

GUÍAS Y NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE EN EXTERIORES

Este capítulo describe los valores guías recomendados por la OMS y las normas de calidad del aire en exteriores fijadas en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea. Se ha dividido en dos secciones: la primera, contiene las guías y normas de calidad del aire en exteriores para contaminantes tradicionales y la segunda, para contaminantes no tradicionales. La diferencia entre los contaminantes tradicionales y no tradicionales es que los primeros han sido estudiados extensivamente y existe amplia información sobre sus fuentes de emisión, niveles en el ambiente e impactos en la salud y los segundos, han comenzado a ser estudiados más recientemente y no cuentan con información tan amplia.

2.1 Guías y normas para contaminantes tradicionales

2.1.1 *Guía de calidad del aire*

Es el estimado del nivel de concentración de un contaminante del aire al cual pueden estar expuestos los seres humanos durante un tiempo promedio determinado sin riesgos apreciables para la salud. Estos estimados son recomendaciones y no tienen respaldo legal.

2.1.2 *Norma de calidad del aire*

Dispositivo legal que establece el límite máximo permisible de concentración de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente.

Esta sección describe los valores guía recomendados por la OMS y las normas de calidad del aire en exteriores fijadas en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea para seis contaminantes tradicionales: dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), material particulado en suspensión (MP) y plomo. Las fuentes de información están indicadas en el anexo 1.

En 12 países de América Latina y el Caribe se han fijado normas de calidad del aire en exteriores para contaminantes tradicionales: Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Jamaica, México y Venezuela. En este documento se presentan las normas de esos países con excepción de Jamaica.

Las variaciones en la norma para un contaminante entre diferentes países dependen principalmente del enfoque usado en el proceso de formulación y la forma en que se implementa la norma dentro de la estrategia del manejo de la calidad del aire. Por ejemplo:

- En algunos países se incluyen las consideraciones económicas en el proceso de fijación de normas mientras que en otros no.
- En algunos países la ley fija plazos específicos para el cumplimiento de las normas mientras que en otros, las normas son objetivos para lograr a largo plazo sin fecha límite.
- En algunos países se revisan las normas periódicamente mientras que en otros no. Además, dependiendo de la importancia del contaminante para el país, el proceso de revisión de la norma para cierto contaminante puede tener mayor o menor prioridad.
- En algunos países las normas se han clasificado en primarias y secundarias, mientras que en otros se han clasificado de acuerdo con otros parámetros como, por ejemplo, la región en la cual se deben cumplir.

Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ es un gas incoloro e inodoro en concentraciones bajas y de olor acre en concentraciones altas. Es producido por la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre como el carbón y el petróleo y por varios procesos industriales, como la fundición de metales no ferrosos, la producción de ácido sulfúrico y la conversión de pulpa en papel.

Cuando el SO₂ y los oxidantes fotoquímicos reaccionan en la atmósfera, se forma el trióxido de azufre, el cual se combina con agua para formar ácido sulfúrico y partículas sulfatadas. Esto contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de MP con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros (MP₁₀) y 2,5 micrómetros (MP_{2,5}).

La exposición a SO₂ puede disminuir la función pulmonar, agravar enfermedades respiratorias preexistentes (especialmente bronquitis) y reducir la habilidad de los pulmones para liberar partículas extrañas. También puede contribuir al incremento de la mortalidad, especialmente si las concentraciones de MP también son elevadas. Los asmáticos y las personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) y con problemas cardíacos son los más sensibles a los efectos del SO₂. También es probable que los adultos mayores y niños sean sensibles a los efectos del SO₂. La exposición de corto plazo a altas concentraciones de SO₂ puede irritar el tracto respiratorio y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. El cuadro 1 presenta los valores guía para SO₂ recomendados por la OMS. Además, indica los niveles de SO₂ por encima de los cuales se han observado efectos en la salud, el factor de incertidumbre calculado por consenso científico y los valores guía para diferentes tiempos promedio de exposición. Los factores de incertidumbre se aplican debido al conocimiento incompleto sobre los agentes causantes y sus efectos. Estos factores permiten disminuir el riesgo del efecto provocado por un contaminante.

Cuadro 1 - Valores guía para SO₂ recomendados por la OMS

Efectos sobre la salud	Nivel de efecto observable ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Factor de incertidumbre	Valor guía ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo promedio de exposición
Cambios en la función pulmonar de los asmáticos	1000	2	500	10 minutos
Exacerbación de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	250	2	125	24 horas
	100	2	50	1 año

El cuadro 2 presenta los valores límite para la protección de la salud pública, tiempo promedio de muestreo y frecuencia de excedencia permitida para las normas de SO₂ en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

Cuadro 2 - Valores límite para la protección de la salud pública para las normas de SO₂ en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea

País	Valor límite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida para el valor límite
Argentina	2620 ²	1 hora	Ninguna
	780 ²	8 horas	
	70 ³	1 mes	
Belice ^{4,5}	30 (I), 80 (II), 120 (III)		Ninguna
Bolivia	365	24 horas	Ninguna
	80 ⁶	1 año	
Brasil	365	24 horas	Solo una vez por año
	80 ⁶	1 año	Ninguna
Chile	365	24 horas	Solo una vez por año
	80 ⁶	1 año	Ninguna
Colombia	1500	3 horas	Solo una vez por año
	400	24 horas	
	100 ⁶	1 año	Ninguna
Costa Rica	1500	3 horas	Solo una vez por año
	365	24 horas	
Cuba	80 ⁶	1 año	Ninguna
	500	20 minutos	Ninguna
50	24 horas		
Ecuador	1500	3 horas	Solo una vez por año
	400	24 horas	
	80 ⁶	1 año	Ninguna
México	341	24 horas	Solo una vez por año
	79 ⁶	1 año	Ninguna
Venezuela	80 – 365	24 horas	El valor 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 50% de las mediciones, el valor 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 5% de las mediciones, el valor 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 2% de las mediciones y el valor 365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 0,5% de las mediciones por año

País	Valor límite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida para el valor límite
Canadá ⁷	450 (deseable) 900 (aceptable)	1 hora	
	150 (deseable) 300 (aceptable) 800 (tolerable)	24 horas	
	30 ⁶ (deseable) 60 ⁶ (aceptable)	1 año	
China ⁴	150 (I), 500 (II), 700 (III)	1 hora	Ninguna
	50 (I), 150 (II), 250 (III)	24 horas	
	20 (I), 60 (II), 100 (III) ⁶	1 año	
Estados Unidos	365	24 horas	Solo una vez por año
	80 ⁶	1 año	Ninguna
Japón	260	1 hora	Ninguna
	110	24 horas	
Unión Europea	350	1 hora	No más de 24 ocasiones por año
	125	24 horas	No más de 3 ocasiones por año
	20	1 año e invierno (del 1/10 al 31/3)	Ninguna

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
2. Los valores de la norma son aproximados: 1ppm (1 hora) y 0,3 ppm (8 horas).
3. Promedio aritmético mensual.
4. (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
5. El tiempo promedio de muestreo no está estipulado en la norma.
6. Promedio aritmético anual.
7. El nivel máximo deseable define una meta de largo plazo y se aplica en las políticas de prevención del deterioro de la calidad del aire en áreas no contaminadas. El nivel máximo aceptable intenta proveer una adecuada protección a los seres humanos, animales, vegetación, suelos, agua, materiales y visibilidad. El nivel máximo tolerable indica concentraciones de contaminantes por encima de las cuales se deben tomar medidas inmediatas para proteger la salud de la población en general.

Los países han establecido métodos de referencia manuales y automáticos para el muestreo y análisis de SO₂. El método de referencia de la Unión Europea es el automático basado en fluorescencia ultravioleta, mientras que el método de referencia establecido en las normas de Ecuador es el método manual basado en colorimetría con una muestra tomada en pararosanilina en forma continua durante 24 horas, al menos cada tres días. Para mayores detalles sobre los métodos de referencia, véanse los documentos de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Véase también: <http://www.iso.ch/cate/1304020.html>) y los documentos sobre contaminantes criterio tradicionales de la EPA, <http://www.epa.gov/ttn/amtic/so2.html>).

Varios países han establecido umbrales de alerta para el SO₂ en sus normas. Cuando las concentraciones de SO₂ los sobrepasan, se toman medidas inmediatas para reducir las emisiones y prevenir a la población. Por ejemplo, la Unión Europea ha establecido el umbral de alerta en 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados durante tres horas consecutivas. Otros países han establecido varios umbrales de alerta por encima de los cuales se toman medidas cada vez más estrictas. En la norma de Brasil son: 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (atención), 1.600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (alerta) y

2.100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (emergencia) para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas. Los planes de acción para mejorar la calidad del aire deben especificar las medidas que se deben tomar en caso de que los niveles de contaminación sobrepasen los umbrales de alerta.

Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas incoloro e inodoro que se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles como gas, gasolina, kerosene, carbón, petróleo o madera. Los automóviles con motores de ignición a chispa son unas de las principales fuentes de emisión de CO. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua o calefones y los aparatos domésticos que queman combustible, como las estufas, hornillas de la cocina y los calentadores a kerosene, también pueden emitir CO. El humo del cigarrillo puede ser una fuente significativa de CO en interiores.

La exposición a CO puede contribuir a la disminución del suministro de oxígeno en el torrente sanguíneo. Normalmente, la hemoglobina en la sangre transporta el oxígeno por el cuerpo. La afinidad de la hemoglobina con el CO es mayor que con el oxígeno, lo que da lugar a la formación de carboxihemoglobina (COHb). En presencia de CO en el aire, esta mayor afinidad causa escasez de oxígeno en la sangre. El efecto a corto plazo es similar a la sensación de fatiga que se experimenta en altura o cuando se padece de anemia. La exposición al CO puede exacerbar las enfermedades del corazón y pulmón. El peligro es más evidente en nonatos, neonatos, ancianos, embarazadas y quienes sufren de enfermedades cardíacas crónicas. El cuadro 3 presenta los valores guía para CO recomendados por la OMS e indica los niveles de CO por encima de los cuales se han observado efectos en la salud, el factor de incertidumbre calculado por consenso científico y los valores guía para diferentes tiempos promedio de exposición.

Cuadro 3 - Valores guía para CO recomendados por la OMS

Efectos sobre la salud	Nivel de efecto observable ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Factor de incertidumbre	Valor guía ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo promedio de exposición
Nivel crítico de COHb <2,5%	n.a.	n.a	100.000	15 minutos
			60.000	30 minutos
			30.000	1 hora
			10.000	8 horas

n.a.: no aplicable.

El cuadro 4 presenta los valores límite para la protección de la salud pública, tiempos promedio de muestreo y frecuencias de excedencia permitida para las normas de CO en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

Cuadro 4 - Valores límite de CO para la protección de la salud en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea

País	Valor límite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Tiempo promedio de muestreo ²	Frecuencia de excedencia permitida para el valor límite
Argentina ³	57.250	1 hora	Ninguna
	11.450	8 horas	
Belice ^{4,5}	1.000 (I) 2.000 (II) 5.000 (III)		Ninguna
Bolivia	40.000	1 hora	Ninguna
	10.000	8 horas	
Brasil	40.000	1 hora	Solo una vez por año
	10.000	8 horas	
Chile	40.000	1 hora	Solo una vez por año
	10.000	8 horas	
Colombia	50.000	1 hora	Ninguna
	15.000	8 horas	
Costa Rica	40.000	1 hora	Ninguna
	10.000	8 horas	
Cuba	5.000	20 minutos	Ninguna
	3.000	24 horas	
Ecuador	40.000	1 hora	Ninguna
	10.000	8 horas	
México	12,595	8 horas	Solo una vez por año
Venezuela	10.000 – 40.000	8 horas	El valor 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 50% de las mediciones y el valor 40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 0,5% de las mediciones por año.
Canadá ⁶	15.000 (deseable) 35.000 (aceptable)	1 hora	
	6.000 (deseable) 15.000 (aceptable) 20.000 (tolerable)	8 horas	
China ⁴	10.000 (I) 10.000 (II) 20.000 (III)	1 hora	Ninguna
	4.000 (I) 4.000 (II) 6.000 (III)	24 horas	
Estados Unidos	40.000	1 hora	Solo una vez por año
	10.000	8 horas	Solo una vez por año sin traslape entre los promedios

País	Valor límite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Tiempo promedio de muestreo ²	Frecuencia de excedencia permitida para el valor límite
Japón	22.800	8 horas	Ninguna
	11.400	24 horas	
Unión Europea ⁷			

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
2. El tiempo promedio de muestreo de 8 horas es un promedio móvil.
3. Valores de las normas son aproximados: 50 ppm (1 hora) y 10 ppm (8 horas).
4. (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
5. El tiempo promedio de muestreo no está estipulado en la norma.
6. El nivel máximo deseable define una meta de largo plazo y se aplica en las políticas de prevención del deterioro de la calidad del aire en áreas no contaminadas. El nivel máximo aceptable intenta proveer una adecuada protección a los seres humanos, animales, vegetación, suelos, agua, materiales y visibilidad. El nivel máximo tolerable indica concentraciones de contaminantes por encima de las cuales se deben tomar medidas inmediatas para proteger la salud de la población en general.
7. No tiene normas primarias de CO.

El método de referencia para el muestreo y análisis de CO establecido en las normas es generalmente el método automático para la toma continua de muestras de CO basado en la espectrometría de infrarrojo no dispersivo. Sobre los métodos de referencia pueden obtenerse información detallada en los documentos de la ISO (<http://www.iso.ch/cate/1304020.html>) y en los documentos sobre contaminantes criterio tradicionales de la EPA (<http://www.epa.gov/ttn/amtic/co.html>).

Varios países han establecido umbrales de alerta para CO en sus normas. Cuando las concentraciones de CO los sobrepasan, se toman medidas inmediatas para reducir las emisiones y prevenir a la población. Brasil ha establecido tres umbrales de alerta por encima de los cuales se toman medidas cada vez más estrictas: 15.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (atención), 30.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (alerta) y 40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (emergencia) para un tiempo promedio de muestreo de ocho horas. Los planes de acción para mejorar la calidad del aire deben especificar las medidas que se deben tomar en caso de que los niveles de contaminación sobrepasen los umbrales de alerta.

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El NO₂ es un gas de color marrón claro producido directa e indirectamente por la quema de combustibles a altas temperaturas como ocurre en los automóviles y plantas termoeléctricas. En el proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible y el aire se oxidan para formar principalmente óxido nítrico (NO) y en menor proporción NO₂. El NO emitido se convierte en NO₂ mediante reacciones fotoquímicas condicionadas por la luz solar. El NO₂ se combina con compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar para formar ozono. También se combina con agua para formar ácido nítrico y nitratos. Esto contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de MP₁₀ y MP_{2,5}.

El NO es relativamente inofensivo, sin embargo, el NO₂ puede causar problemas respiratorios principalmente en asmáticos y niños. En estudios con animales se ha reportado que la exposición de corto plazo al NO₂ puede debilitar los mecanismos de defensa e

incrementar la susceptibilidad a infecciones respiratorias. En estudios de exposición de largo plazo se ha demostrado cambios estructurales en los pulmones de animales. El cuadro 5 presenta los valores guía para NO₂ recomendados por la OMS. Este cuadro indica los niveles de NO₂ por encima de los cuales se han observado efectos en la salud, el factor de incertidumbre calculado por consenso científico y los valores guía para diferentes tiempos promedio de exposición.

Cuadro 5 - Valores guía para NO₂ recomendados por la OMS

Efectos sobre la salud	Nivel de efecto observable (µg/m ³)	Factor de incertidumbre	Valor guía (µg/m ³)	Tiempo promedio de exposición
Ligeros cambios en la función pulmonar de individuos asmáticos	365 – 565	0.5	200	1 hora
			40	1 año

El cuadro 6 presenta los valores límite para la protección de la salud pública, tiempos promedio de muestreo y frecuencias de excedencia permitida para las normas de NO₂ en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

Cuadro 6 - Valores límite de NO₂ para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos Japón y la Unión Europea

País	Valor límite (µg/m ³) ¹	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida
Argentina ^{2,3}	846	1 hora	Ninguna
	282	24 horas	
Belice ^{4,5}	30 (I), 80 (II), 120 (III)		Ninguna
Bolivia	400	1 hora	Ninguna
	150	24 horas	
Brasil	320	1 hora	Ninguna
	100 ⁶	1 año	
Chile	100 ⁶	1 año	Ninguna
Colombia	100	24 horas	Ninguna
Costa Rica	400	1 hora	Solo una vez por año
	100 ⁶	1 año	Ninguna
Cuba	85	20 minutos	Ninguna
	40	24 horas	
Ecuador	100	24 horas	Ninguna
México	395	1 hora	Solo una vez por año
Venezuela	100 – 300	24 horas	El valor 100 µg/m ³ límite no podrá superarse en más de 50% de las mediciones y el valor 300 µg/m ³ límite no podrá superarse en más de 5% de las mediciones por año

País	Valor límite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida
Canadá ⁷	400 (aceptable) 1.000 (tolerable)	1 hora	
	200 (aceptable) 300 (tolerable)	24 horas	
	60 ⁶ (deseable) 100 ⁶ (aceptable)	1 año	
China ⁴	120 (I, II), 240 (III)	1 hora	Ninguna
	80 (I, II), 120 (III)	24 horas	
	40 (I, II), 80 (III) ⁶	1 año	
Estados Unidos	100 ⁶	1 año	Ninguna
Japón	80-110	24 horas	Ninguna
Unión Europea	200	1 hora	El valor límite no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año
	40 ⁶	1 año	Ninguna

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
2. Óxidos de nitrógeno medidos como dióxido de nitrógeno.
3. Valores de la norma son aproximados: 0,45 ppm (1 hora) y 0,15 ppm (24 horas).
4. (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
5. El tiempo promedio de muestreo no está estipulado en la norma.
6. Promedio aritmético anual.
7. El nivel máximo deseable define una meta de largo plazo y se aplica en las políticas de prevención del deterioro de la calidad del aire en áreas no contaminadas. El nivel máximo aceptable intenta proveer una adecuada protección a los seres humanos, animales, vegetación, suelos, agua, materiales y visibilidad. El nivel máximo tolerable indica concentraciones de contaminantes por encima de las cuales se deben tomar medidas inmediatas para proteger la salud de la población en general.

Los métodos de referencia para el muestreo y análisis de NO₂ pueden ser automáticos o manuales. El método de referencia establecido en las normas de Chile es el automático para la toma continua de muestras de NO₂ basado en quimiluminiscencia, mientras que los métodos de referencia establecidos en las normas de Venezuela son el automático basado en quimiluminiscencia y el manual basado en colorimetría con una muestra tomada en arsenito de sodio en forma continua durante 24 horas. Generalmente, la frecuencia mínima de muestreo con el método manual es cada tres días. Sobre los métodos de referencia puede obtenerse información detallada en los documentos de la ISO (<http://www.iso.ch/cate/1304020.html>) y en los documentos sobre contaminantes criterio tradicionales de la EPA (<http://www.epa.gov/ttn/amtic/no2.html>).

Varios países han establecido umbrales de alerta para NO₂ en sus normas. Cuando las concentraciones de NO₂ superan esos umbrales, se toman medidas inmediatas para reducir las emisiones y prevenir a la población. La Unión Europea, por ejemplo, ha establecido el umbral de alerta en 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo promedio de muestreo de una hora registrados durante tres horas consecutivas. Otros países han establecido varios umbrales de alerta por encima de los cuales se toman medidas cada vez más estrictas. Por ejemplo, los umbrales de alerta establecidos en la norma de Brasil son: 1.130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (atención), 2.260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (alerta) y 3.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (emergencia) para un tiempo promedio de

muestreo de una hora. Los planes de acción para mejorar la calidad del aire deben especificar las medidas que se deben tomar en caso de que los niveles de contaminación sobrepasen los umbrales de alerta.

Ozono (O₃)

El O₃ es un gas incoloro formado por complejas reacciones en la troposfera. En términos sencillos, se forma mediante la reacción química del NO₂ y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de luz solar. La concentración de ozono en una determinada localidad depende de varios factores, incluidas las emisiones de óxidos de nitrógeno y COV, el tipo de COV emitidos, la intensidad de la luz solar y las condiciones del clima. Cabe anotar que el ozono producido naturalmente en la estratosfera es beneficioso porque protege a la tierra de la nociva radiación ultravioleta del sol.

La población de mayor riesgo a la contaminación por O₃ son los ancianos, neonatos y nonatos. El O₃ irrita las membranas de la mucosa de la nariz, garganta y tracto respiratorio. Los síntomas asociados a la exposición a O₃ incluyen: tos, dolores en el pecho e irritación de la garganta. Los efectos son más severos en individuos con sistemas respiratorios sensibles. Un tema de gran preocupación son los efectos crónicos causados por exposiciones repetidas a O₃. En el laboratorio se ha demostrado que las personas expuestas a bajos niveles de ozono por un periodo mayor de 6 a 8 horas pueden desarrollar una inflamación pulmonar y los estudios en animales indican que si las exposiciones a O₃ son repetidas a lo largo de la vida, la inflamación pulmonar puede causar daño permanente, disminución de la función pulmonar y reducción de la elasticidad de los tejidos pulmonares. El cuadro 7 presenta los valores guía para O₃ recomendados por la OMS. Este cuadro indica los niveles de O₃ por encima de los cuales se han observado efectos en la salud, el factor de incertidumbre calculado por consenso científico y los valores guía para diferentes tiempos promedio de exposición.

Cuadro 7 - Valores guía para O₃ recomendados por la OMS

Efectos sobre la salud	Nivel de efecto observable (µg/m³)	Factor de incertidumbre	Valor guía (µg/m³)	Tiempo promedio de exposición
Respuestas de la función del sistema respiratorio	n.a	n.a	120	8 horas

n.a. no aplicable.

El cuadro 8 presenta los valores límite para la protección de la salud pública, tiempos promedio de muestreo y frecuencias de excedencia permitida para las normas de O₃ en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

Cuadro 8 - Valores límite de O₃ para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos Japón y la Unión Europea

País	Valor límite (µg/m ³) ¹	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida
Argentina ²	195	1 hora	Ninguna
Belice ³			
Bolivia	236	1 hora	Ninguna
Brasil	160	1 hora	Solo una vez por año
Chile ⁴	160	1 hora	Solo una vez por año
Colombia ⁴	170	1 hora	Solo una vez por año
Costa Rica	160	1 hora	Ninguna
Cuba	160	20 minutos	Ninguna
	30	24 horas	
Ecuador ⁴	200	1 hora	Solo una vez por año
México	216	1 hora	Solo una vez por año en un periodo de tres años.
Venezuela ⁴	240	1 hora	El valor límite no podrá superarse en más de 0,02% de las mediciones por año
Canadá ⁵	100 (deseable) 160 (aceptable) 300 (tolerable)	1 hora	
	30 (deseable) 50 (aceptable)	24 horas	
	30 ⁶ (aceptable)	1 año	
China ⁷	120 (I), 160 (II), 200 (III)	1 hora	Ninguna
Estados Unidos	235 ⁸	1 hora	El valor límite no podrá superarse en más de tres ocasiones por el máximo diario en tres años consecutivos
	160 ⁹	8 horas	El promedio de tres años consecutivos del cuarto valor más alto anual del máximo diario no debe superar la norma
Japón ¹⁰	120	1 hora	Ninguna
Unión Europea ¹¹	110	8 horas	Ninguna

- Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
- Valores de la norma son aproximados: 0,10 ppm (1 hora).
- No tiene normas para O₃.
- Oxidantes totales expresados como ozono.
- El nivel máximo deseable define una meta de largo plazo y se aplica en las políticas de prevención del deterioro de la calidad del aire en áreas no contaminadas. El nivel máximo aceptable intenta proveer una adecuada protección a los seres humanos, animales, vegetación, suelos, agua, materiales y visibilidad. El nivel máximo tolerable indica concentraciones de contaminantes por encima de las cuales se deben tomar medidas inmediatas para proteger la salud de la población en general.
- Promedio aritmético.
- (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
- Esta norma no se aplicará más para una zona una vez que la Agencia de Protección Ambiental determine que la zona está por debajo de la norma.
- Valor aproximado: 0.08 ppm.
- Oxidantes fotoquímicos totales.
- Umbral de protección de la salud. El promedio de 8 horas es de tipo móvil sin traslape; se calcula cuatro veces al día sobre la base de 8 valores horarios comprendidos entre 0 y 9 horas, 8 y 17 horas, 16 y 1 horas y 12 y 21 horas. El umbral de información a la población de 180 µg/m³ en un tiempo promedio de muestreo de 1 hora.

Los métodos de referencia para el muestreo y análisis de O₃ establecidos en las normas son generalmente los métodos automáticos para la medición continua de O₃ basados en quimiluminiscencia o absorción ultravioleta. Sobre los métodos de referencia puede obtenerse información detallada en los documentos de la ISO (<http://www.iso.ch/cate/1304020.html>) y en los documentos sobre contaminantes criterio tradicionales de la EPA (<http://www.epa.gov/ttn/amtic/o3.html>).

Varios países han establecido umbrales de alerta para O₃ en sus normas. Cuando las concentraciones de O₃ sobrepasan esos umbrales, se toman medidas inmediatas para reducir las emisiones y prevenir a la población. Brasil, por ejemplo, ha establecido tres umbrales de alerta por encima de los cuales se toman medidas cada vez más estrictas. Los umbrales de alerta establecidos en la norma de Brasil son: 400 µg/m³ (atención), 800 µg/m³ (alerta) y 1.000 µg/m³ (emergencia) para un tiempo promedio de muestreo de una hora. Los planes de acción para mejorar la calidad del aire deben especificar las medidas que se deben tomar cuando los niveles de contaminación sobrepasen los umbrales de alerta.

Material particulado (MP)

El MP son las partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Esas partículas tienen una composición química diversa y su tamaño varía de 0.005 a 100 µm de diámetro aerodinámico. El MP se produce por la quema incompleta del combustible para motores Diesel y los combustibles sólidos, como la madera y el carbón. El MP también se puede producir por la condensación de vapores ácidos y compuestos orgánicos semivolátiles y mediante una serie de complejas reacciones del NO₂ y SO₂ en la atmósfera que finalmente forman nitratos y sulfatos, respectivamente.

El MP puede agravar enfermedades respiratorias y cardíacas preexistentes y causar daño al tejido pulmonar. Los grupos más vulnerables a los efectos del MP son las personas con influenza, con enfermedades pulmonares y cardíacas crónicas, asmáticos, adultos mayores y niños.

Antes se creía que todas las partículas suspendidas en el aire (partículas totales en suspensión, PTS) afectaban la salud de la misma forma. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que las partículas que más afectan la salud son aquellas con diámetro aerodinámico menor de 10 µm (MP₁₀) y, más aún, aquellas con diámetro aerodinámico menor de 2,5 µm (MP_{2,5}). La OMS todavía no ha podido establecer un nivel umbral para los efectos del MP en la salud. Por esa razón, las guías para MP se representan por asociaciones estadísticamente significativas entre el incremento de los efectos observados y el incremento de las concentraciones de MP₁₀, MP_{2,5} y sulfatos. Las figuras 2 y 3 muestran el aumento porcentual de mortalidad diaria y las internaciones hospitalarias atribuidas al aumento de las concentraciones de MP₁₀, MP_{2,5} y sulfatos. La figura 4 muestra el aumento porcentual del uso de broncodilatadores, exacerbación de los síntomas respiratorios, tos y flujo pico de espiración atribuido al aumento de las concentraciones de MP₁₀. Los gráficos

no se deben usar para concentraciones de MP_{10} inferiores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o superiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo promedio de exposición de 24 horas y para concentraciones de $MP_{2,5}$ inferiores a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o superiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo promedio de exposición de 24 horas. Por ejemplo, para una concentración de MP_{10} de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas la figura 2 indica que habrá un aumento en la mortalidad diaria atribuida al MP del 7%.

Los cuadros 9 y 10 presentan los valores límite para la protección de la salud pública, tiempos promedio de muestreo y frecuencias de excedencia permitida para las normas de PTS y MP_{10} en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea. Cabe anotar que Argentina y Ecuador también tienen normas para partículas sedimentables (indicadas en el cuadro 9), Brasil y Cuba también tienen normas para hollín (indicadas en el cuadro 10) y Estados Unidos tiene normas para $MP_{2,5}$ (indicadas en el cuadro 10).

Cambio porcentual de la mortalidad diaria atribuido al MP

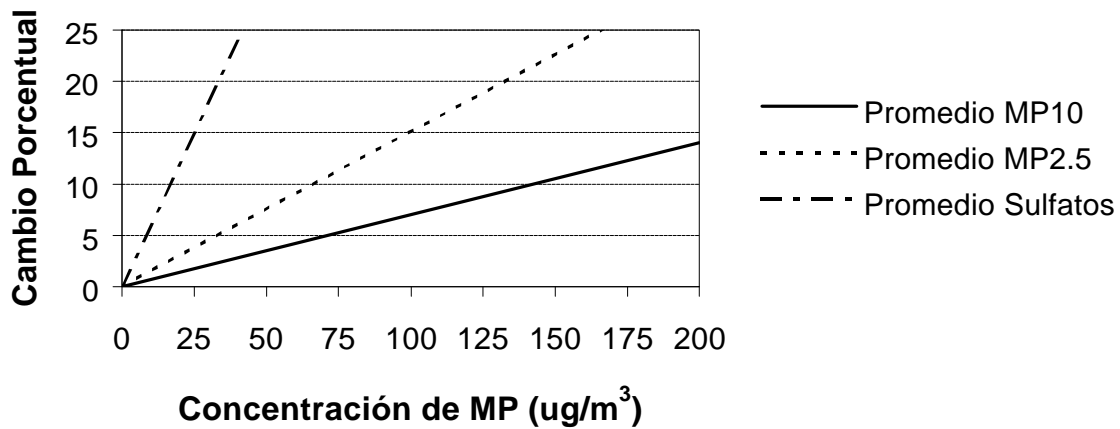


Figura 2 - Cambio porcentual de la mortalidad diaria atribuida al MP_{10} , $MP_{2,5}$ y sulfatos

Cambio porcentual en las internaciones hospitalarias atribuido al MP

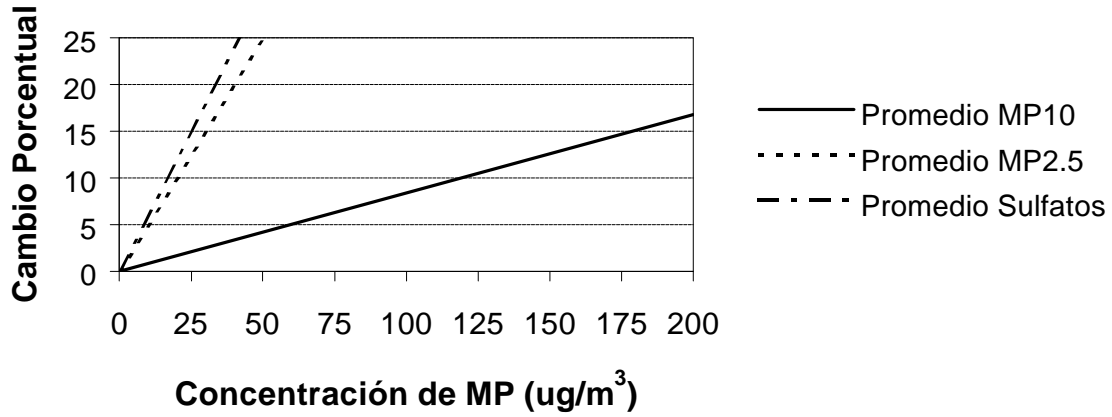


Figura 3 - Cambio porcentual en las internaciones hospitalarias atribuidas al MP₁₀, MP_{2,5} y sulfatos

Cambio porcentual en los efectos sobre la salud atribuido al MP₁₀

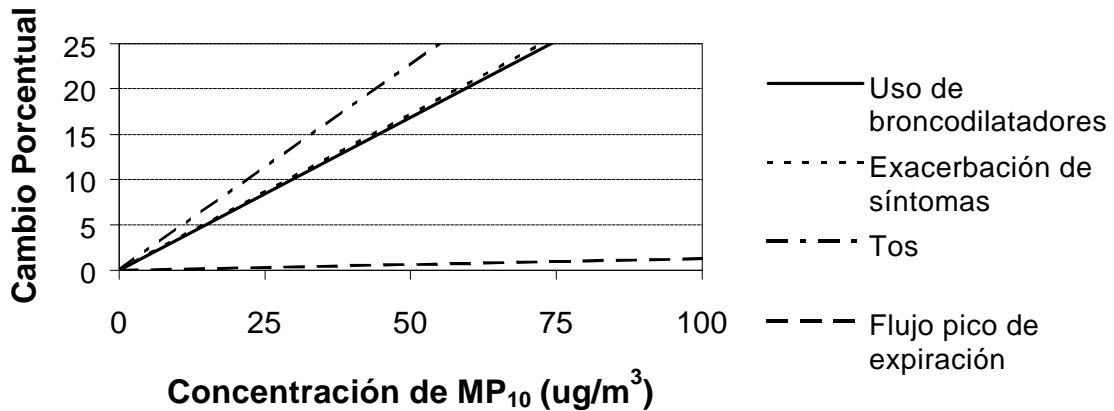


Figura 4 - Cambio porcentual en los efectos en la salud atribuidos al MP₁₀

Cuadro 9 - Valores límite de PTS para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea

País	Valor límite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida
Argentina ²	150 ³	1 mes	Ninguna
Belice ^{4, 5}	100 (I), 200 (II), 500 (III)		Ninguna
Bolivia	260	24 horas	Ninguna
	75 ⁶	1 año	
Brasil	240	24 horas	Solo una vez por año
	80 ⁶	1 año	Ninguna
Chile	260	24 horas	Solo una vez por año
	75 ⁶	1 año	Ninguna
Colombia	400	24 horas	Solo una vez por año
	100 ⁶	1 año	Ninguna
Costa Rica	240	24 horas	Solo una vez por año
	90 ⁷	1 año	Ninguna
Cuba ⁸	300	20 minutos	Ninguna
	100	24 horas	
Ecuador ²	250	24 horas	Solo una vez por año
	80 ⁶	1 año	Ninguna
México	260	24 horas	Ninguna en un periodo de un año
	75 ⁷	1 año	Ninguna
Venezuela	75 – 260	24 horas	El valor 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ límite no podrá superarse en más de 50% de las mediciones, el valor 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ límite no podrá superarse en más de 5% de las mediciones, el valor 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ límite no podrá superarse en más de 2% de las mediciones y el valor 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ límite no podrá superarse en más de 0,5% de las mediciones por año
Canadá ¹⁰	120 (aceptable)	24 horas	
	400 (tolerable)		
	60 ⁷ (deseable) 70 ⁷ (aceptable)	1 año	
China ⁴	120 (I), 300 (II), 500 (III)	24 horas	Ninguna
	80 (I), 200 (II), 300 (III) ⁷	1 año	
Estados Unidos ⁹			
Japón ⁹			
Unión Europea ⁹			

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 k.
2. Argentina y Ecuador también tienen una norma para partículas sedimentables con un valor límite de 1 mg/cm^2 para un tiempo promedio de muestreo de 30 días, que no debe superarse en ninguna ocasión.
3. Promedio aritmético mensual - 4 (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
5. El tiempo promedio de muestreo no está estipulado en la norma.
6. Promedio geométrico anual.
7. Promedio aritmético anual.

8. Polvo en suspensión, hasta 50% SiO₂.
9. El nivel máximo deseable define una meta de largo plazo y se aplica en las políticas de prevención del deterioro de la calidad del aire en áreas no contaminadas. El nivel máximo aceptable intenta proteger adecuadamente a los seres humanos, animales, vegetación, suelos, agua, materiales y visibilidad. El nivel máximo tolerable indica concentraciones de contaminantes por encima de las cuales se deben tomar medidas inmediatas para proteger la salud de la población en general.
10. No tiene normas para PTS.

Cuadro 10: Valores límite de MP₁₀ para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea

País	Valor límite (µg/m ³) ¹	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida
Argentina ²			
Belice ²			
Bolivia	150	24 horas	Ninguna
	50 ³	1 año	
Brasil ⁴	150	24 horas	Solo una vez por año
	50 ³	1 año	Ninguna
Chile	150	24 horas	El percentil 98 anual no debe superar el valor límite
Colombia ²			
Costa Rica	150	24 horas	Solo una vez por año
	50 ⁵	1 año	Ninguna
Cuba ⁶			
Ecuador ²			
México	150	24 horas	Solo una vez por año
	50 ⁵	1 año	Ninguna
Venezuela ²			
Canadá ²			
China ⁷	50 (I), 150 (II), 250 (III)	24 horas	Ninguna
	40 (I), 100 (II), 150 (III) ⁵	1 año	
Estados Unidos ⁸	150	24 horas	El promedio de tres años consecutivos del percentil 99 anual no debe superar el valor límite
	50 ⁵	1 año	El promedio de tres años consecutivos no debe superar el valor límite
Japón	200	1 hora	Ninguna
	100	24 horas	
Unión Europea ⁹	50	24 horas	El valor límite no podrá superarse en más de 35 ocasiones por año
	40 ⁵	1 año	El valor límite no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
2. No tiene normas para MP₁₀.
3. Promedio geométrico anual.
4. Brasil también tiene una norma para hollín con un valor límite de 150 µg/m³ para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas que no debe superarse en más de una ocasión por año y un valor límite de 60 µg/m³ para un tiempo promedio de muestreo de 1 año (promedio aritmético anual) que no debe superarse en ninguna ocasión.

5. Promedio aritmético anual.
6. Cuba tiene una norma para hollín con un valor límite de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo promedio de muestreo de 20 minutos y un valor límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas que no debe superarse en ninguna ocasión.
7. (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
8. Estados Unidos también tiene una norma para $\text{PM}_{2.5}$ con un valor límite de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un tiempo de exposición de 24 horas para la cual el promedio de tres años consecutivos del percentil 98 anual no debe exceder el valor de la norma y un valor límite de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un tiempo de exposición de 1 año para el cual el promedio de tres años consecutivos no debe superar el valor de la norma.
9. Valores límites que corresponden a la fase 1 (fecha de cumplimiento del valor límite: 1 de enero de 2005). La fase 2 tiene un valor límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que no podrá superarse en más de 7 ocasiones por año para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas y un valor límite de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo promedio de muestreo de 1 año (fecha de cumplimiento del valor límite: 1 de enero de 2010).

Los métodos de referencia para el muestreo de MP establecido en las normas generalmente son la captación del MP en un filtro o la separación inercial, seguidos de la determinación gravimétrica de la masa, en muestras de 24 horas. En Ecuador, por ejemplo, la frecuencia mínima de muestreo es cada tres días. Los métodos automáticos recientemente desarrollados para la medición continua de MP son aquellos basados en la atenuación de la radiación beta, la microbalanza oscilatoria y la microbalanza piezoeléctrica. Sobre los métodos de referencia puede obtenerse información detallada en los documentos de la ISO (<http://www.iso.ch/cate/1304020.html>) y en los documentos sobre contaminantes criterio tradicionales de la EPA (<http://www.epa.gov/ttn/amtic/pm.html>).

Varios países han establecido umbrales de alerta para MP en sus normas. Cuando las concentraciones de MP sobrepasan esos umbrales, se toman medidas inmediatas para reducir las emisiones y prevenir a la población. Brasil, por ejemplo, ha establecido tres umbrales de alerta por encima de los cuales se toman medidas cada vez más estrictas. Los umbrales de alerta establecidos en la norma de Brasil son: $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (atención), $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (alerta) y $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (emergencia) para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas. Los planes de acción para mejorar la calidad del aire deben especificar las medidas que se deben tomar en caso de que los niveles de contaminación sobrepasen los umbrales de alerta.

Plomo

El plomo es un metal pesado que se emite a la atmósfera principalmente en forma de partículas (MP_{10}). Su fuente principal es la combustión de gasolina con plomo. El plomo es un aditivo en la gasolina que desacelera el proceso de combustión en los vehículos con motores de ignición a chispa.

Estudios en animales y humanos han demostrado que la exposición a plomo puede actuar sobre diferentes sistemas, principalmente sobre la biosíntesis de la hemoglobina, el sistema nervioso central y el sistema cardiovascular (presión sanguínea). Los infantes y los

niños menores de cinco años son particularmente susceptibles a la exposición al plomo por su efecto potencial sobre el desarrollo neurológico. El nivel de plomo en sangre es el mejor indicador de exposición. Se han encontrado efectos adversos en niños y en el desarrollo del feto en niveles de plomo en sangre tan bajos como 100 a 150 $\mu\text{g/l}$. El cuadro 11 presenta los valores guía para plomo recomendados por la OMS. Además, indica los niveles de plomo por encima de los cuales se han observado efectos en la salud, el factor de incertidumbre calculado por consenso científico y los valores guía para diferentes tiempos promedio de exposición.

Cuadro 11 - Valores guía para plomo recomendados por la OMS

Efectos sobre la salud	Nivel de efecto observable ($\mu\text{g/m}^3$)	Factor de incertidumbre	Valor guía ($\mu\text{g/m}^3$)	Tiempo promedio de exposición
Nivel crítico de 25 μg de plomo por litro de sangre	n.a	n.a	0,5	1 año

n.a. no aplicable

El cuadro 12 presenta los valores límite para la protección de la salud pública, tiempos promedio de muestreo y frecuencia de excedencia permitida para las normas de plomo en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

Cuadro 12 - Valores límite para la protección de la salud pública, tiempo promedio de muestreo y frecuencia de excedencia permitida en las normas sobre plomo en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea

País	Valor límite ($\mu\text{g/m}^3$) ¹	Tiempo promedio de muestreo ²	Frecuencia de excedencia permitida
Argentina ³			
Belice ³			
Bolivia	1.5	3 meses	Ninguna
Brasil ³			
Chile ³			
Colombia ³			
Costa Rica	0.5	1 año	Ninguna
Cuba	0.3	24 horas	Ninguna
Ecuador	1.5	3 meses	Ninguna
México	1.5	3 meses	Ninguna
Venezuela ⁴	1.5 – 2.0	24 horas	El valor 1.5 $\mu\text{g/m}^3$ no podrá superarse en más de 50% de las mediciones y el valor 2 $\mu\text{g/m}^3$ no podrá superarse en más de 5% de las mediciones por año
Canadá ³			
China ⁵	1.5	3 meses	Ninguna
	1.0	1 año	

País	Valor límite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)¹	Tiempo promedio de muestreo²	Frecuencia de excedencia permitida
Estados Unidos	1.5	3 meses	Ninguna
Japón ³			
Unión Europea ⁶	0.5	1 año	Ninguna

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
2. Promedio aritmético.
3. No tiene norma para plomo.
4. Plomo en PTS.
5. Los valores de la norma se aplican para las regiones tipo I, II y III.
6. Plomo en MP_{10} .

El método de referencia establecido en las normas para el muestreo y análisis de plomo en MP generalmente se basa en la captación del MP y en el análisis de la muestra de MP mediante espectroscopía de absorción atómica. Sobre los métodos de referencia puede obtenerse información detallada en los documentos de la ISO (<http://www.iso.ch/cate/1304020.html>) y en los documentos sobre contaminantes criterio tradicionales de la EPA (<http://www.epa.gov/ttn/amtic/pb.html>).