



**Julio de 2024**

Boletín Mensual

**Hierro**



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

Mildreth Alejandra Garduño Medina

## **Subdirección de Epidemiología**

Luis Estaban Hoyo García de Alba

## **Diseño**

Ana Laura Toledo Avalos

# Contaminantes Criterio de Importancia en el Valle de Toluca

Uno de los principales problemas ambientales en el mundo, que afectan a la salud pública, es la contaminación del aire. El aire es el fluido que forma la atmósfera de la Tierra. Éste es una mezcla gaseosa que se compone principalmente de 21 partes de oxígeno y 78 partes de nitrógeno. El resto lo componen vapor de agua, gases nobles y bióxido de carbono. El equilibrio de esta concentración permite que los seres humanos puedan respirar sin tener afectaciones a la salud.

Sin embargo, el aire que respiramos puede ser alterado debido a la presencia de otros compuestos. En este sentido definimos como contaminante del aire al compuesto o compuestos que modifican nocivamente la concentración normal del aire ambiente; y calidad del aire, como el estado de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos en un periodo de tiempo y lugar determinados.

Los contaminantes pueden ser emitidos de manera natural, mediante los procesos de erosión del suelo, descomposición de materia orgánica, incendios forestales, y procesos volcánicos, entre otros. Los contaminantes emitidos por causa de las actividades del hombre son conocidos como contaminantes antropogénicos, y en su mayoría son resultado de la quema de combustibles fósiles.

Los contaminantes que son emitidos de manera directa, ya sea de una fuente natural o antropogénica, son llamados contaminantes primarios (por ejemplo, el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno). También existen los llamados contaminantes secundarios, los cuales son resultado de las reacciones químicas entre contaminantes primarios y otros componentes del aire (por ejemplo, el ozono, que se forma de la reacción entre el dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles).

Algunos de los contaminantes del aire, por sus efectos en la salud de la población, han sido normados y se han establecido límites máximos de concentración en el aire ambiente. Estos contaminantes son conocidos como criterio. Los contaminantes criterio incluyen: el ozono (O<sub>3</sub>), el monóxido de carbono (CO), el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el plomo (Pb), las partículas suspendidas totales (PST), y las partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micrómetros (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>).

La exposición prolongada a los contaminantes atmosféricos puede ser causa de varias afectaciones a la salud, desde irritación hasta la muerte. En el Cuadro 1 se muestra el resultado de la exposición a contaminantes criterio en la salud.

Cuadro 1. Efectos a la salud por exposición a contaminantes criterio

Contaminante	Efecto a la salud
Ozono	Iritación ocular y en las vías respiratorias
Monóxido de carbono	Formación de carboxihemoglobina ocasionando apnea
Plomo	Acumulación crónica en sistema hematopoyético y alteraciones en el desarrollo del sistema nervioso central
Partículas suspendidas	Iritación en los tejidos respiratorios, fibrosis, asma.
Bióxido de azufre	Iritante (garganta y bronquios), broncoconstricción, alteraciones en la función pulmonar.
Bióxido de nitrógeno	Disminución en la capacidad de difusión pulmonar

La contaminación atmosférica es uno de los problemas de mayor dificultad para su comprensión, evaluación, regulación y control; entre otras causas, por la gran cantidad y variedad de las fuentes emisoras, la dilución y/o transformación de los contaminantes en la atmósfera y los efectos que tienen los contaminantes sobre la salud humana y los ecosistemas. Para medir y evaluar el impacto de la contaminación del aire en la población y los recursos naturales, es indispensable contar con sistemas, redes y programas adecuados de medición de la calidad del aire bajo esquemas uniformes de operación y aseguramiento de calidad.

Los contaminantes criterio tienen asignado un límite máximo normado en el aire ambiente para determinar si éste es respirable sin afectar la salud humana. Para poder determinar la concentración de cada contaminante se han desarrollado numerosas técnicas para medir estas concentraciones.

El inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos es un instrumento estratégico para la gestión de la calidad del aire. Un inventario permite conocer las fuentes emisoras de contaminantes, así como el tipo y cantidad de contaminantes que emite cada una de ellas.

Los inventarios de emisiones están integrados por:

- Fuentes de punto (industrias),
- Fuentes móviles (vehículos automotores que circulan por calles y carreteras),
- Fuentes de área (comercios, servicios, casas habitación y vehículos automotores que no circulan por carreteras), y
- Fuentes naturales (erosión de suelo y emisiones biogénicas, entre otras).

Al detectar la concentración de contaminantes del aire ambiente estamos determinando su calidad. Así entonces, la calidad del aire puede ser definida por indicadores o índices preestablecidos que determinan la concentración de contaminantes en el aire ambiente ligada a escalas que califican esa calidad de forma cualitativa, cromáticas o numérica.

## REFERENCIAS:

1. O'Neill, M.S., Loomis, D., Borja Aburto, V.H., Gold, D., Hertz-Picciotto, I., Castillejos, M. (2004). Do associations between airborne particles and daily mortality in Mexico City differ by measurement method, region, or modeling strategy? *J. Exp. Anal. Environ. Epidemiol.* 14, pp. 429-439. RAMA <http://www.sma.df.gob.mx/simat/prama.htm>.
2. Bóeg A.P., Torres M.D.C.B., García R.M., Padilla H.G. (2002). Carbonyls in the metropolitan area of Mexico City: Calculation of the total photolytic rate constants  $K_p(S-1)$  and photolytic lifetime ( $\tau$ ) of ambient formaldehyde and acetaldehyde *Env. Sci. Poll. Res.* 9, 230-233.
3. Zhang Y., Huang W., London S.J., Song G., Chen G., Jiang L., Zhao N., Chen B. y Kan H. (2006). Ozon and daily mortality in Shanghai, China. *Environ. Heal. Persp.* 114, 1227-1232.
4. Filleul L., Cassadou S., Médina S., Fabres P., Lefranc A., Eilstein D., Le Tertre A., Pascal L., Chardon B., Blanchard M., Declercq C., Jusot J.F., Prouvost H., Ledrans M. (2006). The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Env. Health Pers.* 114, 1344-1347.
5. De Pablo F., López A., Rivas Soriano L., Tomás C., Diego L., González M., Barrueco M. (2006). Relationships of daily mortality and hospital admissions to air pollution in Castilla-León, Spain. *Atmósfera*, 19, 23-39

# Semáforo del índice nacional aire y salud

Calidad del aire	Nivel de riesgo asociado	PM <sub>10</sub> <sup>A</sup>	PM <sub>2.5</sub> <sup>B</sup>	O <sub>3</sub> <sup>C</sup>	O <sub>3</sub> <sup>D</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>E</sup>	SO <sub>2</sub> <sup>F</sup>	CO <sup>G</sup>
Buena	Bajo	≤45	≤15	≤0.058	0.051	≤0.053	≤0.035	≤5.00
Aceptable	Moderado	>45 a 60	>15 a 33	>0.058 a 0.090	>0.051 y 0.070	>0.053 a 0.106	>0.035 a 0.075	>5.00 a 9.00
Mala	Alto	>60 a 132	>33 a 79	>0.090 a 0.135	>0.070 y 0.092	>0.106 a 0.160	>0.075 a 0.185	>9.00 a 12.00
Muy Mala	Muy Alto	>132 a 213	>79 a 130	>0.135 a 0.175	>0.092 y 0.114	>0.160 a 0.213	>0.185 y 0.304	>12.00 a 16.00
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	>213	>130	>0.175	>0.114	>0.213	>0.304	>16.00

A: promedio móvil ponderado de 12 horas (µg/m<sup>3</sup>)

B: promedio móvil ponderado de 12 horas (µg/m<sup>3</sup>)

C: promedio de una hora (ppm)

D: promedio móvil de ocho horas (ppm)

E: promedio de una hora (ppm)

F: promedio de una hora (ppm)

G: promedio móvil de ocho horas (ppm)

Actualizado al 25 de enero de 2024

# Comportamiento de los contaminantes

## Contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca Máximo diario Junio 2025

FECHA	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>
01/06/2025			0.080	0.025	1.1	0.002
02/06/2025			0.090	0.043	1.3	0.002
03/06/2025			0.098	0.050	1.4	0.002
04/06/2025			0.115	0.042	1.4	0.002
05/06/2025			0.124	0.036	1.1	0.003
06/06/2025			0.100	0.029	1.0	0.002
07/06/2025			0.080	0.025	0.9	0.002
08/06/2025			0.073	0.017	0.8	0.001
09/06/2025			0.084	0.043	1.2	0.002
10/06/2025			0.103	0.037	1.2	0.002
11/06/2025			0.081	0.037	1.0	0.002
12/06/2025			0.098	0.038	1.2	0.003
13/06/2025			0.069	0.023	1.1	0.003
14/06/2025			0.033	0.014	0.9	0.001
15/06/2025			0.034	0.020	0.9	0.001
16/06/2025			0.042	0.026	1.2	0.001
17/06/2025			0.050	0.022	1.1	0.003
18/06/2025			0.041	0.023	1.1	0.003
19/06/2025			0.030	0.023	1.0	0.003
20/06/2025			0.025	0.018	1.0	0.002
21/06/2025			0.023	0.020	1.1	0.001
22/06/2025			0.030	0.017	1.0	0.001
23/06/2025			0.029	0.028	1.3	0.002
24/06/2025			0.032	0.018	0.9	0.001
25/06/2025			0.072	0.041	1.2	0.002
26/06/2025			0.061	0.034	1.2	0.003
27/06/2025			0.063	0.033	1.4	0.003
28/06/2025			0.079	0.038	1.4	0.003
29/06/2025			0.045	0.025	1.5	0.003
30/06/2025			0.032	0.020	1.0	0.002

**Fuente:** Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT Junio 2025

Con base en las Especificaciones de los Contaminantes Criterio, el comportamiento en el mes de Junio de 2025 fue el siguiente: en partículas PM10 no se realizó registro de la concentración, por lo que se desconoce el número de días fuera de la NOM-025-SSA1-2021 y el mismo caso para las partículas PM2.5 este fenómeno atípico en que no se conocen los días fuera de la norma representan días en que se pudieron tener repercusiones en la salud de la población mexiquense. En el mes de Junio, los valores de ozono (O3) registraron 6 días en que la calidad del aire sobrepasó los valores límites de la NOM-020-SSA1-2021.

El bióxido de nitrógeno (NO2) no sobrepasó los límites de la NOM-023-SSA1-2021, (100% dentro de los límites); el monóxido de carbono (CO) tampoco sobrepasó los límites de la NOM-021-SSA1-2021, se registraron 30 días dentro de los límites (100.0%); el dióxido de azufre (SO2) no sobrepasó los límites de la NOM-022-SSA1-2010 (100%).

Por la misma condición antes descrita en que no se registraron valores para partículas PM10 y PM2.5, no se tienen tampoco valores máximos, mínimos ni promedio. Para ozono el valor máximo fue de 0.124, el valor mínimo fue de 0.023 y el valor promedio de 0.064.

# Descripción del Hierro

El hierro (III)-O-arsenito, pentahidratado puede ser peligroso para el medio ambiente; se debe prestar especial atención a las plantas, el aire y el agua; la industria de hierro es una de las más importantes en los países desarrollados y los que están en vías de desarrollo; en estos últimos, esta industria, a menudo, constituye la piedra angular de todo el sector industrial.

Su impacto económico tiene gran importancia, como fuente de trabajo y como proveedor de los productos básicos requeridos por muchas otras industrias: construcción, maquinaria y equipos, y fabricación de vehículos de transporte y ferrocarriles. Durante la fabricación de hierro y acero se producen grandes cantidades de aguas servidas y emisiones atmosféricas, si no son manejadas adecuadamente, pueden causar mucha degradación de la tierra, del agua y del aire.

El hierro puede ser un aliado importante en la lucha contra la contaminación y el cambio climático; en climas calurosos y con una elevada incidencia de radiación ultravioleta, la hematita u óxido de hierro podría ayudar a neutralizar los óxidos de nitrógeno que contaminan la atmósfera. También las partículas de hierro generadas por las ciudades y la industria pueden interaccionar disolviéndose con los contaminantes de la atmósfera y acabar fertilizando los océanos (resulta fundamental en la fotosíntesis de las plantas y para el crecimiento de fitoplancton en el mar), aumentando la producción primaria y además, fija carbono en los océanos.

El hierro reciclado se utiliza principalmente en la producción de acero, lo que reduce significativamente la necesidad de extraer mineral de hierro en bruto. El proceso de reciclaje no sólo conserva los recursos naturales, sino que también reduce el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción de hierro.

El hierro esta representado por el símbolo Fe en la tabla periódica, derivado del latín ferrum, entre sus principales características químicas se encuentran las siguientes:

- Símbolo: Fe
- Número atómico: 26
- Masa atómica:  $\approx 55.85$  u
- Grupo: 8 (metales de transición)
- Periodo: 4
- Estado natural: Sólido

El símbolo Fe no solo identifica al hierro en el ámbito científico, sino que también aparece en múltiples disciplinas, desde la medicina (por ejemplo, suplementos de hierro) hasta la metalurgia y la astrofísica. (1)

El hierro es el metal pesado más abundante en la corteza terrestre, pero no se encuentra libre en la naturaleza debido a su alta reactividad. En lugar de esto, aparece en forma de minerales compuestos, principalmente óxidos y carbonatos, entre los que se encuentran:

- Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ): Óxido de hierro con alto contenido metálico (hasta 70% en su forma pura). Es uno de los más explotados en la industria siderúrgica.
- Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ): Otro óxido de hierro, más rico que la hematita (72.4% de hierro en estado puro). Tiene propiedades magnéticas intensas.
- Limonita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ): Óxido hidratado que se forma por alteración de otros minerales ferrosos. Contenido de hierro variable, generalmente inferior al de la hematita.
- Siderita ( $\text{FeCO}_3$ ): Carbonato de hierro con un 48.3% de hierro puro. Menos usada en la producción de hierro y acero.

Es importante mencionar que no se puede encontrar hierro puro, debido a su gran afinidad con el oxígeno y otros elementos, por lo que provoca que se forme un proceso de oxidación de manera fácil. Esto hace que esté siempre "atrapado" en compuestos. Para obtenerlo como metal, se requiere separar el oxígeno en un proceso de reducción con carbono, seguido de un proceso de purificación para eliminar impurezas.

# Efectos nocivos del Hierro

El hierro puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada siderosis. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares.

El hierro, aunque es un elemento esencial en la corteza terrestre, también tiene efectos diversos en los sistemas biológicos, químicos y ambientales, como a continuación se indica:

## 1. Ciclo biológico y salud de los ecosistemas

### Elemento esencial para organismos vivos

Participa en la fotosíntesis, respiración celular y producción de clorofila en plantas.

Fundamental para la hemoglobina en animales y humanos, permitiendo el transporte de oxígeno.

### Disponibilidad del hierro en suelos

Su deficiencia afecta cultivos, causando clorosis (amarillamiento de hojas).

En suelos ácidos, el hierro está más disponible; en alcalinos, se inmoviliza y los cultivos pueden sufrir.

## 2. Dinámica de cuerpos de agua

### Océanos y lagos

El hierro limita el crecimiento del fitoplancton en zonas oceánicas.

Algunas geoingenierías experimentan con "fertilización con hierro" para estimular el fitoplancton y secuestrar CO<sub>2</sub>.

### Contaminación hídrica

Fuentes industriales pueden liberar hierro en formas solubles o precipitados que alteran el equilibrio del ecosistema acuático.

Exceso de hierro puede fomentar crecimiento excesivo de algas o interferir con la fauna acuática.

## 3. Procesos geológicos y geoquímicos

### Formación de suelos y rocas

El hierro forma parte de minerales como hematita y magnetita, fundamentales en la estructura de muchos tipos de roca.

Influye en los colores del suelo: rojos, amarillos y marrones indican presencia de óxidos de hierro.

Interacción con otros elementos

Facilita reacciones redox en el subsuelo, afectando la movilidad de contaminantes y nutrientes.

Importante para procesos de meteorización y transformación mineral.

## 4. Impacto ambiental por actividades humanas

### Minería y producción siderúrgica

Genera residuos metálicos que pueden afectar suelo y cuerpos de agua si no se manejan adecuadamente.

En México, estados como Coahuila, Michoacán y Colima tienen altas reservas y actividad minera, lo que exige vigilancia ambiental constante.

### Corrosión en estructuras

El hierro en contacto con aire húmedo forma óxidos (orín) que pueden contaminar estructuras o aguas cercanas. (2)

Por lo anterior, y aunque se suele pensar en el hierro como un metal industrial, su papel en los ecosistemas es vital y su escasez puede alterar profundamente los equilibrios biológicos y geoquímicos, como a continuación se expone:

## 1. Suelos agrícolas y vegetación

El hierro es clave en la síntesis de clorofila, la molécula central de la fotosíntesis.

La deficiencia de hierro causa clorosis férrica: hojas amarillas con venas verdes, lo que reduce la productividad de cultivos como maíz, frijol y cítricos.

En regiones con suelos calizos o muy alcalinos (como parte del Bajío mexicano), el hierro queda insoluble, limitando su absorción por las raíces.

# Efectos nocivos del Hierro

## 2. Ecosistemas acuáticos

En zonas oceánicas de alta nutrición pero baja clorofila (HNLC), el hierro es el principal limitante para el crecimiento de fitoplancton.

Menos fitoplancton = menos captura de  $\text{CO}_2$  = menor regulación climática.

La falta de hierro también reduce la productividad primaria, afectando cadenas tróficas desde el zooplancton hasta los peces.

Estudios de geoingeniería han probado la fertilización con hierro en océanos para estimular el crecimiento de fitoplancton — aunque sus efectos a largo plazo siguen siendo debatidos por ecólogos.

## 3. Alteración de ciclos biogeoquímicos

El hierro regula procesos redox, impactando la movilidad de elementos como arsénico, fósforo y nitrógeno.

### Su ausencia puede:

Disminuir la disponibilidad de nutrientes clave.

Aumentar la persistencia de contaminantes en el suelo o aguas subterráneas.

Interferir con la descomposición orgánica, afectando la calidad del humus y la retención de agua.

## 4. Efectos indirectos en fauna

En plantas con baja concentración de hierro, disminuye el contenido nutricional.

Eso afecta insectos herbívoros, como abejas y mariposas, y por ende a sus depredadores.

En animales de pastoreo, el déficit de hierro en el forraje puede causar anemia o problemas reproductivos.

Combatir la deficiencia de hierro en los ecosistemas requiere soluciones específicas según el entorno, ya sea terrestre, acuático o agrícola, entre las principales propuestas se pueden señalar las siguientes:

### 1. Corrección en suelos agrícolas

Quelatos de hierro: Fertilizantes como Fe-EDDHA o Fe-DTPA se aplican al suelo o directamente a las hojas para mejorar la disponibilidad del hierro en su forma soluble.

Enmiendas de suelo: Añadir materia orgánica mejora la retención de micronutrientes como el hierro.

Acidificación controlada: En suelos alcalinos, la aplicación de azufre elemental o acidificantes reduce el pH y libera hierro atrapado.

Selección de cultivos resistentes: Algunos cultivares tienen mayor eficiencia para absorber hierro incluso en condiciones limitantes.

### 2. Fertilización en ambientes acuáticos

Geoingeniería oceánica: Se han realizado ensayos con fertilización con hierro en zonas HNLC (alta nutrición, baja clorofila) para estimular el fitoplancton.

Controversia: Aunque estimula la fijación de  $\text{CO}_2$ , puede alterar dinámicas ecológicas, provocar floraciones de algas no deseadas o afectar fauna marina.

Control de descargas industriales: Regular emisiones de compuestos férricos para evitar desequilibrios locales que también pueden simular deficiencia relativa por precipitación.

### 3. Restauración ecosistémica y monitoreo ambiental

Revegetación con especies acumuladoras: Algunas plantas (como *Eucalyptus* spp.) movilizan hierro en su rizosfera, mejorando la disponibilidad en su entorno.

Biochar enriquecido: Este tipo de carbón vegetal puede liberarse lentamente y transportar micronutrientes, incluido el hierro.

Monitoreo geoquímico constante: La implementación de sensores in situ y satelitales permite detectar deficiencias antes de que afecten la biodiversidad o productividad.

### 4. Investigación y modelado de ciclos de hierro

Desarrollo de modelos integrados de ciclo biogeoquímico del hierro para predecir cómo la deficiencia impacta desde microorganismos hasta grandes cadenas tróficas.

Estudios sobre interacción con otros nutrientes como fósforo o nitrógeno, que pueden intensificar o mitigar el efecto de la deficiencia de hierro. (3)

Notas de referencia bibliográfica:

1. Química.es (2025). Hierro. Consultado el 03 de julio del 2025. Disponible en <https://www.quimica.es/enciclopedia/Hierro.html>

2. González A., Cravi M. y Da Silva S. (2016). Hierro en la naturaleza. Consultado el 03 de julio del 2025. Disponible en <https://es.scribd.com/presentation/319278855/Hierro-en-La-Naturaleza>

3. Carrasco Llaique, C. (2023). Ciclo Biogeoquímico del Hierro. Consultado el 07 de julio del 2025. Disponible en <https://es.scribd.com/document/645860754/CICLO-BIOGEOQUIMICO-DEL-HIERRO>

# Casos Nuevos de Enfermedades asociadas a la Calidad del Aire

Daños a la salud	No. de Casos en el mes de junio 2025
Asma	184
Conjuntivitis	702
Infección respiratoria aguda (IRA)	22,010
Otitis media aguda	81
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)	19*
Enfermedad cerebrovascular	72
Enfermedad isquémica del corazón	107

\* Fuente: Dirección General de Epidemiología. SUAVE Canal Endémico. Consultado el 07 de julio del 2025. Disponible en [https://www.sinave.gob.mx/SUAVE/DirApp/Reportes/Canal\\_Endemico.aspx](https://www.sinave.gob.mx/SUAVE/DirApp/Reportes/Canal_Endemico.aspx)

## Daños a la Salud

En el Valle de Toluca durante el mes de junio del año 2025, se estima que la contaminación del aire ocasionó los siguientes daños a la salud:

- Se exacerbaron los síntomas del asma y de conjuntivitis en 184 y 702 personas, respectivamente.
- El tres por ciento de las personas que padecieron una IRA, en esta ocasión 660 personas, se puede atribuir a la contaminación del aire.
- Durante el mes de junio del 2025, 81 personas padecieron de otitis media aguda, por su probable exposición a altos niveles de contaminación del aire.
- En el mes de junio del 2025 se identificaron 19\* personas con EPOC; un porcentaje de ellas podría estar relacionado con el humo del tabaco y otro más a la contaminación ambiental.
- Considerando el estimador de la Organización Mundial de la Salud (OMS) del 25% para la Enfermedad Cerebrovascular, se podría decir que 18 personas afectadas por esta enfermedad se dañaron por su exposición a la contaminación del aire.
- Considerando el estimador de la Organización Mundial de la Salud (OMS) del 25% para la Enfermedad Isquémica del Corazón, se podría decir que 27 personas afectadas por esta enfermedad se dañaron por su exposición a la contaminación del aire.

# Normatividad

El hierro (Fe) es un elemento metálico presente de forma natural en el ambiente, pero también es emitido como consecuencia de procesos industriales, principalmente en la producción de acero, la quema de combustibles fósiles y la manipulación de polvo de suelo. En México, la regulación del hierro como contaminante ambiental se encuentra establecida principalmente en el marco de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que en su artículo 111 refiere que: "La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en coordinación con las autoridades competentes, deberá establecer las normas oficiales mexicanas que fijen los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire, agua, suelo y sedimentos, así como los métodos para su medición."

La presencia del hierro es considerada en el análisis de la composición química del material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ). En relación con la calidad del aire, aunque el hierro no se regula directamente como metal individual, su presencia en partículas suspendidas puede agravar los efectos en la salud respiratoria. La Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en el aire ambiente y criterios para su evaluación, establece los siguientes límites:

- $PM_{10}$ : 75  $\mu g/m^3$  (promedio de 24 horas) y 50  $\mu g/m^3$  (promedio anual).
- $PM_{2.5}$ : 45  $\mu g/m^3$  (promedio de 24 horas) y 12  $\mu g/m^3$  (promedio anual).

Cuando se detectan excedencias en estos valores, se recomienda realizar un análisis de composición química del material particulado, incluyendo la fracción metálica de hierro, como parte de las estrategias de evaluación del riesgo para la salud (1).

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, establece como límite máximo permisible de hierro 0.30 mg/L, incluyendo tanto el hierro disuelto como el suspendido. Este valor busca prevenir efectos adversos como el sabor metálico en el agua, la coloración rojiza y la acumulación en redes hidráulicas (2).

Medio ambiental	Norma aplicable	Límite permisible	Unidad	Observaciones
Agua para consumo humano	NOM-127-SSA1-2021	0.30	mg/L	Incluye hierro disuelto y suspendido

Por su parte, la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación y el listado de los residuos peligrosos, señala que los residuos con contenido de hierro deben evaluarse bajo criterios de corrosividad, reactividad, inflamabilidad y toxicidad ambiental aguda, ya que pueden representar riesgos significativos para la salud y el ambiente. De acuerdo con esta norma, si los residuos que contienen hierro superan los valores de concentración establecidos por el procedimiento de extracción, se clasifican como peligrosos y deben sujetarse a un manejo especial (3).

## CLASIFICACION DE RESIDUOS

TABLA 1

CODIGOS DE PELIGROSIDAD DE LOS RESIDUOS (CPR)

Características	Código de Peligrosidad de los Residuos (CPR)
Corrosividad	C
Reactividad	R
Explosividad	E
Toxicidad	T
Ambiental	Te
Aguda	Th
Crónica	Tt
Inflamabilidad	I
Biológico-Infecioso	B

TABLA 2

CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS QUE CONTIENEN HIERRO

RESIDUO	CPR	CLAVE
<b>PELIGROSOS POR FUENTE ESPECIFICA</b>		
Licor gastado generado por las operaciones de acabado del acero en instalaciones pertenecientes a la industria del hierro y del acero	(C,Tt)	E1/02
Lodos de tratamiento de aguas residuales de la producción de pigmentos azules de hierro	(Tt)	E9/10
<b>CLASIFICACIÓN POR TIPO DE RESIDUOS, SUJETOS A CONDICIONES PARTICULARES DE MANEJO</b>		
Lodos del equipo de control de emisiones de hornos eléctricos en la producción de hierro y acero	(T)	RP 4/05
Lodos del equipo de control de emisiones de la producción de ferroaleaciones de hierro-cromo-silicio	(T)	RP 4/09
Polvos del equipo de control de emisiones de hornos eléctricos en la producción de hierro y acero	(T)	RP 6/01
Polvos del equipo de control de emisiones de la producción de ferroaleaciones de hierro-cromo	(T)	RP 6/03
Polvos del equipo de control de emisiones de la producción de ferroaleaciones de hierro-cromo-silicio	(T)	RP 6/04
Colas en las plantas de manufactura de ferroaleaciones de hierro-níquel	(T)	RP 7/05

### Referencias

- Secretaría de Salud. NORMA Oficial Mexicana NOM025SSA12021. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas suspendidas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ . Valores normados para la concentración de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación, México, 27 Oct 2021. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsctab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsctab=0)
- Secretaría de Salud. NORMA Oficial Mexicana NOM127SSA12021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Diario Oficial de la Federación, México, 2 mayo. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5650705](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5650705)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Normas Oficiales Mexicanas – DOF: NOM052SEMARNAT2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y listados de residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación, México, 27 mar 2006. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNAT/SEMARNAT.htm>

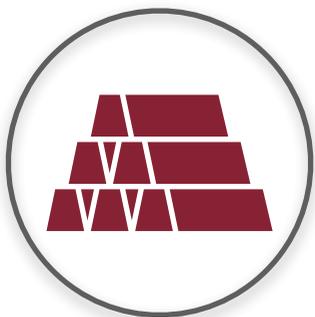
# Recomendaciones

El Instituto de Salud Global de Barcelona, concede que existen pocos estudios sobre los efectos en la salud humana, derivados de los metales presentes en el aire: en parte debido a la escasez de estaciones de medición de la contaminación atmosférica y a otras limitaciones de orden técnico.

Los metales atmosféricos provienen de fuentes naturales como el polvo del suelo arrastrado por el viento, o de fuentes antropogénicas de contaminación como el tráfico rodado o la industria. La toxicidad del hierro en el aire se refiere principalmente a la inhalación de óxido de hierro, que puede causar problemas respiratorios y, en casos extremos, neumoconiosis (siderosis). Además, la producción de acero, que involucra hierro, puede liberar otros contaminantes atmosféricos tóxicos como metales pesados y compuestos orgánicos, que también afectan la salud y el medio ambiente. Es por ello que te presentamos las siguientes

## Recomendaciones:

- Si vives cerca de zonas industriales, solicita a las autoridades ambientales que verifiquen si las empresas implementan medidas para reducir las emisiones de hierro y óxido de hierro.
- Especialmente respecto de la industria de la siderurgia, es conveniente pugnar porque apliquen tecnologías limpias en la producción de metales y otros procesos industriales.
- En tu propio hogar, revisa y valora la necesidad de implementar medidas para prevenir y controlar la corrosión de estructuras de hierro y acero.
- Toda vez que una fuente importante para este metal pesado, es el tráfico rodado, coadyuva en la disminución de emisiones al ambiente, utilizando transporte público, la bicicleta y los vehículos eléctricos.
- Si trabajas en un entorno industrial, usa mascarilla y equipo de protección personal, acorde a la normatividad y a tu exposición a gases y/o polvos que contienen hierro para impedir el contacto directo o la inhalación.
- Evita la exposición a humos de soldadura que contienen óxido de hierro y otros metales. Si eres trabajador/a de esta rama, usa el equipo de protección personal que evite la inhalación de estos humos.
- Considerando que los óxidos de hierro pueden estar presentes en agua, adquiere tus alimentos siempre en entornos seguros y avalados por normas sanitarias.
- Si percibes un sabor metálico desagradable en el agua de las tuberías que llega a tu casa, informa a tus autoridades municipales, pues se trata de óxido de hierro y puede causar problemas digestivos como vómitos, náuseas, dolores de cabeza y diarrea, si se consume a largo plazo.
- Si presentas síntomas que acusen una intoxicación aguda por exposición a metales pesados, no dudes en acudir a tu centro de salud más cercano y a la brevedad.



## FUENTE:

1. ISGLOBAL. La exposición a metales presentes en el aire está asociada con un mayor riesgo de mortalidad. 30/mayo/2019. <https://www.isglobal.org/-/la-exposicion-a-metales-presentes-en-el-aire-esta-asociada-con-un-mayor-riesgo-de-mortalidad>
2. Emeline Lequy, Jach Siemiatycki, Sébastien Leblond, Caroline Meyer, Serguéi Zhivin, Danielle Vienneau, et al. Exposición a largo plazo a metales atmosféricos evaluada por musgos y mortalidad en Francia. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019301321>
3. Lubczyńska MJ, Sunyer J, Tiemeier H, et al. Exposure to elemental composition of outdoor PM<sub>2.5</sub> at birth and cognitive and psychomotor function in childhood in four European birth cohorts. *Environ Int.* 2017 Oct 5. pii: S0160-4120(17)30866-8. doi: 10.1016/j.envint.201709.015. [Epub ahead of print]
4. ISGLOBAL. ESCAPE. European Study of Cohorts for Air Pollution Effects. <https://www.isglobal.org/es/-/escape-european-study-of-cohorts-for-air-pollution-effects>
5. J. Lubczyńska, Jordi Sunyer, Henning Tiemeier, et al. Exposición a la composición elemental de PM<sub>2.5</sub> al aire libre al nacer y función cognitiva y psicomotora en la infancia en cuatro cohortes de nacimiento europeos. Diciembre 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412017308668?via%3Dihub>
6. VIVOLABS. Intoxicación por metales pesados: causas, síntomas y tratamiento. [https://vivolabs.es/intoxicacion-por-metales-pesados-causas-sintomas-y-tratamiento/?srsltid=AfmBOorc\\_2hU0YoGzA8Uyblh-ySfU1uWmLiAig9iaHvBUaqeSaMzC](https://vivolabs.es/intoxicacion-por-metales-pesados-causas-sintomas-y-tratamiento/?srsltid=AfmBOorc_2hU0YoGzA8Uyblh-ySfU1uWmLiAig9iaHvBUaqeSaMzC)
7. DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS PARA PERSONAS MAYORES, DE NEW JERSEY. Hoja informativa sobre sustancias peligrosas: óxido de hierro. <https://www.nj.gov/health/ech/rtkweb/documents/fs/1036sp.pdf>