



Emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂)

Normas Internacionales

Autor

Nombre del autor
Rafael Torres Muñoz
Tel.: (56) 32 21912

Nº SUP: 135151

Documentos disponibles en:
<https://atp.bcn.cl>

Resumen

El Dióxido de Azufre (SO₂) que proviene principalmente de la combustión de combustibles fósiles (madera, carbón y derivados del petróleo) ha estado históricamente involucrado en los principales episodios de alta contaminación atmosférica (Valle del Mosa, Bélgica 1930; Donora, Estados Unidos 1948; Poza Rica, México 1950, y Londres 1952). El dióxido de azufre irrita la piel y las membranas mucosas de los ojos, la nariz, la garganta y los pulmones¹.

Para proteger la salud, el bienestar de la población y la integridad del medioambiente, países y organizaciones internacionales han establecido normas para las emisiones de SO₂.

1. Introducción

Este informe responde a la solicitud de un parlamentario. En su elaboración se ha consultado información oficial de fuentes pertinentes, tanto nacional como de los países abordados en este documento. Las traducciones son del autor.

2. Contexto

El dióxido de azufre (SO₂) es un contaminante del aire incoloro y reactivo con un fuerte olor. Este gas puede ser una amenaza para la salud humana, la salud animal y la vida vegetal. Las principales fuentes de emisiones de dióxido de azufre provienen de la combustión de combustibles fósiles y la actividad volcánica natural².

El dióxido de azufre irrita la piel y las membranas mucosas de los ojos, la nariz, la garganta y los pulmones. Las altas concentraciones de SO₂ pueden causar inflamación e irritación del sistema respiratorio, especialmente durante la actividad física intensa. Los síntomas resultantes pueden incluir

¹ U. de Chile. CENMA. "EFECTOS DEL SO₂ EN LA SALUD DE LAS PERSONAS". Disponible en: [https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/VI Efectos del SO₂ en la salud de las personas.pdf](https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/VI Efectos del SO2 en la salud de las personas.pdf). Julio 2022.

² Sulfur Dioxide Effects on Health. Disponible en: <https://www.nps.gov/subjects/air/humanhealth-sulfur.htm#:~:text=High%20concentrations%20of%20SO2%20can%20affect%20lung%20function%2C%20worsen,and%20cause%20similar%20health%20effects>. Julio 2022.

dolor al respirar profundamente, tos, irritación de garganta y dificultades respiratorias. Las altas concentraciones de SO₂ pueden afectar la función pulmonar, empeorar los ataques de asma y empeorar la enfermedad cardíaca existente en grupos sensibles. Este gas también puede reaccionar con otros productos químicos en el aire y cambiar a una pequeña partícula que puede entrar en los pulmones y causar efectos similares en la salud.

El dióxido de azufre es un contaminante que contribuye a la deposición ácida, lo que, a su vez, puede conducir a posibles cambios en la calidad del suelo y el agua. Los impactos posteriores de la deposición ácida pueden ser significativos, incluidos los efectos adversos en los ecosistemas acuáticos en ríos y lagos y el daño a los bosques, cultivos y otra vegetación. En muchos casos, la deposición de sustancias acidificantes aún excede las cargas críticas de los ecosistemas. La acidificación también puede dañar edificios y monumentos culturales.

A continuación, se entregan las normas de emisión para SO₂ de distintos países y organizaciones internacionales.

3. Norma Chilena

La Norma Primaria de SO₂, publicada el 09 de septiembre de 2019, establece:

TÍTULO II: Normas de Calidad Primaria para Dióxido de Azufre

Artículo 3. La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual será de 60 µg/m³N, equivalente a 23 ppbv³.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual, cuando ocurra al menos, una de las siguientes condiciones:

- a. El promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores de concentración anual, fuere mayor o igual al valor de la norma que se establece.
- b. Si en un año calendario, el valor de la concentración anual, fuere mayor o igual al doble del valor de la norma que se establece.

Artículo 4. La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas será de 150 µg/m³N, equivalente a 57 ppbv.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, cuando ocurra al menos, una de las siguientes condiciones:

- a. El promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas cada año, fuere mayor o igual al valor de la norma que se establece.
- b. Si en un año calendario, el valor correspondiente al percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas, fuere mayor o igual al doble del valor de la norma que se establece.

Artículo 5. La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 1 hora, cuando ocurra al menos, una de las siguientes condiciones:

³ ppbv: Partes por billón en volumen.

a. El promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 98,5 de las concentraciones de 1 hora registradas cada año, fuere mayor o igual al valor de la norma que se establece. A partir del cuarto año calendario de publicada la norma en el Diario Oficial, se considera un percentil 99 para evaluar esta condición.

b. Si en un año calendario, el valor correspondiente al percentil 98,5 de las concentraciones de 1 hora registradas, fuere mayor o igual al doble del valor de la norma que se establece. A partir del cuarto año calendario de publicada la norma en el Diario Oficial, se considera un percentil 99 para evaluar esta condición.

Artículo 6. Para evaluar el cumplimiento de la norma se utilizarán los valores de concentración de dióxido de azufre expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, provenientes de estaciones de monitoreo clasificadas como EMRPG (Estación de Monitoreo con Representación Poblacional por Gases).

TÍTULO III: Niveles de Emergencia Ambiental de Dióxido de Azufre

Artículo 7. Los niveles de emergencia tienen por objetivo reducir la exposición de la población en situaciones donde se presentan concentraciones que superan el valor de las normas, y que constituyen un riesgo para la salud de las personas.

Artículo 8. Los siguientes niveles originarán situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre, expresados como concentración de 1 hora:

Tabla 2: Niveles de emergencia expresados como concentración de 1 hora de dióxido de azufre.

Nivel		Niveles de emergencia expresados como concentración de 1 hora de dióxido de azufre en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (en ppbv)	
1	Alerta	500 - 649 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	(191 - 247 ppbv)
2	Preemergencia	650 - 949 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	(248 - 362 ppbv)
3	Emergencia	950 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ o superior	(363 ppbv o superior)

$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$: microgramo por metro cúbico normal

ppbv: partes por billón en volumen.

4. Norma de la Unión Europea (UE)

Las emisiones de SO_2 están cubiertas por la Directiva de la Unión Europea (UE) sobre Máximos de Emisión Nacionales (NECD) (2001/81/CE) y el Protocolo de Gotemburgo⁴ en virtud del Convenio de las Naciones Unidas sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza de Larga Distancia (Convenio LRTAP) (UNECE 1999)⁵.

El NECD generalmente implica objetivos de reducción de emisiones ligeramente más estrictos que el Protocolo de Gotemburgo para los Estados miembros de la UE-15 (el número de miembros originales

⁴ El Protocolo de Gotemburgo se estableció para abordar los contaminantes que causan la acidificación y el ozono a nivel del suelo con el entendimiento de que los contaminantes del aire cruzan las fronteras y afectan la calidad del aire lejos de donde se emiten.

⁵ European Environment Agency. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-sulphur-dioxide-so2-emissions-1>. Julio 2022.

de la UE) para el período 1990-2010. El Protocolo de Gotemburgo entró en vigor el 17 de mayo de 2005, tras su ratificación por 16 países a principios de 2005⁶.

La revisión de 2012 del Protocolo de Gotemburgo propuso objetivos de reducción de emisiones para 2020 en relación con las emisiones notificadas de 2005 para todos los Estados miembros de la UE-27 (número de miembros de la UE desde que el Reino Unido se separó de la UE) y algunos Estados miembro del EEA-32 (Agencia Ambiental Europea) no miembros de la UE⁷

Tabla: Máximos de SO₂ bajo la Directiva NEC y bajo el Protocolo de Gotemburgo. En kilotoneladas (kt)

País	Máximos bajo NECD 2010	Máximos bajo el Protocolo CLRTAP de Gotemburgo 2010	Máximos bajo el Protocolo CLRTAP de Gotemburgo 2020
Austria	39	39	62
Bélgica	99	106	70
Bulgaria	836	856	58
Chipre	39	N/A	5
República Checa	265	283	76
Dinamarca	55	55	63
Estonia	100	N/A	10
Finlandia	110	116	31
Francia	375	400	635
Alemania	520	550	544
Grecia	523	546	63
Hungría	500	550	72
Islandia*	N/A	N/A	N/A
Irlanda	42	42	108
Italia	475	500	395
Latvia	101	107	16
Liechtenstein	N/A	0.11	N/A
Lituania	145	145	35
Luxemburgo	4	4	5
Malta	9	N/A	2
Países Bajos	50	50	123
Noruega	N/A	22	21
Polonia	1397	1397	267
Portugal	160	170	47
Rumania	918	918	173
Eslovaquia	110	110	25
Eslovenia	27	27	18
España	746	774	354
Suiza	N/A	26	59
Suecia	67	67	47
Turquía*	N/A	N/A	N/A
Reino Unido	585	625	282

⁶ *Ibidem.*

⁷ *Ibidem*

* Islandia y Turquía no tienen un máximo bajo la Directiva NEC, ni bajo el Protocolo de Gotemburgo.

5. Estados Unidos de América (EE.UU.)

La Ley de Aire Limpio requiere que la EPA establezca estándares nacionales de calidad del aire ambiente (NAAQS) para el dióxido de azufre y otros cinco contaminantes considerados dañinos para la salud pública y el medio ambiente (los otros contaminantes son el ozono, las partículas, el dióxido de nitrógeno, el monóxido de carbono y el plomo). La ley también requiere que la EPA revise periódicamente los estándares para garantizar que brinden una protección adecuada de la salud y el medio ambiente, y que actualice esos estándares según sea necesario⁸.

El 25 de febrero de 2019, sobre la base de una revisión del cuerpo completo de evidencia científica actualmente disponible e información de exposición / riesgo, la EPA emitió una decisión para mantener el Estándar Nacional de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS) primario existente para el dióxido de azufre (SO₂). La decisión de la EPA se basa en su juicio de que el NAAQS actual protege la salud pública, con un margen adecuado de seguridad, incluida la salud de las poblaciones en riesgo con asma⁹.

El estándar existente, establecido en 2010, es de 75 partes por mil millones (billón norteamericano, millardo para Chile¹⁰) por año basado en el promedio de 3 años del percentil 99 de la distribución anual de concentraciones máximas diarias de 1 hora.

Cronología de los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiente para SO_x¹¹

Regla/Decisión Final	Primaria / Secundaria	Indicador(1)	Tiempo promedio	Nivel(2)	Forma
1971 36 FR 8186 Apr 30, 1971	Primaria	SO ₂	24-Horas	0.14 ppm	No excederse más de una vez al año
			Anual	0.03 ppm	Media aritmética anual
	Secundaria		3- Horas	0.5 ppm	No excederse más de una vez al año
			Anual ⁽³⁾	0.02 ppm	Media aritmética anual
1973 38 FR 25678 Sept 14, 1973	Secundaria	Estándar secundario SO ₂ de 3 horas, retenido, sin revisión; estándar SO ₂ anual secundario revocado.			
1996 61 FR 25566 May 22, 1996	Primaria	Se conservan los estándares primarios SO ₂ existentes, sin revisión.			
	Primaria	SO ₂	1-hora	75 ppb	Percentil 99, promediado sobre 3 años ⁽⁵⁾

⁸ EPA. Reviewing National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Sulfur Dioxide (SO₂) Primary Air Quality Standards. Disponible en: <https://www.epa.gov/naqs/sulfur-dioxide-so2-primary-air-quality-standards>. Julio 2022.

⁹ Primary National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) for Sulfur Dioxide. Disponible en: <https://www.epa.gov/so2-pollution/primary-national-ambient-air-quality-standard-naqs-sulfur-dioxide>. Julio 2022.

¹⁰ La escala decimal norteamericana -llamada escala corta- considera mil millones como un billón y cambia el prefijo a trillón, cuatrillón, quintillón, etc. por cada incremento en un factor de mil (10³). Así los mil millones son llamados billón en la escala corta y mil millones o “millardo” en la escala larga, que es la que se usa en Chile.

¹¹ Timeline of Sulfur Dioxide National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Disponible en: <https://www.epa.gov/so2-pollution/timeline-sulfur-dioxide-national-ambient-air-quality-standards-naqs>. Julio 2022.

Regla/Decisión Final	Primaria / Secundaria	Indicador(1)	Tiempo promedio	Nivel(2)	Forma
2010 75 FR 35520 Jun 22, 2010		Se revocan los estándares primarios anuales y SO ₂ de 24 horas.			
2012 77 FR 20218 April 3, 2012	Secundaria	Estándar SO ₂ secundario existente (promedio de 3 horas) conservado, sin revisión.			
2019 84 FR 9866 March 18, 2019	Primaria	Estándar SO ₂ primario existente conservado, sin revisión.			

(1) SO₂ = dióxido de azufre

(2) Las unidades de medida están en partes por millón (ppm) y partes por billón (ppb).

(3) La regla final de 1971 también incluyó un estándar secundario de SO₂ de 24 horas de 0.1 ppm, concentración máxima de 24 horas que no debe excederse más de una vez al año, como una guía que se utilizará en la evaluación de los planes de implementación para alcanzar el estándar anual.

(4) El estándar SO₂ de 1 hora establecido en 2010 es un estándar primario.

(5) La forma del estándar de 1 hora es el promedio de 3 años del percentil 99 de la distribución anual de las concentraciones máximas de SO₂ diarias de 1 hora.

6. Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre los niveles de contaminación del aire exterior (ambiente)

“La Organización Mundial de la Salud ha establecido directrices sobre los niveles de contaminación del aire exterior (ambiente), que son ampliamente utilizados como herramientas de referencia por los responsables políticos de todo el mundo para establecer normas y objetivos para la gestión de la calidad del aire. Las directrices proporcionan estándares evidenciados y basados en la salud para contaminantes atmosféricos específicos que las ciudades deben adoptar como objetivos de calidad del aire. Inicialmente establecidos en 2005, se actualizaron en 2021”¹².

Los niveles recomendados actualizados de las directrices para los otros contaminantes claves son¹³:

- PM10 (material particulado con un diámetro de 10 micras o menos) concentraciones de 15 µg/m³ media anual, 45 µg/m³ media de 24 horas.
- Concentraciones de ozono (O₃) de 100 µg/m³ media de 8 horas.
- Concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) de 10 µg/m³ promedio anual y 25 µg/m³ promedio de 24 horas.
- Concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) de 40 µg/m³ media de 24 horas.

¹² WHO Air Quality Guidelines. Disponible e: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US. Julio 2022.

¹³ *Ibidem*.

- Concentraciones de monóxido de carbono (CO) de 7 µg/m³ media de 24 horas.

7. Canadá

En este país, se pueden encontrar grandes concentraciones de SO₂ en áreas con actividades mineras y de fundición, producción de pulpa y papel, y procesamiento y quema de combustible. La mayoría de estas actividades se llevan a cabo en instalaciones ubicadas fuera de los principales centros de población¹⁴.

Los Estándares Canadienses de Calidad del Aire Ambiente (CAAQS), que son responsables de establecer umbrales seguros para los contaminantes del aire en Canadá, establecen la concentración horaria máxima de SO₂ en máximos de 70 ppb (partes por mil millones, billones en la escala corta) y el promedio anual máximo en 5 ppbv.

8. Perú

Mediante el D.S. N° 003-2017-MINAM, el gobierno del Perú aprobó nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y estableció Disposiciones Complementarias¹⁵.

Estándares de Calidad Ambiental para Aire

Parámetros	Parámetros	Parámetros Período	Parámetros Período	Parámetros Período
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (UV). (Método automático)
	Anual	100	Año Media aritmética anual	Quimioluminiscencia (Método automático)
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ^[2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman.
	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción UV (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM 10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.

[1] o método equivalente aprobado.

[2] El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria

[3] Final del presente Decreto Supremo.

¹⁴ “National Pollutant Release Inventory: sulphur dioxide”. Disponible en: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/national-pollutant-release-inventory/tools-resources-data/sulphur-dioxide.html>. Julio 2022

¹⁵ Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ACA) para Aire y Establecen Disposiciones Complementarias. Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-aire-establecen-disposiciones-1>. Julio 2022.