (CEPAL/OLADE/GTZ, 2003).

Los problemas de calidad del aire a menudo se agu-

dizan con ciertas condiciones geográficas y de clima. Los procesos de combustión en los vehículos son menos eficientes a grandes alturas. Este es un factor decisivo en la contaminación del aire de muchas ciudades de ALC, incluidas Arequipa, Bogotá, Ciudad de México y Quito. En Ciudad de México y Santiago, la inversión termal causa frecuentes episodios de pobre ventilación, lo que atrapa contaminantes, deteriora la calidad del aire e incrementa la potencial exposición de la población. Las condiciones de dispersión también pueden ser desfavorables en Bogotá, Quito y São Paulo.

1.4.2 Concentraciones de partículas en el ambiente

Se compilaron datos sobre las concentraciones promedio de MP₁₀ ambiental en ciudades de ALC a través de diferentes fuentes durante el periodo 2000-2004. La mayoría de los datos se obtuvo de instituciones públicas responsables de los programas nacionales de calidad del aire. Otras fuentes fueron las instituciones académicas y los programas de cooperación internacional que desarrollan las capacidades nacionales de monitoreo del aire en algunos países (Cuadro 1-5).

No todos los países han establecido una norma anual para el MP₁₀ ambiental. Con la excepción de Colombia, que fijó su norma en 65 µg/m³, los otros países han adoptado su norma con 50 µg/m³. Existen diferencias significativas entre las ciudades respecto a la recolección de datos sobre la concentración promedio de partículas. Algunas ciudades como Ciudad de México, Santiago y San Juan tienen una larga historia de monitoreo del aire. En otras ciudades se dispone de pocos datos sobre concentraciones promedio. En Quito, por ejemplo, el monitoreo del aire de manera sistemática empezó en 2003, por eso tenían solo un año de datos disponibles cuando se les solicitó información. Los países de América Central han realizado campañas de monitoreo de corto plazo con el apoyo de la cooperación internacional. Los datos de 2004 de Río de Janeiro todavía se están analizando y no están listos para su publicación.

En algunas ciudades, como Lima y Arequipa, las concentraciones de MP₁₀ en el ambiente son altas. Se han reportado concentraciones anuales de 117 y 118 µg/m³. En otras ciudades de la Región, las concentraciones de MP₁₀ en el ambiente son más bajas pero muchas todavía no cumplen las normas nacionales.

Las variaciones temporales de la concentración de MP₁₀ en el ambiente se han relacionado con un incremento de la mortalidad diaria. Cuando existen elevados

Cuadro 1-5 Norma nacional anual y concentraciones promedio de MP₁₀ (µg/m³) en el ambiente de algunas ciudades de América Latina y el Caribe, 2000-2004

Ciudad	Normal Anual (µg/m ³)	Concentraciones anual promedio de MP ₁₀ ambiental (µg/m ³)				
		2000	2001	2002	2003	2004
Arequipa ¹	50	111	91	102	100	90
Bello Horizonte ²	50	13	21	26	-	-
Bogotá ³	65	58	64	66	66	66
Cochabamba ¹	-	-	-	98	104	64
Fortaleza ⁴	50	84	74	81	-	-
Ciudad de Guatemala ¹	-	-	54	-	-	-
La Habana ⁵	-	-	75	60	54	-
La Paz ¹	-	-	-	-	-	49
Medellín ³	65	-	-	87	93	-
Ciudad de México ⁶	50	71	60	65	64	54
Quito ⁷	50	-	-	-	-	54
Rio de Janeiro ⁸	50	-	39	40	53	-
San Salvador ¹	50	-	60	-	-	-
San Juan ⁹	50	32	31	31	32	30
Santiago ¹⁰	-	77	72	70	74	68
São Paulo ¹¹	50	52	49	51	48	41

1 SWISSCONTACT (Fundación Suiza para la Cooperación Técnica - Perú)

2 FEAM (Fundação Estadual de Meio Ambiente - Brasil)

3 Procuraduría General de Colombia (Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios)

4 SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente - Brasil)

5 INHEM (Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología - Cuba)

6 INE (Instituto Nacional de Ecología - México)

7 REMMAQ (Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito - Ecuador)

8 FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente - Brasil)

9 US EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)

10 SEREMI R.M (Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región Metropolitana - Chile)

11 CETESB (Companhia de Tecnologia de Engenharia Ambiental - Brasil)

niveles de contaminación del aire, como los que se observan en ALC (Cuadro 1-5), la literatura científica ha demostrado una relación entre el aumento de la contaminación del aire y el exceso de mortalidad diaria. Sin embargo, la literatura disponible sostiene que hay insuficiente información para definir un umbral debajo del cual no se observen los efectos de la contaminación del aire (OMS, 2000). Aun cuando los niveles estén por debajo de las normas vigentes de contaminación del aire en la Región, se debería observar el exceso de muertes.

Como se ha mencionado antes, la contaminación por partículas consiste en una mezcla de partículas gruesas y finas. Mientras que las mediciones de MP₁₀ miden las concentraciones de las partículas gruesas y finas, el MP_{2,5} mide la fracción de las partículas finas. Estas últimas son lo suficientemente pequeñas como para ser inhaladas profundamente en los pulmones donde podrían permanecer. No obstante, todavía no se ha establecido en qué medida la salud se ve afectada por las partículas de diferente tamaño y composición (HEI, 2003).

De los reportes de la Región sobre las concentraciones de MP₁₀ se podría suponer que las concentraciones de partículas finas también serían altas. En 2004, Ciudad de México reportó concentraciones anuales promedio de MP_{2,5} de 24 µg/m³ en el ambiente. Sin embargo, pocos países de ALC miden concentraciones de MP_{2,5} de manera regular y no han establecido normas para partículas finas.

1.4.3 Contaminación del aire en interiores

En países en vías de desarrollo, la contaminación del aire en interiores es un problema de salud pública relevante. Mientras que el objetivo de este documento es la evaluación de los efectos relacionados con la contaminación del aire en exteriores, se considero necesario dar una descripción de la situación de la contaminación del aire en interiores en ALC incluyendo una descripción de las principales fuentes y de niveles exposiciones.

En las viviendas de las zonas urbanas y suburbanas

con frecuencia se utiliza una combinación de combustibles tales como la electricidad para el alumbrado y la madera para la cocina y la calefacción. Es frecuente que las cocinas tengan un funcionamiento inadecuado y pobre ventilación. Estudios realizados en la Zona Metropolitana de Santiago para evaluar las concentraciones de partículas en interiores reportaron elevados niveles de material particulado. Esos estudios reportaron niveles de exposición promedio de 24 horas en el rango de 103-173 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que son realmente más altos que las normas para el aire exterior anual de muchos países de ALC (Rojas y cols 2001; Cáceres y cols 2001). Los combustibles de biomasa son más baratos que otros combustibles y por eso su empleo seguirá siendo favorecido entre los pobres. Además de las razones económicas, también existen motivos de índole cultural para inclinarse por el uso de la biomasa.

El índice de sostenibilidad residencial (ISR) estimado en 20 países revela grandes diferencias en la proporción de la población que depende de la biomasa como combustible para satisfacer sus necesidades domésticas de energía (CEPAL, 2003). El índice representa la proporción del uso de la madera con el consumo de derivados del petróleo o hidrocarburos secundarios (queroseno, diesel, gas licuado de petróleo) en los domicilios. En las viviendas de Haití, Paraguay, Honduras, Guatemala, Nicaragua, El Salvador, Perú y Brasil se usa la madera de manera intensiva para la cocina y la calefacción y el ISR de esos países está entre 75 a 100. Comparativamente, el uso de la madera para la energía doméstica es más bajo en México, Costa Rica, Argentina y Venezuela, donde el ISR está por debajo de 25%. El uso de la madera y de residuos de cultivos, como la caña de azúcar, parece ser más común en los países de América Central, donde la extensión de la urbanización es menor y la pobreza es mayor. Pero los países que tienen un alto consumo de biomasa utilizan la madera como una fuente común de combustible tanto en las áreas urbanas como en las rurales (CEPAL, 2003)

Los combustibles de biomasa no son ni limpios ni eficientes. El humo de la combustión de la biomasa contiene muchos contaminantes que representan un peligro para la salud, incluidos las partículas pequeñas, el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno como hemos observado. La dependencia de los combustibles de biomasa para la cocina y la calefacción es común en muchos países de la Región. La contaminación del aire en las viviendas puede ser extremadamente alta y como hemos visto, algunas veces excede los criterios internacionales para la contaminación del aire en exteriores.

En la Región, la exposición a la contaminación del aire en interiores puede variar dependiendo de los factores geográficos. En las viviendas de los Andes se usa fuego abierto para la cocina y la calefacción. La ventilación es pobre porque las casas se construyen para protegerse del frío extremo, lo que evita la circulación del aire y favorece la acumulación de altas concentraciones de contaminantes. Las condiciones son bastante diferentes en las áreas tropicales de la Región, donde las horas de exposición pueden ser menos porque las viviendas no necesitan calefacción y la construcción favorece la ventilación para mantener fresca la temperatura en el interior. Si bien los combustibles de biomasa son una importante fuente de contaminación del aire en interiores en la Región, los patrones de exposición difieren y colocan a determinadas poblaciones en un alto riesgo de desarrollar consecuencias adversas para la salud.

La contaminación del aire en interiores por biomasa se ha relacionado con un incremento en el riesgo de contraer infecciones respiratorias agudas en el tracto inferior de los niños y obstrucción crónica de los pulmones en los adultos (OMS, 2002a). Las mujeres y los niños son los más expuestos; las mujeres están a cargo de la mayoría de las tareas domésticas que involucran el uso de la energía y los niños a menudo acompañan a sus madres durante esas tareas.

El humo del tabaco ajeno es también una fuente importante de la contaminación del aire en interiores en la Región. Un estudio del humo de tabaco ajeno en lugares públicos de América latina reportó que la nicotina en fase vapor fue detectada en la mayoría de los interiores de los lugares que fueron examinados. Se encontraron altas concentraciones de nicotina en restaurantes, bares, hospitales y oficinas gubernamentales. Algunas escuelas también tenían niveles elevados de nicotina. El estudio además encontró que las áreas para no fumadores no protegían con eficacia a los no fumadores contra la exposición al humo de tabaco ajeno (Navas-Acien y cols, 2004).

En general, y particularmente para los hospitales y las escuelas, las concentraciones de la nicotina son más altas en países con alta prevalencia de fumadores (ACS, 2003) y con porcentajes más altos de estudiantes que reportan exposición al humo de tabaco ajeno en los lugares públicos (CDC, 2005; GYTSCG, 2002). En ALC, por lo menos el 43% de los estudiantes de 13 a 15 años de edad reportan respirar involuntariamente humo de tabaco en sus hogares y el 58% en lugares públicos (GTSSCG, 2005).

La exposición al humo de tabaco ajeno es una causa

Cuadro 1-6 Tasas de mortalidad ajustada por edad, 2000-2005 (100.000 hab.)^a

Subregiones y países	Todas las causas		Enfermedades del sistema circulatorio		Neoplasmas malignos		Enfermedades transmisibles	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
América Latina y el Caribe	882	615	247	196	124	99	102	75
Brasil	1,031	676	324	247	138	100	114	77
México	737	528	157	134	84	75	59	41
Área Andina ¹	860	634	220	185	114	110	109	85
Cono Sur ²	768	511	241	170	157	109	69	51
América Central ³	830	624	189	168	94	98	142	116
Caribe Latino ⁴	886	706	253	221	126	95	186	138
Caribe Inglés ⁵	776	591	289	251	119	92	62	44

1. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.

2. Argentina, Chile, Paraguay y Uruguay.

3. Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá.

4. Cuba, Haití, Puerto Rico y República Dominicana.

5. Anguila, Antigua y Barbuda, Antillas Neerlandesas, Aruba, Bahamas, Barbados, Dominica, Granada, Guadalupe, Guyana, Islas Caimán, Islas Vírgenes Británicas, Islas Vírgenes de los Estados Unidos, Jamaica, Martinica, Montserrat, Saint Kitts y Nevis, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía, Suriname, Trinidad y Tabago e Islas Turcas y Caicos.

a. OPS, 2004.

significativa pero evitable de muerte y enfermedad prematura a nivel mundial y en América latina. Estas exposiciones se han relacionado con la ocurrencia del asma, bronquitis, neumonía, e infecciones del oído en niños y cáncer de pulmón y enfermedad cardíaca en adultos. La exposición al humo de tabaco ajeno también tiene un impacto adverso en la salud reproductiva y perinatal (WHO 2002b; CDC, 1986).

1.5 Efectos de la contaminación del aire en la salud

Los estudios efectuados en todo el mundo han encontrado asociaciones positivas entre la exposición a los contaminantes del aire exterior que usualmente se encuentran en áreas urbanas y los efectos adversos para la salud. Se han reportado efectos relacionados con los contaminantes provenientes de la quema de combustibles fósiles, incluidos partículas, SO₂, NO_x, CO, y O₃. Existen otros contaminantes en exteriores presentes en el aire de las ciudades, como los compuestos orgánicos volátiles y los hidrocarburos policíclicos aromáticos, pero su impacto en la salud todavía no está debidamente documentado. Los niños, los ancianos y aquellos con enfermedades cardíacas o respiratorias están entre los grupos más susceptibles a los efectos adversos de la contaminación del aire.

En términos generales, los efectos a la salud que se han reportado van desde disturbios fisiológicos me-

nores hasta la muerte. La contaminación del aire afecta los sistemas cardiovascular y respiratorio. Los estudios de series temporales realizados en diferentes poblaciones han reportado un exceso de mortalidad por causas cardiovasculares y respiratorias. Las admisiones en los hospitales así como la atención en los departamentos de emergencia debido a dolencias cardíacas y respiratorias también aumentan cuando hay episodios de niveles elevados de contaminación del aire. Los mecanismos a través de los cuales la contaminación del aire puede afectar los sistemas respiratorio y cardiovascular incluyen la disminución de la función pulmonar, las variaciones en el ritmo cardíaco y la respuesta a la inflamación (Cohen y cols, 2004).

En todo el mundo, cerca de 3% de las muertes por enfermedades cardiovasculares se podrían atribuir a la exposición a material particulado. Se estima que esta exposición ocasiona 31.000 muertes anuales en la Región (Cohen y cols, 2004). Los datos en la Región muestran que la mortalidad debido a enfermedades del sistema circulatorio es una importante causa de muerte, tanto para hombres como para mujeres (Cuadro 1-6). Las tasas de mortalidad ajustada por edad son elevadas y mucho más altas por esta causa de muerte que las tasas de neoplasmas malignos y enfermedades transmisibles. Las tasas de mortalidad ajustada en América Latina y el Caribe para esta causa fueron de 247 por 100.000 habitantes en hombres y 196 en mujeres. Brasil tuvo las tasas más altas de mortalidad debido a enfermedades cardiovascu-

Cuadro 1-7 Mortalidad en menores de 5 años

Subregiones y países	Mortalidad en menores de 5 años ^{a,b}	Muertes registradas debido a IRA ^{a,c} (%)
América Latina y el Caribe	39,8	9,3
Brasil	44,5	7,1
México	33,8	9,5
Área Andina ¹	39,9	10,7
Cono Sur ²	23,3	5,6
América Central ³	44,7	20,5
Caribe Latino ⁴	45,8	6,7
Caribe Inglés ⁵	28,4	6,4

1. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú, y Venezuela.

2. Argentina, Chile, Paraguay, y Uruguay.

3. Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, y Panamá.

4. Cuba, Haití, Puerto Rico, y República Dominicana.

5. Anguila, Antigua y Barbuda, Antillas Neerlandesas, Aruba, Bahamas, Barbados, Dominica, Granada, Guadalupe, Guyana, Islas Caimán, Islas Vírgenes Británicas, Islas Vírgenes de los Estados Unidos, Jamaica, Martinica, Montserrat, Saint Kitts y Nevis, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía, Suriname, Trinidad y Tabago e Islas Turcas y Caicos.

a. OPS, 2004.

b. Tasas por 1.000 nacidos vivos.

c. Porcentaje de muertes por infecciones respiratorias agudas registradas en niños menores de 5 años.

lares en hombres y la segunda más alta en mujeres. Las tasas de mortalidad fueron más altas en las mujeres del Caribe inglés. La contaminación del aire podría ser un importante factor de riesgo que contribuye a esas tasas, especialmente en las áreas urbanas, donde gran parte de la población está expuesta a elevados niveles de partículas y otros contaminantes del aire.

El escape de los motores diesel contiene pequeñas partículas carbonáceas y gran número de compuestos químicos que son absorbidos por esas partículas o se presentan como vapores. Esos vapores y partículas incluyen mutágenos, carcinógenos y sustancias que irritan los pulmones. Los estudios epidemiológicos sobre trabajadores de determinadas ocupaciones sugieren una asociación débil entre la exposición a los escapes de diesel y el cáncer de pulmón (HEI, 2003). Las tasas de mortalidad ajustada por edad debido a neoplasmas malignos en ALC son elevadas y sería importante evaluar el impacto de la contaminación del aire en esas tasas.

Otros efectos de la contaminación del aire incluyen los ataques de asma y el aumento de enfermedades y síntomas respiratorios. Los asmáticos son más susceptibles a desarrollar síntomas respiratorios, incluidos los ataques de asma y requieren atención médica durante los episodios de aumento de la contaminación del aire. Las infecciones y síntomas respiratorios, tales como dolor de pecho, tos y sibilancia, también ocurren y se relacionan con el incremento de los niveles de la contaminación del aire (American Lung Association, 2001).

Generalmente, los niños son más vulnerables a las toxinas del ambiente que los adultos debido a los patro-

nes de exposición y a su inmadurez fisiológica. Los niños tienen tasas más altas de respiración que los adultos y consiguientemente aspiran más contaminantes del aire por unidad de peso corporal. También aumentan su potencial de exposición al pasar más tiempo en ambientes exteriores. El pulmón en desarrollo podría tener una limitada capacidad para hacer frente a las agresiones tóxicas. Si se considera que 80% de los alvéolos se forman después del nacimiento y que los cambios en el pulmón continúan a lo largo de la adolescencia, la exposición a los contaminantes del aire representa un serio riesgo para este grupo de la población (American Lung Association, 2001; American Academy of Pediatrics, 2004).

La tasa de mortalidad de los niños menores de cinco años ha disminuido. Entre 1990 y 2000, la mortalidad en este grupo de edad se redujo un tercio, de aproximadamente 53 a 38 muertes por 1.000 nacidos vivos (OPS, 2002a). Aunque los estimados subregionales sugieren tasas similares, hay enormes diferencias entre los países (Cuadro 1-7). El número más alto de muertes ocurre en Haití, donde en 2004 se reportó una tasa de 109 casos por 1.000 nacimientos. En contraste, una de las tasas más bajas la reporta Cuba (9,5 x 1.000), ubicada en la misma subregión. En el Cono Sur, las tasas de mortalidad de Argentina, Chile y Uruguay están debajo del promedio subregional, aunque la tasa de Paraguay está por encima del promedio Regional (OPS, 2004).

Las infecciones respiratorias agudas (IRA) son una importante causa de muerte en niños. Es la principal causa de muerte en niños de 5 a 14 años en el mundo y la segunda causa de muerte en niños menores de 5 años

Cuadro 1-8 Tasa de prevalencia de sibilancia y asma en ciudades seleccionadas de América Latina

Ciudad	Sibilancia ^a (%)		Diagnóstico de asma ^a (%)	
	6 años	13 años	6 años	13 años
Cuernavaca	21,6	18,0	5,1	5,5
San José	48,8	18,0	26,9	18,5
Ciudad de Panamá	35,4	30,9	19,0	16,7
Lima	34,8	48,6	28,8	28,0
Asunción	---	39,9	---	12,2
Montevideo	38,0	31,2	11,9	15,3
Buenos Aires	29,9	19,9	4,1	6,4
Rosario	33,2	24,0	6,5	7,6
São Paulo	49,2	45,4	6,1	10,0
Porto Alegre	46,8	46,9	16,8	21,9
Recife	44,4	39,0	20,7	21,0
Curitiba	41,9	40,4	6,6	8,6
Salvador	---	44,4	---	12,6
Santiago Centro	41,1	32,3	10,0	12,4
Santiago Sur	36,5	27,8	10,5	11,5
Valdivia	40,4	22,8	16,5	11,9

a. Mallol, 2002

(PNUMA, 2002). En ALC, la proporción de muertes debido a IRA ha disminuido. Se redujo de 16,5% en 1980-1985 a 10,7% en 1995-2000 (OPS, 2002a). Las tasas, sin embargo, siguen siendo altas y van desde 6,7% en el Caribe latino hasta cerca de 20% en América Central (Cuadro 1-7). En todo el mundo, cerca de 1% de las muertes por infecciones respiratorias agudas en niños se podría atribuir a la exposición al material particulado (Cohen y cols, 2004).

En muchos países de América Latina se han realizado estudios de prevalencia del asma con metodologías y cuestionarios del Estudio Internacional de Asma y Alergias en Niños (ISAAC) (Cuadro 1-8). La prevalencia de sibilancia reportada en la Región es bastante elevada, desde 20 a 50%. El asma diagnosticada por un médico es también alta y alcanza 30% en algunas ciudades. La diferencia en la proporción de respuestas positivas entre la ocurrencia de los síntomas y el diagnóstico médico sugiere que el asma en ALC está subdiagnosticado (Mallol, 2004). La falta de tratamiento del asma podría ocasionar muertes prematuras en niños expuestos a contaminantes ambientales.

Varios factores pueden contribuir a la alta tasa de asma en ALC. En los países que tienen altos niveles de pobreza, las prácticas inadecuadas de higiene y saneamiento podrían contribuir a la ocurrencia de enfermedades parasitarias e infecciones respiratorias agudas recu-

rrentes en los primeros años de vida, lo que haría a los niños más susceptibles a la morbilidad y mortalidad por asma. En ALC, además de la contaminación del aire en exteriores, otro factor de riesgo importante para los ataques de asma es la contaminación del aire en interiores debido a la quema de biomasa y humo del tabaco (Mallol, 2004; Schei y cols, 2004). Todavía queda por evaluar la predisposición genética y cómo esta modifica el impacto de la contaminación del aire en niños. Estos factores influyen igualmente a otras afecciones respiratorias.

1.6 Resumen

En muchas ciudades de ALC, las concentraciones de MP_{10} en el ambiente exceden las normas nacionales de calidad del aire. Las fuentes móviles son responsables de una gran proporción de los problemas de la contaminación del aire en las áreas urbanas de la Región debido a que la flota de vehículos está compuesta por unidades antiguas. La mala calidad del combustible diesel en la Región exacerba esta situación. En algunas instancias, esto se magnifica con las condiciones del clima y la topografía local, tales como la inversión térmica que se observa en Ciudad de México y Santiago, lo que causa episodios de reducida dispersión de contaminantes y mayor exposición potencial de la población.

ALC es una Región altamente urbanizada. Varias ciudades tienen más de cinco millones de habitantes y aproximadamente 75% de la población vive en áreas urbanas densamente pobladas. Por lo tanto, muchas personas están expuestas a las partículas y otros contaminantes del aire exterior. Solo en México, aproximadamente 25 millones de personas están afectadas por la contaminación del aire (Instituto Nacional de Ecología de México, 2004). Otros 85 millones viven en áreas urbanas de ALC que también exceden las normas de calidad del aire, como Arequipa, Bogotá, Fortaleza, Lima, Medellín, Santiago y San Salvador. Es obvio que el total de la población potencialmente expuesta está subestimada en ALC; sin embargo, no se dispone de suficiente información como para determinar una cifra real.

La extendida contaminación del aire y la elevada densidad poblacional de muchas áreas urbanas en la Región significan que muchas personas están expuestas potencialmente y que corren el riesgo de desarrollar consecuencias adversas para la salud. En ALC, 35.000 muertes se atribuyen a la contaminación del aire cada año (OMS, 2002b), pero la cifra real es posible que sea más alta. Los ancianos, los niños y los asmáticos son las poblaciones más susceptibles. Los niños constituyen una preocupa-

ción especial. En el año 2000, los niños menores de 14 años representaban 32% de la población total de ALC y 124 millones vivían en áreas urbanas. Los niños son más vulnerables a las amenazas ambientales debido a los patrones de exposición y a su inmadurez fisiológica.

Finalmente, una gran proporción de la población de ALC enfrenta una doble carga ambiental. Además de los recientes riesgos que han surgido en la segunda mitad del siglo pasado, como la contaminación del aire urbano, muchos todavía encaran amenazas tradicionales, incluidos la falta de acceso al agua de bebida segura y la inadecuada disposición de residuos. La malnutrición, la falta de acceso a los servicios de salud y otras condicio-

nes relacionadas con la pobreza podrían hacer que la población sea más susceptible a desarrollar consecuencias adversas para la salud derivadas de la contaminación del aire. Todavía falta estudiar en qué medida la situación socioeconómica modifica los efectos de la contaminación del aire en la salud.

Las circunstancias que se han revisado en este capítulo relevan la necesidad de evaluar la magnitud de los efectos de la contaminación del aire en la salud en ALC. Para tal efecto, se llevó a cabo una revisión de la literatura regional sobre epidemiología relacionada con los efectos de la contaminación del aire en la salud.

Capítulo 2

Revisión Sistemática de la Literatura Sobre los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe

Este capítulo detalla la búsqueda y revisión de la literatura epidemiológica que se ha producido en la Región para evaluar los efectos de la contaminación del aire exterior, especialmente el material particulado, en la salud humana.

2.1 Búsqueda bibliográfica

2.1.1 Estrategia de búsqueda

Se efectuaron búsquedas sistemáticas en la literatura para identificar todos los estudios sobre la contaminación del aire y sus efectos en la salud llevados a cabo en ALC desde 1994 a 2004.

Las búsquedas se restringieron al periodo de enero de 1994 a agosto de 2004, cuando se efectuaron las búsquedas estructuradas. Antes que hacer una historia sobre el tema, el propósito que guió este trabajo fue presentar la situación de la investigación en la Región sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud. Un elemento clave fue el desarrollo de estimaciones cuantitativas de resumen, por lo que se dio preferencia a los estudios más recientes que generalmente incluyen mejores metodologías. A finales de la década de los ochenta, en los Estados Unidos y Europa, comenzó una “nueva ola” de estudios epidemiológicos, especialmente los de series temporales sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud. Las búsquedas preliminares en las bases de datos bibliográficas revelaron pocos estudios sobre este tema antes de 1990 en ALC.

Las búsquedas se hicieron en español, inglés y portugués en las siguientes bases de datos bibliográficas disponibles en Internet:

1. PubMed
(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi>)
2. US National Library of Medicine Gateway
(<http://gateway.nlm.nih.gov/gw/Cmd>)
3. Medline (<http://medlineplus.gov/>)
4. LILACS - Literatura Latinoamericana y del Caribe en Ciencias de la Salud
(<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&base=LILACS&lang=p>)

En las búsquedas se utilizaron los siguientes térmi-

nos o palabras claves:

1. PubMed:
 - a. “(país), salud, contaminación del aire”
 - b. “(país), morbilidad, contaminación del aire”
 - c. “(país), mortalidad, contaminación del aire”
 - d. “(país), contaminación del aire”
2. US National Lib Med Gateway:
 - a. “(país)[mh], contaminación del aire[mh], efectos adversos [sh], epidemiología [sh]”
3. Medline:
 - a. “(país), salud, contaminación del aire”
 - b. “(país), morbilidad, contaminación del aire”
 - c. “(país), mortalidad, contaminación del aire”
4. LILACS:
 - a. “(país), salud, contaminación del aire”
 - b. “(país), morbilidad, contaminación del aire”
 - c. “(país), mortalidad, contaminación del aire”
 - d. “(país), contaminación del aire”

El término (país) fue reemplazado por Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Puerto Rico, Suriname, Trinidad y Tabago, Uruguay, Venezuela, América Latina y el Caribe.

Se hicieron búsquedas adicionales en Embase (www.embase.com), SCIELO (Scientific Electronic Library Online) una biblioteca electrónica que cubre una colección seleccionada de revistas científicas latinoamericanas, y la biblioteca electrónica de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) (<http://www.bireme.br/bvs/I/ihome.htm>). La biblioteca de la OPS permite el acceso a las bases de datos de Literatura del Caribe en Ciencias de la Salud (MEDCARIBE) y la Red Panamericana de Información en Salud Ambiental (REPIDISCA). Sin embargo, estas búsquedas no produjeron resultados positivos.

También verificamos las referencias citadas en las publicaciones para identificar cualquier estudio no detectado previamente. Este procedimiento permitió encontrar tres estudios que fueron añadidos al listado general.

Los artículos no relevantes para este estudio y los duplicados se omitieron en los resultados de las búsquedas.

das. Esta revisión no incluye artículos que solo reportan experimentos con animales o efectos en las plantas, tampoco aquellos que examinan los efectos de la contaminación del aire en exteriores en el nivel celular, los que solo reportan tendencias y niveles de contaminación del aire en lugares específicos sin relacionarlos con datos sobre las salud, estudios de evaluación de la exposición y estudios de salud sin relación con la contaminación del aire en exteriores. También se excluyeron las cartas y los resúmenes de conferencias.

No se tomaron en cuenta los reportes publicados y no publicados o tesis académicas que no están sujetos al arbitraje científico, el cual es un requisito de las bases de datos seleccionadas para esta revisión.

Para el almacenamiento de la referencia completa y el resumen de los artículos de la lista final se utilizó el programa "Reference Manager®". Los artículos se obtuvieron de bibliotecas locales, de la biblioteca de la OPS en São Paulo (BIREME), de bibliotecas electrónicas y de los sitios Web de revistas científicas.

2.2 Situación del conocimiento sobre el tema

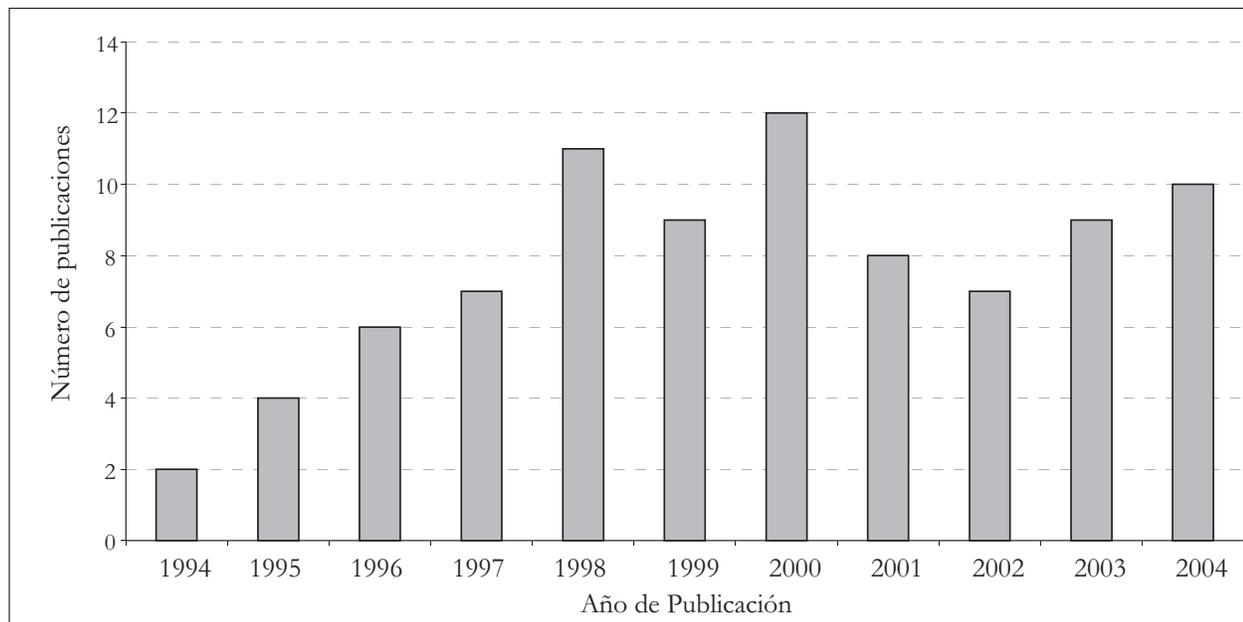
Nuestra búsqueda identificó un total de 85 estudios publicados en revistas científicas entre 1994 y agosto de 2004, que tratan la relación de la contaminación del aire con los efectos en la salud en la Región de ALC. El apén-

Figura 2-1 Estudios epidemiológicos de la contaminación del aire y sus efectos en la salud en América Latina y el Caribe



Nota: En los 85 estudios, dos de ellos examinaron varias ciudades en diferentes países mientras que cuatro no hacían referencia a un lugar específico. Las cifras entre paréntesis hacen referencia al número de estudios realizados en esa ciudad.

Figura 2-2 Número de estudios epidemiológicos de la contaminación del aire y sus efectos en la salud en América Latina y el Caribe por año de publicación, 1994-2004



Nota: El año 2004 cubre solo hasta agosto.

dice I es una síntesis de todos los estudios analizados, la que se presenta en cuadros agrupados por los principales resultados de salud. El apéndice II contiene el listado completo de las referencias.

Los resultados de la búsqueda identificaron que los estudios cubrían solo seis países de ALC: Brasil, México, Chile, Perú, Cuba, y Venezuela. Aunque se investigó un total de 25 ciudades en esos seis países (Figura 2-1), una revisión más detallada reveló una concentración aun mayor porque más de la mitad de los estudios llevados a cabo en la Región fueron hechos por Brasil y México.

Durante los últimos 10 años, en ALC ha habido un marcado incremento de publicaciones sobre los efectos en la salud derivados de la contaminación del aire (Figura 2-2). Desde 1997, cerca de siete documentos científicos se han publicado anualmente sobre el tema. La reducción que se ha observado en 2001 y 2002 probablemente sea una simple variación normal, ya que el número de estudios volvió a aumentar. Este incremento en la Región refleja la tendencia mundial de publicación sobre este tópico.

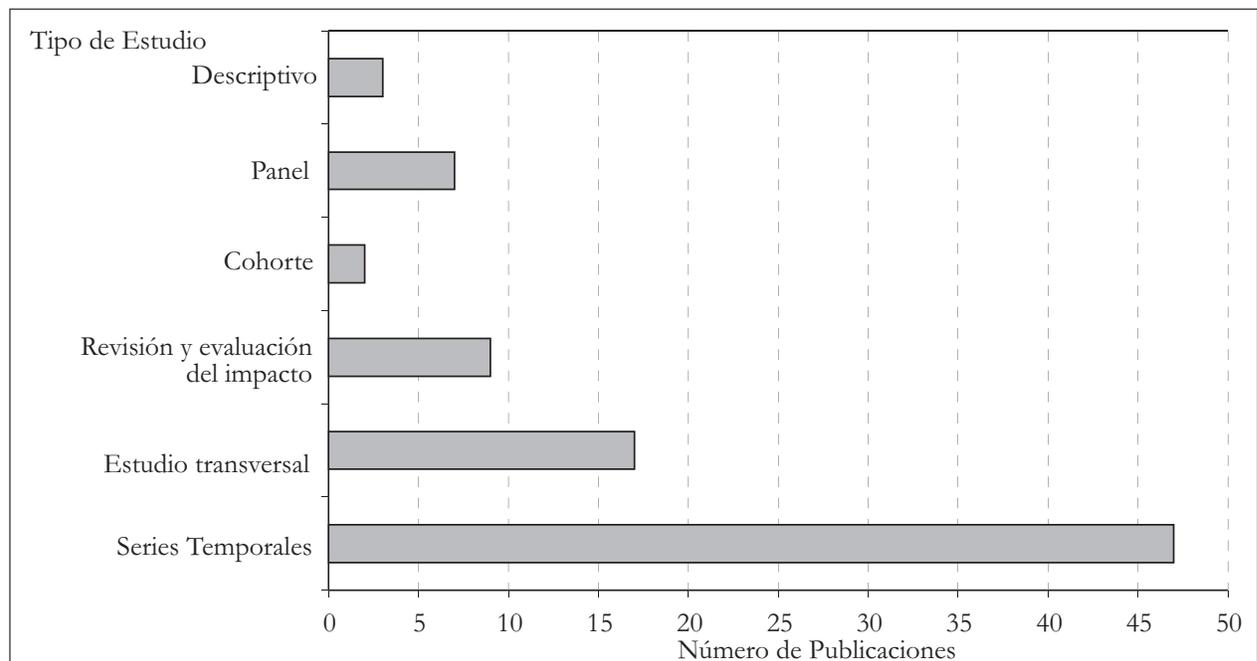
Durante el periodo investigado, la mayoría de los estudios realizados en ALC examinó los contaminantes tradicionales de las estaciones de monitoreo (partículas, SO_2 , NO_2 , CO y O_3). Un estudio (Fortoul, 1996) investigó metales pesados en el aire, tales como cadmio,

cobre, cobalto, níquel y plomo. Los pocos estudios que no especificaron los contaminantes mencionados hicieron una comparación de diferentes ciudades y niveles de contaminación. La mayoría de los estudios examinó tanto las partículas como los contaminantes gaseosos. Los artículos generalmente evaluaron el MP_{10} –partículas hasta de $10 \mu m$ de diámetro– pero otros también consideraron PST, $MP_{2.5}$ y $MP_{10-2.5}$.

En la literatura publicada en ALC se encontraron estudios con diferentes diseños. Muchos estudios adoptaron un enfoque ecológico para evaluar la exposición individual, en el que el valor de la exposición reflejaba los niveles de exposición en la vecindad de una vivienda. Los estudios de exposición personal requieren muchos materiales, son difíciles y costosos y, por lo tanto, todavía no se han aplicado extensamente en este campo de la investigación. En esta revisión no se encontraron estudios sobre la exposición personal.

Se identificaron más diseños ecológicos o de correlación aunque también hubo estudios transversales y de cohorte. Sin embargo, los autores han favorecido los estudios que observan las variaciones temporales en los niveles de contaminación y su relación con los efectos en la salud, los llamados diseños ecológicos de series temporales (Figura 2-3). Más de la mitad de los artículos revisados (47) tenía este tipo de diseño.

Figura 2-3 Diseños utilizados en los estudios epidemiológicos sobre los efectos en la salud causados por la contaminación del aire en exteriores en América Latina y el Caribe, 1994-2004



Recuadro 1 - Efectos de la contaminación del aire sobre la función respiratoria

La exposición a los contaminantes del aire exterior, que a menudo se encuentran en la mayoría de las áreas urbanas, se ha relacionado con dificultades en la respiración, particularmente con la función pulmonar. La exposición durante la infancia aumenta el riesgo de que esos niños desarrollen posteriormente enfermedades crónicas del pulmón. Por este motivo, los investigadores de ALC comenzaron a estudiar a los niños expuestos a la contaminación del aire y los efectos en la función pulmonar.

En la década pasada se han realizado investigaciones sobre este tema en Ciudad de México (Castillejos, 1995; Romieu, 1996; Romieu, 1997b; Gold, 1999; Calderón-Garcidueñas, 2003), en La Habana, Cuba (Alfonso-Valiente, 1996) y en Puchuncavi, Chile (Sánchez, 1999).

Respecto a los efectos de la contaminación del aire sobre la función pulmonar, Gold y cols. (1999) encontraron que un aumento de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el $\text{MP}_{2.5}$ y 25 ppb en O_3 estaba asociado a una reducción de 7,1% en el flujo máximo de espiración (FME) de escolares durante la mañana. Los niños asmáticos también presentaron reducciones en el FME asociado al nivel de partículas en el ambiente (Romieu, 1996) y O_3 (Romieu, 1997b).

No todos los estudios examinaron niveles específicos de contaminación del aire. Por ejemplo, Calderón-Garcidueñas (2003) y Alfonso-Valiente (1996) compararon niños que vivían en áreas altamente contaminadas con otros considerados como no expuestos. Ambos autores encontraron reducción de la función pulmonar en los niños que vivían en las zonas más contaminadas.

Además, los estudios también examinaron síntomas respiratorios como la tos, la producción de flema, la sibilancia y las dificultades para respirar. Todos esos estudios encontraron un aumento en la incidencia de síntomas asociados con altos niveles de contaminación del aire exterior.

Los nuevos enfoques analíticos para los datos de series temporales y la mayor capacidad para el procesamiento automático de datos han facilitado el desarrollo de herramientas analíticas para los estudios de series temporales en epidemiología de la contaminación del aire. Este diseño ofrece ciertas ventajas, tales como el análisis de la medición diaria de los efectos agudos de la contaminación del aire y la posibilidad de evaluar diferentes patrones de retraso, desde la exposición hasta la consecuencia en la salud. En la sección 2.3 se presenta una evaluación crítica cuantitativa de los estudios diarios de series temporales.

Los estudios transversales ocuparon el segundo lugar de frecuencia entre los diseños epidemiológicos (17 publicaciones). La mayoría de esos estudios observó la prevalencia de las enfermedades respiratorias y los signos y síntomas relacionados con los niveles de contaminación del aire medidos por los monitores de la calidad del aire.

Pocos estudios transversales usaron indicadores generales de contaminación como “alto y bajo”. Por ejemplo, Petrella (2001) examinó tasas de admisión en los hospitales por enfermedades respiratorias entre áreas de baja y alta contaminación en tres pequeñas ciudades de Brasil. Con un enfoque similar y con la ayuda de sistemas de información geográfica, Peinado (2002) también comparó casos de crisis de asma y hospitalizaciones en áreas de Lima que tenía o no tenían fábricas. En ambos

casos, se observaron tasas más altas de enfermedades en las zonas “más contaminadas”.

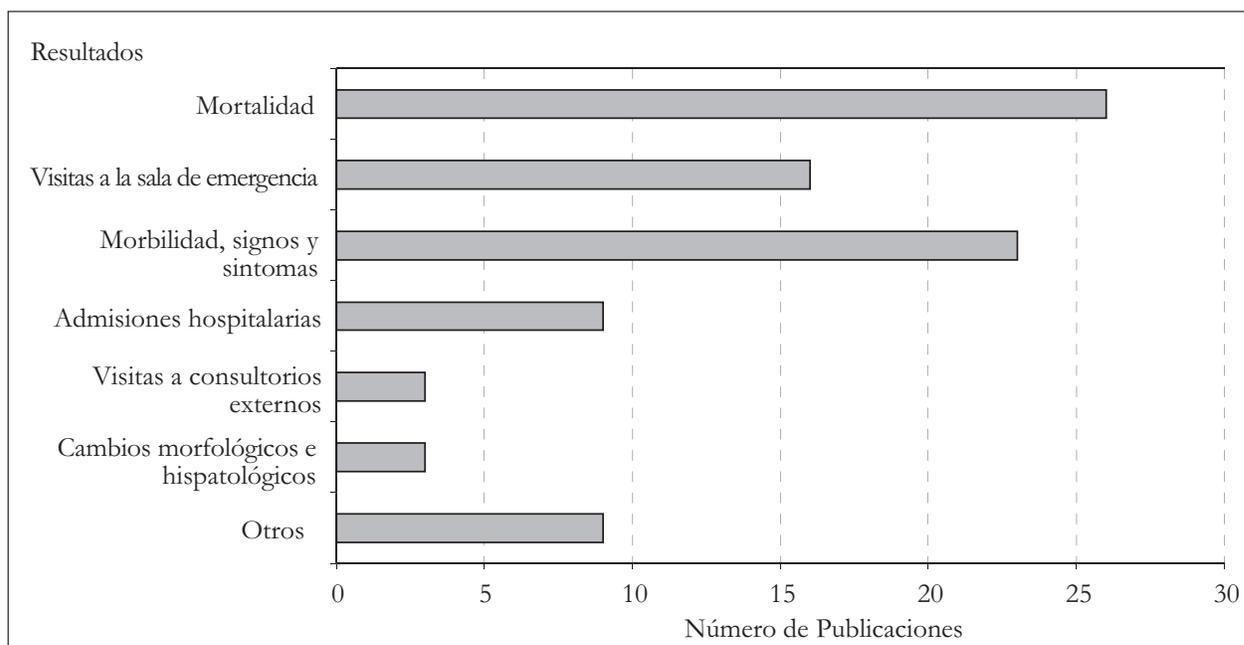
Tres estudios transversales examinaron los cambios morfológicos e histopatológicos en la autopsia de pulmones en Ciudad de México (Brauer, 2001 y Fortoul, 1996) y Brasil (Souza, 1998). Se encontraron altas concentraciones de partículas o metales en los pulmones de las personas que vivían en áreas de alta contaminación.

Nuestra búsqueda recuperó ocho estudios de revisión de la literatura, los que se encuentran identificados en los cuadros del apéndice I. Esos artículos evalúan los efectos de la contaminación del aire en el sistema respiratorio y su relación con los contaminantes urbanos del aire y las partículas de la combustión de biomasa o partículas solamente.

Otros diseños, como los de cohorte o estudios de panel, fueron menos comunes tal vez por las dificultades logísticas que presentan. Los estudios de panel generalmente evaluaron los efectos de la contaminación del aire en los signos respiratorios y en la función pulmonar de los niños. En el recuadro 1 se presenta un resumen de los resultados de los estudios de panel.

Los dos estudios de cohorte (Vargas-Catalán, 1994 y Alfonso-Valiente, 1996) fueron seguimientos de niños que asistían a guarderías y a la escuela primaria, respectivamente, y exploraban las diferencias en las enfermedades respiratorias derivadas de la contaminación del aire en diferentes áreas. Mientras que el estudio de 1996 de

Figura 2-4 Resultados de salud encontrados en estudios epidemiológicos sobre la contaminación del aire en exteriores en América Latina y el Caribe, 1994-2004



Nota: Cuatro documentos evaluaron más de un resultado y fueron incluidos más de una vez.

Alfonso-Valiente encontró que los escolares que vivían en áreas de alta contaminación presentaban tasas más altas de infecciones respiratorias que aquellos que vivían en zonas de menos contaminación en La Habana, el estudio de 1994 de Vargas-Catalán encontró exactamente lo opuesto para los niños que iban a las guarderías en Chile.

Los tres estudios descriptivos (Peitier, 1998; Martínez-Ordaz, 2000; y Brillhante, 2002) tuvieron un diseño muy simple y describían características de la contaminación del aire y sus efectos en la salud en áreas seleccionadas.

La mortalidad (26 estudios) fue el resultado de más interés en relación con la contaminación del aire (Figura 2-4). Se investigó la mortalidad por todas las causas o por causas específicas, tales como los problemas respiratorios asociados con la contaminación del aire y las enfermedades cardiovasculares. Los ancianos fueron el grupo de edad más estudiado, aunque varios documentos examinaron la mortalidad en niños y algunos la mortalidad en general sin especificar la edad. Esos estudios, en su mayoría, fueron de series temporales y su cuantificación se presenta seguidamente. Los estudios que evalúan los efectos de la contaminación del aire en los más jóvenes se presentan en el recuadro 2.

En general, los estudios que relacionan la contami-

nación del aire con la mortalidad encontraron asociaciones estadísticamente significativas entre los niveles de contaminación del aire y la mortalidad por todas las causas, así como por causas específicas en niños, ancianos y la población total.

El segundo resultado más investigado en relación con la contaminación del aire en ALC fue la morbilidad (apéndice I). La morbilidad es un indicador útil en los estudios sobre la salud porque generalmente es más sensible que la mortalidad para expresar las variaciones en la salud de la población y por lo tanto ofrece información más útil para quienes elaboran la política y la planificación de la salud. La mayoría de los estudios de esta sección se centró en la morbilidad por causas respiratorias. Algunos, sin embargo, examinaron el efecto de la contaminación del aire en el peso al nacer, en la frecuencia o ritmo cardíaco y en el cáncer de la nariz y emplearon estudios transversales, de series temporales o estudios de panel. Todos reportaron asociaciones positivas estadísticamente significativas con la contaminación del aire en exteriores.

En la Región también se han investigado las visitas a la sala de emergencia (16 estudios), las admisiones hospitalarias (9 estudios) y las visitas a consultorios externos (3 estudios) en relación con la contaminación del aire (apéndice I). Cuando se evalúa la morbilidad,

Recuadro 2 - Efectos muy tempranos de la contaminación del aire en la salud

En todo el mundo, cada vez es más evidente que los efectos de la contaminación del aire exterior son graves para los subgrupos más vulnerables como los ancianos y los niños. Pocos estudios, sin embargo, han investigado el efecto de la contaminación del aire sobre la mortalidad prenatal y neonatal. El estudio de tales efectos en ALC sería posible porque gran parte de su población está constituida por jóvenes.

Los estudios hechos en la Región durante los últimos 10 años han explorado los efectos de la contaminación del aire en diferentes fases de la infancia temprana, desde la etapa prenatal hasta un año. Loomis y cols (1999) encontraron en Ciudad de México una asociación entre el exceso de mortalidad infantil (<1 año) y los niveles de partículas finas en los días previos al fallecimiento. Para un aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el $\text{MP}_{2.5}$ observaron un incremento de 6,9% de muertes en infantes (95% IC: 2,5-11,3%).

En São Paulo, Brasil, Nishioka y cols (2000) y Lin y cols (2004) encontraron una asociación entre los niveles ambientales de MP_{10} y otros contaminantes con la mortalidad neonatal (0 a 28 días). Lin estimó que el aumento de un intercuartil en el MP_{10} ($23,3\mu\text{g}/\text{m}^3$) ocasionaba un incremento de cerca de 4% (95% IC: 2,0-6,0%) en la mortalidad neonatal.

Pereira y cols (1998) y Nishioka y cols (2000) examinaron la pérdida del feto (28 semanas o más de gestación) en relación con la contaminación del aire en São Paulo hallaron asociación entre los niveles de NO_2 y O_3 , y en menor medida de SO_2 y CO , con la mortalidad intrauterina. Pereira también encontró una correlación entre los niveles de carboxihemoglobina en la sangre del cordón umbilical con los niveles de monóxido de carbono (CO), lo que evidencia la exposición del feto a los niveles de contaminación del aire en exteriores.

Si la contaminación del aire puede afectar la salud de niños muy pequeños y aun de los que todavía no han nacido, parece razonable sugerir que también podría afectar el crecimiento intrauterino. Con esto en mente, en São Paulo, Gouveia y cols (2004) examinaron la asociación entre la exposición a la contaminación del aire en exteriores durante el embarazo con el peso al nacer. Se observaron los efectos de la exposición al MP_{10} y CO en el primer trimestre, aunque los efectos del CO fueron más robustos. Se estimó que el promedio del peso al nacer disminuía 23 g cuando había un aumento de 1-ppm en la exposición media al CO durante el primer trimestre.

Estos hallazgos ilustran las graves consecuencias que la contaminación del aire podría tener en la salud de los niños de ALC. En las áreas urbanas son comunes la pobreza, la mala nutrición y el saneamiento deficiente, lo que agrava la exposición a los contaminantes, así como la susceptibilidad a los efectos de la contaminación del aire. Cerca de 75% de la población de ALC reside en ciudades, por lo tanto, muchos de los niños de la Región son vulnerables a las consecuencias de la contaminación del aire sobre la salud.

los estudios de visitas diarias a la sala de emergencia o de admisión hospitalaria tienen la ventaja de que están basados en datos de fácil acceso. Esto, a su vez, posibilita la exploración de la relación con las variaciones diarias de la contaminación del aire. Predominan los estudios de niños (<15 años) y de enfermedades respiratorias. La mayoría de estos estudios reportan incrementos en el riesgo o prevalencia de diversos resultados de salud asociados con la contaminación del aire.

2.3 Análisis de los estudios de series temporales

Los siguientes análisis de la literatura de la Región sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud se limitaron a la evaluación de los resultados de los estudios de series temporales que se realizaron en ALC entre

1994 y 2004 y se centraron en el material particulado. Aunque en las búsquedas se encontraron estudios que emplearon otros diseños, el enfoque más común fue la evaluación de los efectos en la salud ocasionados por las variaciones temporales de los niveles de contaminación del aire (47 de los 85 estudios citados). Fue necesario concentrar nuestra revisión en un tipo de diseño para facilitar la comparación de los resultados. Las investigaciones que usaron las series temporales ofrecieron la mayor evidencia para trabajar. Además, como en Asia y en Europa se han hecho revisiones sistemáticas de estudios de series temporales, una revisión de este tipo de diseño permitirá comparar los resultados de ALC con los datos de otras partes del mundo.

Se examinó cada estudio para determinar su contenido y evaluar si reunía los criterios de selección. Esos

criterios se desarrollaron para asegurar que las conclusiones estuvieran fundamentadas en los mejores datos disponibles. El tipo de análisis estadístico empleado en los estudios fue una consideración clave para aceptarlos. Se establecieron los siguientes criterios respecto a este punto:

- El uso del análisis de regresión de Poisson y la obtención de los coeficientes de regresión con la información provista.
- Ajustes para importantes variables de confusión, especialmente para los factores meteorológicos, estacionales y temporales
- Información sobre la medición de la incertidumbre del resultado presentado (intervalos de confianza [IC], errores estándar [EE], o t estadística)

Después de definir los estudios que se incluirían en la revisión sistemática se seleccionaron los estimadores de riesgo de los estudios que describían de la mejor forma las consecuencias de la exposición a partículas sobre la mortalidad y la morbilidad. Para esta revisión solo se consideraron los efectos de un solo contaminante. Había la posibilidad de que algunos estudios dieran resultados que no estaban ajustados con otros contaminantes. Además, el ajuste con otros contaminantes muy probablemente variaría entre los estudios, lo que potencialmente llevaría a múltiples combinaciones por categoría de resultado e insuficientes datos para hacer inferencias válidas sobre el efecto.

Una revisión inicial de los estudios demostró el uso de varios parámetros de concentraciones promedio de partículas para evaluar los efectos en la salud. Los parámetros usados en los estudios fueron: MP_{10} , $MP_{2,5}$, $MP_{10-2,5}$, PST, humo y partículas sedimentables. En esta revisión no fueron considerados los estimadores de riesgo relacionados con el humo y las partículas sedimentables.

También se encontró que varios estudios reportaban estimadores de riesgo para más de un parámetro de concentraciones de partículas en el ambiente. En esos casos, para esta revisión solo se consideró el estimador de riesgo reportado para el MP_{10} . Cuando no se evaluó el MP_{10} , se consideró el estimado de riesgo para el $MP_{2,5}$ y en último lugar el PST.

Frecuentemente, en los estudios para determinado resultado, se dieron estimadores de riesgo para diferentes periodos de exposición y se usaron promedios móviles y de retraso de concentraciones diarias de contaminantes. Respecto a la definición del tiempo crítico en el que la exposición ejerce el máximo efecto, todavía no hay suficiente conocimiento sobre los mecanismos biológicos

ni cómo la exposición a las partículas tiene un efecto en los resultados del estudio. Por esta razón, la selección del estimador de riesgo que mejor predecía el efecto se basó en consideraciones estadísticas. Se establecieron los siguientes criterios de selección:

- el promedio móvil o de retraso que el autor describía como el más adecuado
- el promedio móvil o de retraso más significativo desde el punto de vista estadístico.

Hubo diversidad en los tipos de estimadores de riesgos generados y reportados por los estudios. Algunos estudios reportaron el riesgo relativo (RR) para un determinado cambio en la concentración del contaminante, usualmente con su IC. Otros presentaron el cambio de porcentaje en el número medio de eventos diarios del resultado del estudio, que es el RR expresado como porcentaje, acompañado de su IC. Otros estudios reportaron coeficientes de regresión (β), con su EE. Además, en los estudios se generaron estimadores de riesgo para diferentes incrementos de unidades en los niveles de exposición, por lo que se han usado varios parámetros de exposición para evaluar los efectos de las partículas.

Se transformaron los estimadores de riesgo para establecer una base común sobre la cual hacer inferencias del significado de los resultados de los estudios individuales y eventualmente para generar estimaciones cuantitativas de resumen. La unidad para transformar los estimadores de riesgo individuales fue el cambio de porcentaje en el número medio de eventos diarios para un incremento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración del contaminante. Siguiendo esta misma línea, se decidió transformar los resultados de las PST o $MP_{2,5}$ a MP_{10} o su equivalente. Esto ofrecería una mayor comparabilidad de los datos disponibles. La proporción que se utilizó en la transformación ha sido empleada anteriormente; esto es $MP_{10} \approx \text{PST} \times 0,55$ (Stieb y cols, 2002) y $MP_{2,5} \approx MP_{10} \times 0,60$. Este último factor de conversión se obtuvo de los estudios que evaluaron ambas mediciones de material particulado.

Los estimadores de riesgo de los estudios individuales se combinaron en categorías de resultado por grupo de edad. Se hicieron cuadros de frecuencia para describir los datos en cada categoría. Cuando una categoría tuvo al menos tres estimadores de riesgo se hizo una evaluación más detallada.

Se prepararon las estimaciones cuantitativas de resumen de los resultados para identificar la magnitud general del efecto de la contaminación del aire. El cálculo se hizo con el cambio de porcentaje en la mortalidad diaria y 95% de IC en todos los estimadores disponibles

para la categoría que usaba efectos fijos (con ponderación de la inversa de la varianza) y modelos de efectos aleatorios (DerSimonian y Laird, 1986).

Las estimaciones cuantitativas de resumen se calcularon observando las siguientes condiciones. La primera fue que los estimadores de riesgo estuvieran disponibles para al menos tres ciudades. Hubo varios estudios que fueron realizados en la misma ciudad y algunos fueron hechos en periodos similares o idénticos. Cuando hubo resultados reportados para el mismo periodo se dio preferencia a los resultados que usaron el MP_{10} para medir la exposición. Si más de uno utilizó el MP_{10} , entonces se dio preferencia al estudio que analizaba el periodo más extenso. Si la coincidencia persistía, entonces se tomó el estimador de riesgo más reciente para calcular el estimado del resumen. Este enfoque fue adoptado en una reciente revisión de estudios de Asia sobre series temporales (HEI, 2004), donde se supuso que el estimador de riesgo de un estudio reciente tiene mayores posibilidades de haber sido calculado con las últimas técnicas estadísticas.

2.3.1 Principales hallazgos

Nuestra detallada búsqueda en las bases de datos bibliográficas obtuvo un total de 47 estudios de series temporales realizados entre 1994-2004 para evaluar las variaciones temporales en las concentraciones de partículas ambientales y su influencia en la mortalidad o morbilidad. De esos 47 estudios, 21 no fueron considerados en el análisis (Cuadro 2-1). La principal razón de la exclusión fue que los métodos estadísticos empleados no cumplían los criterios de selección (11 estudios). Otros motivos estuvieron relacionados con la falta de uso de la regresión de Poisson, la carencia de control de la tendencia temporal o el clima, o la falta de provisión de la medición de la incertidumbre. También se excluyeron los que no tenían el parámetro de exposición (5 estudios). Algunos estudios no evaluaron los efectos de las partículas, uno evaluó los efectos pero no reportó los resultados y otro empleó las partículas sedimentables como el parámetro de exposición. Otra razón fue la estratificación de los resultados por estación o lugar de fallecimiento

Cuadro 2-1 Estudios de series temporales excluidos de la revisión sistemática de la literatura

Referencia	Lugar	Motivo de la exclusión
Arbex, 2000	Araraquara	El parámetro de exposición usó partículas sedimentables
Avendaño, 1999	Santiago	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
Avendaño, 2003	Santiago	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
Bedolla Barajas, 1999	Guadalajara	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
Borja Aburto, 1997	Ciudad de México	Los resultados estaban incluidos en Loomis 1996
Botter, 2002	Ciudad de México	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
Calderón Garcidueñas, 2000	Ciudad de México y Monterrey	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
Gouveia, 2002	Rio de Janeiro and Sao Paulo	Reportaron resultados preliminares. Los resultados finales se incluyeron en Gouveia, 2003
Hernández Garduño 1997	Ciudad de México	No evaluaron los efectos de las partículas
Ilabaca, 1999	Santiago	Los resultados se estratificaron por estación
Kishi, 1998	São Paulo	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
Martins, 2002b	São Paulo	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
O'Neill, 2004a	Ciudad de México	No evaluaron los efectos de las partículas
Romieu, 1995	Ciudad de México	No reportaron los resultados de los efectos de las partículas
Rosas, 1998	Ciudad de México	Los resultados se estratificaron por estación
Saldiva, 1994	São Paulo	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
Salinas, 1995	Santiago	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
Solé, 1998	São Paulo	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección
Téllez Rojo, 1997	Ciudad de México	No evaluaron los efectos de las partículas
Téllez Rojo, 2000	Ciudad de México	Los resultados se estratificaron por el lugar de fallecimiento
Zamorano, 2003	Santiago	Las técnicas estadísticas no cumplieron los criterios de selección

(3 estudios). Finalmente, dos estudios fueron omitidos porque sus resultados estaban incluidos en un artículo que fue considerado en la revisión.

Los resultados evaluados por los 26 estudios restantes fueron: mortalidad (16), visitas a la sala de emergencia (5), admisiones hospitalarias (3) y visitas a los consultorios externos (1). Un estudio reportó resultados para efectos tanto en la mortalidad como en admisiones hospitalarias.

2.3.1.1 Aspectos metodológicos de los estudios

Todos los estudios de series temporales utilizaron la regresión de Poisson para modelar el conteo diario de los eventos de salud (mortalidad, admisiones hospitalarias o visitas a la sala de emergencia). Si bien todos los estudios hicieron ajustes para los factores temporales y meteorológicos, los procedimientos de ajuste variaron considerablemente. Por ejemplo, algunos estudios utilizaron variables indicadores para mes o estación a fin de controlar los factores temporales, mientras que otros emplearon ondas armónicas. La mayoría de los estudios, sin embargo, empleó factores suaves en los modelos aditivos generalizados (MAG) para estos ajustes.

Recientemente, se ha utilizado la regresión del MAG de Poisson en los estudios epidemiológicos de contaminación del aire y se le considera más flexible y apropiado para modelar los efectos de la contaminación del aire cuando se controlan covariantes. Su uso en los estudios de ALC se documentó por primera vez en 1996 (Ostro, 1996; Loomis, 1996) y desde entonces se ha convertido en la norma para las series temporales que usan la regresión de Poisson en la Región.

Lo mismo se aplica para la selección de los datos meteorológicos; actualmente, la mayoría de los estudios usa las funciones suaves de los MAG para controlar la temperatura y la humedad. Aun así, en los estudios hay variaciones sustanciales en la selección de los parámetros meteorológicos (la temperatura media, máxima o mínima, por ejemplo) y en la especificación de modelos para estos ajustes. Por lo tanto, si bien la mayoría de los estudios provee alguna evidencia de que los parámetros meteorológicos se han manejado de manera apropiada (por ejemplo, mediante el análisis de residuales) no es posible evaluar en qué medida estos ajustes son responsables de las diferencias en los resultados que presentan los estudios llevados a cabo en ciudades con una gran diversidad de patrones de clima.

Cuadro 2-2 Distribución de los estimadores de riesgo por causa de muerte y grupo de edad

Causa de muerte	Grupo de edad		
	Todos	Ancianos	Niños
Todas las causas	7	7	4
Todas las causas respiratorias	4	5	2
Neumonía		1	1
EPOC + asma		1	1
ECV	4	4	
Apoplejía		1	
Desórdenes de la conducción sanguínea + arritmia		1	
IAM		1	

2.3.1.2 Mortalidad

El análisis de los efectos de las partículas en la mortalidad se realizó en 17 estudios. Estos se llevaron a cabo en São Paulo (7 estudios), Ciudad de México (5), Santiago (3), y Rio de Janeiro (1). Un estudio reportó resultados de dos lugares, São Paulo y Rio de Janeiro. En términos generales, el MP_{10} fue el parámetro de exposición elegido para evaluar los efectos de las partículas en la mortalidad con 13 estudios que reportaron resultados para este parámetro. Otros estudios usaron el $MP_{2.5}$ o las PST como el parámetro de exposición.

Luego, los resultados individuales de estos estudios fueron combinados para analizarlos en categorías de causa de muerte por grupo de edad (Cuadro 2-2). Se evaluaron ocho causas diferentes de muerte en los estudios: todas las causas, todas las causas respiratorias, neumonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y asma, enfermedades cardiovasculares (ECV), apoplejía, desórdenes de la conducción cardíaca y arritmia, e infarto agudo al miocardio (IAM).

Con los rangos de edad de las poblaciones estudiadas se formaron tres grupos: todas las edades, ancianos, y niños. El grupo de los ancianos comprendió los resultados de estudios cuya población tenía 65 o más años de edad. El único estudio sobre ancianos que no utilizó esta definición, usó 60 y más años. En contraste, el rango de edades en los estudios de niños tuvo variaciones. Los resultados se reportaron para cuatro edades diferentes: <5 años (4 estudios), <28 días (2 estudios),

Cuadro 2-3 Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀ reportado en estudios individuales sobre "todas las causas, todas las edades"

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante original evaluado	Cambio de % (IC)	Referencia
Ciudad de México	90-92	PST	0,87 (0,55; 1,20)	Loomis, 1996
Ciudad de México	93-95	MP _{2,5}	0,81 (0,10; 1,50)	Borja Aburto, 1998
Ciudad de México	93-95	MP ₁₀	1,83 (0,98; 2,68)	Castillejos, 2000
Ciudad de México	96-98	MP ₁₀	0,04 (-0,12; 0,20)	O'Neill, 2004b
Santiago	88-96	MP _{2,5}	0,44 (0,31; 0,57)	Cifuentes, 2000
Santiago	89-91	MP ₁₀	0,75 (0,50; 1,01)	Ostro, 1996
São Paulo	91-93	MP ₁₀	0,09 (-0,22; 0,40)	Gouveia 2000b

> 28 semanas de embarazo (1 estudio) y <1 año (1 estudio).

Cuando los resultados individuales se clasificaron por categorías de causa de muerte y grupo de edad, el número de los resultados disponibles para cualquier combinación disminuyó, lo que limitó la solidez de las conclusiones que podrían derivarse de los datos (Cuadro 2-2).

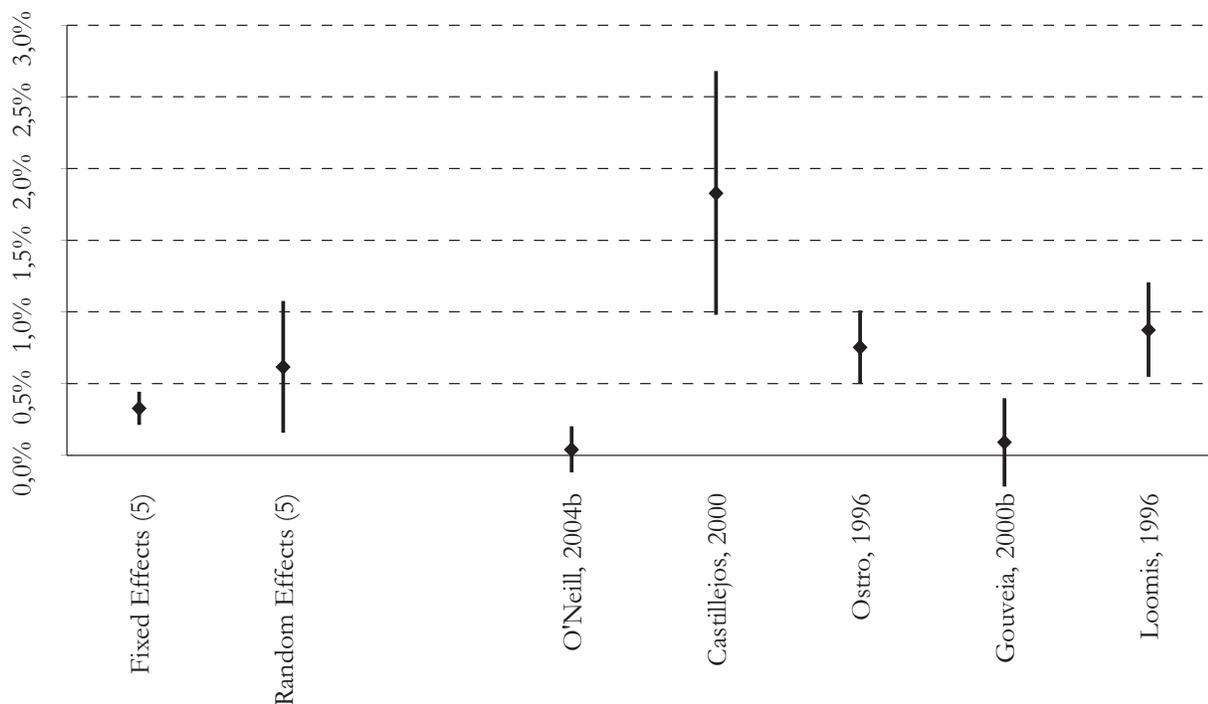
a. Muerte por todas las causas

Una evaluación de los resultados individuales sugi-

rió un impacto adverso de las variaciones temporales de las partículas sobre las poblaciones que viven en áreas urbanas de ALC. En cinco de los siete estudios que analizaron la categoría de mortalidad por todas las causas y edades se relacionó el incremento de la mortalidad diaria con un aumento de 10 µg/m³ de MP₁₀. El exceso de mortalidad diaria estuvo en el rango de 0,04% a 1,83% (Cuadro 2-3).

En la evaluación de resultados de mortalidad por todas las causas encontramos dos estudios de Ciudad de México, Borja-Aburto, 1998 y Castillejos, 2000, que habían cubierto el mismo periodo y que por lo tanto repre-

Figura 2-5 Resumen de los estimadores de los efectos aleatorios y fijos de la mortalidad por todas las causas en todos los grupos de edad debido a un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀



Cuadro 2-4 Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀ reportado en estudios individuales sobre "todas las causas, ancianos"

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante original evaluado	Cambio de % (IC)	Referencia
Ciudad de México	90-92	PST	1,03 (0,60;1,47)	Loomis, 1996
Ciudad de México	93-95	MP _{2,5}	0,94 (0,02;0,86)	Borja-Aburto, 1998
Ciudad de México	93-95	MP ₁₀	2,01 (0,86;3,16)	Castillejos, 2000
Santiago	88-93	MP ₁₀	0,51 (0,32;0,71)	Sanhueza, 1998
Santiago	89-91	MP ₁₀	0,91 (0,58;1,25)	Ostro, 1996
São Paulo	90-91	MP ₁₀	1,21 (0,58;1,84)	Saldiva, 1995
São Paulo	91-93	MP ₁₀	0,50 (0,09;0,91)	Gouveia 2000b

sentaban a la misma población. No obstante, reportaron resultados para diferentes parámetros de exposición. En el primer estudio, se evaluaron los efectos con el MP_{2,5} como el parámetro de exposición, mientras que en el segundo se añadió el análisis de MP₁₀. Algo similar ocurrió en los dos estudios de Santiago (Ostro, 1996 y Cifuentes, 2000). Cifuentes expandió el periodo de exposición que originalmente fue evaluado por Ostro para la misma población, pero analizó los efectos del MP_{2,5}. Aun cuando usaron la misma población y el mismo periodo, los efectos reportados en estos estudios no fueron necesariamente los mismos. Las variaciones se podrían deber al uso de diferente parámetros de exposición, a las técnicas de modelado y a los covariantes empleados en el ajuste.

Las estimaciones cuantitativas de resumen del modelo de efectos aleatorios para la mortalidad por todas las causas en todos los grupos de edad reveló un incremento de 0,61% de muertes diarias (95% IC: 0,16; 1,07) para un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀. Del modelo fijo se obtuvo un aumento de 0,33% (95% IC: 0,21; 0,44) de muertes diarias (Figura 2.5). Se observó una significativa heterogeneidad entre los estimadores individuales.

Los resultados de los estudios de ALC sugieren que el impacto de las variaciones temporales en las concentraciones de partículas es más fuerte en los ancianos. Los siete estudios reportaron una asociación estadísticamente significativa entre el cambio de porcentaje en la mortalidad diaria por todas las causas en los ancianos y un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀. El incremento de la mortalidad diaria tuvo un rango ente 0,50% a 2,01% (Cuadro 2-4).

También se encontró duplicación del estudio en el análisis de la mortalidad por todas las causas entre los ancianos. Algunos estudios reportaron resultados

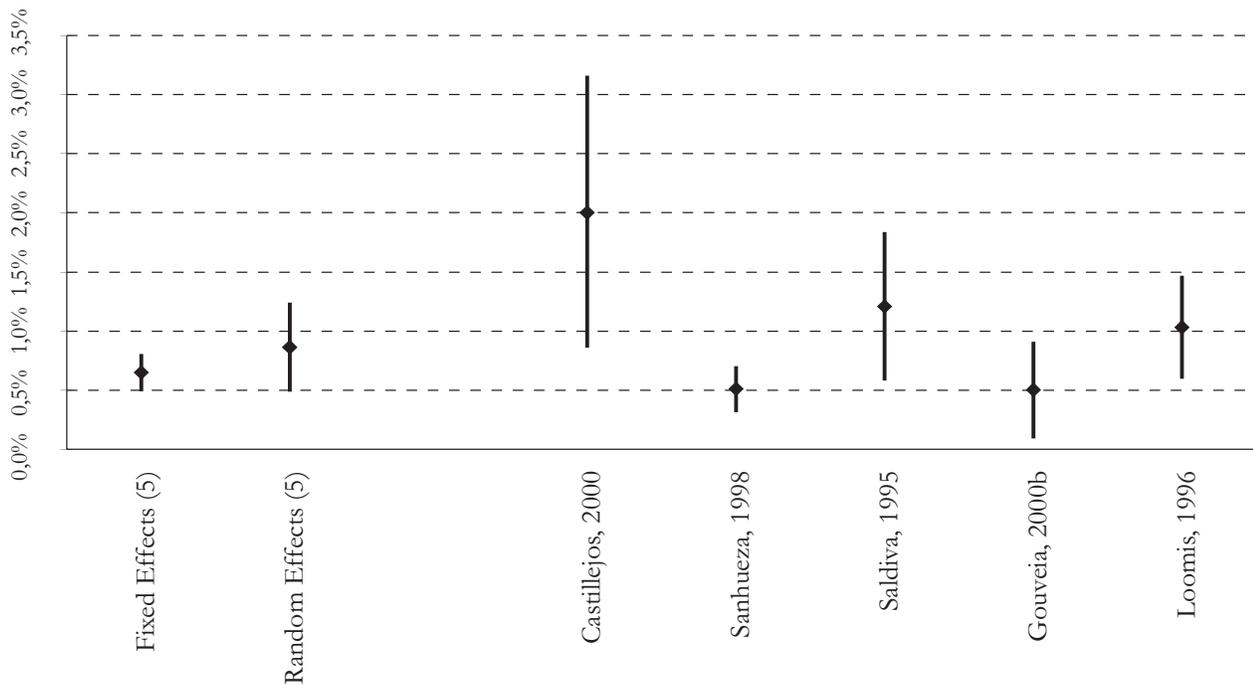
para más de un desenlace o consecuencia y el traslape de Borja Aburto, 1998 y Castillejos, 2000 se repite aquí también. El traslape ocurrió también en dos estudios de Santiago, donde Sanhueza, 1998 expandió el periodo de exposición originalmente evaluado por Ostro, 1996.

La estimación cuantitativa de resumen del efecto de la exposición debido a un aumento de los niveles de contaminación del aire en la salud de la población anciana fue mayor que el observado para todas las causas en todas las edades. El modelo de efectos fijos estimó un incremento de 0,65% en la mortalidad diaria de ancianos (95% IC: 0,49; 0,81) para un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀. Nuevamente, hubo evidencia de heterogeneidad entre el estimado anterior y el modelo de efectos aleatorios, que estimó un aumento de 0,86% de muertes diarias (95% IC: 0,49; 1,24) y fue más alto que el modelo fijo (Figura 2.6).

Los niños también fueron afectados por las variaciones temporales en las concentraciones de partículas, pero el número de estudios que evaluaron los efectos de las partículas en la mortalidad por todas las causas entre niños fue más pequeño que aquellos disponibles para otros grupos de edad. Solo hubo cuatro estudios disponibles y todos ellos reportaron asociaciones entre la mortalidad diaria y un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀. La mortalidad diaria tuvo una variación de 0,80 a 4,01% (Cuadro 2-5).

Aquí también se identificó la duplicación de estudios. Nishioka, 2000 y Lin, 2004 reportaron resultados para el mismo grupo de estudio y periodo. Los estudios que evaluaron la mortalidad por todas las causas en niños analizaron diferentes grupos de edades. Dos estudios se dedicaron a neonatos, uno a infantes, mientras que otro evaluó la muerte fetal tardía.

Figura 2-6 Resumen de los estimadores de los efectos aleatorios y fijos de la mortalidad por todas las causas de ancianos debido a un aumento de 10 µg/m³ en la exposición de partículas



b. Muerte por todas las causas respiratorias

Pocos estudios han evaluado el impacto de las concentraciones promedio de partículas en la mortalidad por todas las causas respiratorias en comparación con la mortalidad por todas las causas. Solo cuatro estudios evaluaron estos efectos para todos los grupos de edad. Tres de los cuatro estudios reportaron asociaciones entre el aumento de las concentraciones de partículas y el exceso de mortalidad diaria para todos los grupos de edad. El exceso de mortalidad diaria tuvo un rango de 0,59 a 3,85% (Cuadro 2-6).

Para este resultado individual solo se tuvieron estimadores de riesgo para dos lugares. Además, los estudios

de cada lugar analizaron datos para el mismo periodo.

Tres estudios reportaron una asociación entre el exceso de mortalidad diaria por todas las causas respiratorias en los ancianos y concentraciones de partículas en el ambiente. Las diferencias en la mortalidad diaria tuvieron una variación de 0,14% a 5,4% (Cuadro 2-7).

Se realizaron dos grupos de estudios para la misma ciudad y periodo. Uno fue conducido por Gouveia, 2003 y Daumas, 2004. De hecho, los resultados reportados en estos estudios fueron idénticos. El otro grupo fue conducido por Gouveia, 2003 y Martins, 2004. El periodo de estudio cubierto por Martins es un subconjunto del periodo evaluado en un estudio previo realizado por Gouveia (2003). En el trabajo de Martins, la población es-

Cuadro 2-5 Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento 10 µg/m³ en el MP₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas, niños”

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante original evaluado	Grupo de edad	Cambio de % (IC)	Referencia
Ciudad de México	93-95	MP _{2,5}	<1 año	4,01 (1,48;6,61)	Loomis, 1999
Sao Paulo	91-92	MP ₁₀	>28 semanas de embarazo	0,80 (0,71;1,91)	Pereira, 1998
Sao Paulo	98	MP ₁₀	<28 días	3,87 (1,46;6,35)	Nishioka, 2000
Sao Paulo	98-00	MP ₁₀	<28 días	1,71 (0,13;3,32)	Lin, 2004

Cuadro 2-6 Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas, respiratorias, todas las edades”

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante original evaluado	Cambio de % (IC)	Referencia
Ciudad de México	93-95	MP _{2,5}	1,45 (-0,67;3,62)	Borja-Aburto, 1998
Ciudad de México	93-95	MP ₁₀	3,85 (1,16;6,55)	Castillejos, 2000
Santiago	88-93	MP ₁₀	0,59 (0,17;1,01)	Sanhueza, 1998
Santiago	89-91	MP ₁₀	1,28 (0,64;1,92)	Ostro, 1996

tudiada vivía dentro de un radio de dos kilómetros de las estaciones de monitoreo del aire, mientras que Gouveia abarcó toda la población de São Paulo. Es muy probable que Martins haya hecho una medición más precisa de la

c. Muerte por enfermedades cardiovasculares

Existen pocos estudios que evalúen la mortalidad por ECV en todas las edades y de los que se pudieran ha-

Cuadro 2-7 Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas respiratorias, ancianos”

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante original evaluado	Cambio de % (IC)	Referencia
Rio de Janeiro	91-93	PST	1,64 (-0,55;3,89)	Gouveia 2003
Rio de Janeiro	91-93	PST	1,65 (-0,50;3,85)	Daumas, 2004
São Paulo	91-93	MP ₁₀	0,91 (0,08;1,75)	Gouveia, 2000b
São Paulo	96-00	MP ₁₀	0,14 (0,08;0,20)	Gouveia, 2003
São Paulo	97-99	MP ₁₀	5,40 (2,30;8,60)	Martins, 2004

exposición, lo que en parte explicaría el marcado efecto que se observa en su estudio en comparación con el de Gouveia 2003 y todos los demás.

Solo dos de los estudios abordaron la posible relación entre la contaminación del aire y mortalidad por causas respiratorias en niños, por lo que hay insuficientes datos para hacer mayores comentarios.

cer inferencias sobre el impacto de las concentraciones de partículas en el ambiente. Tres de los cuatro estudios que evaluaron muertes por ECV reportaron una asociación estadísticamente significativa. El rango del exceso de mortalidad diaria fue de 0,25% a 2,0% (Cuadro 2-8).

Como se mencionó anteriormente, solo hubo resultados disponibles para dos ciudades (Santiago y Ciudad

Cuadro 2-8 Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas de ECV, todas las edades”

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante original evaluado	Cambio de % (IC)	Referencia
Ciudad de México	93-95	MP _{2,5}	1,29 (-0,01;2,61)	Borja-Aburto, 1998
Ciudad de México	93-95	MP ₁₀	2,00 (0,39;3,60)	Ostro, 1996
Santiago	88-93	MP ₁₀	0,25 (0,05;0,45)	Castillejos, 2000
Santiago	89-91	MP ₁₀	0,76 (0,33;1,20)	Sanhueza, 1998

Cuadro 2-9 Cambio de porcentaje de la mortalidad diaria por un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el MP_{10} reportado en estudios individuales sobre “todas las causas de ECV, ancianos”

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante original evaluado	Cambio de % (IC)	Referencia
Rio de Janeiro	91-93	PST	0,73 (-0,73;2,21)	Gouveia, 2003
Rio de Janeiro	91-93	PST	0,73 (-0,70;2,18)	Daumas, 2004
São Paulo	91-93	MP_{10}	0,58 (0,02;1,15)	Gouveia, 2000b
São Paulo	96-00	MP_{10}	0,30 (-0,30;0,91)	Gouveia, 2003

de México) y el periodo cubierto fue similar.

También se evaluó de manera separada la mortalidad por todas las causas de ECV en los ancianos. Solo un estudio reportó una asociación entre la exposición a las partículas y este resultado. Los otros resultados no indicaron un efecto adverso (Cuadro 2-9).

Como se ha comentado antes, los estudios de Gouveia, 2003 y Daumas, 2004 realizados con la misma población y periodo reportaron resultados similares.

2.3.1.3 Admisiones hospitalarias

Cuatro estudios, todos de Brasil, reportaron cómo las variaciones temporales en las concentraciones promedio de partículas influyeron en el número de admisiones hospitalarias. Tres de los estudios se realizaron en São Paulo, mientras que el otro reportó resultados de São Paulo y Rio de Janeiro. En los cuatro estudios se seleccionó el MP_{10} para describir las concentraciones promedio de partículas.

Los resultados individuales de estos estudios fueron clasificados por categorías para analizar la causa de admisión hospitalaria y el grupo de edad (Cuadro 2-10). En los estudios se evaluaron seis causas diferentes: todas las causas respiratorias, neumonía, asma, EPOC y asma, ECV y cardiopatía isquémica (CI).

En estos estudios, el grupo de ancianos comprendió a la población de 65 años o más. Como ocurrió con los datos de mortalidad, el rango de edad de los niños varió considerablemente entre los estudios. Uno analizó datos de cinco grupos de edad: ≤ 2 , 3-5, 6-13, 14-19 y 0-19. Otros estudios reportaron efectos para los grupos de edad < 5 (2 estudios), < 1 (1 estudio) y < 13 (1 estudio).

Cuando se desagregaron, excepto para la categoría “todas las causas respiratorias en niños”, hubo pocos estimadores disponibles sobre causas de admisión en los hospitales por grupo de edad. Además, solo se

reportaron resultados de dos ciudades, lo que restringe las conclusiones que se puedan derivar de los datos.

d. Admisión por causas respiratorias

De manera general, los datos sugieren que las variaciones temporales en las concentraciones promedio de partículas tienen influencia sobre la incidencia de problemas respiratorios en niños, los que consecuentemente requieren hospitalización. Los estudios reportaron un exceso de admisiones hospitalarias diarias desde 0,40% a 6,73% (Cuadro 2-11).

Detrás del gran número de estimadores de riesgo disponible para este resultado se encuentra un estudio que reportó estimadores para cinco grupos diferentes de edad (Braga y cols, 2001). El propósito de ese estudio fue evaluar las variaciones en la magnitud de los efectos en diferentes grupos de edad. Los datos demostraron que el grupo de edad ≤ 2 presentaba los efectos más severos, lo que sugiere que los niños más jóvenes tienen mayor riesgo de desarrollar efectos en la salud derivados de la contaminación del aire.

Cuadro 2-10 Distribución de los estimadores de riesgo por causa de admisión hospitalaria y grupo de edad

Causa de admisión hospitalaria	Grupo de edad	
	Ancianos	Niños
Todas las causas respiratorias	2	9
Neumonía	1	3
Asma		1
EPOC + asma	1	
ECV	1	
CI	1	

Cuadro 2-11 Cambio de porcentaje de la admisión hospitalaria por un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀ reportado en estudios individuales sobre “todas las causas respiratorias, niños”

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante original evaluado	Grupo de edad	Cambio de % (IC)	Referencia
Rio de Janeiro	00-01	MP ₁₀	<5	1,84 (0,40;3,30)	Gouveia, 2003
São Paulo	92-93	MP ₁₀	<13	1,61 (0,80;2,43)	Braga, 1999
São Paulo	92-94	MP ₁₀	<5	0,40 (-0,15;0,97)	Gouveia, 2000a
São Paulo	93-97	MP ₁₀	≤2	5,27 (4,44;6,09)	Braga, 2001
São Paulo	93-97	MP ₁₀	3-5	1,85 (0,11;3,61)	Braga, 2001
São Paulo	93-97	MP ₁₀	6-13	0,53 (-0,34;1,40)	Braga, 2001
São Paulo	93-97	MP ₁₀	14-19	1,39 (0,09;2,71)	Braga, 2001
São Paulo	93-97	MP ₁₀	0-19	1,94 (1,60;2,28)	Braga, 2001
São Paulo	96-00	MP ₁₀	<5	6,73 (4,90;8,60)	Gouveia, 2003

Un estudio posterior, también realizado en São Paulo (Gouveia, 2003), con un grupo de edad <5 reportó resultados similares. Gouveia encontró un efecto mucho mayor en el mismo grupo de edad en el estudio de 2003 que en un análisis previo llevado a cabo por el mismo autor (Gouveia, 2000a). Las metodologías que se emplearon podrían explicar muchas de las diferencias en los resultados. En el primer estudio se usaron ondas armónicas para controlar las tendencias temporales y estacionales, mientras que Gouveia 2003 empleó las funciones más suaves de regresión del MAG de Poisson. De ello se deduce que las diferentes metodologías estadísticas pueden dar cuenta de algunas variaciones en los resultados de una misma ciudad.

e. Admisión por neumonía

Se reportaron tres estimadores de riesgo sobre la relación entre las concentraciones de partículas y las ad-

misiones hospitalarias por neumonía. Un estudio reportó una asociación de este resultado para dos grupos de edad diferente: <5 y <1 año. Los dos estudios que reportaron estos resultados fueron realizados en la ciudad de São Paulo y encontraron aumentos en la admisión diaria por neumonía que iban desde 1,84% (0,40; 3,30) hasta 2,30% (-5,97; 11,29) para niños menores de 5 años. En los infantes (< 1 año) el porcentaje de aumento fue ligeramente menor 1,61% (0,80; 2,43) (Cuadro 2-12).

2.3.1.4 Visitas a la sala de emergencia

Cinco estudios evaluaron la influencia de las variaciones diarias en la concentración de partículas sobre las visitas a la sala de emergencia (VSE). Estos se llevaron a cabo en São Paulo (3 estudios), La Habana (1) y Ciudad Juárez (1). En los cinco estudios se usó el MP₁₀ como parámetro para describir las concentraciones promedio de partículas. La mayoría evaluó los problemas respiratorios

Cuadro 2-12 Cambio de porcentaje de la admisión hospitalaria por un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀ reportado en estudios individuales de “neumonía, niños”

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante original evaluado	Cambio de % (IC)	Referencia
São Paulo	92-94	<5	1,84 (0,40;3,30)	Gouveia, 2000a
São Paulo	92-94	<1	1,61 (0,80;2,43)	Gouveia, 2000a
São Paulo	96-00	<5	2,30 (-5,97;11,29)	Gouveia, 2003

Cuadro 2-13 Estimadores de la distribución de riesgo por causa de visita a la sala de emergencia y grupo de edad

Causa de la visita a la sala de emergencia	Grupo de edad	
	Ancianos	Niños
Todas las causas respiratorias		1
Sibilancia		1
Asma		1
Crisis aguda de asma bronquial		1
Enfermedades respiratorias agudas		1
Infecciones respiratorias agudas		1
Enfermedades respiratorias altas		1
Infecciones respiratorias altas		1
Enfermedades respiratorias bajas		1
Enfermedad respiratoria baja crónica	1	
Angina + IAM	1	

relacionados con las VSE. Un estudio reportó efectos de la contaminación del aire en las VSE por angina e infarto agudo al miocardio (IAM).

Se reportaron efectos respiratorios por once causas en dos grupos de edad; niños y ancianos (Cuadro 2-13). Los estudios que evaluaron los efectos en los niños se centraron en un rango de edad similar. Se reportaron resultados para las siguientes edades: <13 años (1 estudio), <14 años (1 estudio), <15 años (1 estudio). El grupo de ancianos comprendió resultados de estudios de población de 65 años (2 estudios).

Varios de esos estudios reportaron aumentos significativos diarios de VSE con el aumento de las concentraciones de partículas en el ambiente. Sin embargo, no fue posible combinar los estimadores de riesgo de los estudios individuales en categorías por causas de VSE. Dado que algunos estudios no presentaron los códigos CIE, no se pudo establecer qué grupo de diagnóstico de causas de VSE correspondía a los resultados reportados. Además, los datos son escasos y, aun suponiendo que las causas fueran similares, la información sería insuficiente para evaluar la influencia de las concentraciones promedio de partículas en las VSE.

2.4 Discusión

De manera general, el análisis sistemático de los estudios de ALC sugiere que las variaciones temporales del material particulado contribuyen a la mortalidad y morbilidad adicionales. El aumento de 10 µg/m³ en las concentraciones promedio de partículas se relaciona con el incremento de la mortalidad diaria por todas las

causas, todas las causas respiratorias y ECV. El mismo incremento en las concentraciones promedio de partículas también se relacionó con el aumento de admisiones hospitalarias por todas las causas respiratorias.

La estimación cuantitativa de resumen calculada en este estudio para los efectos del MP₁₀ sobre la mortalidad por todas las causas y grupos de edad se comparó con los datos de estudios similares realizados en otras partes del mundo. En términos generales, el estimado del resumen calculado con datos que representan a tres ciudades latinoamericanas fue similar a las cifras reportadas en otros estudios. El mismo patrón se presentó al comparar el resumen estimado en este estudio para los efectos del MP₁₀ en todas las causas para el grupo de ancianos (Cuadro 2-14).

Las asociaciones reportadas en muchos estudios de ALC son consistentes con las actuales evaluaciones de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud humana. Aun así, la evidencia recogida en los resultados de los estudios individuales podría ser todavía insuficiente para extraer conclusiones sólidas respecto al impacto de la exposición a las partículas en la Región. Existen razones que explican este hecho.

Aunque la mayoría de los trabajos producidos en la Región se realizaron para evaluar los efectos en la mortalidad, cuando los datos se estratificaban por causa individual de muerte, los datos fueron escasos. Se estableció la regla de que se derivarían conclusiones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud solo si había por lo menos tres estimadores de riesgo para cualquier resultado por grupo de edad. Después de recabar los datos

Cuadro 2-14 Estimación cuantitativa de resumen del cambio de porcentaje en todas las causas de mortalidad por un aumento de 10 µg/m³ en el MP₁₀ en otras regiones del mundo por grupo de edad

Lugar	Cambio de % (IC)	Referencia
Todas las causas, todas las edades		
Asia	0,49 (0,23;0,76)	HEI, 2004
Europa	0,60 (0,40;0,80)	Katsouyanni, 2001
América Latina	0,61 (0,16;1,07)	PAHO
Estados Unidos	0,21 (0,09;0,33)	Dominici, 2003
En todo el mundo	0,65 (0,51;0,76)	Stieb, 2002
Todas las causas, ancianos		
Europa	0,70 (0,50;1,00)	Katsouyanni, 2001
América Latina	0,86 (0,49;1,24)	PAHO
En todo el mundo	0,86 (0,61;1,11)	Stieb, 2002

de todos los estudios, se observó que la evidencia para cualquier resultado era pequeña y que pocos cumplían la regla. Por ejemplo, la más alta concentración de resultados se dio en los resultados por todas las causas y solo para dos de los tres grupos de edad: todas las edades y ancianos.

No se pudo evaluar otro grupo de edad ni resultado. La Región carece de información significativa sobre los efectos de la exposición a partículas en la mortalidad infantil. Aunque la mortalidad por problemas respiratorios en ALC es una de las principales causas de muerte en niños menores de 5 años, pocos estudios analizan la mortalidad por causas respiratorias en niños. Algunos estudios evalúan la mortalidad infantil por todas las causas; no obstante, esa información no es comparable debido a que se han empleado diferentes definiciones para los grupos de edad. Por lo tanto, la capacidad para manejar este resultado fue limitada. Para la evaluación de la morbilidad, la carencia de datos representó un serio obstáculo. La información sobre el número de estimadores de riesgo para las admisiones hospitalarias y las visitas a la sala de emergencia y a los consultorios externos resultó ser insuficiente para evaluar la influencia de las partículas ambientales sobre estos resultados.

Finalmente, solo fue posible efectuar el cálculo de estimaciones cuantitativas de resumen para dos resultados. Este cálculo es una herramienta particularmente útil cuando se formulan políticas porque dan una visión de la función exposición-respuesta, de la que se puede estimar el número de muertes o enfermedades (riesgo atribuible).

Se pueden esperar otras limitaciones que afectarían esta revisión sistemática de la literatura de ALC sobre los efectos en la salud asociados con la exposición a la contaminación del aire exterior. Una posibilidad es que las búsquedas en las bases de datos bibliográficas podrían haber omitido documentos sobre la Región. Sin embargo, se han hecho esfuerzos considerables para encontrar los estudios publicados. Las búsquedas se hicieron en tres idiomas y en varias bases de datos bibliográficas regionales mediante un algoritmo estructurado. Es poco probable que esta estrategia haya obviado estudios publicados.

Esto no evita, sin embargo, el sesgo de publicación, i.e., la posibilidad de que no se incluyeran resultados negativos en esta revisión porque nunca fueron publicados. Este es un problema que se presentará en cualquier revisión sistemática de la literatura. Ha sido difícil medir la extensión de este tipo de sesgo porque tuvimos muy pocos estudios para hacer un análisis robusto, especial-

mente cuando se desagregaron los estudios por grupo de edad y resultado.

Cuando se realizaron los cálculos de las estimaciones cuantitativas de resumen encontramos evidencia de la heterogeneidad entre los resultados primarios. Si bien la heterogeneidad podría indicar diferencias reales en el efecto estimado, también se debe considerar que hay importantes diferencias en los estudios incluidos en esta revisión. Por ejemplo, en los estudios hubo gran diferencia en los enfoques analíticos para manejar los factores de confusión, tales como las tendencias temporales, estacionales y meteorológicas. Se observaron diferencias en la selección de parámetros incluidos, así como en las especificaciones de los modelos. Esas diferencias podrían dar cuenta de muchas de las variaciones que presentan los estudios.

Otro punto de discusión es el tema de la convergencia de criterios cuando se usan las rutinas MAG de S-Plus® (Dominici y cols, 2002). S-Plus es un paquete estadístico que ha sido muy utilizado en la revisión de los estudios de series temporales en este informe. Cuando existe más de una función suave no paramétrica en el modelo MAG en S-Plus y el parámetro que se va a estimar es pequeño, la predeterminación para el procedimiento iterativo del estimado en la función del MAG de este software no asegura la convergencia y puede ocasionar sesgo en los estimadores de coeficientes de regresión y errores estándares. En los Estados Unidos, Dominici y cols (2002) atribuyeron a este problema la sobrestimación de los efectos de la contaminación del aire en la mortalidad.

En los estudios de series temporales en ALC que aplicaron los modelos MAG de Poisson en S-Plus, pocos autores reportaron este problema y no ofrecieron un análisis con criterios estrictos de convergencia para poder hacer la comparación. Algunos documentos, sin embargo, presentaron resultados con diferentes estrategias de modelado y enfatizaron que los resultados fueron similares a los obtenidos a través de los modelos MAG. Resulta difícil evaluar la extensión del posible sesgo debido al problema de los estimadores que presentan los estudios de ALC. No obstante, si se considera que generalmente en los estudios de ALC se utilizaron pocas funciones suaves en los modelos MAG, el sesgo de la estimación debería ser pequeño.

La discrepancia en la calidad de los datos entre ciudades podría ser otra fuente de heterogeneidad en estos estudios. Respecto a los datos sobre la salud, las posibles diferencias en el diagnóstico, registro y reporte de resultados de salud podrían dar lugar a la heterogeneidad.

Este análisis se centró principalmente en las consecuencias de la mortalidad, que usualmente son más confiables que los datos sobre morbilidad o alta de hospitales. Aun así, todavía podría haber algún grado de variabilidad en los datos sobre mortalidad.

Respecto a los datos sobre calidad del aire, la mayoría de los estudios empleó datos de redes oficiales de monitoreo debidamente certificadas. Los datos de esas redes se han usado de manera rutinaria en los estudios sobre efectos en la salud sin problemas aparentes. Pero los métodos para medir las partículas en el ambiente pueden ser diferentes en las ciudades y no siempre se reportan las prácticas que se aplican. Esta diferencia en la metodología puede influenciar los estimadores obtenidos en los estudios de series temporales (O'Neal, 2004b).

Además, entre ciudad y ciudad puede haber gran diferencia en cuanto a fuentes, niveles de composición de la contaminación del aire exterior, así como en los factores que determinan la exposición, tales como la movilidad de la población y sus patrones de actividad diaria. Sin embargo, la posibilidad de evaluar tales diferencias está fuera del alcance de esta revisión.

Este estudio contribuye a la comprensión de la magnitud del efecto de la contaminación del aire en ALC pues sintetiza la situación del conocimiento sobre el tema y presenta estimaciones cuantitativas de resumen para consecuencias específicas, cuando eso ha sido posible. Las evaluaciones cuantitativas son esenciales desde el punto de vista de quienes formulan la política sobre los niveles de contaminación del aire. Ellas ofrecen indicadores útiles porque las mediciones cuantitativas del impacto de la contaminación del aire permiten a quienes elaboran las políticas, evaluar y cuantificar los probables beneficios de las medidas de control de la medición y compararlos con

los costos de su implementación.

Nuestra revisión de la literatura identificó un solo documento que intentó evaluar el impacto que tiene la contaminación del aire exterior en la salud de la Región (Cifuentes, 2001). Este estudio consideró solo tres ciudades, Santiago, Ciudad de México y São Paulo, que son justamente las que tienen más información detallada. Para algunos efectos importantes asociados a la contaminación del aire se debió recurrir a las funciones de concentración-respuesta (C-R) de otros estudios epidemiológicos llevados a cabo fuera de la Región, principalmente de los Estados Unidos.

Idealmente, la cuantificación debería estar basada en estudios locales debido a las serias limitaciones que implica la importación de funciones C-R y su aplicación en ALC. Los estudios realizados en los países desarrollados dan estimadores basados en la composición y niveles de los contaminantes los cuales pueden ser diferentes a los países en desarrollo. Además, los estimadores de impactos en la salud se refieren a poblaciones de diferente niveles socioeconómicos que tienen distintos patrones de morbilidad, mortalidad y vulnerabilidad (Cifuentes, 2001; Stieb, 2002).

El uso de indicadores locales reduciría la incertidumbre que involucra la evaluación del riesgo y ofrecería información valiosa para estimar el impacto de los programas de control de la contaminación y las acciones de salud pública. Cuando la Región, los países y las ciudades tengan esta información disponible, quienes formulan las políticas podrán iniciar o continuar la planificación y elaboración de políticas para controlar los niveles de contaminación del aire exterior, lo que traerá enormes beneficios a toda la población de la Región.

3. Conclusiones

Este informe reitera que los niveles de contaminación del aire en muchas áreas urbanas de ALC son altos y que frecuentemente exceden los criterios internacionales de calidad del aire. Los patrones de creciente urbanización en la Región, la elevada densidad de la población en muchas áreas urbanas y el gran número de personas en los grupos más vulnerables son ingredientes de un significativo impacto potencial en la salud humana derivado de la exposición a la contaminación del aire.

En la revisión de la literatura de ALC sobre los efectos en la salud asociados con la exposición a la contaminación del aire hemos observado que falta cubrir una cantidad grande y diversa de estudios científicos. En ciertos aspectos, la literatura que se produce en ALC parece ser similar a los textos internacionales más amplios sobre este tema. Por ejemplo, la mayoría de los estudios identificados utilizó el diseño de series temporales, lo que representa una tendencia universal.

La revisión crítica de la literatura de ALC encontró que la exposición a las partículas se relaciona con diferentes consecuencias en la salud, desde la mortalidad por todas las causas y edades hasta la morbilidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en grupos específicos de edad. Es importante mencionar que la mayor evidencia de los estudios se refiere a los efectos en la mortalidad de la población en general y de los ancianos. Lamentablemente, la información sobre los efectos de la contaminación del aire en otras consecuencias para la salud y grupos de población importantes en la Región, tales como los niños más jóvenes, es escasa, no tiene uniformidad y requiere un trabajo sostenido que debe ser encarado lo más pronto posible.

De manera general, se ha observado que los efectos

de la contaminación del aire en estos estudios son similares en magnitud a las cifras de otras partes del mundo. La aparente consistencia con los hallazgos internacionales podría ser solamente aparente; se debe tener especial cuidado al interpretar los resultados de esta revisión. El resumen de los estimados de efectos estuvo basado en los estudios de solo tres ciudades de ALC, por lo tanto, no son representativos de toda la Región. En cualquier lugar, la falta de datos de monitoreo del aire limita la posibilidad de evaluar los efectos de la contaminación del aire exterior sobre la salud humana.

Adicionalmente, es muy probable que el resumen de estimados que se incluye en este reporte esté subestimado respecto a los verdaderos efectos de la contaminación del aire en las poblaciones de ALC. Esto se debe a que la Región tiene una gran población de niños, el subgrupo considerado como el más vulnerable. Actualmente, los niveles promedio de la contaminación del aire que se dan en ALC son sustancialmente más altos que los de Europa o los Estados Unidos. Finalmente, en la Región prevalecen profundas desigualdades socioeconómicas que podrían amplificar el impacto que la contaminación del aire tiene sobre la salud, debido al rol que desempeña la pobreza como efecto modificador.

Si bien podría mejorarse la evidencia en la que se basó el cálculo de los estimaciones cuantitativas de resumen, esos estimados permiten una aproximación del efecto de la contaminación del aire en las poblaciones de ALC. Por lo tanto, esos estimados pueden usarse en la formulación de políticas para ayudar a calcular el costo relacionado con los actuales niveles de contaminación del aire y los beneficios que podrían traer las medidas de mitigación y control.

APÉNDICES

APÉNDICE I - Resumen de la información de los estudios

Cuadro 1 – Resumen de los estudios epidemiológicos de calidad del aire y mortalidad en América Latina y el Caribe, 1994-2004

Referencia	Lugar	Periodo	Diseño del estudio	Población estudiada	Causa de muerte	Contaminantes
Botter, 2002	Brasil ¹	1991 -1993	Series temporales	≥65	Todas las causas	PST, O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Conceicao, 2001	Brasil ¹	1994 - 1997	Series temporales	<5	Enfermedades respiratorias	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO
Daumas, 2004	Brasil ²	1990 - 1993	Series temporales	≥65	Enfermedades respiratorias, ECV	PST
Gouveia, 2000b	Brasil ¹	1991 - 1993	Series temporales	Todos, ≥65, <5	Todas las causas respiratorias y ECV	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
*Gouveia, 2002	Brasil ^{1,2}	1996 - 2000 ¹ 1990 -1993 ²	Series temporales	≥65, <5	Resultados preliminares sobre enfermedades respiratorias y ECV. Resultados finales publicados en Gouveia, 2003	MP ₁₀ , PST ¹ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
*Gouveia, 2003	Brasil ^{1,2}	1996 - 2000 ¹ 1990 - 1993 ²	Series temporales	≥65, <5	Enfermedades respiratorias, neumonía, EPOC, ECV, apoplejía, desórdenes de la conducción sanguínea, arritmia e IAM	MP ₁₀ , PST ¹ , O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , CO
Lin, 2004	Brasil ¹	1998 - 2000	Series temporales	<28 días	Todas las causas	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Martins, 2004	Brasil ¹	1997 - 1999	Series temporales	>60	Causas respiratorias	MP ₁₀
Nishioka, 2000	Brasil ¹	1998	Series temporales	<28 días, fetos >28 semanas	Intrauterino	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Pereira, 1998	Brasil ¹	1991 - 1992	Series temporales	Fetos >28 semanas	Intrauterino	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Saldiva, 1994	Brasil ¹	1990 - 1991	Series temporales	<5	Enfermedades respiratorias	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO _x
Saldiva, 1995	Brasil ¹	1990 - 1991	Series temporales	≥65	Todas las causas	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO _x
Solé, 1998	Brasil ¹	1984-1994	Series temporales	5-34	Causas respiratorias y asma	MP ₁₀ , PST ¹ , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Cifuentes, 2000	Chile ³	1988 -1996	Series temporales	Todos	Todas las causas	MP _{10-2,5} , MP _{2,5} , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂

Tabla continua en página siguiente

Cuadro 1 – Resumen de los estudios epidemiológicos de calidad del aire y mortalidad en América Latina y el Caribe, 1994-2004

Referencia	Lugar	Periodo	Diseño del estudio	Población estudiada	Causa de muerte	Contaminantes
Ostro, 1996	Chile ³	1989 -1991	Series temporales	Todos, >65 por sexo	Todas las causas respiratorias y ECV	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Salinas, 1995	Chile ³	1988 -1991	Series temporales	Todos	Todas las causas	MP _{2.5} , MP _{10-2.5} , O ₃ , SO ₂ , CO
Sanhueza, 1998	Chile ³	1988 -1993	Series temporales	Todos, ≥65	Todas las causas respiratorias y ECV	MP ₁₀ , MP _{2.5} , O ₃ , SO ₂
Borja-Aburto, 1997	México ⁴	1990 -1992	Series temporales	Todos, ≥65, <5	Enfermedades respiratorias y ECV	PST, O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Borja-Aburto, 1998	México ⁵	1993 -1995	Series temporales	Todos, ≥65	Todas las causas respiratorias y ECV	MP _{2.5} , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Castillejos, 2000	México ⁶	1993 -1995	Series temporales	Todos, >65	Todas las causas, respiratorias y ECV	MP ₁₀ , MP _{2.5} , MP _{10-2.5} , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Loomis, 1996	México ⁵	1990 -1992	Series temporales	Todos, ≥65, <5	Todas las causas, respiratorias y ECV	O ₃ , PST, SO ₂
Loomis, 1999	México ⁵	1993 -1995	Series temporales	<1	Todas las causas	MP _{2.5} , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
O'Neill, 2004a	México ⁵	1996 - 1998	Series temporales	Todos, ≥65	Todas las causas	O ₃
O'Neill, 2004b	México ⁵	1994 -1998	Series temporales	Todos	Todas las causas	MP ₁₀
Tellez-Rojó, 2000	México ⁵	1994	Series temporales	≥65	Enfermedades respiratorias, EPOC	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , NO ₂

* Este artículo también evalúa hospitalizaciones y se menciona nuevamente en el Cuadro 4.

1 São Paulo, 2 Río de Janeiro

3 Santiago

4 México Distrito Federal, 5 Ciudad de México, 6 Sudeste de la Ciudad de México

Cuadro 2 – Resúmenes de estudios epidemiológicos de calidad del aire y morbilidad, signos y síntomas en América Latina y el Caribe, 1994-2004

Referencia	Lugar	Periodo	Diseño del estudio	Población estudiada	Resultado	Contaminantes
Gouveia, 2004	Brasil ¹	1997	Estudio transversal	Nacimientos >37 semanas	Bajo peso al nacer	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Ribeiro, 2003	Brasil ^{1,2,3}	1986 y 1998	Estudio transversal	11-13	Síntomas respiratorios	MP ₁₀ , SO ₂
Rios, 2004	Brasil ^{4,5}	1998 - 2000	Estudio transversal	13-14	Prevalencia de asma	MP ₁₀
Pertuze, 1997	Chile ^{6,7}	1994 y 1995	Estudio transversal	15-65	Síntomas respiratorios y reflejo de la tos	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂
Sanchez, 1999	Chile ⁸	1996	Panel	6-12	Flujo máximo de espiración y síntomas respiratorios	MP ₁₀ , SO ₂
Vargas Catalan, 1994	Chile ^{6,7,9}	1991 y 1992	Cohorte	2 -18 meses	Enfermedades respiratorias	Comparación de áreas de alta y baja contaminación
Zamorano, 2003	Chile ⁶	2001	Series temporales	< 1	Bronquiolitis aguda	MP ₁₀ , MP _{2.5}
Alfonso Valiente, 1996	Cuba ¹⁰	Sin especificar	Cohorte	Cuarto y quinto grado	Manifestaciones alérgicas, función pulmonar y enfermedades respiratorias	Comparación de áreas de alta y baja contaminación
Pita Rodriguez, 2001	Cuba ¹⁰	1991	Estudio transversal	7-12	Síntomas respiratorios y niveles de inmunoglobulina	Comparación de áreas de alta y baja contaminación
Calderon-Garciduenas, 2000a	México ^{11,12}	1976 -1997 y 1993 -1998	Series temporales	Todos	Cáncer nasal y paranasal	SO ₂ , CO, NO _x , NO ₂
Calderon-Garciduenas, 2000c	México ¹¹	Sin especificar	Estudio transversal	Niños	Síntomas respiratorios altos y bajos e hiperinflamación pulmonar	Comparación de áreas de alta y baja contaminación
Calderon-Garciduenas, 2003	México ¹¹	1999 - 2000	Estudio transversal	5-17	Daños al sistema respiratorio y la función pulmonar	MP ₁₀ , O ₃
Castillejos, 1995	México ¹¹	1990 - 1991	Panel	71/2 a 11	Síntomas respiratorios y función pulmonar	MP ₁₀ , MP _{2.5} , O ₃

Tabla continua en página siguiente

Cuadro 2 – Resúmenes de estudios epidemiológicos de calidad del aire y morbilidad, signos y síntomas en América Latina y el Caribe, 1994-2004

Referencia	Lugar	Periodo	Diseño del estudio	Población estudiada	Resultado	Contaminantes
Fajardo Arias, 1997	México ^{11,13}	1992	Estudio transversal	< 5	Enfermedades respiratorias y otros síntomas	PST, MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂ , Pb
Gold, 1999	México ¹¹	1991	Panel	8-11	Síntomas respiratorios y flujo máximo	MP ₁₀ , MP _{2.5} , O ₃
Holguin, 2003	México ¹¹	2000	Panel	60- 96	Variación en el ritmo y frecuencia cardiacos	MP _{2.5} en interiores, MP _{2.5} ambiental, O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Martinez, 2000	México ¹⁴	1992 - 1996	Descriptivo	-	Asma	MP ₁₀ , PST, SO ₂ , NO ₂
Meneses Gonzalez, 1996	México ¹¹	1991 y 1991 - 1992	Panel	5-13	Función pulmonar	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Romieu, 1996	México ¹¹	1991 y 1991 - 1992	Panel	5-13	Síntomas respiratorios y flujo máximo	MP ₁₀ , MP _{2.5} , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Romieu, 1997b	México ¹¹	1991 y 1991 - 1992	Panel	5-13	Función pulmonar	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Sanchez-Carrillo, 2003	México ¹¹	1996 -1997	Estudio transversal	Todos	Síntomas respiratorios y oftalmológicos	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Santos Burgoa, 1998	México ¹¹	Sin especificar	Estudio transversal	9-80	Síntomas respiratorios	MP ₁₀
Villareal-Calderon, 2002	México ¹¹	Sin especificar	Estudio transversal	9-16	Índices antropométricos	MP ₁₀ , O ₃
Rojas, 2001	Venezuela ¹⁵	1999	Estudio transversal	adultos	Signos y síntomas relacionados con el CO y concentración de carboxihemoglobina en suero	CO

1 São Paulo, 2 Osasco, 3 Juquitiba, 4 Duque de Caxias, 5 Seropédica

6 Santiago, 7 San Felipe, 8 Puchuncavi, 9 Los Andes

10La Habana

11Ciudad de México, 12Monterrey, 13Pachuca, 14Comarca Lagunera

15Valencia

Cuadro 3 – Resúmenes de estudios epidemiológicos de calidad del aire y visitas a la sala de emergencia en América Latina y el Caribe, 1994-2004

Referencia	Lugar	Periodo	Diseño del estudio	Población estudiada	Resultado	Contaminantes
Arbex, 2000	Brasil ¹	1995	Series temporales	Todos	Inhalaciones	Partículas sedimentables
Brilhante, 2002	Brasil ²	Datos de contaminación: 1980-1995. Datos de resultados: 1991	Descriptivo	Todos	Enfermedades respiratorias	PST
Lin, 1999	Brasil ³	1991 - 1993	Series temporales	<13	Enfermedades respiratorias, enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior y sibilancia	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Lin, 2003	Brasil ³	1994 - 1995	Series temporales	45- 80	Angina e IAM	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO
Martins, 2002a	Brasil ³	1996 - 1998	Series temporales	≥65	Enfermedades respiratorias bajas crónicas	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Martins, 2002b	Brasil ³	1996 - 1998	Series temporales	≥65	Neumonía e influenza	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
*Avendaño, 1999	Chile ⁴	1998	Series temporales	0-15	Infecciones respiratorias bajas	MP ₁₀
*Avendaño, 2003	Chile ⁴	2002	Series temporales	0-15	Infecciones respiratorias bajas	MP ₁₀
Ilabaca, 1999	Chile ⁴	1996 - 1998	Series temporales	<15	Enfermedades respiratorias, enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior y neumonía	MP ₁₀ , MP _{2,5} , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Romero-Placeres, 2004	Cuba ⁵	1996 - 1998	Series temporales	<14	Enfermedades respiratorias agudas, infecciones respiratorias agudas y asma	MP ₁₀ , humo y SO ₂
Bedolla Barajas, 1999	México ⁶	1994	Series temporales	Todos	Asma	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂

Tabla continua en la página siguiente

Cuadro 3 – Resúmenes de estudios epidemiológicos de calidad del aire y visitas a la sala de emergencia en América Latina y el Caribe, 1994–2004

Referencia	Lugar	Periodo	Diseño del estudio	Población estudiada	Resultado	Contaminantes
Hernández-Cadena, 2000	México ⁷	1997 - 1998	Series temporales	<15	Infecciones respiratorias altas y asma	MP ₁₀ , O ₃
Romieu, 1995	México ⁸	1990	Series temporales	<16	Todas las causas, asma y enfermedades respiratorias	PST, O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Rosas, 1998	México ⁸	1991	Series temporales	≤15, 16-59, >59	Asma	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , NO ₂
*Téllez-Rojo, 1997	México ⁸	1993	Series temporales	0-4, 5-14	Infecciones respiratorias altas y bajas	O ₃ , SO ₂ , NO ₂
Peinado, 2002	Perú ⁹	1997 - 1998	Estudio transversal	<14	Asma	Comparación de áreas de alta y baja contaminación

* Artículos que también evaluaron otros resultados y que se citan en otros cuadros de resumen.

1 Araraquara, 2 Río de Janeiro, 3 São Paulo

4 Santiago

5 La Habana

6 Guadalupe, 7 Ciudad Juárez, 8 Ciudad de México

9 Lima

Cuadro 4 – Resumen de estudios epidemiológicos sobre calidad del aire y admisiones hospitalarias en América Latina y el Caribe, 1994-2004

Referencia	Lugar	Periodo	Diseño del estudio	Población estudiada	Resultado	Contaminantes
Braga, 1999	Brasil ¹	1992 -1993	Series temporales	<13	Enfermedades respiratorias	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Braga, 2001	Brasil ¹	1993 -1997	Series temporales	≤2, 3-5, 6-13, 14-19, 0-19	Enfermedades respiratorias	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Gouveia, 2000a	Brasil ¹	1992 -1994	Series temporales	<5, <1	Enfermedades respiratorias, neumonía y asma	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
*Gouveia, 2002	Brasil ^{1,2}	1996 -2000 ¹ 1990 -1993 ²	Series temporales	≥65, <5	Resultados preliminares sobre enfermedades respiratorias y ECV. Resultados finales publicados en Gouveia, 2003	MP ₁₀ , PST ¹ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
*Gouveia, 2003	Brasil ^{1,2}	1996 - 2000 ¹ 2000 - 2001 ²	Series temporales	≥65, <5	Enfermedades respiratorias, neumonía, EPOC, ECV, CI	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Kishi, 1998	Brasil ¹	1992 -1993	Series temporales	<5	Enfermedades respiratorias	MP ₁₀ , O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂
Petrela, 2001	Brasil ^{3,4,5}	1997	Estudio transversal	Todas las edades	Enfermedades respiratorias	Comparación de áreas de alta y baja contaminación
*Avendaño, 1999	Chile ⁶	1998	Series temporales	0-15	Infecciones respiratorias bajas	MP ₁₀
*Avendaño, 2003	Chile ⁶	2002	Series temporales	0-15	Infecciones respiratorias bajas	MP ₁₀

* Artículos que también evaluaron otros resultados y que se citan en otros cuadros de resumen.

1 São Paulo, 2 Rio de Janeiro, 3 Ouro Preto, 4 Diamantina, 5 Viçosa

6 Santiago

Cuadro 5 - Resúmenes de estudios epidemiológicos sobre calidad del aire y visitas a los consultorios externos de los hospitales en América Latina y el Caribe, 1994-2004

Referencia	Lugar	Periodo	Diseño del estudio	Población estudiada	Resultado	Contaminantes
Ostro, 1999	Chile ¹	1992 - 1993	Series temporales	<2, 3-15	Enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior	MP ₁₀ , O ₃
Hernández-Garduno, 1997	México ²	1992 - 1993	Series temporales	Todos	Infecciones respiratorias	O ₃ , NO ₂
*Tellez-Rojo, 1997	México ²	1993	Series temporales	0-4, 5-14	Infecciones respiratorias altas y bajas	O ₃ , NO ₂

* Artículos que también evaluaron otros resultados y que se citan en otros cuadros de resumen.

1 Santiago

2 Ciudad de México

Cuadro 6 - Resúmenes de estudios de revisión sobre la contaminación del aire en exteriores y sus efectos en la salud en América Latina y el Caribe, 1994-2004

Referencia	Lugar	Población estudiada	Resultado	Contaminantes
Arbex, 2004	Brasil	Niños	Enfermedades del sistema respiratorio	Partículas de la quema de biomasa
Oyarzún, 1998	Chile ¹	Todos	Efectos en el sistema respiratorio	Contaminantes urbanos del aire
Oyarzún, 2004	En todo el mundo	Todos	Asma	Humo, NO ₂ , CO, CO ₂ , contaminantes del aire en interiores
Rizzo, 1998	En todo el mundo	Todos	Enfermedades del sistema respiratorio	O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , CO y contaminantes del aire en interiores
Calderon-Garciduenas, 2000b	México ²	Niños	Desequilibrio de la citosina	Contaminantes urbanos del aire
Vallejo, 2003	México ²	Todos	Varios efectos en la salud	Partículas, O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , CO, Pb
Romicu, 1997a	Países de ALC y otros	Todos	Mortalidad	Partículas
Rosales-Castillo, 2001	Países de ALC y otros	Todos	Mortalidad y morbilidad	MP ₁₀ , O ₃

1 Santiago

2 Ciudad de México

Cuadro 7 - Resúmenes de estudios sobre la contaminación del aire en exteriores y sus efectos en la salud en América Latina y el Caribe para otros resultados, 1994-2004

Referencia	Lugar	Periodo	Diseño del estudio	Población Estudiada	Resultado	Contaminantes
Peiter, 1998	Brasil ¹	1995 - 1997	Descriptivo	Todos	Problemas en la salud	SO ₂
Souza, 1998	Brasil ^{2,3,4}	1992 - 1995	Estudio transversal	Todos	Alteraciones histopatológica y morfológicas en el pulmón	Comparación de áreas de alta y baja contaminación
Cifuentes, 2001	Brasil ⁵ , México ⁶ , Chile ⁷ y Estados Unidos ⁸	2000 - 2020	Evaluación del impacto en la salud	Todos	Mortalidad, admisiones hospitalarias, visitas a los consultorios externos de los hospitales, VSE, ausentismo escolar, días de trabajo perdidos, etc.	MP ₁₀ , O ₃
Brauer, 2001	Mexico ⁶	1999 - 2000	Estudio transversal	>60	Partículas en el pulmón	MP _{2.5}
Fortoul, 1996	Mexico ⁶	1950 y 1980	Estudio transversal	Adultos	Cambios histopatológicos en los pulmones	Metales en el aire

1 Volta Redonda, 2 Guarulhos, 3 Ribeirão Preto, 4 Ourinho, 5 São Paulo

6 Ciudad de México

7 Santiago

8 Nueva York

APÉNDICES - Referencias

(Las letras en negritas indican los estudios de series temporales que se han analizado)

Alfonso VA, Taboada FB. Contaminación ambiental y algunos aspectos de la salud en los niños. *Arch Argent Alerg Immunol Clin.* 1996;27(4):279-282.

American Academy of Pediatrics. Ambient air pollution: health hazards to children. *Pediatrics.* 2004;114(6):1699-1707.

American Cancer Society, World Health Organization, International Union Against Cancer; Shafey O, Dolwick S, Guindon GE, eds. Tobacco Control Country Profiles. 2nd ed. Atlanta, Ga. 2003.

American Lung Association. Urban air pollution and health inequities: a workshop report. *Environ Health Perspect.* 2001;109(suppl 3):357-374.

Arbex MA, Cançado JED, Pereira LAA, Braga ALF, Saldiva PHN. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *J Bras Pneumol.* 2004;30(2):158-175.

Arbex MA, Bohm GM, Saldiva PH, Conceicao GM, Pope AC III, Braga AL. Assessment of the effects of sugar cane plantation burning on daily counts of inhalation therapy. *J Air Waste Manag Assoc.* 2000;50(10):1745-1749.

Avendaño LF, Parra J, Padilha C, Palomino MA. Impacto en salud infantil del invierno 2002: disociación entre factores ambientales y virus respiratorio sincicial, en Santiago [in Spanish]. *Rev Med Chil.* 2003;131(8):902-908.

Avendaño LF, Cespedes A, Stecher X, Palomino MA. Influence of respiratory viruses, cold weather and air pollution in the lower respiratory tract infections in infants children [in Spanish]. *Rev Med Chil.* 1999;127(9):1073-1078.

Banco Mundial. Vehicular Air Pollution: Experiences from Seven Latin American Urban Centers. Technical paper N° 373. WB: Washington, D.C., 1997.

Bedolla BM, Sandoval PF, Ramos RC. Bronchial asthma, atmospheric pollution, and weather conditions. Guadalajara, Jalisco [in Spanish]. *Rev Alerg Mex.* 1999;46(1):18-22.

Borja-Aburto VH, Castillejos M, Gold DR, Bierzwinski S, Loomis D. Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City, 1993-1995. *Environ Health Perspect.* 1998;106(12):849-855.

Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdiwala SI, Shy CM, Rascon-Pacheco RA. Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico City. *Am J Epidemiol.* 1997;145(3):258-268.

Botter DA, Jorgensen B, Peres AA. A longitudinal study of mortality and air pollution for Sao Paulo, Brazil. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 2002;12(5):335-43.

Braga AL, Saldiva PH, Pereira LA, et al. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in Sao Paulo, Brazil. *Pediatr Pulmonol.* 2001;31(2):106-113.

Braga AL, Conceição GM, Pereira LA, Kishi HS, Pereira JC, Andrade MF. Air Pollution and Pediatric Respiratory Hospital Admissions in Sao Paulo, Brazil. *J Environ Medicine.* 1999;1:95-102.

Brauer M, Avila-Casado C, Fortoul TI, Vedal S, Stevens B, Churg A. Air pollution and retained particles in the lung. *Environ Health Perspect.* 2001;109(10):1039-1043.

Brilhante OM, Tambellini AM. Particulate suspended matters and cases of respiratory disease in Rio de Janeiro city (Brazil). *Int J Environ Health Res.* 2002;12(2):169-174.

Cáceres LD, Adonis PM, Retamal GC et al. Contaminación intradomiciliaria en un sector de extrema pobreza de la comuna de La Pintana. *Rev med Chile.* 2001;129(1):33-42.

Calderon-Garciduenas L, Mora-Tiscareno A, Fordham LA, et al. Respiratory damage in children exposed to urban pollution. *Pediatr Pulmonol.* 2003;36(2):148-161.

Calderón-Garciduenas L, Delgado R, Calderón-Garciduenas A, et al. Malignant neoplasms of the nasal cavity and paranasal sinuses: a series of 256 patients in Mexico City and Monterrey. Is air pollution the missing link?. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2000a;122(4):499-508.

Calderón-Garciduenas L, Devlin RB, Miller FJ. Respiratory tract pathology and cytokine imbalance in clinically healthy children chronically and sequentially exposed to air pollutants. *Med Hypotheses.* 2000b;55(5):373-378.

Calderon-Garciduenas L, Mora-Tiscareno A, Chung CJ, et al. Exposure to air pollution is associated with lung hyperinflation in healthy children and adolescents in Southwest Mexico City: a pilot study. *Inhal Toxicol.* 2000c; 12(6):537-561.

Castillejos M, Borja-Aburto VH, Dockery DW, Gold DR, Loomis D. Airborne coarse particles and mortality. *Inhal Toxicol.* 2000;12(Suppl 1):61-72.

Castillejos M, Gold DR, Damokosh AI, et al. Acute effects of ozone on the pulmonary function of exercising schoolchildren from Mexico City. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;152:1501-1507.

Centers for Disease Control and Prevention and World Health Organization, Atlanta, GA. Global Youth Tobacco Survey (GYTS), 2005. Available at <http://www.cdc.gov/tobacco/global/GYTS.htm>

Centers for Disease Control and Prevention. The Health Consequences of Involuntary Smoking: A Report of the Surgeon General. CDC: Atlanta, GA, 1986.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y del Medio Ambiente (CEPIS). El Control de la Contaminación Atmosférica en Bogotá – Colombia. Available at: www.cepis.ops-oms.org/bvsci/el/fulltext/2encuent/colomb1.pdf (Accessed January 2005).

Cifuentes LA, Borja-Aburto VH, Gouveia N, Thurston G, Davis DL. Assessing the health benefits of urban air pollution reductions associated with climate change mitigation (2000-2020): Santiago, Sao Paulo, Mexico City, and New York City. *Environ Health Perspect.* 2001;109 (Suppl 3):419-425.

Cifuentes LA, Vega J, Kopfer K, Lave LB. Effect of the fine fraction of particulate matter versus the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile. *J Air Waste Manag Assoc.* 2000;50(8): 1287-1298.

Clark NN, Kern JM, Atkinson CM, Nine RD, Factors affecting heavy-duty diesel vehicle emissions. *J Air Waste Manag Assoc.* 2002;52:84-94.

Cohen AJ, Anderson HR, Ostro B, et al. Mortality impacts of urban air pollution. In: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL, eds. *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors*. Non serial publication. WHO: Geneva, Switzerland, 2004. pp 50-52.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Statistical Yearbook of Latin America and the Caribbean 2003. ECLAC: Santiago, Chile, 2004a.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Notas CEPAL: Santiago, Chile; Sep (36), 2004b.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). "Energy and Sustainable Development in Latin America and the Caribbean: Guide for Energy Policymaking, Santiago, Chile, 2003. Disponible [en Español]: www.eclac.cl/publicaciones/RecursosNaturales/4/LCG2214PE/lcg2214e.pdf

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), Santiago, Chile. Reformulación y actualización del Plan de Prevención y Descontaminación atmosférica de la Región Metropolitana, 2004. Disponible en: www.conamarm.cl/articles-29136_docto_PPDA.pdf.

Comité de Gestión Aire Limpio y Saneamiento en el Área de Lima Metropolitana y Callao, Perú 2002 (CGIALLC). Plan Integral de Saneamiento Atmosférico de Lima y Callao (PISA Lima – Callao). Disponible en: www.airelimpio.org.pe/pisa.html

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), São Paulo, Brasil. Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo, 2002. Available at www.cetesb.sp.gov.br/Ar/relatorios/relatorios.asp.

Computer Program to Calculate Emission from Road Transport (COPERT III): Draft Report. European Environment Agency (EEA). Available at <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm> (consultado en marzo de 2005).

Conceição GM, Miraglia SG, Kishi HS, Saldiva PH, Singer JM. Air pollution and child mortality: a time-series study in Sao Paulo, Brazil. *Environ Health Perspect.* 2001;109 (Suppl 3):347-350.

Daumas RP, Mendonça GA, Ponce DL. Air pollution and mortality in the elderly in Rio de Janeiro: a time-series analysis [in Portuguese]. *Cad Saude Publica.* 2004;20(1):311-319.

DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Control Clin Trials.* 1986;7(3):177-188.

Dominici F, McDermott A, Daniels M, Zeger SL, Samet JM. Mortality among residents of 90 cities. In: Health Effects Institute. *Revised Analyses of time-series studies of air pollution and health*. Special Report. May. HEI: Boston, MA, 2003. pp 9-24.

Dominici F, McDermott A, Zeger SL, Samet JM. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. *Am J Epidemiol.* 2002;156:193-203.

Fajardo AJ, Avila CI, Frenk S, Pérez NJ, Bravo CJ. Trastornos respiratorios en menores de cinco años expuestos a diferentes niveles de contaminación aérea. *Rev Inst Nal Enf Respir Mex.* 1997;10(4):229-238.

Fortoul TI, Osório LS, Tovar AT, Salazar D, Castilla ME, Olaiz-Fernandez G. Metals in lung tissue from autopsy cases in Mexico City residents: comparison of cases from the 1950s and the 1980s. *Environ Health Perspect.* 1996;104(6):630-632.

Global Tobacco Surveillance System Collaborating Group. Global Tobacco Surveillance System: Purpose, Production, and Potential. *J Sch Health.* 2005;75(1):15-24.

Global Youth Tobacco Survey Collaborative Group. Tobacco use among youth: A cross country comparison. *Tob Control*. 2002;11(3):252-270.

Gold DR, Damokosh AI, Pope CA III, et al. Particulate and ozone pollutant effects on the respiratory function of children in southwest Mexico City. *Epidemiology*. 1999;10(1):8-16.

Gouveia N, Bremner SA, Novaes HM. Association between ambient air pollution and birth weight in Sao Paulo, Brazil. *J Epidemiol Community Health*. 2004;58(1):11-17.

Gouveia N, Mendonça GAS, Leon AP, et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiol Serv Saúde*. 2003;12(1):29-40.

Gouveia N, Mendonça GAS, Leon AP, et al. Poluição do ar e saúde em duas grandes metrópoles brasileiras na década de 90: Nota Prévia. *Inf Epidemiol SUS*. 2002;11(1):41-43.

Gouveia N, Fletcher T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in Sao Paulo, Brazil: a time series analysis. *Occup Environ Med*. 2000a;57(7):477-483.

Gouveia N, Fletcher T. Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. *J Epidemiol Community Health*. 2000b; 54(10):750-755.

Health Effects Institute. Health effects of outdoor air pollution in developing countries of Asia: A literature review. Special Report 15. April. HEI: Boston, MA, 2004.

Health Effects Institute. Research on diesel exhaust and other particles. Program Summary. October. HEI: Boston, MA, 2003.

Hernandez-Cadena L, Tellez-Rojo MM, Sanin-Aguirre LH, Lacasana-Navarro M, Campos A, Romieu I. Relationship between emergency consultations for respiratory diseases and air pollution in Juarez City, Chihuahua [in Spanish]. *Salud Pública Mex*. 2000; 42(4):288-297.

Hernandez-Garduno E, Perez-Neria J, Paccagnella AM, et al. Air pollution and respiratory health in Mexico City. *J Occup Environ Med*. 1997; 39(4):299-307.

Holguin F, Tellez-Rojo MM, Hernandez M, Cortez M, Chow JC, Watson JG. Air pollution and heart rate variability among the elderly in Mexico City. *Epidemiology*. 2003;14(5):521-527.

Ilabaca M, Olaeta I, Campos E, Villaire J, Tellez-Rojo MM, Romieu I. Association between levels of fine particulate and emergency visits for pneumonia and other respiratory illnesses among children in Santiago, Chile. *J Air Waste Manag Assoc*. 1999;49(9 Spec No):154-163.

Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, 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*. 2001;12(5):521-531.

Kishi HS, Saldiva PHN. Associação entre poluição atmosférica e internações pediátricas por causas respiratórias na cidade de São Paulo. *Rev Med (Sao Paulo)*. 1998;77(1):2-10.

Lin CA, Pereira LA, Nishioka DC, Conceição GM, Braga AL, Saldiva PH. Air pollution and neonatal deaths in Sao Paulo, Brazil. *Braz J Med Biol Res*. 2004;37(5):765-770.

Lin CA, Amador Pereira LA, De Souza Conceição GM, et al. Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits. *Environ Res.* 2003;92(1):57-63.

Lin CA, Martins MA, Farhat SC, et al. Air pollution and respiratory illness of children in Sao Paulo, Brazil. *Paediatr Perinat Epidemiol.* 1999;13(4):475-488.

Lippmann M. Air pollution and health – studies in the Americas and Europe. In: Mc-Granahan G, Murray F, eds. *Air pollution & Health in Rapidly Developing Countries*. London: Earthscan Publications Ltd; 2003.

Loomis D, Castillejos M, Gold DR, McDonnell W, Borja-Aburto VH. Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology.* 1999;10(2):118-123.

Loomis DP, Borja-Aburto VH, Bangdiwala SI, Shy CM. Ozone exposure and daily mortality in Mexico City: a time-series analysis. *Res Rep Health Eff Inst.* 1996;(75):1-37.

Mallol J. El asma en niños de América Latina. *An Pediatr.* 2004;60(Supp 1):3-5.

Mallol J. Resultados oficiales del ISAAC fases I y III en América Latina 2002. The international study of Asthma and allergies in childhood. Available at: www.respirar.org/isaac/isaac-lat.htm

Martinez OV, Rincon CC, Velasco RV, Lazo SJ, Lopez CC, Cano RP. Asthma and the environment in the Lagunera district [in Spanish]. *Rev Alerg Mex.* 2000;47(4):138-145.

Martins MC, Fatigati FL, Vespoli TC, et al. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. *J Epidemiol Community Health.* 2004;58(1):41-46.

Martins LC, Latorre MR, Saldiva PH, Braga AL. Air pollution and emergency room visits due to chronic lower respiratory diseases in the elderly: an ecological time-series study in Sao Paulo, Brazil. *J Occup Environ Med.* 2002a;44(7):622-627.

Martins LC, Latorre MR, Cardoso MR, Goncalves FL, Saldiva PH, Braga AL. [Air pollution and emergency room visits due to pneumonia and influenza in Sao Paulo, Brazil. *Rev Saude Publica.* 2002b;36(1):88-94.

Meneses GF, Romieu I, Sierra MJ, Huerta LJ, Ruiz VS. Asthma in a population of children and its relation to airborne environmental pollutants in Mexico City. A cohort study. Mexico, 1991. Experimental design [in Spanish]. *Rev Alerg Mex.* 1996;43(3):66-72.

Naciones Unidas. World Urbanization Prospects: the 2001 revision. UN: New York NY, 2003.

Naciones Unidas. World Urbanization Prospects. UN: New York NY, 1999.

Naciones Unidas. Statistical Yearbook 1993/1994. UN: New York NY, 1996.

Navas-Acien A, Peruga A, Breyse P, et al. Secondhand Tobacco Smoke in Public Places in Latin America, 2002-2003. *JAMA.* 2004;291(22):2741-2745.

Nishioka DC, Coura FLB, Pereira LAA, Conceição GMS. Estudo dos efeitos da poluição atmosférica na mortalidade neonatal e fetal na cidade de São Paulo, Brazil. *Rev Med (Sao Paulo).* 2000;79(2/4):81-89.

O'Neill MS, Loomis D, Borja-Aburto VH. Ozone, area social conditions, and mortality in Mexico City. *Environ Res.* 2004a;94(3):234-242.

O'Neill MS, Loomis D, Borja-Aburto VH, Gold D, Hertz-Picciotto I, Castillejos M. Do associations between airborne particles and daily mortality in Mexico City differ by measurement method, region, or modeling strategy?. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 2004b;112(5):542-7.

Organización Mundial de la Salud. Addressing the links between indoor air pollution, household energy and human health. WHO: Geneva, Switzerland, 2002a.

Organización Mundial de la Salud. The World Health Report 2002: Reducing Risks, Promoting Healthy Life. WHO: France, 2002b.

Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del aire. OMS: Ginebra, 2000.

Organización Panamericana de la Salud. Situación de la salud en las Américas: Indicadores básicos 2004. PAHO: Washington, D.C., PAHO/HSA/2004.

Organización Panamericana de la Salud. Situación de la salud en las Américas: Indicadores básicos 2001. PAHO: Washington, D.C., PAHO/HSA/2002a.

Organización Panamericana de la Salud. Health in the Americas, 2002. Vol 1. Publ Cient No. 587. PAHO: Washington, D.C., 2002b.

Organización Panamericana de la Salud. Erupciones Volcánicas y protección de la salud. Fournier Ed. OPS: Quito, 2000.

Ostro B, Eskeland GS, Sanchez JM, Feyzioglu T. Air pollution and health effects: A study of medical visits among children in Santiago, Chile. *Environ Health Perspect.* 1999;107(1):69-73.

Ostro B, Sanchez JM, Aranda C, Eskeland GS. Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 1996;6(1):97-114.

Oyarzún GM. Factores ambientales relacionados con la gravedad del asma. *Rev Chil Enferm Respir.* 2004;20(1):25-29.

Oyarzún M, Pino P, Ortiz J, Olaeta I. Effect of atmospheric pollution on the respiratory system. *Biol Res.* 1998;31(4):361-366.

Peinado J, Chinga AE, Mendoza RD, et al. Uso del sistema de información geográfica para determinar la relación entre la severidad de la crisis asmática en niños y la cercanía a fábricas con chimeneas en un distrito de Lima - Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Pública.* 2002;19(3):124-130.

Peiter P, Tobar C. Air pollution and living conditions: a geographical analysis of health risk in Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brazil [in Portuguese]. *Cad Saude Publica.* 1998;14(3):473-485.

Pereira LA, Loomis D, Conceicao GM, et al. Association between air pollution and intrauterine mortality in Sao Paulo, Brazil. *Environ Health Perspect.* 1998;106(6):325-329.

Pertuze J, Valdivia GV, Barros M, Anazco J, Olaeta I. Respiratory symptoms and cough reflex in populations exposed to different degrees of environmental pollution. *Rev Med Chil.* 1997;125(10):1145-1155.

Petrela J, Camara VM, Kennedy G, Bouyahi B, Zayed J. Health effects of residential exposure to aluminum plant air pollution. *Arch Environ Health*. 2001;56(5):456-460.

Pita RG, Molina EE, Christian LL, Monterrey GP. Asociaciones entre concentraciones de inmunoglobulinas en niños, factores ambientales de riesgo y morbilidad respiratoria. *Rev Cubana Hig Epidemiol*. 2001;39(2):101-109.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, Organización Mundial de la Salud (OMS). Children in the new millennium: Environmental impact on health. UNEP/ UNICEF/WHO: Republic of Malta, 2002.

Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. State of the world's cities 2004/2005 –Globalization and human cultures. UN – Habitat: Kenya, 2004.

Prospero JM, Lamb PJ. African droughts and dust transport to the Caribbean: Climate change implications. *Science*. 2003;302:1024-1027.

Reference Manager Version 9 for Windows. 1999. Institute for Scientific Information, Research Soft, United States.

Reinhardt TE, Ottmar RD, Castilla C. Smoke impacts from agricultural burning in a rural Brazilian town. *J Air Waste Manage Assoc*. 2001;51:443-450.

Ribeiro H, Cardoso MR. Air pollution and children's health in Sao Paulo (1986-1998). *Soc Sci Med*. 2003; 57(11):2013-2022.

Rios JL, Boechat JL, Sant'Anna CC, Franca AT. Atmospheric pollution and the prevalence of asthma: study among schoolchildren of 2 areas in Rio de Janeiro, Brazil. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2004;92(6):629-634.

Rizzo MC. O impacto do meio ambiente no trato respiratório. *J Pediatr*. 1998;74(suppl 1):12-20.

Rojas M, Duenas A, Sidorovas L. Evaluation of exposure to carbon monoxide among kiosk vendors. Valencia, Venezuela [in Spanish]. *Rev Panam Salud Pública*. 2001;9(4):240-245.

Romero-Placeres M, Más-Bermejo P, Lacasaña-Navarro M, TéllesRojo-Solis MM, Aguilar-Valdés J, Romieu I. Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. *Salud Pública Mex*. 2004;46(3):222-223.

Romieu I, Borja-Aburto VH. Particulate air pollution and daily mortality: can results be generalized to Latin American countries?. *Salud Pública Mex*. 1997a;39(5):403-411.

Romieu I, Meneses F, Ruiz S, et al. Effects of intermittent ozone exposure on peak expiratory flow and respiratory symptoms among asthmatic children in Mexico City. *Arch Environ Health*. 1997b; 52(5):368-376.

Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Sienna JJ, Huerta J, White MC et al. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *Am J Respir Crit Care Med*. 1996;154(2 Pt 1):300-307.

Romieu I, Meneses F, Sienna-Monge JJ, et al. Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City. *Am J Epidemiol*. 1995;141(6):546-553.

Rosales-Castillo JA, Torres-Meza VM, Olaiz-Fernandez G, Borja-Aburto VH. Acute effects of air pollution on health: evidence from epidemiologic studies [in Spanish]. *Salud Pública Mex*. 2001;43(6):544-555.

Rosas I, McCartney HA, Payne RW, et al. Analysis of the relationships between environmental factors (aeroallergens, air pollution, and weather) and asthma emergency admissions to a hospital in Mexico City. *Allergy*. 1998;53(4):394-401.

Saldiva PH, Pope CA III, Schwartz J, et al. Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in Sao Paulo, Brazil. *Arch Environ Health*. 1995;50(2):159-163.

Saldiva PH, Lichtenfels AJ, Paiva PS, et al. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in Sao Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environ Res*. 1994;65(2):218-225.

Salinas M, Vega J. The effect of outdoor air pollution on mortality risk: an ecological study from Santiago, Chile. *World Health Stat Q*. 1995;48(2):118-125.

Sanchez-Carrillo CI, Ceron-Mireles P, Rojas-Martinez MR, Mendoza-Alvarado L, Olaiz-Fernandez G, Borja-Aburto VH. Surveillance of acute health effects of air pollution in Mexico City. *Epidemiology*. 2003;14(5):536-544.

Sanchez J, Romieu I, Ruiz S, Pino P, Gutierrez M. Acute effects of the breathing of industrial waste and of sulfur dioxide on the respiratory health of children living in the industrial area of Puchuncavi, Chile [in Spanish]. *Rev Panam Salud Pública*. 1999;6(6):384-391.

Sanhueza P, Vargas C, Jiménez P. Mortalidad diaria en Santiago y su relación con la contaminación del aire. *Rev Med Chil*. 1998;127(2):235-242.

Santos-Burgoa C, Rojas-Bracho L, Rosas-Perez I, Ramirez-Sanchez A, Sanchez-Rico G, Mejia-Hernandez S. Particle exposure modeling in the general population and risk of respiratory disease [in Spanish]. *Gac Med Mex*. 1998;134(4):407-417.

Schei MA, Hessen JO, Smith KR, Bruce N, Mc-Cracken J, Lopez V. Childhood asthma and indoor woodsmoke from cooking in Guatemala. *J Expo Anal Environ Epidemiol*. 2004;14(Supp1):110-117.

Secretaría del Medio Ambiente (SMA), Gobierno del Distrito Federal, México. Inventario de Emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2000. Available at: www.sma.df.gob.mx/sma/modules.php?name=Downloads&d_op=view_download&details&lid=189&tttitle=Inventario de Emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México 2000

Smithsonian Institution – Global Volcanism Program. Volcanoes of Mexico and Central America. Washington, D.C. Available at: www.volcano.si.edu/world/region.cfm?rnum=14 (accessed March 2005)

Solé D, Salto Jr J, Nunez ICC, Nudelman V, Naspitz CK, z. Mortalidade por doenças do aparelho respiratório e por asma versus poluição atmosférica na cidade de São Paulo - 1984-1994. *Rev Bras Alergia Imunopatol*. 1998;21(1):9-20.

Souza MB, Saldiva PH, Pope CA III, Capelozzi VL. Respiratory changes due to long-term exposure to urban levels of air pollution. *Chest*. 1998;113:1312-1318.

Stieb DM, Judek S, Burnett RT. Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of cause of death, age, and season. *J Air Waste Manag Assoc*. 2002;52(4):470-484.

Suh H, Bahadori T, Vallarino J, Spengler JD. Criteria air pollutants and toxic air pollutants. *Environ Health Perspect*. 2000;108 (suppl4):625-633.

Tarela P, Peroné E. Air Quality Modeling Of The Buenos Aires Metropolitan Area, Co-controls Benefits Analysis Project for Argentina, Chapter 2 - Ambient Air Pollution Model, February 2002. Available at: www.epa.gov/ies/argentinadoocs.htm.

Tellez-Rojo MM, Romieu I, Ruiz-Velasco S, Lezana MA, Hernandez-Avila MM. Daily respiratory mortality and MP₁₀ pollution in Mexico City: importance of considering place of death. *Eur Respir J*. 2000;16(3):391-396.

Tellez-Rojo MM, Romieu I, Polo-Peña M, Ruíz-Velasco S, Meneses-González F, Hernández-Avila M. Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México. *Salud Pública Mex*. 1997;39(6):513-522.

US Environmental Protection Agency, Washington D.C., United States. 2004. The particle pollution report: Current understanding of air quality and emissions through 2003. Available at: www.epa.gov/airprog/oa/airtrends/pmreport03/report_2405.pdf

Vallejo M, Jauregui-Renaud K, Hermosillo AG, Marquez MF, Cardenas M. Effects of air pollution on human health and their importance in Mexico City [in Spanish]. *Gac Med Mex*. 2003;139(1):57-63.

Vargas-Catalán NA, Díaz-Amor P, Zuleta-Quiroz A, López-Bravo IM, Venegas-Silva V. Day care attendance: impact on acute lower respiratory disease in children under 2 years old [In Spanish]. *Rev Med Chil*. 1994;122(7):836-842.

Veranth JM, PardyjaK E, Seshadri G. Vehicle-generated fugitive dust transport: Analytic models and field study. *Atmos Environ*. 2003;37(16), 2295–2303.

Villarreal-Calderon A, Acuna H, Villarreal-Calderon J, et al. Assessment of physical education time and after-school outdoor time in elementary and middle school students in south Mexico City: the dilemma between physical fitness and the adverse health effects of outdoor pollutant exposure. *Arch Environ Health*. 2002;57(5):450-460.

Zamorano A, Marquez S, Aranguis JL, Bedregal P, Sanchez I. Relación entre bronquiolitis aguda con factores climáticos y contaminación ambiental. *Rev Med Chil*. 2003;131(10):1117-1122.



**Organización
Panamericana
de la Salud**

Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud