ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LAS NORMAS PRIMARIAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA SO_2, O_3, PB, Y CO, Y NORMA SECUNDARIA PARA SO_2

Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente
Presentación para Comité Operativo Norma de Calidad Primaria y Secundaria para SO2

Contenidos

- **Contexto**
- **Norma primaria**
  - Mecanismos del SO2 en la salud
  - Relaciones de causalidad
  - Efectos respiratorios y coeficientes de riesgo
  - Efectos en mortalidad y cáncer
  - Otros Efectos
- **Norma secundaria**
  - Zonas protegidas en Chile
  - Evidencia en vegetación
  - Efectos agudos y crónicos en vegetación
  - Efectos en ecosistemas
  - Efectos en la biota acuática

Contexto

- El dióxido de azufre (SO2) se forma a partir de la oxidación del azufre (S) contenido en el combustible, y en el S contenido en compuestos como el ácido sulfhídrico (H_2S) y súlfuros metálicos.
- Principales fuentes:
  - Procesos de Combustión de combustibles fósiles (carbón y derivados del petróleo)
  - Fundiciones de cobre, fábricas de celulosa y papel, cementeras, siderúrgicas, refinerías de petróleo y plantas de procesamiento químico.

- La mayoría del azufre (S) se oxida a SO2 y una fracción pequeña a SO3 (ambos óxidos muy solubles en agua y se absorben después de ser inhalados). El SO3 reacciona rápidamente con vapor de agua para formar H2SO4 (conversión aumenta con el incremento de la humedad relativa y los niveles de O3).

- Oxidación del SO2 por el radical hidroxilo (OH):

  SO2 + OH + M → HSO3 + M

  HSO3 + O2 → SO3 + HO2

  SO3 + H2O + M → H2SO4 + M (niebla ácida)

- El sulfato (SO4) es parte importante del MP2.5 secundario en zonas con alta emisión de SO2.

SO2 – *normativa internacional (ug/m3)*

Tipo norma	País	Media 10 min	Media 30min	Media 1h	Media 3h	Media 24h	Media anual
Primaria	***Chile*** [(1)]			***350***		***150***	***60***
	Alemania			350		125	50
	Argentina					365	80
	Brasil					50	30
	Canadá			183			13
	China			500		150	60
	Colombia			100		50	
	España			350		125	
	Estados Unidos			196			
	Italia			350		125	
	Japón			262		105	
	México			197		105	
	OMS	500				40	
	Perú					250	
	Reino Unido			350		125	
	Suecia			200		100	
	Suiza		100			100	30
	Unión Europea			350		125	
Secundaria	***Chile (Norte)*** [(1)]			***1.000***		***365***	***80***
	Chile (Sur) [(1)]			***700***		***260***	***60***
	Alemania						20 [(3)]
	Argentina				1300		
	China [(2)]			150		50	20
	España						20 [(3)]
	Estados Unidos				1310		
	Italia						20 [(3)]
	Reino Unido						20 [(3)]
	Suecia						20 [(3)]
	Unión Europea						20 [(3)]

(1): En Chile se normaliza a condiciones estándar (presión 1 atm, temperatura 25 °C).
(2): Se aplican a regiones especiales como los parques nacionales.
(3): Este valor se establece también para la media invernal (1 de octubre hasta el 31 de marzo).

NORMA PRIMARIA DE CALIDAD AMBIENTAL

La investigación al servicio de una política pública sustentable

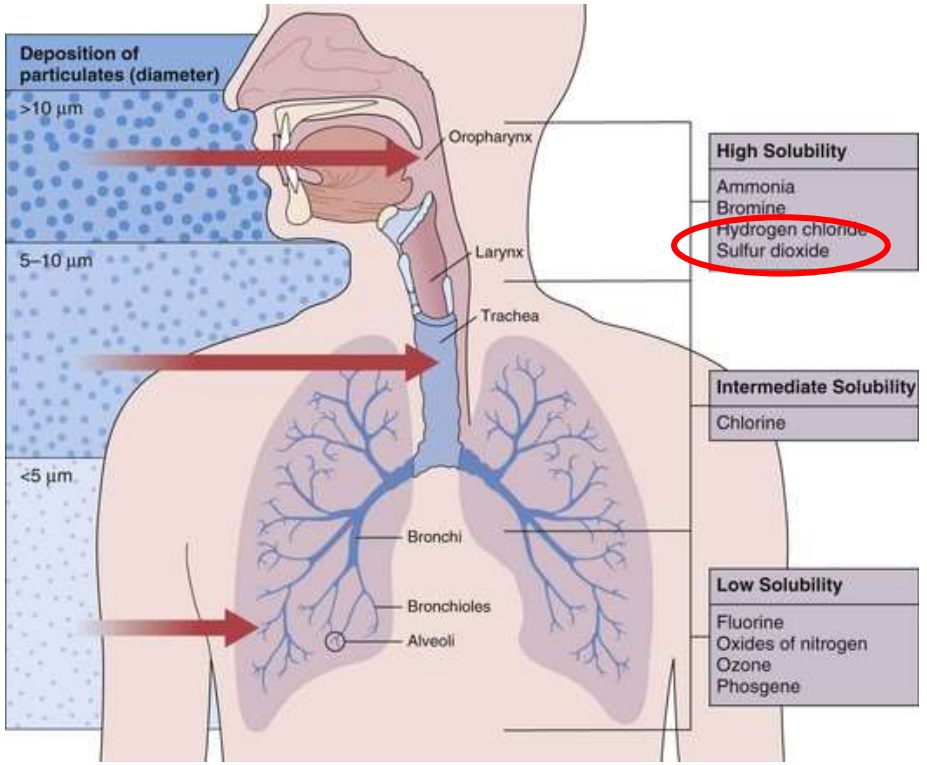
Mecanismos de Efectos en salud SO2

- El SO2 es altamente soluble en agua, por lo que al ser inhalado se absorbe fácilmente en las vías respiratorias superiores y no penetra profundamente al pulmón, aunque durante el ejercicio aumenta la tasa de flujo oral y se promueve la penetración en vías inferiores.
- La absorción depende de la concentración, con un 85% de absorción en la nariz a 4-6 µg/m3 y cerca del 99% a 46 µg/m3 (WHO, 2006).
- Niños y personas con asma o rinitis alérgica que respiran más por vía oral, es de esperar que el SO2 penetre más en los pulmones (US-EPA, 2017).

- Principales efectos de la inhalación en sitios de absorción:

- Activación de nervios sensoriales en las vías respiratorias que resulta en respuestas neurales reflejas.
- Lesiones en la mucosa de las vías respiratorias (especialmente a concentraciones altas y después de períodos prolongados de exposición).
- Aumento de inflamación alérgica en adultos con asma y aumento de la capacidad de respuesta de las vías respiratorias.

Fuente: (US-EPA, 2017)



Relación periodo y respuesta

Peso de la evidencia de efectos del SO2 (USEPA, ISA del SO2 2017

Exposición	Mortalidad	Morbilidad cardiovascular	Morbilidad respiratoria	Morbilidad metabólica	Morbilidad en el sistema nervioso	Morbilidad reproductiva y del desarrollo		Cáncer
						Reproducción y fertilidad en mujeres y hombres	Efectos del embarazo y el parto	
Largo Plazo	Inadecuado	Inadecuado (2)	**Sugerente (1)**	-	-	Inadecuado	-	Inadecuado
Corto Plazo	**Sugerente**	Inadecuado	Causal	-	-	-	-	-

(1) En la versión anterior se clasificó como inadecuado.
(2) En la versión anterior no fue incluido.

Fuente: (US-EPA, 2017)

Relaciones de causalidad identificadas por la OMS en guía 2021

Exposición	Mortalidad cardiovascular y respiratoria	Mortalidad total	Morbilidad respiratoria	Morbilidad cardiovascular	Cáncer
Corto Plazo	**Causal (1)(3)**	**Causal (3)**	**Causal (2)**	-	-

Fuente: (OMS,). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329

(1) Solo respiratoria.
(2) Health Canada considera solo adultos.
(3) El grupo de trabajo de las Directrices de Calidad del Aire decide incluirlo, pero la evidencia no reporta realmente una relación de causalidad con mortalidad.

)

Efectos en Salud - Respiratorio

- **Efectos respiratorios por exposición de corto plazo:** Pruebas sólidas de una relación causal, en particular para la población de riesgo (exacerbación del asma).
  - Evidencia más limitada: disminución de la función pulmonar y aumento de los síntomas respiratorios en personas sanas, exacerbación de la EPOC (enfermedad pulmonar obstructiva crónica), hospitalizaciones y visitas a la sala de emergencias por enfermedades respiratorias, asociaciones con mortalidad respiratoria (US-EPA, 2017).

- **Efectos respiratorios por exposición de largo plazo:** Evidencia sugerente, pero no suficiente, para inferir relación causal (basado en número limitado de estudios epidemiológicos de asociaciones entre la incidencia del asma entre los niños, coherente con pruebas toxicológicas animales) (US-EPA, 2017).

Efectos respiratorios por exposición de corto plazo

- **Evidencia de efectos en adultos sanos** tras exposición a concentraciones mayores a 1,0-5,0 ppm (2.620-13.100 ug/m3) → aumento de la resistencia de las vías respiratorias y disminución del FEV_1 (volumen espiratorio forzado en 1 segundo) (US-EPA, 2008)

- Asociación positiva con hospitalizaciones y visitas a la sala de urgencia por enfermedades respiratorias: Disminución de la función pulmonar en individuos sanos después de exposiciones ≥ 1.0 ppm (≥ 2.620 ug/m3)(US-EPA, 2017).

- Exposiciones de 0,2-0,6 ppm (524-1.572 ug/m3) en **adultos y adolescentes con asma** durante 5-10 minutos con frecuencias respiratorias elevadas → disminución de la función pulmonar y aumento de los síntomas respiratorios (US-EPA, 2008)

- Exacerbación del asma: Existe una clara relación dosis-respuesta para exposiciones entre 0.2 y 1.0 ppm (524-2.620 ug/m3) (US-EPA, 2017).

Coeficientes de riesgo unitario para incidencia de ataques de Asma

Efecto	Beta %/(ppb)	IC	Fuente
Visitas sala de urgencia	0,0037	NA	Guo (2018)
	0,0116	0,011-0,012	Ito (2007)
	0,0015	NA	Wilson (2005)
Admisiones hospitalarias	0,0268	0,026-0,027	Amancio (2012)

Fuente: GreenLab Dictuc (2022).

Efectos del SO2 – Mortalidad prematura y cáncer

❑La evidencia es sugerente, pero no suficiente, para inferir relación causal:

- **Mortalidad por exposición a corto plazo:** Aunque el conjunto de pruebas es mayor, sigue habiendo dudas sobre si el SO2 tiene un efecto independiente del material particulado. Persiste incertidumbre clave y lagunas de datos (factores de confusión, diferencias, relación C-R del SO2 con la mortalidad) (US-EPA, 2017).

❑La evidencia es inadecuada para inferir una relación causal:

- **Mortalidad por exposición a largo plazo:** Falta de coherencia entre los estudios, incapacidad para distinguir posibles factores de confusión de co-contaminantes e incertidumbre de escala geográfica de la evaluación de la exposición (US-EPA, 2017).

- **Incidencia de Cáncer**: Inconsistencia en estudios epidemiológicos, toxicología animal, y modo de acción para la mutagénesis y la genotoxicidad. Incertidumbres en errores en la medición de la exposición, posibles factores y plausibilidad biológica limitada (US-EPA, 2017).

Otros Efectos en Salud

La evidencia es inadecuada para inferir una relación causal:

- Efectos cardiovasculares: Sigue habiendo incertidumbre (errores de medición en la exposición y factores de confusión). Para exposición crónica evidencia limitada e inconsistente (correlaciones entre NO2 y el CO con el SO2. Faltan pruebas del efecto independiente del SO2) (US-EPA, 2017)

- Reproducción y desarrollo: Varios estudios de asociaciones positivas durante el embarazo y métricas de crecimiento fetal, parto prematuro, peso al nacer, y mortalidad fetal e infantil. Sin embargo, las pruebas no son totalmente coherentes y no han reducido sustancialmente ninguna de las incertidumbres presentadas (como el tiempo de exposición) (US-EPA, 2017).

Resumen de la evidencia de efectos en salud humana

- El SO2 inhalado no penetra profundamente al pulmón, aunque durante el ejercicio aumenta la tasa de flujo oral y se promueve la penetración en vías respiratorias inferiores.
  - Grupos más sensibles: Niños y personas con asma o rinitis alérgica.

- Existen **pruebas sólidas de una relación causal** respecto a efectos respiratorios por exposición de corto plazo, en particular para la población de riesgo (exacerbación del asma en concentraciones tan bajas como 524 ug/m3).

- La evidencia existente es **sugerente, pero no suficiente** para determinar efectos respiratorios por exposición a largo plazo o mortalidad por exposición a corto plazo.

- Para otros efectos en la salud, la evidencia es inadecuada.

Referencias

☐ Salud (norma primaria)

- Amâncio CT, Nascimento LF. (2012) Asthma and ambient pollutants: a time series study. Rev Assoc Med Bras (1992). 2012;58(3):302-307.
- GreenLab Dictuc. (2022). ACTUALIZACIÓN DE COEFICIENTES DE RIESGO PARA EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA SALUD.
- Guo H, Chen M. (2018). Short-term effect of air pollution on asthma patient visits in Shanghai area and assessment of economic costs. Ecotoxicol Environ Saf. 2018;161:184-189. doi:10.1016/j.ecoenv.2018.05.089
- Ito K, Thurston GD, Silverman RA. (2007) Characterization of PM2.5, gaseous pollutants, and meteorological interactions in the context of time-series health effects models. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2007;17 Suppl 2:S45-S60. doi:10.1038/sj.jes.7500627
- OMS. (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329
- US-EPA. (2008). Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides - Health Criteria. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-sulfur-oxides-health-criteria
- US-EPA. (2017). Integrated science assessment for sulfur oxides - Health criteria. December. https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-sulfur-oxides-health-criteria
- WHO. (2006). Air Quality Guidelines: Global update 2005. https://doi.org/10.1007/BF02986808
- Wilson AM, Wake CP, Kelly T, Salloway JC. (2005). Air pollution, weather, and respiratory emergency room visits in two northern New England cities: an ecological time-series study. Environ Res. 2005;97(3):312-321. doi:10.1016/j.envres.2004.07.010

NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD AMBIENTAL

La investigación al servicio de una política pública sustentable

SO2 – *normativa internacional (ug/m3)*

Tipo norma	País	Media 10 min	Media 30min	Media 1h	Media 3h	Media 24h	Media anual
Primaria	***Chile*** (1)			***350***		***150***	***60***
	Alemania			350		125	50
	Argentina					365	80
	Brasil					50	30
	Canadá			183			13
	China			500		150	60
	Colombia			100		50	
	España			350		125	
	Estados Unidos			196			
	Italia			350		125	
	Japón			262		105	
	México			197		105	
	OMS	500				40	
	Perú					250	
	Reino Unido			350		125	
	Suecia			200		100	
	Suiza		100			100	30
	Unión Europea			350		125	
Secundaria	***Chile (Norte)*** (1)			***1.000***		***365***	***80***
	Chile (Sur) (1)			***700***		***260***	***60***
	Alemania						20 (3)
	Argentina				1300		
	China (2)			150		50	20
	España						20 (3)
	Estados Unidos				1310		
	Italia						20 (3)
	Reino Unido						20 (3)
	Suecia						20 (3)
	Unión Europea						20 (3)

(1): En Chile se normaliza a condiciones estándar (presión 1 atm, temperatura 25 °C).
(2): Se aplican a regiones especiales como los parques nacionales.
(3): Este valor se establece también para la media invernal (1 de octubre hasta el 31 de marzo).

**EPA está proponiendo revisar el estándar existente a uno anual con un nivel de 10 a 15 ppb (26-39 ug/m^3) promediado durante 3 años. Sin embargo, no espera que se necesiten reducciones adicionales de emisiones para cumplir con el estándar secundario anual propuesto de SO2.*

Contexto

- Las normas secundarias de calidad ambiental para un contaminante no son de aplicación nacional.
- Se aplican en zonas geográficas donde existen ecosistemas u objetos de protección (OdP) sensibles al contaminante
- Por lo tanto, se requiere identificar esas zonas y los OdP sensibles.

- Zonas protegidas cercanas a comunas que presentan concentraciones potencialmente nocivas identificadas en el estudio, a nivel regional:
  - Antofagasta
  - Atacama
  - Valparaíso
  - Biobío

Zonas protegidas cercanas a fuentes de emisión Región de Antofagasta

000072 vta

☐ Zonas protegidas (como santuarios, parques, humedales)

☐ Antofagasta

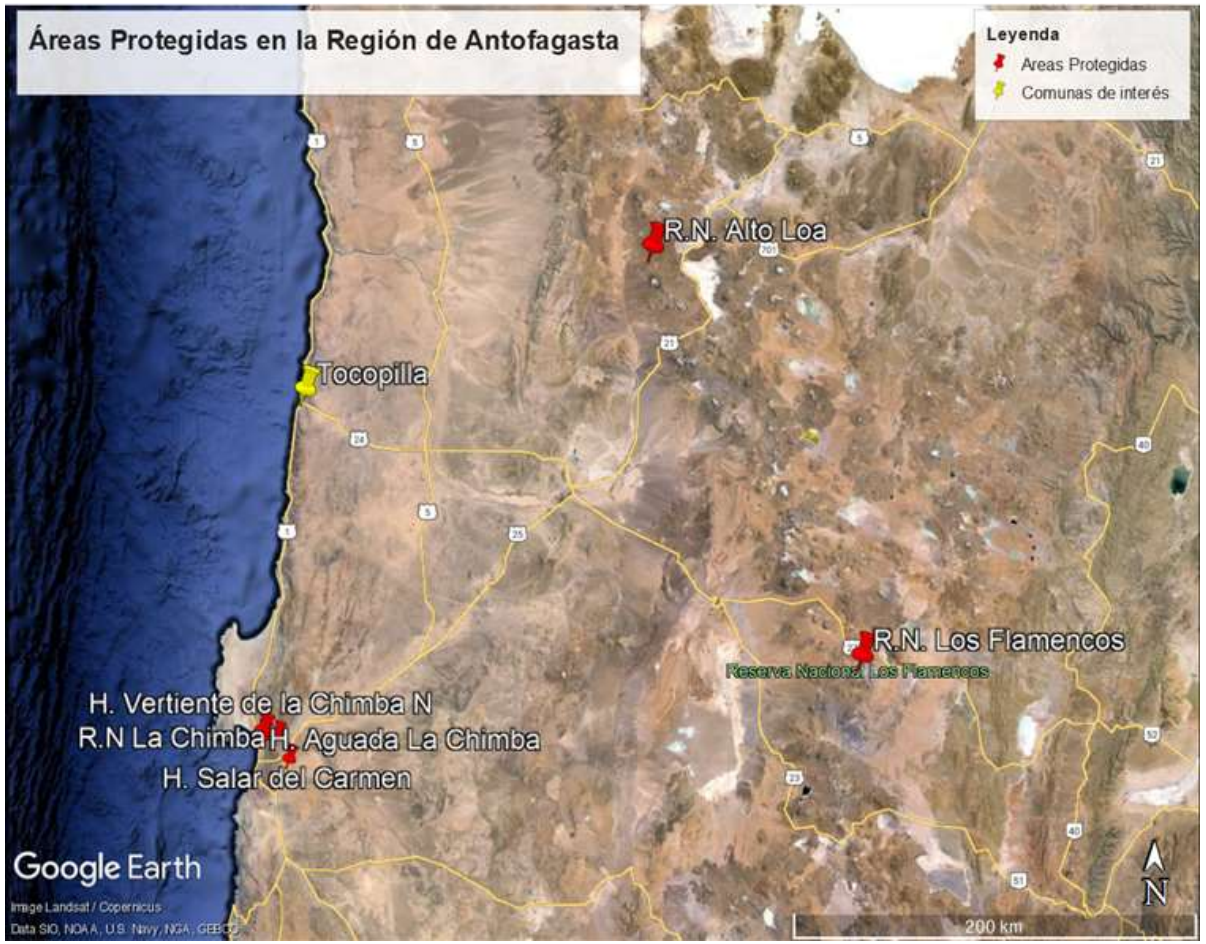
- Humedal Aguada La Chimba
- Salar del Carmen
- Reservas Nacionales: La Chimba, Alto Loa,
- Los Flamencos
- Vertiente Chimba Norte
- **Desembocadura Río Loa**
- **Oasis de Quillagua**

☐ Atacama

☐ Valparaíso

☐ Biobío

En negrita los sectores prioritarios del SIMBIO.



Zonas protegidas cercanas a fuentes de emisión
Región de Atacama

- ☐ **Zonas protegidas (como santuarios, parques, humedales) cercanas a comunas de interés para el estudio.**

- ☐ **Antofagasta**
- ☐ **Atacama**
  - Humedal Paseo Riberaño de Vallenar
  - Salar de Maricunga
  - Lacustre Laguna del Negro Francisco
  - Laguna Santa Rosa
  - Reservas Nacionales: Pingüino de Humboldt,

  Nevado de Tres Cruces, Llanos de Challe, **Santuario de la Naturaleza Desierto Florido**
  - **Bahía Salada**
  - **Corredor biológico Pantanillo**
  - **Monte Amargo**
  - **Piedra Colgada**
  - **Quebradas: Del Morel, San Andrés, De Serna**
  - **Ríos: Copiapó, Cachitos, Figueroa, Manflas, Montosa**
  - **RNP Huascoaltino**
- ☐ **Valparaíso**
- ☐ **Biobío**

Zonas protegidas cercanas a fuentes de emisión Región de Valparaiso

- Zonas protegidas (como santuarios, parques, humedales) cercanas a comunas de interés para el estudio.

- Antofagasta
- Atacama
- Valparaíso
  - Humedales: Mayaca, Mantagua, Quirilluca, Campiche, Urbano Estero El Litre
  - Reservas Nacionales: Lago Peñuelas, La Campana,
  - Piedras Blancas, Santuario Laguna El Peral.
  - Estero de Quilpué, Laguna y Estero Cartagena,
  - **Estero Mantagua, Estero Catapilco**
  - Estuario del Río Aconcagua.
  - **Dunas de Ritoque**
  - **Río Aconcagua**
  - **Cuesta el Melon - Altos de Pucalán - La Canela**
  - **Acantilados Quebrada Quirilluca**
- Biobío

Zonas protegidas cercanas a fuentes de emisión Región de Biobío

- ☐ **Zonas protegidas (como santuarios, parques, humedales) cercanas a comunas de interés para el estudio.**

- ☐ **Antofagasta**
- ☐ **Atacama**
- ☐ **Valparaíso**
- ☐ **Biobío**
  - Humedales: Boca Maule, Escuadrón Quiñeco,
  - Rocuant-Andalién, Vasco de Gama, Price, **Tubul Raqui,**
  - **Sistema Lacustre Intercomunal Concepción**
  - Reservas Nacionales: Santuario de la Naturaleza
  - Península de Hualpén, Reserva Nacional Nonguén
  - **Área marina Isla Mocha, Isla Quiriquina y Tumbes**
  - **Quebrada Caramávida**
  - **Amortiguación Nahuelbuta, Contulmo**
  - **ADI Alto del Bio-Bío, ADI Lleu – Lleu**
  - **Fundo Villucura, Fundo Nonguén**
  - **Tome – Neuque**
  - **Río Polcura**
  - **Altos de Escuadrón**

Evidencia de efectos en vegetación del SO2

- Efectos en la vegetación dependen del tempo de exposición y morfología de la planta; tamaño de las hojas, índice área foliar y cobertura (U.S. EPA, 2020).

- A diferencia de las plantas vasculares, los musgos y líquenes no tienen una barrera cuticular protectora contra los contaminantes gaseosos, por lo que son más sensibles a estos. Efectos en su funcionamiento vital y alteraciones estructurales (U.S. EPA, 2020).

- Humedales: SO2 penetra fácilmente en los cloroplastos y afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas incluso cuando las estomas están cerradas (puede reaccionar con el agua para producir bisulfito y entrar a la hoja a través de la cutícula). Reducción de la asimilación del CO2 en cloroplastos, lo que inhibe las enzimas fotosintéticas y disminuye la tasa de transporte fotosintético de electrones (Sha et al., 2010).

- SO2 puede provocar menoscabos en algunos cultivos y ocasionar pérdidas en la productividad (Garcia-Huidobro et al., 2001).

Efectos de la exposición aguda de SO2 en la vegetación

- Daños foliares a las pocas horas de exposición: se absorbe por las estomas de las hojas y provoca colapso o necrosis de los tejidos vegetales (U.S. EPA, 2020).
- Concentraciones altas deshabilitan enzimas, reduciendo la actividad metabólica y perdiendo integridad de la membrana celular (Nieboer et al., 1976; Ziegler, 1973).
- No se ha encontrado evidencia de daños foliares agudos en concentraciones promedio menores a 0,5 ppm (1.310 µg /m3) (U.S. EPA, 2020).

SO2 – *Efectos de exposición crónica en la vegetación*

- Disminución del crecimiento, el rendimiento de las plantas y fotosíntesis. Senescencia y abscisión prematuras, maduración acelerada del fruto, lesiones cloróticas visibles (Hewitt et al., 1990).

- Estos efectos suelen ser acumulativos durante la temporada de crecimiento y a menudo no se asocian con daños foliares (U.S. EPA, 2020).

- Altas concentraciones provocan fitotoxicación, causando decoloración, deformidad y necrosis en las plantas (40 CFR Part 50: Secondary National Ambient Air Quality Standards for Oxides of Nitrogen and Sulfur, 2012). Variada evidencia en cultivos como el trigo y judía Phaseolus, pero para cultivos frutales y hortícolas como cultivados en Chile evidencia es escasa (Garcia Huidobro, T., Marshall, F. 2001).

- Aparición de efectos crónicos en la vegetación y lesiones visibles de las partes aéreas de la planta por acción directa a exposiciones de 30 g/m3 como media anual (Sanders et al., 1995)

SO2 – Evidencia de efectos en ecosistemas

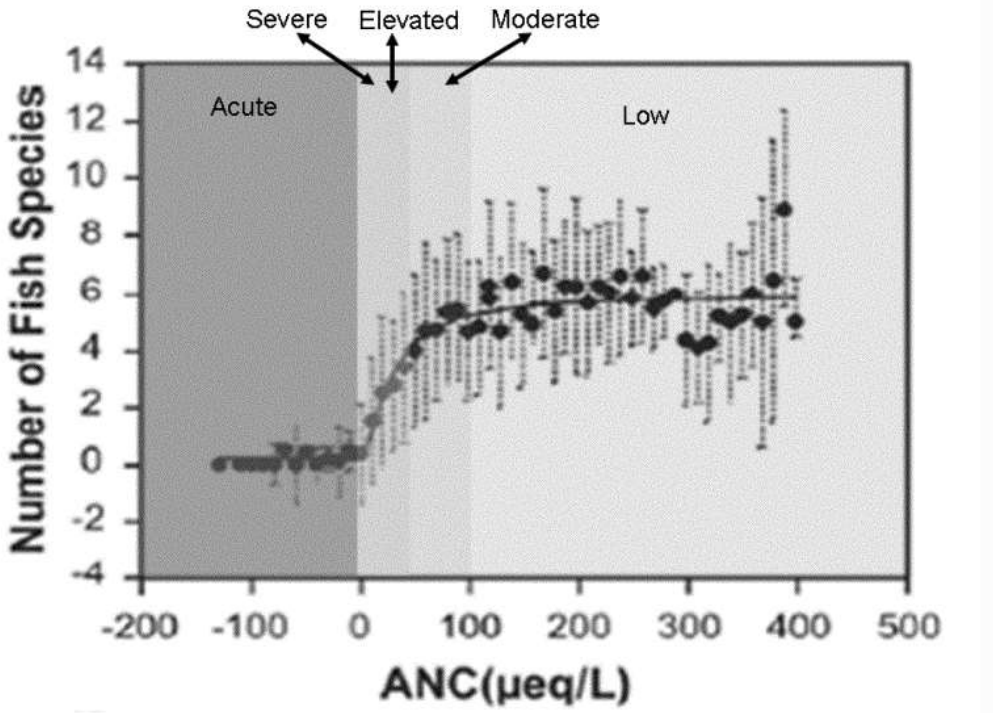
- Depositación húmeda del SO2 debido a reacciones químicas en la atmósfera entre SOx y NOx, resultando en componentes ácidos como el ácido sulfúrico (H2SO4) y el ácido nítrico (HNO3) produce acidificación en sistemas acuáticos y terrestres (Brydges & Wilson, 1990).

- Mayor solubilización del aluminio del suelo (RONDON.I et al., 2007)
  - En condiciones ácidas del agua se presentan especies de aluminio catiónica, que son más reactivas químicamente.
  - Su bioacumulación afecta plantas macro y micrófitos, ya que es tóxico en el meristema de las raíces de estas. Genera inhibición de la elongación radicular e inducción de síntesis de callo radicular
  - Repercute en peces que consumen estas plantas. A valores de pH entre 4,7-5,5 los peces mueren mayormente por la presencia de aluminio que por la concentración de (H+).
  - Suelos de la Orinoquia Colombiana tienen alto contenido de Al: evidencia de efectos en los peces respecto a su sistema respiratorio y mecanismos de adaptación.

SO2 – *Efectos en la biota acuática*

- **El bioindicador ANC (capacidad de resistencia a la acidificación), es el indicador más utilizado para una respuesta biológica y de salud de comunidades acuáticas. Muestra una relación directa con la diversidad y abundancia de peces como también Fitozooplancton.**

- A menor ANC, menor es la capacidad de neutralización ácida de las especies, por lo que mayor es el efecto negativo en la biota acuática: efectos en la reproducción y aptitudes físicas, evidenciado en una disminución en la diversidad de especies marinas (U.S. EPA, 2012).



Resumen de la evidencia de efectos en vegetación y ecosistemas

- Existe evidencia de efectos negativos por SO_2 gaseoso y por su depositación en vegetación, suelo y agua.
- Fitointoxicación y acidificación de los ecosistemas terrestres y acuáticos.
- Especies y ecosistemas afectados:
  - Distintos tipos de vegetación, musgo, líquenes.
  - Humedales y ecosistemas acuáticos.
  - Zonas de cultivos.
- Decisión de aplicar una norma secundaria en ciertas zonas debe considerar:
  - Ecosistemas presentes vulnerables a la exposición de este contaminante.
  - Disminución de los niveles de SO2 puede generarse sólo con la norma primaria, por tanto, la norma secundaria podría no generar reducciones adicionales.

Referencias efectos en ecosistemas

- 40 CFR Part 50: Secondary National Ambient Air Quality Standards for Oxides of Nitrogen and Sulfur (2012). https://www.federalregister.gov/documents/2012/04/03/2012-7679/secondary-national-ambient-air-quality-standards-for-oxides-of-nitrogen-and-sulfur
- BRYDGES, T., & WILSON, R. (1990). LLUVIA ÁCIDA DESDE 1985 - LOS TIEMPOS ESTÁN CAMBIANDO.
- Garcia-Huidobro, T., Marshall, F. M., & Bell, J. N. B. (2001). A risk assessment of potential agricultural losses due to ambient SO 2 in the central regions of Chile. In Atmospheric Environment (Vol. 35).
- Hewitt, C. N., Lucas, P., Wellburn, A. R., & Fall, R. (1990). Chemistry of ozone damage to plants (Vol. 15). Chemical Industries.
- Nieboer, E., Richardson, D., Puckett, K., & Tomassini, F. (1976). The phytotoxicity of sulphur dioxide in relation to measurable responses in lichens . In T. A. Mansfield (Ed.), Society for Experimental Biology, Seminar Series: Volume 1, Effects of Air Pollutants on Plants (Vol. 1). Cambridge University Press.
- RONDON.I, RAMÍREZ.W, BARATO.P, & ESLAVA.P. (2007). Importancia del ciclo biogeoquímico del aluminio (Al) con relación con la acidez de los suelos en la producción piscícola y la salud pública ¿cuál sería el caso de la Orinoquia? https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89611209
- Sanders, G. E., Skarby, L., Ashmore, M. R., & Fuhrer, J. (1995). ESTABLISHING CRITICAL LEVELS FOR THE EFFECTS OF AIR POLLUTION ON VEGETATION.
- Sha, C., Wang, T., & Lu, J. (2010). Relative sensitivity of wetland plants to SO2 pollution. Wetlands, 30(6), 1023–1030. https://doi.org/10.1007/s13157-010-0095-x
- Secondary National Ambient Air Standards for Oxides of Nitrogen and Sulfur (2012). U.S. EPA. www.regulations.gov
- U.S. EPA. (2020). *Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen, Oxides of Sulfur, and Particulate Matter - Ecological Criteria.*
- Ziegler, I. (1973). The effect of air-polluting gases on plant metabolism . In F. Coulston & F. Korte (Eds.), *Environmental Quality and Safety: Global Aspects of Chemistry, Toxicology and Technology as Applied to the Environment* (Vol. 2, pp. 182–208). Thieme, Academic Press.

MUCHAS GRACIAS