



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO

CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA

Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica
y Control de Enfermedades

Año 2* Núm. 3

Boletín Mensual * Digital



Marzo de 2024

Boletín Mensual

Contaminantes Derivados de la Pirotecnia



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO

SALUD
SECRETARÍA DE SALUD

CRÉDITOS

Delfina Gómez Álvarez

Gobernadora del Estado de México

Macarena Montoya Olvera

Secretaria de Salud

Colaboradores CEVECE

Víctor Manuel Torres Meza

Ma. de Jesús Mendoza Sánchez

Ignacio Miranda Guzmán

Luis Anaya López

Mauricio R. Hinojosa Rodríguez

Víctor Flores Silva

Silvia Cruz Contreras

Subdirección de Epidemiología

Luis Estaban Hoyo García de Alba

Diseño

Ana Laura Toledo Avalos

Contaminantes Criterio de Importancia en el Valle de Toluca

Especificaciones de los Contaminantes Criterio				
Contaminante	Concentración Promedio	Valor límite	Unidades	Norma Oficial Mexicana
PM10	24 hrs.	70	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	NOM-025-SSA1-2021
PM2.5	24 hrs.	41	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	NOM-025-SSA1-2021
O3	1 hr.	0.090	ppm	NOM-020-SSA1-2021
NO2	1 hr.	0.106	ppm	NOM-023-SSA1-2021
CO	8 hrs. móvil	9.0	ppm	NOM-021-SSA1-2021
SO2	24 hrs.	0.110	ppm	NOM-022-SSA1-2010

De acuerdo con las Especificaciones de los Contaminantes Criterio, que se resumen en el cuadro anterior, podemos decir lo siguiente:

Las **partículas PM10** se miden cada hora y se realiza un promedio a las 24 horas; el valor límite para este año 2024 es de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población; el riesgo para la salud se refiere a la exacerbación de casos de asma, principalmente en niños. De acuerdo con el estudio sobre la carga global de enfermedades atribuibles a la contaminación atmosférica, de la Organización Mundial de Salud (OMS), la exposición a partículas finas en el aire ambiente representa el quinto factor de riesgo de muertes prematuras en la población a nivel mundial. En México, las estimaciones corresponden a cerca de 29,000 muertes y casi 558,000 años de vida ajustados por discapacidad atribuibles a la mala calidad del aire.

Para el caso de PM2.5, este contaminante se mide cada hora y se realiza un promedio a las 24 horas; el valor límite para este año 2024 es de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de acuerdo con la NOM-025-SSA1-2021; el riesgo para la salud se centra en la exacerbación de casos de asma, principalmente en niños. Existe evidencia científica que apoya una relación causal entre la exposición a PM2.5 en el aire ambiente e incremento en la prevalencia de cardiopatías isquémicas, enfermedades cerebrovasculares e incremento en infecciones de las vías respiratorias inferiores y enfermedades pulmonares obstructivas crónicas. En los estudios con población infantil, se han evidenciado efectos como el incremento en la prevalencia del asma, bajo peso al nacer, parto prematuro y trastornos neurológicos o cognitivos.

En cuanto al ozono (O3), este contaminante se mide cada hora; el valor límite es de 0.090 ppm de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O3). Valores normados para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población; el riesgo para la salud se refiere a exacerbaciones respiratorias en población general y disminución en la función pulmonar aunado a un mayor uso de medicamentos en niños asmáticos.

El dióxido de nitrógeno (NO2), se mide cada hora; el valor límite es de 0.106 ppm de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO2). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO2) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población; el riesgo para la salud se refiere a la exacerbación de casos de asma principalmente en niños. Este contaminante se deriva de los procesos de combustión, siendo ésta la fuente principal de su vertimiento a la atmósfera.

El monóxido de carbono (CO), se mide por 8 hrs. móvil; el valor límite es de 9.0 ppm de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población; el riesgo para la salud se observa en la exacerbación de casos de asma principalmente en niños. Este contaminante se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono, consecuentemente pueden verterlo al aire los vehículos automotores y la industria, aunque en menor escala; algunos procesos naturales son capaces de emitirlo, tales como los incendios forestales o de los procesos naturales que se llevan a cabo en los océanos.

Dióxido de azufre (SO2), de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019, 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, para este contaminante se establecen dos valores límite para las concentraciones ambientales a efecto de proteger la salud de la población más susceptible: valor límite de 1 hora: 0.075 ppm ($196.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) como promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales obtenidos de los máximos diarios; y valor límite de 24 horas: 0.04 ppm ($104.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) como el máximo de 3 años consecutivos, obtenidos de los promedios de 24 horas. Por lo que es responsable en buena medida de las «lluvias ácidas» y de la contaminación del aire que afectan a las zonas urbanas e industriales. Recientemente, se han reconocido a las emisiones de SO2 por su contribución a la formación de aerosoles inorgánicos secundarios, partículas finas que son perjudiciales para la salud humana.

Comportamiento de los contaminantes en el mes de febrero

Contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca Máximo diario Febrero 2024

FECHA	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2
01/02/2024	99	47	0.067	0.054	1.81	0.005
02/02/2024	86	52	0.065	0.053	1.83	0.004
03/02/2024	67	34	0.066	0.039	1.30	0.006
04/02/2024	79	33	0.073	0.044	1.22	0.005
05/02/2024	101	44	0.071	0.059	1.30	0.006
06/02/2024	107	45	0.089	0.093	1.84	0.006
07/02/2024	153	69	0.118	0.097	1.90	0.005
08/02/2024	140	66	0.095	0.084	1.85	0.005
09/02/2024	131	59	0.086	0.061	1.65	0.006
10/02/2024	123	52	0.068	0.057	1.52	0.004
11/02/2024	103	41	0.060	0.039	1.09	0.005
12/02/2024	87	33	0.052	0.048	1.39	0.005
13/02/2024	86	34	0.066	0.067	1.56	0.005
14/02/2024	105	52	0.059	0.057	1.56	0.005
15/02/2024	101	50	0.057	0.047	1.35	0.009
16/02/2024	102	64	0.053	0.060	1.39	0.009
17/02/2024	98	58	0.048	0.036	1.23	0.004
18/02/2024	61	36	0.069	0.050	1.33	0.003
19/02/2024	80	41	0.109	0.067	1.48	0.004
20/02/2024	125	64	0.100	0.093	1.73	0.005
21/02/2024	127	63	0.112	0.111	1.78	0.005
22/02/2024	130	58	0.095	0.097	1.71	0.005
23/02/2024	141	65	0.126	0.097	1.85	0.006
24/02/2024	141	66	0.128	0.081	1.59	0.005
25/02/2024	135	64	0.098	0.062	1.55	0.006
26/02/2024	99	50	0.093	0.080	1.76	0.007
27/02/2024	133	55	0.117	0.080	1.75	0.007
28/02/2024	118	49	0.131	0.075	1.14	0.006
29/02/2024	120	52	0.100	0.060	0.92	0.008

Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT Febrero 2024

Con base en las Especificaciones de los Contaminantes Criterio, el comportamiento en el mes de Febrero de 2024 fue el siguiente: en partículas PM10 hubo 29 días (100%) fuera de la NOM-025-SSA1-2021, en el caso de partículas PM2.5 se registraron 27 días (93.10%) fuera de la NOM-025-SSA1-2021, la concentración de estos días tiene repercusiones en la salud de la población.

En el mes de febrero, los valores de ozono (O3) registraron 16 días en que la calidad no sobrepasó los valores límites de la NOM-020-SSA1-2021 (55.17%).

El bióxido de nitrógeno (NO2) sobrepasó los límites de la NOM-023-SSA1-2021 1 solo un día, (3.44%), el resto de días (28) se registraron dentro de la NOM-023-SSA1-2021; el monóxido de carbono (CO) no sobrepasó los límites de la NOM-021-SSA1- 2021 y registró 29 días dentro de los límites (100%), al igual que el dióxido de azufre (SO2) no sobre pasó los límites de la NOM-022-SSA1-2010 y hubo 29 días dentro de la NOM (100%).

El valor máximo en PM10 fue de 153 y se registró el 7 de febrero, en PM2.5 fue de 69 el mismo día. En cuanto a los valores mínimos, para partículas PM10 fue de 61 el día 18 de febrero y para partículas PM2.5 fue de 33 los días 4 y 12 de Febrero de 2024, días en que no se sobrepasaron los límites de la NOM-025-SSA1-2021.

Descripción del Contaminante Criterio: Contaminantes derivados de la pirotecnia

En diversas partes del mundo, la pirotecnia es ampliamente usada durante celebraciones religiosas, culturales, deportivas, nacionales y familiares, suele ser una actividad lúdica y de espectáculo, pero ha generado preocupación por la emisión de contaminantes que no solo dañan la calidad del aire, sino que pueden provocar efectos tóxicos en los espectadores y en los ecosistemas. Se ha estudiado que la quema masiva de pirotecnia genera un aumento en el nivel de material particulado (PM 2.5 y PM 10) en el aire, cuya composición incluye metales como Na, K, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr, Sb, Pb, Cs, Ba, Ti, V y Cu; además se generan gases de efecto invernadero como ozono (O₃), dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂). En los cuerpos de agua y suelos cercanos a sitios de quema o de producción, se ha estudiado que se genera un incremento de perclorato (ClO₄), que es un importante componente en la formulación de pirotecnia y está asociado a problemas de salud en tiroides. En México, particularmente en el Estado de México, es una importante actividad comercial, ya que ahí se produce alrededor del 50% de la pirotecnia comercializada en el país. En la Zona Metropolitana del Valle de México y durante las primeras horas del inicio de año se han registrado concentraciones de hasta $478 \pm 150 \mu\text{g m}^{-3}$ de PM 10 atribuido principalmente a la quema masiva de pirotecnia.

Composición de los fuegos artificiales: los fuegos artificiales son una mezcla de productos químicos que mediante reacciones de óxido-reducción producen efectos finales visuales, térmicos, auditivos o mecánicos, como son: humo, sonido, movimiento, ruido y color. Los componentes básicos de cualquier dispositivo pirotécnico son el agente oxidante y el agente reductor o combustible, opcionalmente pueden contener aglutinantes, propelentes, agentes colorantes y agentes productores de humo o ruido.

Los agentes oxidantes son sólidos iónicos ricos en oxígeno que se descomponen a temperaturas moderadamente altas, liberando oxígeno. En la pirotecnia, las especies químicas utilizadas incluyen una variedad de iones negativos (aniones) que contienen enlaces de alta energía como Cl-O o N-O. Los agentes oxidantes más comúnmente utilizados en pirotecnia son nitrato de potasio (KNO₃), nitrato de amonio (NH₄NO₃), nitrato de sodio (NaNO₃), clorato de potasio (KClO₃), perclorato de potasio (KClO₄), perclorato de amonio (NH₄ClO₄), nitrato de bario (Ba(NO₃)₂) y nitrato de estroncio (Sr(NO₃)₂). Con menor frecuencia, se utilizan compuestos orgánicos tales como nitrato de guanidinio (CH₅N₃HNO₃) y nitrato de nitroguanidino (CH₄N₄O₂HNO₃). En otros casos se utiliza el perclorato de nitronio (NO₂ClO₄), cromato de bario (BaCrO₄), cromato de calcio (CaCrO₄), cromato de plomo (PbCrO₄), dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) y peróxidos alcalinotérreos (SrO₂, BaO₂). Pocas veces se utilizan mezclas que contienen tetraóxido de trihierro (Fe₃O₄) o nitrato de plomo (II) (Pb(NO₃)₂).

Además de un oxidante, las mezclas pirotécnicas también contienen un combustible o donador de electrones que reacciona con el oxígeno producido por el oxidante, y como consecuencia, produce un compuesto oxidado además de calor. Este calor permitirá que el químico de alta energía pueda producir diferentes efectos como color, movimiento, luz, humo o ruido, por lo que la elección del combustible dependerá del efecto deseado. Los combustibles deben presentar estabilidad al aire y a la humedad, y se pueden dividir en tres categorías: metales, no metálicos y compuestos orgánicos. Los combustibles metálicos más utilizados son el Al y el Mg. En aplicaciones militares se utilizan el Ti, Zr y W. Los metales alcalinos y alcalinotérreos (tales como Na, K, Ba y Ca) son excelentes combustibles de alta energía, a excepción del magnesio, que es demasiado reactivo con la humedad y el oxígeno atmosférico. También, varios elementos no metálicos fácilmente oxidados tienen un amplio uso en el campo de la pirotecnia, que incluyen al C, S, B, Si y P. Asimismo, en la pirotecnia se utiliza una gran variedad de combustibles orgánicos, que además de generar calor, generan una presión significativa de gas a través de la producción de CO₂ y vapor de agua en la zona de reacción. De la familia de los carbohidratos se utilizan la glucosa (C₆H₁₂O₆), sacarosa (C₁₂H₂₂O₁₁), lactosa (C₁₂H₂₂O₁₁) y almidón ((C₆H₁₀O₅)_n). Las dextrinas obtenidas de la hidrólisis del almidón son utilizadas ampliamente en la pirotecnia como combustible y aglutinante.

Otros materiales de origen orgánico utilizados en pirotecnia incluyen a la nitrocelulosa, alcohol de polivinilo, ácido esteárico, hexametenetetramina, queroseno, resinas epoxi y resinas de poliéster insaturadas. Los aglutinantes son constituyentes importantes de la pirotecnia, que proporcionan estabilidad mecánica, y debido a que cohesionan los componentes, provocan un aumento a la resistencia al agua de los dispositivos pirotécnicos. Existen aglutinantes no energéticos que actúan como retardantes y disminuyen la velocidad de reacción, como son: dextrinas, alcohol de polivinilo, goma árabe, resinas de acetato de vinilo, alcohol polimetacrilato de metilo, y algunos aglutinantes epoxi. Los aglutinantes energéticos tales como azida de glicidilo polímero glicidil azida (GAP) y la nitrocelulosa, contribuyen a la energía para la reacción. Desafortunadamente, tales aglutinantes energéticos por lo general contienen grupos funcionales reactivos (principalmente grupos azido, nitrato, nitro, hidroxilo), que pueden conducir a reacciones no deseadas con el material energético.

Los propelentes en la pirotecnia tienen la función de producir altas temperaturas y presión en una cámara cerrada, con la finalidad de acelerar los productos pirotécnicos por medio de la fuerza de propulsión resultante. Se utilizan nitratos de celulosa, difenil amina, ftalato de dibutilo, dibutil sebacato, alcanfor y la mezcla de isómero 2,4-dinitrotolueno y 2,6-dinitrotolueno. También se ha reportado que para su fabricación se utiliza arsénico, mercurio, plomo, hexaclorobenceno y policloruro de vinilo.

Descripción del Contaminante Criterio: Contaminantes derivados de la pirotecnia

Los agentes colorantes son normalmente sales de metales, en general se utiliza Ba²⁺ para el color verde, Sr²⁺ para el color rojo, Cu⁺ o Cu²⁺ para el azul y Na⁺ para el amarillo. La presencia de metales en los fuegos artificiales genera bastante preocupación ya que son emitidos en una cantidad significativa al medio ambiente.

El uso de fuegos artificiales se localiza en países como China, India, España, Alemania, Italia, EUA, México entre muchos otros, donde su uso en celebraciones es muy común, pero pueden ocasionar un efecto negativo en la calidad del aire. Diversos estudios indican que durante la exhibición de fuegos artificiales existe un aumento significativo de tragas de metales en el aire y en algunas ocasiones también se producen contaminantes altamente tóxicos como dioxinas y furanos policlorados. La identificación y cuantificación de metales presentes en el material particulado se lleva a cabo principalmente por espectroscopia de emisión atómica por plasma acoplado por inducción (ICP-AES) para cationes y espectroscopia de masas por plasma acoplado por inducción (ICP-MS) para tragas de metales, esta última tiene un límite de detección de hasta 0.5 ng/m³ y es la principal técnica reportada en estudios de monitoreo de emisión de metales por pirotecnia. Otra técnica es la fluorescencia de rayos X por energía dispersiva, que tiene límites de detección de 2-35 ng/m³ dependiendo del tipo de metal. También se ha utilizado la emisión de rayos X inducida por partículas cuyo límite de detección es de 1-10 ng/m³ dependiendo del tipo de metal.

Es necesario el uso de este tipo de técnicas con límites de detección lo suficientemente bajos como para detectar concentraciones mínimas de metales presentes en el ambiente. Es importante resaltar que la composición y concentración de metales en las emisiones varía dependiendo del tipo de pirotecnia que se use, así como la magnitud del evento. En diversas festividades alrededor del mundo, el principal metal presente en dichas emisiones es el K, debido a su presencia en muchas sales usadas para la preparación de las mezclas; le siguen en concentración S, Al, Ba, Mg, Ca, Na, Si, Fe, Sr, Cu, P, Co, Ti, Pb, Zn, Mn, Cr, V, As y Ni. Para la US Environmental Protection Agency (EPA) el Pb, Mn, As, Cr, Co y Ni se encuentran dentro de la lista de los 187 compuestos más tóxicos presentes en el aire debido a que pueden ocasionar cáncer y otros riesgos a la salud como daños a los sistemas inmune, neurológico, reproductivo y respiratorio, entre otros riesgos.

En Estados Unidos, el uso de Pb en fuegos artificiales está prohibido además de que es el único metal sujeto a regulación; sin embargo, la pirotecnia importada de China contiene cantidades importantes que muchas veces no son reguladas durante la formulación de pirotecnia, se ha detectado Pb en muchas de las festividades alrededor del mundo.

En Malta en 2010, el uso de pirotecnia en los festivales religiosos durante todo el verano, contribuyó a un efecto negativo significativo en la calidad del aire por la presencia de Al, Ba, Cu, Sr y Sb en polvo. La presencia en polvo de niveles elevados de Ba y especialmente de Sb, como posible carcinógeno para humanos, es motivo de preocupación para la salud de la población en este país.

Las “mascletas” son típicas de festivales en el Este de España y son eventos pirotécnicos de alta intensidad donde miles de petardos se queman en un episodio que rápidamente genera nubes pesadas de aerosol de corta duración. El Sr y Ba generan aumento en su concentración de ~10,000 veces más con respecto a los niveles normales. En un muestreo para las partículas de polvo en el aire durante las celebraciones de Fin de Año en Viena, reportaron valores elevados para los elementos Na, Mg, Al, Si, S, K, Cu, Br, Rb, Sr, Sb, Te y Ba, todos asociados con el uso de pirotecnia. Pero también encontraron concentraciones elevadas de As en el polvo fino producido por fuegos pirotécnicos, por lo que suponen el uso ilícito intencional de este metal en pirotecnia como agente colorante para la producción de luz azul.

Además de los metales, existe un incremento en la concentración de partículas suspendidas en el aire (PM 10 y PM 2.5), y emisión de NO₂, NO, O₃, CO y SO₂. La cuantificación de PM 10 y PM 2.5 se lleva a cabo principalmente con colectores o monitores automáticos de partículas que pueden manejar caudales de aire de 20-80 m³/h por medio de bombas de vacío que introducen el aire al interior del equipo. Otro tipo de colectores más portátiles son los llamados de “corredor” (Streaker) que también utilizan bombas de vacío para hacer pasar aire en su interior a través de filtros. En la actualidad existe una gran variedad de estos equipos en el mercado y su principio de funcionamiento radica principalmente en la utilización de filtros de cuarzo, de politetrafluoroetileno (PTFE) o de fibra de vidrio para separar las partículas suspendidas en el aire y llevar a cabo su cuantificación.

Se ha demostrado que la quema de pirotecnia genera condiciones para la formación de ozono a nivel de suelo: cuando los metales de la mezcla pirotécnica son calentados a altas temperaturas se libera radiación UV que incide directamente en el oxígeno, generando ozono; otras reacciones de generación de ozono se dan con NO y NO₂ que también son generados durante la quema de pirotecnia.

Casos Nuevos de Enfermedades asociadas a la Calidad del Aire

Daños a la salud	No. de Casos en el mes de Febrero 2024
Asma	213
Conjuntivitis	1,044
Infección respiratoria aguda (IRA)	31,794
Otitis media aguda	117
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)	50*
Enfermedad cerebrovascular	66
Enfermedad isquémica del corazón	59

* Fuente: Dirección General de Epidemiología. SUAVE Canal Endémico. Consultado el 12 de margo del 2024. Disponible en https://www.sinave.gob.mx/SUAVE/DirApp/Reportes/Canal_Endemico.aspx

Daños a la Salud

En el Valle de Toluca durante el mes de febrero del año 2024, se estima que la contaminación del aire ocasionó los siguientes daños a la salud:

- Se exacerbaron los síntomas del asma y de la conjuntivitis en 213 y 1,044 personas, respectivamente.
- El tres por ciento de las personas que padecieron una IRA, en esta ocasión 954 personas, se puede atribuir a la contaminación del aire.
- Durante el mes de febrero del 2024, 117 personas padecieron de otitis media aguda, por su probable exposición a altos niveles de contaminación del aire.
- En el mes de febrero del 2024 se identificaron 50* personas con EPOC, un porcentaje de ellas podrían estar relacionadas al humo del tabaco y otro más a la contaminación ambiental.
- Considerando el estimador del 25% de las muertes por la OMS para la Enfermedad Cerebrovascular, podríamos decir que 17 personas afectadas por esta enfermedad se dañaron por su exposición a la contaminación del aire.
- Considerando el estimador del 25% de las muertes por la OMS para la Enfermedad Isquémica del Corazón podríamos, decir que 15 personas afectadas por esta enfermedad se dañaron por su exposición a la contaminación del aire.

* Fuente: Dirección General de Epidemiología. SUAVE Canal Endémico. Consultado el 12 de margo del 2024. Disponible en https://www.sinave.gob.mx/SUAVE/DirApp/Reportes/Canal_Endemico.aspx

Normatividad Ambiental

Normatividad Ambiental para Contaminantes Derivados de la Pirotecnia (Perclorato de Potasio y Clorato de Potasio)

La norma oficial mexicana NOM-009-SCT2/2009, Especificaciones especiales y de compatibilidad para el almacenamiento y transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 explosivos, define a los Artificios de Pirotecnia, como los objetos pirotécnicos destinados al recreo; y así mismo a los Explosivos, como el producto terminado, derivado de una mezcla o procesamiento de sustancias químicas que al ser excitadas, reacciona súbita y violentamente, generando gran cantidad de gases y ocasionando el incremento de la presión y temperatura del medio circundante. De ello, se desprenden que México, como parte integrante del Mecanismo de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), voluntariamente decidió reflejar en su normativa nacional, lo relativo al Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Químicos (GHS por sus siglas en inglés), con la finalidad de preservar la seguridad, la salud y el ambiente, en el manejo de los productos químicos, en los países miembros de APEC además de facilitar el comercio internacional de estos productos y reducir los costos de importación y exportación de los mismos.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de Norteamérica, señala que la ingeniería química pirotécnica busca maximizar el rendimiento de los productos químicos empleados, para adaptar los efectos de reacción cuantificables, incluidos temperatura, pureza del color, luminosidad, velocidad de combustión o dispersión del humo, a menudo mediante sustituciones o aditivos sutiles, a la formulación o al entorno de reacción circundante. Históricamente, maximizar el rendimiento también aumentó los riesgos de exposición química para la salud ecológica o humana.

Las formulaciones de humo funcionan haciendo reaccionar un carbohidrato (normalmente un almidón o disacárido como lactosa o sacarosa) con un oxidante calentado (normalmente clorato de potasio) justo por debajo del punto de fusión del oxidante. De esta manera, se mantiene una temperatura de reacción que es lo suficientemente alta como para eclipsar el punto de ebullición relativamente bajo, de un tinte orgánico, para sublimar desde un sólido a la fase gaseosa.

Como se sabía que los percloratos disminuían los niveles de hormonas tiroideas, en el pasado los percloratos se usaron como medicamento (más de 400 miligramos al día, lo que es muchísimo mayor que las dosis que se reciben como consecuencia de la exposición ambiental) para tratar a gente con glándulas tiroides hiperactivas (condición llamada hipertiroidismo). En un pequeño número de pacientes tratados con perclorato se observaron efectos secundarios incluyendo salpullidos, náusea y vómitos; pocos pacientes sufrieron disminución grave de células de la sangre, y algunos fallecieron. En un grupo de personas de buena salud que tomaron en forma voluntaria cerca de 35 miligramos de perclorato al día (equivalente a beber 2 litros de agua con 17 mg/L ó 17 partes por millón [ppm] de perclorato al día) durante 2 semanas ó 3 mg diarios durante 6 meses (equivalente a tomar 2 litros de agua con 1.5 mg/L [1.5 ppm] de perclorato al día) no hubo ninguna indicación de funcionamiento anormal de la glándula tiroides. En animales, el principal órgano afectado por perclorato también es la glándula tiroides. Las alteraciones de la tiroides causadas por perclorato en animales pueden llevar al desarrollo de tumores de la tiroides después de un período prolongado. Esto ha ocurrido después de administrar cantidades muy altas de perclorato (928 a 2,573 miligramos de perclorato/kg/día) a animales.

La actividad pirotécnica implica el manejo de sustancias químicas y materiales peligrosos los cuales presentan características explosivas, inflamables y tóxicas, por lo que es una actividad que implica alto riesgo, aunado a ello, la producción se lleva a cabo principalmente de manera artesanal, empleando herramientas y equipos rudimentarios, heredando de padres a hijos las formulaciones para la elaboración de los diferentes artificios pirotécnicos, por lo que no existen procesos en serie, normalización de actividades, así como tampoco esquemas de control de calidad, de salud ocupacional y de seguridad.

La Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos, establece en su artículo 37 que el control y vigilancia de las actividades y operaciones industriales y comerciales que se realicen con armas, municiones, explosivos, artificios y sustancias químicas, será hecho por la Secretaría de la Defensa Nacional. Los permisos específicos que se requieran en estas actividades serán otorgados por la Secretaría de la Defensa Nacional con conocimiento de la Secretaría de Gobernación y sin perjuicio de las atribuciones que competan a otras autoridades.

En su artículo 41, esta Ley señala que las disposiciones son aplicables a todas las actividades relacionadas con las armas, objetos y materiales, tales como polvoras y explosivos (en general, toda sustancia, mezcla o compuesto con propiedades explosivas); así como para sustancias, artificios pirotécnicos; y sustancias químicas relacionadas con explosivos, como los cloratos, percloratos, sodio metálico, magnesio en polvo, fósforo y todas aquellas que por sí solas o combinadas sean susceptibles de emplearse como explosivos.

En el Estado de México, el Instituto Mexiquense de la Pirotecnia creado el 15 de julio de 2003, mediante Decreto número 142 de la "LIV" Legislatura del Estado; tiene por objeto primordial, formular, controlar y vigilar las medidas de seguridad que se deben observar en las actividades de fabricación, uso, venta, transporte, almacenamiento y exhibición de artículos pirotécnicos, desarrolladas en el Estado de México; por lo cual, entre sus atribuciones, se encuentra la de promover el establecimiento de estrategias y la ejecución de acciones para combatir las causas originadoras de contingencias ocasionadas por la fabricación, uso, venta, transporte, almacenamiento y exhibición de artículos pirotécnicos (artículo 3o fracción III).

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) establece que los talleres pirotécnicos deberán cumplir medidas mínimas de seguridad como las relativas a que dentro de los polvorines se cuente con material higroscópico (cal o sal) capaz de absorber la humedad para evitar que los metales mezclados con clorato o perclorato de potasio o con nitratos de potasio, bario, estroncio o sodio en presencia de humedad generen gas hidrógeno que es extremadamente inflamable, o bien que los metales en polvo se enciendan al contacto con la humedad. Además, contar con extintores en buen estado y con carga vigente de polvo químico seco, con capacidad mínima de 6 kg, al menos 2 por cada polvorín o área de trabajo.

FUENTES CONSULTADAS:

EPA. Dilger, J., T. Martin, B. Wilkins, B. Bohrer, K. Thoreson y P. Fedick. Detección y modelado de toxicidad de colorantes de antraquinona y productos secundarios clorados de una reacción pirotécnica de humo coloreado. QUIMOSFERA Elsevier Science Ltd, Nueva York, NY, 287 (Parte 1):131845, (2022). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131845>

CENAPRED. Guía para el almacenamiento temporal, uso en exteriores y talleres de artificios pirotécnicos. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/377- GUAPIROTCNICOS.PDF>

Recomendaciones

Contaminantes derivados de la pirotecnia (Perclorato de Potasio y Clorato de Potasio)

Una de las sales de perclorato, el perclorato de amonio, se produce en grandes cantidades debido a su uso en combustibles para cohetes, pero en general, los percloratos se usan en propulsores de cohetes, fuegos artificiales, señales luminosas, pólvora y explosivos. Debido a que los percloratos pueden reaccionar explosivamente a alta temperatura, no se esperaba encontrarlos en el ambiente; sin embargo, a temperaturas normales reaccionan mucho más lento. Sólo recientemente se ha encontrado que pueden permanecer sin reaccionar en el ambiente durante años.

Los componentes químicos y los productos de combustión de los fuegos artificiales y su efecto sobre la calidad del aire y la salud, se han estudiado mediante diferentes métodos de análisis de las emisiones, encontrando que estos dependían de las distancias a las que se lanzan los fuegos artificiales desde el lugar del incendio y del momento y duración de la recopilación de datos. También las condiciones meteorológicas parecen ser de los principales factores de control de la calidad del aire, y la contaminación de alta concentración se relaciona principalmente con la velocidad del viento, la inversión de temperatura y la humedad.

Las exhibiciones pirotécnicas en interiores son potencialmente más peligrosas para la salud, ya que las partículas se dispersan en un pequeño volumen de aire y detonan más cerca de los espectadores que las exhibiciones pirotécnicas en exteriores.

Por lo anterior, es RECOMENDABLE:

- Evitar una exposición intensa al humo que desprenden los fuegos artificiales, especialmente para las personas susceptibles, es decir, quienes padecen afecciones respiratorias, a fin de prevenir la posibilidad de exacerbaciones de su enfermedad.
- Ante la evidente participación en celebraciones públicas que usan pirotecnia para exaltar el ánimo comunitario, debes buscar información sobre el tipo de contaminantes que se generarán y las condiciones ambientales que prevalecerán, de modo que haya una mejor comprensión de la influencia de los fuegos artificiales en la salud respiratoria.
- Las personas organizadoras de eventos, deben optar por técnicas más respetuosas con el medio ambiente que utilicen tecnologías más nuevas y menos contaminantes, considerando la exposición multitudinaria que ocurre en torno a los eventos en los que se quema pirotecnia.
- Las personas que trabajan en la fabricación de fuegos artificiales deben someterse a evaluaciones periódicas en torno a su salud respiratoria a fin de identificar cualquier posible impacto negativo, como parte de un esquema de salud ocupacional.
- Evite vivir cerca de plantas de manufactura o de prueba de cohetes o que manufactura fuegos artificiales, señales luminosas u otros materiales explosivos.
- Evite encender fuegos artificiales en lugares cerrados (dentro de la casa o el garaje) para reducir el riesgo de exposición.
- Los niños no deben acercarse a los juegos pirotécnicos cuando se encuentren almacenados, en el montaje, ni durante la quema; y se debe vigilar que no se lleven a la boca estos objetos.
- Si almacena en su hogar juegos pirotécnicos, manténgalos en lugares fríos y secos; las personas que manipularon estos artificios se deben lavar las manos con jabón.
- Si un juego pirotécnico no funcionó, nunca trate de volver a encenderlo, hay que mojarlo completamente durante 5 minutos, ya que puede activarse y explotar en cualquier momento.
- Permanezca atento/a la caída de residuos de juegos pirotécnicos hacia tanques de gas, terrenos abandonados o baldíos, ya que pueden incendiarse.
- Opta por espectáculos en donde se encuentran limitadas las zonas donde pueden usarse los fuegos artificiales, de manera que se restrinjan en áreas residenciales para que la afectación sea menor y menos generalizada; y en tal caso, ubícate en contra de la dirección del viento cuando estén en el proceso de quema.



FUENTES CONSULTADAS:

- ASTDR. Resúmenes de Salud Pública - Percloratos (Perchlorates). Resúmenes de Salud Pública - Percloratos (Perchlorates). https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs162.html
- Gouder C, Montefort S. Potential impact of fireworks on respiratory health. Lung India. 2014 Oct;31(4):375-9. doi:10.4103/0970-2113.142124. PMID: 25378846; PMCID: PMC4220320. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4220320/>
- SECRETARÍA DE SALUD. Evita los accidentes al quemar fuegos artificiales. Septiembre 2015. <https://www.gob.mx/salud/articulos/evita-los-accidentes-al-quemar-fuegos-artificiales#:~:text=Para%20evitar%20%C3%A9stos%20accidentes%20se%20recomienda%20que%3A%text=No%20permita%20que%20se%20acerquen,én%20lugares%20fr%C3%ADos%20y%20secos>
- UNIVISION. ¿Cómo afectan los fuegos artificiales el aire que respiramos? Te respondemos preguntas clave sobre la contaminación que generan. 19/Diciembre/2022. <https://www.univision.com/noticias/fuegos-artificiales-contaminacion-aire-respiramos-preguntas-clave>