

PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-022-SSA1-2017, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.

JULIO SALVADOR SÁNCHEZ Y TÉPOZ, Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 39, de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4, de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 3o., fracción XIII, 13, apartado A, fracciones I y IX, 17 Bis, fracciones II, III y XI, 27, fracción I, 104, fracción II, 116, 117, 118, fracción I y 119, fracción I, de la Ley General de Salud; 111, fracción I, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38, fracción II, 40, fracción XI, 43 y 47, fracción I, de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 33, del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y 3, fracción I, inciso n, y 10, fracciones, IV y VIII, del Reglamento de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, he tenido a bien ordenar la publicación en el Diario Oficial de la Federación del

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-022-SSA1-2017, SALUD AMBIENTAL. CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, CON RESPECTO AL DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂). VALORES NORMADOS PARA LA CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂) EN EL AIRE AMBIENTE, COMO MEDIDA DE PROTECCIÓN A LA SALUD DE LA POBLACIÓN

El presente Proyecto se publica a efecto de que los interesados, dentro de los 60 días naturales siguientes al de su publicación en el Diario Oficial de la Federación, presenten sus comentarios por escrito, en medio magnético, en idioma español y con el soporte técnico correspondiente ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, sito en Oklahoma número 14, planta baja, colonia Nápoles, Código Postal 03810, Ciudad de México, teléfono 50805200, extensión 1333, correo electrónico rfs@cofepris.gob.mx.

Durante el plazo mencionado de conformidad con lo dispuesto por los artículos 45 y 47, fracción I, de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los documentos que sirvieron de base para la elaboración del presente Proyecto y la Manifestación de Impacto Regulatorio, estarán a disposición del público para su consulta en el domicilio del mencionado Comité.

CONSIDERANDOS

Que el 8 de septiembre de 2010 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población;

Que dicha Norma entró en vigor a los 60 días naturales de su publicación contados a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación;

Que en cumplimiento a lo previsto en el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Subcomité de Salud Ambiental presentó al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario el 28 de junio de 2017, el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-022-SSA1-2017, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de septiembre de 2010;

Que el anteproyecto se sometió al procedimiento de mejora regulatoria de conformidad con lo dispuesto por la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; obteniéndose la exención de manifestación de impacto regulatorio el 2 de agosto de 2017.

PREFACIO

En la elaboración de la presente Norma participaron las siguientes dependencias, instituciones y organismos:

Secretaría de Salud

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios

Secretaría de Energía

Dirección General de Eficiencia y Sustentabilidad Energética

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Agencia Nacional de Seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos
Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental

Instituto Nacional de Cancerología

Dirección de Investigación

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas

Departamento de Investigación en Inmunología

Instituto Nacional de Salud Pública

Centro de Investigación en Salud Poblacional

Comisión Federal de Electricidad

Dirección de Proyectos de Inversión Financiada

Petróleos Mexicanos

Dirección Corporativa de Planeación, Coordinación y Desempeño

Instituto Mexicano del Petróleo

Dirección de Investigación en Transformación de Hidrocarburos

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

Dirección de Investigación Científica

Gobierno de la Ciudad de México

Agencia de Protección Sanitaria de la Ciudad de México

Gobierno del Estado de Guanajuato

Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato

Gobierno del Estado de Hidalgo

Comisión Estatal para la Protección contra Riesgos Sanitarios del Estado de Hidalgo

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo

Gobierno del Estado de México

Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático del Estado de México

Instituto de Salud del Estado de México

Gobierno del Estado de Morelos

Comisión para la Protección contra Riesgos Sanitarios del Estado de Morelos

Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Morelos

Gobierno del Estado de Puebla

Servicios de Salud del Estado de Puebla

Universidad Nacional Autónoma de México

Centro de Ciencias de la Atmósfera

Instituto Politécnico Nacional

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

Departamento de Toxicología

Cámara Minera de México

Cámara Nacional del Cemento

ÍNDICE

0. Introducción.
1. Objetivo y campo de aplicación.
2. Referencias normativas.
3. Términos y definiciones.
4. Símbolos y términos abreviados

5. Especificaciones.
6. Métodos de prueba.
7. Concordancia con normas internacionales y mexicanas.
8. Bibliografía.
9. Observancia de la Norma.
10. Vigencia.
11. Apéndice A Normativo

0. Introducción

Desde los inicios de la revolución industrial, el dióxido de azufre y las partículas provenientes de la quema de combustibles fósiles son los principales componentes de la contaminación atmosférica en algunas ciudades del mundo, sobre todo en aquellas en las que se utiliza carbón u otros combustibles que contienen azufre, tales como hogares, en la industria y en los vehículos. Por otra parte, las principales fuentes naturales del dióxido de azufre son los volcanes.

De acuerdo al Inventario Nacional de Emisiones de México, 2008, considerando únicamente las emisiones antropogénicas, las fuentes que generan aproximadamente el 98% de las emisiones de dióxido de azufre son: de generación de energía eléctrica (46.98%), del petróleo y petroquímica (41.49%), alimentos y bebidas (2.23%), química (1.49%), metalúrgica y siderúrgica (1.44%), de la celulosa y el papel (1.32%), de cemento y cal (1.05%), embarcaciones marinas (0.71%), combustión agrícola (0.68%) y autos particulares (0.39%), con 2,191,776 toneladas anuales. Con base a mediciones satelitales se conoce que las emisiones de dióxido de azufre se dan principalmente al centro del país donde se tiene una alta densidad de población.

El dióxido de azufre es un gas incoloro de olor fuerte e irritante, muy soluble en agua, que puede oxidarse para formar trióxido de azufre e iones sulfato, los cuales forman sales inorgánicas y ácidos, siendo un componente importante de las partículas secundarias.

En el aire el dióxido de azufre es higroscópico y forma aerosoles de ácido sulfúrico y sulfuroso, que luego forman parte de la llamada lluvia ácida, que provoca deterioro en los bosques y la acidificación de las aguas de lagos, canales, ríos y suelos. La intensidad de formación y el periodo de permanencia de los aerosoles en la atmósfera dependen de las condiciones meteorológicas y de la cantidad de impurezas presentes en el aire. Se estima que el tiempo de residencia en la atmósfera es de 3 a 5 días.

Debido a las características oxidorreductoras del dióxido de azufre, se considera que el 95% se absorbe a nivel de las vías respiratorias superiores en donde al contacto con el agua presente en este medio, forma iones sulfito o bisulfito, de manera reversible, produciendo así una solución ácida que induce respuestas moleculares y celulares las cuales, a través de mecanismos en los que interviene el estrés oxidante y la inflamación causan el incremento en la secreción de moco y broncoconstricción, además de la disminución en la actividad fagocítica de los macrófagos (OMS, 2005 y Lin, 2015).

En este sentido, existe suficiente evidencia derivada de estudios toxicológicos y epidemiológicos acerca de los efectos a la salud ocasionados por la exposición a dióxido de azufre. Los estudios epidemiológicos más recientes en humanos, tanto controlados como observacionales, son consistentes y han demostrado una relación causal e independiente del efecto de otros contaminantes del aire, entre la exposición a corto plazo a dióxido de azufre y su impacto en el sistema respiratorio, se ha mostrado sobre todo en personas susceptibles como individuos con asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (O'Connor, 2008; Amadeo, 2015; Dales, 2009; OMS, 2005). Los estudios demuestran que exposiciones a picos de dióxido de azufre durante 5 a 10 minutos en pacientes asmáticos sometidos a condiciones de ventilación incrementadas, a partir de los 200 ppb, ocasionan un aumento en la presencia de síntomas respiratorios (sibilancias, tos, dificultad para respirar) y una disminución en la función pulmonar, además de un aumento en marcadores de inflamación a nivel pulmonar (Linn, 1987). Asimismo, se ha observado una respuesta broncoconstrictora derivada de la exposición a dióxido de azufre en pacientes con asma, la cual inicia desde los primeros minutos de exposición, y tiende a disminuir posterior a 1 hora si cesa dicha exposición. También se ha observado que no existe un incremento en los efectos al segundo día de exposición con respecto al primer día, esto sugiere que el efecto es inmediato y no acumulativo. En niños los efectos se pudieran ver reflejados a concentraciones más bajas debido a que su tasa de ventilación es más alta en relación a su área de superficie corporal. En ese sentido, diversos estudios no controlados, han encontrado disminución de la función pulmonar por incrementos de 10 partes por billón en las concentraciones de dióxido de azufre en lugares en donde las concentraciones de dióxido de azufre a nivel ambiental fluctúan entre 1.7 y 15.5 partes por billón en promedio (Peel, 2007 y Liu, 2009).

Como consecuencia de los efectos sobre la morbilidad y mortalidad, la exposición a dióxido de azufre tiene un fuerte impacto sobre el incremento en las consultas y hospitalizaciones, principalmente debidas a exacerbaciones de asma y enfermedades cardiovasculares. Son y col. en 2013 mostraron un incremento del 5.3% en el número de hospitalizaciones por asma y del 3.1% por otras causas respiratorias, a partir del primero y hasta el 3er. día en que se incrementaban las concentraciones de dióxido de azufre en 10 ppb, para el promedio de 24 horas. Sin embargo, Samoli, en un estudio realizado en 2011 encontró un incremento en las hospitalizaciones por asma en menores de 14 años de hasta el 16% por cada 10 ppb de incremento de dióxido de azufre para el mismo día. Strickland y col. por su lado, en 2010 observaron un aumento en las visitas a urgencias debido a asma del 4.2% por cada 40 ppb de incremento en el máximo de 1 hora de dióxido de azufre para el mismo día o hasta 2 días posteriores a la exposición. Rivera M en el 2013, en la Ciudad de México, encontró un aumento en las hospitalizaciones por asma en menores de 5 años del 5% para el mismo día y del 7% al día posterior de la exposición por cada 10 ppb de incremento del dióxido de azufre en el promedio de 24 horas, y hasta del 17% para la hospitalización por sintomatología respiratoria tanto de vías altas como bajas.

Existe evidencia de que el dióxido de azufre afecta también el sistema cardiovascular ocasionando un incremento en el número de hospitalizaciones y número de muertes por infarto agudo al miocardio y enfermedad isquémica del corazón, entre otras (Milojevic, 2014; Chen, 2014; Peel, 2007; Poloniecki, 1997). Además, se ha reportado que el dióxido de azufre afecta el desarrollo del feto, repercutiendo en bajo peso al nacer, nacimientos pre-término y mortalidad fetal y del neonato (Pereira, 1998), sin embargo, la evidencia a este respecto aún no es contundente.

Respecto a la exposición a largo plazo a concentraciones altas de dióxido de azufre, algunos trabajos han reportado un aumento en el número de muertes por cáncer de pulmón asociado a este contaminante (Abbey, 1999; Nyberg, 2000; Chen, 2015 y 2016). Yang y col. en el 2016 encontraron que el riesgo se incrementa en un 14% por cada 10 partes por billón. Adicionalmente, existen reportes sobre la sinergia entre el dióxido de azufre y otros contaminantes como el benzo(a)pireno y las partículas torácicas, los cuales participan en procesos carcinogénicos (YUN, 2015).

A partir del conocimiento de los riesgos ocasionados a la salud por la exposición a los contaminantes del aire, entre ellos al dióxido de azufre, el Estado mexicano reconoce en el Artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el derecho de toda persona a la protección de su salud, así como el derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. En este sentido, los artículos 116 y 118 de la Ley General de Salud, señalan que las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán las medidas y realizarán las actividades tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente, para tal efecto, corresponde a la Secretaría de Salud del Ejecutivo Federal, determinar los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente.

En México, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente dispone, en su artículo 112 fracción VI, que los gobiernos de los Estados, de la Ciudad de México y de los Municipios, establecerán y operarán los sistemas de monitoreo de la calidad del aire, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire o la que la sustituya.

De acuerdo al Informe Nacional de Calidad del Aire 2014 (INECC-SEMARNAT, 2015), en México 111 estaciones de monitoreo atmosférico ubicadas en 19 entidades del país midieron dióxido de azufre. De las estaciones que contaron con información suficiente, en ninguna se rebasó los límites máximos normados de 24 horas y anual establecidos en la NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población (0.11 partes por millón y 0.025 partes por millón, respectivamente), sólo una registró una concentración superior al límite máximo normado de ocho horas (0.200 partes por millón).

En México, la NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población, especificó como límite máximo de la concentración promedio de 24 horas 0.110 partes por millón (288 µg/m³), que era casi 14 veces el valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud, 2.75 veces el de California y 2.29 veces el de la Unión Europea.

Los límites anuales y de 8 horas, sólo estaban definidos en la normatividad mexicana y no tenían parámetros de referencia o comparación con la normativa de Estados Unidos de América y la Unión Europea.

El límite de 1 hora no estaba considerado en la normatividad mexicana. Sin embargo, sí existe en la normativa de Estados Unidos de América y la Unión Europea. (USEPA, 2014 y Unión Europea, 2014).

1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Objetivo

Esta Norma tiene por objeto establecer los valores límites permisibles de concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente como medida para la protección a la salud humana; así como los criterios para su evaluación.

1.2 Campo de aplicación

Esta Norma es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para las autoridades en sus diferentes órdenes de gobierno que tengan a su cargo la vigilancia y evaluación de la calidad del aire, las cuales deberán tomar como referencia los valores e indicadores establecidos en esta Norma, para efectos de proteger la salud de la población.

2. Referencias normativas

Para la correcta aplicación de esta Norma es necesario consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas o las que la sustituyan:

2.1 Norma Oficial Mexicana NOM-038-SEMARNAT-1993, Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

2.2 Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

3. Términos y definiciones

Para efectos de esta Norma se entiende por:

3.1 Aire ambiente: a la mezcla de elementos y compuestos gaseosos, líquidos y sólidos, orgánicos e inorgánicos, presentes en la atmósfera.

3.2 Año calendario: al periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de un mismo año.

3.3 Concentraciones horarias: promedio o media aritmética de las concentraciones de contaminantes registradas en el intervalo de tiempo de 60 minutos delimitado por los minutos 1 y 60 de la hora local.

3.4 Máximo diario: valor máximo de las concentraciones horarias registradas en un día.

3.5 Microgramo por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$): a la expresión de concentración en masa del contaminante (en microgramos) en un volumen de aire (metro cúbico) a 25°C (298.16 °K) de temperatura y con una atmósfera (101.3 kPa) de presión.

3.6 Partes por millón (ppm): a la expresión de la concentración en unidades de volumen del gas contaminante relacionado con el volumen de aire ambiente. Para el dióxido de azufre su equivalente en unidades de peso por volumen es igual a 2620 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a 25°C de temperatura y con una atmósfera de presión.

3.7 Percentil: a la medida de posición usada en estadística que indica, una vez ordenados los datos de mayor a menor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de datos.

3.8 Promedio de 24 horas: al promedio aritmético de las concentraciones horarias registradas en un día.

3.9 Sitio de monitoreo: al lugar en donde se miden, de forma continua, las concentraciones ambientales de dióxido de azufre con el objetivo de determinar la exposición de la población a este contaminante.

3.10 Valor límite: a la concentración máxima permisible de un contaminante en el aire ambiente.

4. Símbolos y términos abreviados

4.1 °C: Grados Celsius.

4.2 °K: Grados Kelvin.

4.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: Microgramo por metro cúbico.

4.4 %: Por ciento

4.5 atm: Atmósfera de presión.

4.6 kPa: Kilopascal.

4.7 n: Número de máximos diarios válidos en un año

4.8 OMS: Organización Mundial de la Salud.

4.9 P0.99: Percentil 99.

4.10 ppb: partes por billón.

4.11 ppm: partes por millón.

4.12 SO₂: Dióxido de azufre.

4.13 X1: Valor más grande de los máximos diarios obtenidos durante un año en una serie descendente de una serie de tiempo.

4.14 Xn: Valor más bajo de los máximos diarios obtenidos durante un año en una serie descendente de una serie de tiempo.

5. Especificaciones

5.1 Se establecen 2 valores límite para las concentraciones ambientales del dióxido de azufre para efecto de la protección a la salud de la población más susceptible:

5.1.1 Valor límite de 1 hora: 0.075 ppm (196.5 µg/m³) como promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales, obtenidos de los máximos diarios, calculado como se especifica en el Apéndice A Normativo, de esta Norma.

5.1.2 Valor límite de 24 horas: 0.04 ppm (104.8 µg/m³) como el máximo de 3 años consecutivos, obtenidos de los promedios de 24 horas, calculado como se especifica en el Apéndice A Normativo, de esta Norma.

6. Métodos de prueba

El método de prueba para la determinación de la concentración de SO₂ en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición, estaciones o sistemas de monitoreo de la calidad del aire con fines de difusión o cuando los resultados tengan validez oficial, son los establecidos en la Norma Oficial Mexicana citada en el punto 2.1, del Capítulo de Referencias normativas, de esta Norma.

7. Concordancia con normas internacionales y mexicanas.

Esta Norma no es equivalente a ninguna norma internacional ni mexicana.

8. Bibliografía

8.1 Abbey DE, Nishino N, McDonnell WF, Burchette RJ, Knutsen SF, Lawrence Beeson W, Yang JX (1999) Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *Am J Respir Crit Care Med* 159:373-382.

8.2 Amadeo, B; Robert, C; Rondeau, V; Mounouchy, MA; Cordeau, L; Birembaux, X; Citadelle, E; Gotin, J; Gouranton, M; Marcin, G; Laurac, D; Raheison, C. (2015). Impact of close-proximity air pollution on lung function in schoolchildren in the French West Indies. *BMC Public Health* 15: 45.

8.3 Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ *et al.* (2008) Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). *Environ Health Perspect* 116:196-202.

8.4 CARB (California Air Resources Board). 2014. State and National Air Quality Standards. Disponible en: <http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf>.

8.5 California Code Regulations. Title 17, Division 3, Chapter 1, Subchapter 1.5. Air basins and Air Quality Standards Article 3. Criteria for Determining Area Designations. Sections 70300 through 70306, and Appendices 1 through 3 thereof. Criteria for Determining Data Representativeness Appendix A, page A-7 to A-8 and Criteria for Determining Data Completeness Appendix A, page A-13 to A-14.G.

8.6 Casas-Castillo, MC; Alarcón-Jordan, M. (1999). *Meteorología y Clima*. Ediciones UPC. ISBN: 84-8301-355-X.

8.7 Chen G, Wan X, Yang G, Zou X (2015) Traffic-related air pollution and lung cancer: A meta-analysis. *Thorac Cancer* 6:307-318.

8.8 Chen L; Villeneuve, PJ; Rowe, BH; Liu, L; Stieb, DM. (2014). The Air Quality Health Index as a predictor of emergency department visits for ischemic stroke in Edmonton, Canada. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 24: 358-364.

- 8.9** Chen X, Zhang LW, Huang JJ, Song FJ, Zhang LP, Qian ZM, Trevathan E, *et al.* (2016) Long-term exposure to urban air pollution and lung cancer mortality: A 12-year cohort study in Northern China. *Sci Total Environ* 571:855-861.
- 8.10** Dales, R; Chen, L; Frescura, AM; Liu, L; Villeneuve, PJ. (2009). Acute effects of outdoor air pollution on forced expiratory volume in 1 s: A panel study of schoolchildren with asthma. *Eur Respir J* 34: 316-323.
- 8.11** INECC-SEMARNAT. Informe Nacional de la Calidad del Aire 2014, México. 2015.
- 8.12** INE-SERMARNAT. 2011. Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009). México, D.F. 405 pp.
- 8.13** Linares, B; Guizar, JM; Amador, N; Garcia, A; Miranda, V; Perez, JR; Chapela, R. (2010). Impact of air pollution on pulmonary function and respiratory symptoms in children. Longitudinal repeated-measures study. *BMC Pulm Med* 10: 62.
- 8.14** Lin, W; Zhu, T; Xue, T; Peng, W; Brunekreef, B; Gehring, U; Huang, W; Hu, M; Zhang, Y; Tang, X. (2015). Association between changes in exposure to air pollution and biomarkers of oxidative stress in children before and during the Beijing Olympics. *Am J Epidemiol* 181: 575-583.
- 8.15** Linn, WS; Avol, EL; Peng, RC; Shamoo, DA; Hackney, JD. (1987). Replicated dose-response study of sulfur dioxide effects in normal, atopic, and asthmatic volunteers. *Am Rev Respir Dis* 136: 1127-1134.
- 8.16** Linn, WS; Avol, EL; Shamoo, DA; Peng, RC; Spier, CE; Smith, MN; Hackney, JD. (1988). Effect of metaproterenol sulfate on mild asthmatics' response to sulfur dioxide exposure and exercise. *Arch Environ Occup Health* 43: 399-406.
- 8.17** Linn, WS; Avol, EL; Shamoo, DA; Venet, TG; Anderson, KR; Whynot, JD; Hackney, JD. (1984a). Asthmatics' responses to 6-hr sulfur dioxide exposures on two successive days. *Arch Environ Occup Health* 39: 313-319.
- 8.18** Linn, WS; Venet, TG; Shamoo, DA; Valencia, LM; Anzar, UT; Spier, CE; Hackney, JD. (1983). Respiratory effects of sulfur dioxide in heavily exercising asthmatics: a dose-response study. *Am Rev Respir Dis* 127: 278-283.
- 8.19** Linn, WS; Shamoo, DA; Venet, TG; Spier, CE; Valencia, LM; Anzar, UT; Hackney, JD. (1984). Combined effect of sulfur dioxide and cold in exercising asthmatics. *Arch Environ Occup Health* 39: 339-346.
- 8.20** Linn, WS; Shamoo, DA; Peng, RC; Clark, KW; Avol, EL; Hackney, JD. (1990). Responses to sulfur dioxide and exercise by medication-dependent asthmatics: effect of varying medication levels. *Arch Environ Occup Health* 45: 24-30.
- 8.21** Liu, L; Poon, R; Chen, L; Frescura, AM; Montuschi, P; Ciabattoni, G; Wheeler, A; Dales, R. (2009). Acute effects of air pollution on pulmonary function, airway inflammation, and oxidative stress in asthmatic children. *Environ Health Perspect* 117: 668-674.
- 8.22** Milojevic, A; Wilkinson, P; Armstrong, B; Bhaskaran, K; Smeeth, L; Hajat, S. (2014). Short-term effects of air pollution on a range of cardiovascular events in England and Wales: case-crossover analysis of the MINAP database, hospital admissions and mortality. *Heart* 100: 1093-1098.
- 8.23** Nyberg F, Gustavsson P, Jarup L, Bellander T, Berglund N, Jakobsson R, Pershagen G (2000) Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology* 11:487-495.
- 8.24** O'Connor, GT; Neas, L; Vaughn, B; Kattan, M; Mitchell, H; Crain, EF; Evans, R, III; Gruchalla, R; Morgan, W; Stout, J; Adams, GK; Lippmann, M. (2008). Acute respiratory health effects of air pollution on children with asthma in US inner cities. *J Allergy Clin Immunol* 121: 1133-1139.
- 8.25** OMS (Organización Mundial de la Salud). 2005. Guías de Calidad del Aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.
- 8.26** Peel, JL; Metzger, KB; Klein, M; Flanders, WD; Mulholland, JA; Tolbert, PE. (2007). Ambient air pollution and cardiovascular emergency department visits in potentially sensitive groups. *Am J Epidemiol* 165: 625-633.
- 8.27** Pereira, LAA; Loomis, D; Conceicao, GMS; Braga, ALF; Arcas, RM; Kishi, HS; Singer, JM; Bohm, GM; Saldiva, PHN. (1998). Association between air pollution and intrauterine mortality in Sao Paulo, Brazil. *Environ Health Perspect* 106: 325-329.

8.28 Poloniecki, JD; Atkinson, RW; Ponce de Leon, A; Anderson, HR. (1997). Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK. *Occup Environ Med* 54: 535-540.

8.29 Qin G, Meng Z (2010) Sulfur dioxide and benzo(a)pyrene modulates CYP1A and tumor-related gene expression in rat liver. *Environ Toxicol* 25:169-179.

8.30 Qin G, Wu M, Sang N (2015) Sulfur dioxide and benzo(a)pyrene trigger apoptotic and anti-apoptotic signals at different post-exposure times in mouse liver. *Chemosphere* 139:318-325.

8.31 Rivera Palacios ML, Hernández Cadena L, tesis para obtener el grado de Especialidad en Salud Pública y Medicina Preventiva. Instituto Nacional de Salud Pública. Ciudad de México, D.F. 2013.

8.32 Samoli, E; Nastos, PT; Paliatatos, AG; Katsouyanni, K; Priftis, KN. (2011). Acute effects of air pollution on pediatric asthma exacerbation: Evidence of association and effect modification. *Environ Res* 111: 418-424.

8.33 Son, JY; Lee, JT; Park, YH; Bell, ML. (2013). Short-term effects of air pollution on hospital admissions in Korea. *Epidemiology* 24: 545-554.

8.34 Strickland, MJ; Darrow, LA; Klein, M; Flanders, WD; Sarnat, JA; Waller, LA; Sarnat, SE; Mulholland, JA; Tolbert, PE. (2010). Short-term associations between ambient air pollutants and pediatric asthma emergency department visits. *Am J Respir Crit Care Med* 182: 307-316.

8.35 Vineis P, Hoek G, Krzyzanowski M, Vigna-Taglianti F, Veglia F, Airoidi L *et al.* (2006) Air pollution and risk of lung cancer in a prospective study in Europe. *Int J Cancer* 119:169-174.

8.36 Unión Europea (UE). 2014. Air Quality Standards. <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

8.37 USEPA 40 CFR 50.17 - National primary ambient air quality standards for sulfur oxides (sulfur dioxide).

8.38 USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2015). Table 5S-1. Summary of epidemiologic studies of SO₂ exposure and other morbidity effects (i.e., eye irritation, effects on the nervous and gastrointestinal systems).

8.39 USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2014). National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>.

8.40 World Health Organization – Regional Office for Europe. (2016). WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs). Meeting report. Bonn, Germany, 29 September-1 October 2015. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0013/301720/Evidence-future-update-AQGs-mtg-report-Bonn-sept-oct-15.pdf

8.41 Yang WS, Zhao H, Wang X, Deng Q, Fan WY, Wang L (2016) An evidence-based assessment for the association between long-term exposure to outdoor air pollution and the risk of lung cancer. *Eur J Cancer Prev* 25:163-172.

8.42 Yun Y, Gao R, Yue H, Li G, Zhu N, Sang N (2015) Synergistic effects of particulate matter (PM₁₀) and SO₂ on human non-small cell lung cancer A549 via ROS-mediated NF-κB activation. *J Environ Sci* 31:146-153.

9. Observancia de la Norma

9.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma compete a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas, en sus respectivos ámbitos de competencia.

10. Vigencia

10.1 La presente Norma entrará en vigor a los 180 días naturales siguientes al de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

TRANSITORIO

ÚNICO.- La entrada en vigor de la presente Norma deja sin efectos a la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al

dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de septiembre de 2010.

Ciudad de México, a 19 de febrero de 2018.- El Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, **Julio Salvador Sánchez y Tépoz**.- Rúbrica.

11. APÉNDICE A NORMATIVO Manejo de datos

A.1. En este Apéndice se explica la forma en que deben ser manejados los datos, así como los cálculos necesarios para determinar el cumplimiento de los valores límites de SO₂ para 1 hora y 24 horas, de esta Norma.

A.1.1 Redondeo. En cada sitio de monitoreo, las concentraciones horarias se reportarán en ppm, con 3 cifras decimales significativas. Si se cuenta con valores de 4 o más cifras decimales, el valor será redondeado de la siguiente manera: si el cuarto decimal es un número entre 5 y 9, el valor de tercer decimal se incrementará al inmediato superior; si es valor del cuarto decimal es 4 o menor el valor del tercer decimal no se incrementa.

A.1.2 Compleción de datos. Cantidad necesaria de datos para determinar el cumplimiento del límite de 1 hora y 24 horas.

A.1.2.1 Valor límite de 1 hora.

A.1.2.1.1 El promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales se considera válido si se cumplen los siguientes criterios de completión de datos:

A.1.2.1.1.1 En los 3 años los datos estén completos.

A.1.2.1.1.2 Un año tiene datos completos cuando los 4 trimestres de un año reporten datos completos.

A.1.2.1.1.3 Un trimestre está completo cuando en al menos el 75% de los días del trimestres se reporta el máximo diario (Ver tabla A.1, de esta Norma)

A.1.2.1.1.4 Un máximo diario se calcula si se cuenta con al menos el 75% de las concentraciones horarias del día (18 registros). Se consideran en el conteo para la completión de datos del día las concentraciones reportadas por los responsables de los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire abanderadas como eventos excepcionales; sin embargo, dichas concentraciones no se consideran en el cálculo de los percentiles anuales.

Tabla A.1. Trimestres y número mínimo de días que cumplen con los criterios de completión de datos

Trimestre	Meses	Número de máximos diarios o promedios de 24 horas necesarios en un año no bisiesto (días)	Número de máximos diarios o promedios de 24 horas necesarios en un año bisiesto (días)
1	enero, febrero, marzo	67	68
2	abril, mayo, junio	68	68
3	julio, agosto, septiembre	69	69
4	octubre, noviembre, diciembre	69	69

A.1.2.1.2. En el caso de que 1, 2 o 3 años no cumplan los criterios de compleción del numeral anterior, y que por lo tanto, no serían utilizables para el cálculo del promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales, podrán ser usados para estimar de forma válida dicho promedio si una de las siguientes condiciones se cumple:

A.1.2.1.2.1 Al menos el 75% de los días de cada trimestre de cada uno de los 3 años consecutivos tienen al menos un valor horario reportado y el promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales calculado como se indica en el punto A.1.3.1, de esta Norma está por encima de 0.075 ppm.

A.1.2.1.2.2 Un promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales calculado como se indica en el punto A.1.3.1, de esta Norma que es menor o igual a 0.075 ppm se puede considerar válido si al realizar la prueba de sustitución A, señalada en el punto A.1.2.1.2.2.1, de esta Norma, resulta que el promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales es menor a 0.075 ppm. Cabe precisar que la prueba de sustitución es de naturaleza diagnóstica y el objetivo de llevarla a cabo es comprobar que hay una alta probabilidad de que el valor límite de 1 hora se cumple.

A.1.2.1.2.2.1 Prueba de sustitución A

A.1.2.1.2.2.1.1 Condiciones

A.1.2.1.2.2.1.1.1 La sustitución de datos se realizará en todos los trimestres que tengan menos del 75% de datos reportados pero al menos un 50% de ellos, incluyendo datos abanderados por eventos excepcionales aprobados para su exclusión. Si cualquier trimestre tiene menos de 50% de datos reportados, entonces esta prueba de sustitución de datos no puede ser utilizada.

A.1.2.1.2.2.1.1.2 Hay por lo menos 200 días a través de los 3 trimestres de los 3 años considerados para los cuales el 75% de las horas en el día han reportado datos. Sin embargo, los valores máximos de 1 hora de días con menos del 75% de las horas reportadas también se tendrán en cuenta al identificar el valor que se utilizará para la sustitución.

A.1.2.1.2.2.1.2 Procedimiento:

A.1.2.1.2.2.1.2.1 Identificar para cada trimestre (por ejemplo, enero-marzo) el valor diario validado de 1 hora más alto reportado para ese trimestre, en los 3 años bajo consideración. Se deberán considerar los máximos diarios de 1 hora de todos los días del trimestre incluyendo los de los días con menos de 75% de datos reportados.

A.1.2.1.2.2.1.2.2 Sustituir el máximo horario más alto de 1 hora observado en el trimestre evaluado por todos los datos faltantes en el trimestre correspondiente. Si después de la sustitución el promedio aritmético de los percentiles 99 anuales recalculado con estos datos para el periodo de 3 años es menor o igual a 0.075 ppm, se considera que ha superado la prueba de diagnóstico y es válido dicho promedio y por tanto el valor límite de 1 hora se cumple en ese periodo de 3 años. En tal caso, se utilizará como válido el promedio aritmético de los percentiles 99 anuales que se obtiene del análisis de los datos realmente reportados, no el que resulta de la prueba de sustitución.

A.1.2.1.2.2.1.2.3 Un promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales calculado como se indica en el punto A.1.3.1, de esta Norma que es mayor a 0.075 ppm se puede considerar válido si al realizar la prueba de sustitución B, señalada en el punto A.1.2.1.2.2.2, de este Apéndice, resulta que el promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales es mayor a 0.075 ppm. Cabe precisar que la prueba de sustitución es de naturaleza diagnóstica y el objetivo de llevarla a cabo es comprobar que hay una alta probabilidad de que el límite de 1 hora no se cumple.

A.1.2.1.2.2.2 Prueba de Sustitución B

A.1.2.1.2.2.2.1 Condiciones:

A.1.2.1.2.2.2.1.1 La sustitución de datos se realizará en todos los periodos de un trimestre que tengan menos de 75% de datos.

A.1.2.1.2.2.2.1.2 La sustitución sólo está permitida si hay un mínimo de 200 días a lo largo de los 3 trimestres correspondientes de los 3 años bajo consideración para los cuales el 75% de las horas en el día han reportado datos. Sólo días con al menos el 75% de las horas reportadas se considerarán en la identificación del valor que se utilizará para la sustitución.

A.1.2.1.2.2.2.2 Procedimiento:

A.1.2.1.2.2.2.2.1 Identificar para cada trimestre (por ejemplo, enero-marzo) el máximo diario más bajo reportado para ese trimestre de los 3 años bajo consideración. Todos los valores diarios máximos de todos los días con al menos el 75% de datos en el trimestre se considerarán al identificar este valor.

A.1.2.1.2.2.2.2.2 Sustituir el máximo diario más bajo observado en el trimestre evaluado por los datos faltantes en el trimestre correspondiente en los 3 años.

A.1.2.1.2.2.2.2.3 Si después de sustituir el valor máximo horario más bajo por los valores faltantes en el trimestre o trimestres que sean necesarios hasta completar el 75% de datos. Si después de la sustitución el promedio aritmético de los percentiles 99 anuales recalculado con estos datos para el período de 3 años es mayor a 0.075 ppm, se considera que ha superado la prueba de diagnóstico y el valor es válido y por tanto el límite de 1 hora no se cumple en ese período de 3 años. En tal caso, se utilizará como válido el promedio aritmético de los percentiles 99 anuales que se obtiene del análisis de los datos realmente reportados, no el que resulta de la prueba de sustitución.

A.1.2.1.2.2.2.2.4 Un promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales calculado como se indica en el punto A.1.3.1, de esta Norma obtenido de datos que no cumplen con los criterios establecidos en el punto A.1.2.1.1, de esta Norma y tampoco cumplen con los supuestos A.1.2.1.2.2.2.1, A.1.2.1.2.2.2.2.1 y A.1.2.1.2.2.2.2.3 antes listados, puede considerarse válido por las autoridades en sus diferentes órdenes de gobierno que tengan a su cargo la vigilancia y evaluación de la calidad del aire, quienes considerarán en su decisión factores tales como: aseguramiento y control de calidad de los datos, reubicación o cese de las operaciones de los sitios de monitoreo, consistencia y niveles de concentración de las mediciones válidas disponibles, niveles de las concentraciones de sitios de monitoreo cercanos para determinar si se usan tales datos.

A.1.2.2 Valor límite de 24 horas.

A.1.2.2.1. El máximo de 3 años consecutivos, obtenido de los promedios de 24 horas se considera válido si se cumplen los siguientes criterios de completación de datos.

A.1.2.2.1.1 a) En los 3 años los datos estén completos o b) en 2 de los 3 años los datos estén completos y el máximo de los promedios de 24 horas es menor que 0.03 ppm, sin considerar registros de datos que fueron afectados por eventos poco frecuentes o excepcionales o c) en uno de los tres años los datos estén completos y el máximo de los promedios de 24 horas es menor que 0.02 ppm, sin considerar registros de datos que fueron afectados por eventos poco frecuentes o excepcionales.

A.1.2.2.1.2 Un año tiene datos completos cuando los 4 trimestres de un año reporten datos completos o bien los meses en los que de acuerdo a los análisis de los datos se presentan las concentraciones más altas estén completos. Se debe de realizar una evaluación detallada en la que se determinen esos meses.

A.1.2.2.1.3 Un trimestre está completo cuando en al menos el 75% de los días del trimestre se reporta el promedio de 24 horas (Ver tabla A.1, de esta Norma).

A.1.2.2.1.4 Un mes está completo cuando en al menos el 75% de los días del mes (23 días) se reporta el promedio de 24 horas.

A.1.2.2.1.5 Para el cálculo de cada promedio de 24 horas se requiere un mínimo del 75% de las concentraciones horarias válidas del día (18 registros). Los promedios de 24 horas se deben redondear de acuerdo al numeral A.1.1, de esta Norma.

A.1.3 Cálculo del promedio aritmético de los percentiles 99 de tres años consecutivos y del máximo de los promedios de 24 horas de tres años consecutivos.

A.1.3.1 Cálculo del promedio aritmético de los percentiles 99 de tres años consecutivos

A.1.3.1.1 Cálculo del percentil 99 anual

Cuando en un sitio de monitoreo se cumplen con los requisitos de completación especificados en los puntos A.1.2.1.1 y A.1.2.1.2, de esta Norma, el valor del percentil 99 de cada año se calcula como se indica a continuación:

A.1.3.1.1.1 Se ordenan todos los máximos diarios obtenidos durante un año en una serie descendente ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), en donde X_1 es el valor más grande y X_n es el valor más bajo, (n) es el número de máximos diarios o de los promedios de 24 horas válidos en el año.

A.1.3.1.1.2 El Percentil 99 ($P_{0.99}$), se determina de la serie ordenada de acuerdo a la Tabla A.2, de esta Norma.

Tabla A.2. Determinación del rango de la serie descendente que corresponde al lugar de la concentración del Percentil 99

Número de máximos diarios válidos en un año (n) (días)	Lugar i de los máximos diarios ordenados de manera descendente que corresponde al lugar (rango) de la concentración del percentil 99 (X_i)
1 a 100	$X_i=1$
101 a 200	$X_i=2$
201 a 300	$X_i=3$
301 a 366	$X_i=4$

Se selecciona la fila que corresponda al número "n" de máximos diarios válidos en un año de acuerdo a la primera columna y se le asocia el lugar i (1, 2, 3 y 4, de la Tabla A.2, de esta Norma) de la misma fila que corresponde a la segunda columna, lo que determina el lugar que le corresponde al valor del percentil 99 en la serie ordenada de manera descendente.

Por ejemplo, si $n = 358$ el lugar i que le corresponde al valor del percentil 99 es 4, es decir, el Percentil 99 es el valor que toma la concentración que se encuentra en el lugar X_4 de los máximos diarios ordenados de manera descendente.

A.1.3.1.2 Cálculo del promedio aritmético de los percentiles 99 de tres años consecutivos.

Cuando en un sitio de monitoreo se cumplen con los requisitos de completación especificados en los puntos A.1.2.1.1 y A.1.2.1.2, de esta Norma, el promedio aritmético de los percentiles 99 de 3 años consecutivos se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\overline{P_{0.99}} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 P_{0.99,i}$$

Donde:

$\overline{P_{0.99}}$ = promedio aritmético de los percentiles 99 de 3 años consecutivos.

$P_{0.99,i}$ = percentil 99 del año i .

$i = 1, 2, 3$

El promedio aritmético de los percentiles 99 se debe reportar aplicando la regla de redondeo definida en el punto A.1.1, de esta Norma.

A.1.3.2 Cálculo del máximo de los promedios de 24 horas de tres años consecutivos

Cuando en un sitio de monitoreo se cumplen con los requisitos de completación especificados en el punto A.1.2.2.1, de esta Norma, el valor del máximo de los promedios de 24 horas de 3 años consecutivos se calcula como se indica a continuación:

A.1.3.2.1 Se ordenan todos los promedios de 24 horas obtenidos durante los 3 años en consideración (por ejemplo 2013, 2014 y 2015) de menor a mayor concentración.

A.1.3.2.2 Se selecciona la concentración máxima de los 3 años.

La concentración máxima de los 3 años se debe reportar aplicando la regla de redondeo definida en el punto A.1.1, de esta Norma, pero con 2 cifras significativas.

A.2 Determinación del cumplimiento de la Norma de SO₂ en un año calendario.

Un sitio de monitoreo cumple con lo establecido en esta Norma para SO₂ si cumple con los valores límites de 1 hora y de 24 horas.

A.2.1. Un sitio de monitoreo cumple con el valor límite de 1 hora cuando el promedio aritmético de los percentiles 99 de los máximos diarios de 3 años consecutivos sea menor o igual a 0.075 ppm.

A.2.2. Un sitio de monitoreo cumple con el valor límite de 24 horas cuando el valor máximo de los promedios de 24 horas de 3 años consecutivos sea menor a 0.04 ppm.
