

PROPIEDADES DE LOS NITROCOMPUESTOS ALIFATICOS

NITROCOMPUESTOS ALIFATICOS

Los nitrocompuestos se caracterizan por poseer un enlace C-NO₂ y en este grupo se incluyen las mononitroparafinas, las polinitroparafinas, las nitroolefinas, y los alquil nitritos y nitratos.

Las mononitroparafinas se obtienen por nitración directa de las correspondientes parafinas en fase de vapor y se utilizan principalmente como disolventes de ésteres de celulosa, otras resinas, y aceites, grasas, ceras y colorantes. Entre los grupos especiales de mononitroparafinas se encuentran las cloronitroparafinas.

Usos

Los nitrocompuestos alifáticos se utilizan como disolventes, explosivos, propulsores de cohetes, fumigantes y aditivos de gasolina. Algunos de ellos se emplean en las industrias del caucho, textil, pinturas y barnices.

El *pentaeritritol tetranitrato*, el *etilenglicol dinitrato* (EGDN), el *tetranitrometano*, la *nitroglicerina* y el *2-nitropropano* son componentes de explosivos. El etilenglicol dinitrato es un explosivo detonante, pero tiene también la propiedad de disminuir el punto de congelación de la nitroglicerina. En la mayoría de países con un clima templado o frío, la dinamita se prepara con una mezcla de nitroglicerina y EGDN. La nitroglicerina se utiliza en explosivos detonantes y en la producción de dinamita y otros explosivos, aunque ha sido sustituida gradualmente por nitrato amónico. La nitroglicerina se utiliza también para combatir incendios en pozos de petróleo y, en medicina, como vasodilatador en casos de espasmo de la arteria coronaria.

La nitroglicerina, el 2-nitropropano, el *tetranitrometano* y el *nitrometano* se emplean como propulsores de cohetes. El *1-nitropropano* y el 2-nitropropano son disolventes y aditivos de la gasolina, y el tetranitrometano es un propulsor para gasóleo. El 2-nitropropano se aplica como depresor de humo en el gasóleo y como componente de combustibles para coches de carreras y decapantes de pinturas y barnices.

La *cloropicrina* se emplea como rodenticida y como arma química, mientras que el *nitrometano* y el *nitroetano* se utilizan como propulsores en ingeniería militar. El *ácido nitrilotriacético* tiene numerosos usos en el tratamiento de aguas, textiles y caucho, así como en las industrias de pasta y de papel. También se utiliza como aditivo para el agua de alimentación de calderas y como agente quelante en la limpieza y separación de metales.

Las nitroparafinas cloradas se utilizan sobre todo como disolventes y productos intermedios en la industria química y en la fabricación de caucho sintético. Se emplean también como pesticidas, especialmente fumigantes, fungicidas y ovicidas para mosquitos.

Las nitro-olefinas se obtienen por deshidratación de nitroalcoholes o por adición directa de óxidos de nitrógeno a olefinas. No tienen mucha aplicación industrial.

Los alquil nitritos se obtienen por reacción de nitritos y alcoholes en presencia de ácido sulfúrico diluido, o a partir de mononitroparafinas, por reacción de haluros de alquilo y nitritos. El principal uso de los alquil nitritos ha sido en explosivos industriales y militares, aunque estas sustancias se utilizan también en síntesis orgánicas y como agentes terapéuticos (vasodilatadores) en medicina. Se hidrolizan fácilmente liberando ácido nitroso, y producen reacciones de intercambio cuando se disuelven en alcoholes. Los alquil nitratos se forman por la interacción de alcoholes y ácido nítrico. El *nitrato de etilo* y en cierta medida el *nitrato de metilo* se utilizan en síntesis orgánicas como

agentes nitrantes para compuestos aromáticos. El *nitrato de metilo* se utiliza también como combustible para cohetes.

Riesgos

Los efectos de los nitrocompuestos alifáticos se producen tras su absorción por cualquier vía (p. ej. inhalación, ingestión, absorción por la piel). La irritación se produce como resultado del contacto con la piel. A menudo el riesgo industrial más importante es la inhalación de vapores, ya que las presiones de vapor suelen ser lo bastante altas como para producir concentraciones considerables de vapor en el lugar de trabajo. Cuando se exponen a altas temperaturas, llamas o impactos, algunos nitrocompuestos alifáticos conllevan peligro de incendio y explosión. También pueden producirse reacciones químicas exotérmicas espontáneas. Algunos de los síntomas de exposición son irritación de mucosas, náuseas, vómitos, cefaleas, disnea y mareo. La exposición crónica a estas sustancias puede aumentar el riesgo de carcinogenicidad (en animales), enfermedad cardíaca isquémica y muerte súbita.

Nitroparafinas

Las nitroparafinas tienen un efecto depresor del sistema nervioso central y también pueden provocar lesiones en el hígado y los riñones. Las polinitroparafinas son considerablemente más tóxicas que las mononitroparafinas. La exposición industrial a 30 ppm de *nitropropano* (una mononitroparafina) causa síntomas como cefalea, náuseas, vómitos y diarrea. No se han observado síntomas a concentraciones entre 10 y 20 ppm. Los efectos del *tetranitrometano* (una polinitroparafina) observados en trabajadores son irritación del sistema respiratorio, disnea, mareo y, con exposiciones repetidas, anemia, cianosis y bradicardia. Su potencial cancerígeno se comenta más adelante. En condiciones normales, el *nitrometano* (una mononitroparafina) es relativamente estable, pero puede explotar por impacto o por calor. Los daños causados por la explosión separada de dos vagones cisterna de nitrometano fueron considerables y, como resultado de estas experiencias, ahora el nitrometano se almacena y transporta preferentemente en tambores, mejor que a granel. La inhalación de nitrometano produce irritación leve y toxicidad antes de que se manifiesten sus efectos narcóticos; la exposición repetida puede causar lesiones hepáticas. Esta sustancia debe manipularse en zonas bien ventiladas, preferiblemente con extracción localizada, y los trabajadores deben utilizar equipos de protección personal.

Aunque el *nitroetano* es menos explosivo que el nitrometano, puede explotar cuando se dan ciertas condiciones de contaminación y confinamiento, y requiere la adopción de métodos seguros para su manipulación. Es un irritante moderado del tracto respiratorio, pero no se ha notificado ningún caso de lesiones graves en la industria. Siempre debe manipularse en lugares con una buena ventilación.

Nitroolefinas

Las nitroolefinas se consideran altamente tóxicas por la intensa irritación local que causa el contacto con líquidos o vapores a concentraciones de entre 0,1 y 1 ppm (p. ej., *nitrobuteno*, *nitrohexeno* o *nitrononeno*), y por la rápida absorción de estos compuestos a través de cualquier vía. Los efectos tóxicos aparecen inmediatamente después de la exposición e incluyen hiperexcitabilidad, convulsiones, taquicardia, hipernea, depresión, ataxia, cianosis y asfixia. Los cambios patológicos son más pronunciados en los pulmones, con independencia de la vía de absorción.

Alquil nitritos y nitratos

Los alquil nitritos se consideran tóxicos por su efecto en la formación de iones nitrito, que son agentes oxidantes fuertes. Los alquil nitratos y nitritos pueden ocasionar la formación de metahemoglobina en la sangre. Al calentarse pueden descomponer liberando óxidos de nitrógeno muy tóxicos. A elevadas concentraciones, los alquil nitritos son narcóticos. Los alquil nitratos son muy tóxicos y a dosis altas pueden ocasionar mareo, espasmos abdominales, vómitos, diarrea hemática, debilidad, convulsiones y colapso. Dosis pequeñas y repetidas producen debilidad, depresión general, cefalea y alteraciones mentales.

Los vapores de *cloropicrina* son muy irritantes para los ojos, causando lagrimeo intenso, y para la piel y el tracto respiratorio. La cloropicrina produce náuseas, vómitos, cólicos y diarrea si llega al estómago.

Los datos sobre los efectos de la cloropicrina proceden principalmente de las experiencias con armas químicas durante la primera Guerra Mundial. Es un irritante pulmonar con una toxicidad mayor que la del cloro, pero menor que la del fosgeno. Los datos militares indican que la exposición a 4 ppm durante unos segundos es suficiente para dejar a una persona incapacitada para la acción, y la exposición a 15 ppm durante 60 segundos causa lesiones bronquiales o pulmonares importantes. En concreto, daña los bronquios pequeños y medianos la causa de la muerte es frecuentemente el edema pulmonar. Al reaccionar con grupos sulfhidrilo, interfiere con el transporte de oxígeno y puede producir latidos débiles e irregulares, ataques de asma recurrentes y anemia. Una concentración de aproximadamente 1 ppm causa lagrimeo intenso y es una buena señal de advertencia de la exposición; a concentraciones mayores la irritación de la piel es evidente. La ingestión puede deberse a la deglución de saliva que contiene cloropicrina disuelta y produce vómitos y diarrea. La cloropicrina no es combustible, pero cuando se calienta o sufre un impacto que sobrepasa el umbral crítico, puede explotar.

Etilenglicol dinitrato (EGDN). Cuando el etilenglicol dinitrato se introdujo por primera vez en la industria de la dinamita, los únicos cambios observados fueron similares a los que afectaban a los trabajadores expuestos a nitroglicerina: cefalea, sudoración, rubor facial, hipotensión arterial, palpitaciones y mareo, sobre todo al iniciar el trabajo los lunes por la mañana o después de una baja laboral. El EGDN, que es absorbido por el tracto respiratorio y la piel, ejerce una marcada acción hipotensora aguda. Cuando empezaron a producirse algunos casos de muerte súbita entre los trabajadores de la industria de los explosivos, nadie sospechó en un principio el origen profesional de esos accidentes hasta que, en 1952, Symansky atribuyó numerosos casos de mortalidad ya observados en las fábricas de dinamita de Estados Unidos, Reino Unido y la República Federal de Alemania a intoxicación crónica por EGDN. Posteriormente se observaron, o al menos se sospecharon, otros casos en varios países, como Japón, Italia, Noruega y Canadá.

Después de un período de exposición que a menudo varía entre 6 y 10 años, los trabajadores expuestos a mezclas de nitroglicerina y EGDN pueden presentar dolor súbito torácico, semejante al de la angina de pecho, y/o morir súbitamente, habitualmente entre 30 y 64 horas después de finalizar la exposición, durante el sueño o después de realizar los primeros esfuerzos físicos del día al llegar al lugar de trabajo. La muerte es, en general, tan repentina que normalmente no se puede realizar un examen minucioso de las víctimas durante el ataque.

El tratamiento de urgencia con dilatadores coronarios y, en particular nitroglicerina, no es efectivo. En la mayor parte de los casos la autopsia dio resultados negativos y, aparentemente, las lesiones miocárdicas y coronarias no eran más prevalentes ni extensas que en la población general. Los electrocardiogramas

también han dado resultados decepcionantes. Desde un punto de vista clínico, se ha observado hipotensión sistólica, más señalada durante las horas de trabajo, acompañada de aumento de la presión diastólica, a veces con signos modestos de hiperexcitabilidad del sistema piramidal; con menos frecuencia se han observado signos de acrocianosis, con algunos cambios en la reacción vasomotora. Se han descrito también casos de parestesia periférica, particularmente por la noche, atribuidos a espasmos arteriales y/o neuropatías periféricas, así como algunos casos de sensibilización cutánea.

Nitroglicerina. La nitroglicerina es una sustancia altamente explosiva y muy sensible a los impactos mecánicos; también explota fácilmente por calor o reacción química espontánea. La sensibilidad de los explosivos comerciales se reduce añadiendo un absorbente como pasta de madera y productos químicos como etilenglicol dinitrato y nitrato amónico. En su forma pura o como dinamita amoniaca, la sustancia presenta solamente un riesgo moderado de explosión.

La nitroglicerina puede penetrar en el organismo por ingestión, inhalación o a través de la piel intacta. Produce dilatación arterial, aumento del ritmo cardíaco y reducción de la tensión arterial y del pulso. Se han descrito casos de muerte súbita en trabajadores que manipulaban explosivos y estaban expuestos a nitroglicerina; no obstante, la mayoría de estas muertes se han atribuido a la acción del etilenglicol dinitrato mezclado con nitroglicerina en la fabricación de dinamita.

La mayoría de trabajadores se adaptan rápidamente a la acción hipotensora de la nitroglicerina, pero la interrupción de la exposición (aunque sea sólo durante unos pocos días, tales como el fin de semana) puede hacer que esa adaptación se pierda y algunos trabajadores sufren náuseas al volver al trabajo los lunes por la mañana; otros no se llegan nunca a adaptar y deben ser retirados de la exposición después de un período de prueba de entre 2 y 3 semanas. La exposición prolongada a nitroglicerina puede causar trastornos neurológicos, y la ingestión de grandes cantidades provoca habitualmente colapso mortal.

Los síntomas iniciales de la exposición son cefalea, embotamiento y reducción de la tensión arterial, seguidos por náuseas, vómitos con fatiga y pérdida de peso, cianosis y alteraciones nerviosas centrales que pueden ser intensas, como manía aguda. En casos de intoxicación grave se han observado confusión, agresividad, alucinaciones y manifestaciones maniacas. Las bebidas alcohólicas pueden precipitar la intoxicación y aumentar su gravedad. En la intoxicación crónica se producen molestias digestivas, temblores y neuralgias.

La nitroglicerina puede causar irritación moderada en el punto de aplicación, habiéndose observado erupciones en las palmas y los espacios interdigitales y úlceras bajo las uñas en trabajadores que manipulan esta sustancia.

Nitroparafinas cloradas. Cuando se exponen al calor o a llamas, las nitroparafinas cloradas se descomponen fácilmente liberando vapores peligrosos, como fosgeno y óxidos de nitrógeno. Estos vapores altamente tóxicos pueden irritar las mucosas y producir lesiones pulmonares con grados variables de edema agudo y muerte. Aun así, no se han notificado exposiciones accidentales de seres humanos.

La toxicidad de algunas de estas sustancias no ha sido elucidada claramente. Con todo, las exposiciones experimentales a altas concentraciones producen lesiones no solo en el sistema respiratorio, sino posiblemente también en el hígado, los riñones y el sistema cardiovascular. Además, la ingestión causa congestión del tracto gastrointestinal, y el contacto con grandes cantidades, irritación de la piel. No se han registrado casos de intoxicación local o sistémica crónica de trabajadores en la industria.

Entre las nitroparafinas cloradas se incluyen: *cloronitrometano*, *dicloronitrometano*, *1-cloro-1-nitroetano*, *1,1-dicloro-1-nitro-etano*, *1-cloro-1-nitropropano*, *1-cloro-2-nitropropano*, *2-cloro-1-nitropropano* y *2-cloro-2-nitropropano*.

2-Nitropropano (2-NP)

Los estudios de seres humanos expuestos accidentalmente a 2-NP indican que la exposición breve a altas concentraciones puede ser nociva. Un informe atribuye la muerte de un trabajador y las lesiones hepáticas observadas en otro a la exposición a altos niveles de 2-NP mientras pintaban el interior de un tanque con una pintura de zinc-epoxi diluida con 2-NP y etilglicol (2-etoxietanol). Otro informe describe la muerte de cuatro hombres que trabajaban en espacios confinados con pinturas, revestimientos de superficies y resinas de poliéster que contenían 2-NP. Los cuatro trabajadores presentaban lesiones hepáticas y destrucción de hepatocitos. Los autores atribuyeron las muertes a una sobreexposición a 2-NP, aunque no descartaron el posible papel de otros disolventes, ya que no se identificó 2-NP en el análisis toxicológico. La exposición continuada a concentraciones de entre 20 y 45 ppm de 2-NP causó náuseas, vómitos, diarrea, anorexia y cefaleas intensas en los trabajadores de una fábrica. En otro caso se detectó un brote de hepatitis tóxica en trabajadores de la construcción que aplicaban resinas epoxi a las paredes de una central nuclear. Aunque la hepatitis se atribuyó a una hepatotoxina conocida, la *p,p'*-metilendianilina (4,4'-diaminodifenilmetano), también podría haberse debido al 2-NP que los hombres utilizaron para lavar las resinas epoxi de su piel.

Los trabajadores no pueden detectar fácilmente la presencia de 2-NP por su olor, ni siquiera en presencia de concentraciones potencialmente peligrosas. Según un informe, el umbral de detección del 2-NP por su olor se sitúa en concentraciones de 83 ppm. Otro informe indica que no puede detectarse 2-NP por su olor hasta una concentración de aproximadamente 160 ppm. No obstante, en 1984 se publicó un estudio según el cual el olor de 2-NP se detectaba a concentraciones de 3,1-5 ppm.

Estudios de carcinogenicidad. El 2-NP es cancerígeno en ratas. Algunos estudios han demostrado que la exposición a 100 ppm de 2-NP durante 18 meses (7 horas al día, 5 días a la semana) causa destrucción hepática y carcinoma hepatocelular en algunos machos. El aumento de la exposición a 2-NP aumentó la incidencia de cáncer hepático y causó lesiones hepáticas más rápidas. En 1979 se publicó un estudio epidemiológico de 1.481 trabajadores de una empresa química expuestos a 2-NP. Los autores concluyeron que "el análisis de estos datos no sugiere una mayor tasa de mortalidad por cáncer u otras enfermedades en este grupo de trabajadores". No obstante, señalaron que "debido al pequeño tamaño de la cohorte y que el período de latencia era para la mayoría relativamente corto, estos datos no nos permiten descartar que el 2-NP sea cancerígeno para el ser humano". Tampoco pudieron explicar algunos hallazgos relacionados con la tasa de mortalidad por cáncer observada en trabajadores que la empresa consideraba no expuestos a 2-NP. Combinando las cifras de mortalidad correspondientes a todos los trabajadores varones, con independencia de la categoría de exposición, había cuatro muertes por cáncer linfático, cuando el número esperado era de sólo una muerte. Entre las 147 trabajadoras se produjeron ocho muertes en total, en comparación con las 2,9 muertes esperadas, y cuatro muertes por cáncer en comparación con las 0,8 esperadas. Finalmente, los autores informaron que en la pequeña cohorte estudiada se produjeron siete muertes por sarcoma, una enfermedad maligna relativamente rara. Si bien este número parece demasiado alto, no pudo establecerse el número esperado de muertes para comparar y determinar estadísticamente si el número de cánceres sarcomatosos era muy alto, puesto que no puede desglosarse como categoría según el método habitual de

notificación y clasificación de defunciones. En resumen, hasta la fecha no existen pruebas de que el 2-NP sea cancerígeno para el ser humano. En 1982 la IARC concluyó que existían "pruebas suficientes" para afirmar que el 2-NP es cancerígeno en ratas. En la misma época la ACGIH lo clasificó como sospechoso cancerígeno humano. Actualmente se clasifica como cancerígeno A3 (cancerígeno en animales).

Medidas de salud y seguridad

Los métodos más importantes de control técnico para prevenir riesgos son la ventilación general o la extracción localizada. La ventilación general consiste en diluir el aire contaminado con aire fresco mediante el uso de ventiladores en el medio ambiente de trabajo. La extracción localizada consiste en retirar los contaminantes del medio ambiente en el punto en que se generan los vapores nocivos. En las zonas de trabajo, la concentración de contaminantes debe mantenerse por debajo de los límites de exposición utilizando cualquiera de estos dos métodos.

Si estos métodos de ventilación no son suficientes para reducir las cantidades excesivas de contaminantes presentes en el aire, se recomienda el confinamiento de los procesos o la segregación del personal. Los aparatos en los que se producen o procesan nitrocompuestos alifáticos deben estar sellados. Los trabajadores deben utilizar equipos de protección respiratoria y protección para la piel. También es necesaria la adopción de medidas contra incendios y explosiones y se recomienda una supervisión médica general que incluya exámenes médicos periódicos de los trabajadores.

En la medida de lo posible, la cloropicrina debe sustituirse por algún otro producto químico menos tóxico. Siempre que exista riesgo de exposición (p. ej. en la fumigación del suelo), los trabajadores deben ir adecuadamente protegidos con protectores oculares, equipos de protección respiratoria, preferiblemente con suministro de aire y, en caso de altas concentraciones, prendas protectoras para evitar la exposición de la piel. La mezcla y dilución de cloropicrina deben realizarse con un cuidado extremo; en invernaderos cuyo suelo haya sido tratado con esta sustancia debe colocarse un cartel de advertencia e impedir el acceso a su interior a personas no protegidas.

La primera consideración en la producción y el uso de EGDN es la prevención de explosiones; es por tanto necesario adoptar las mismas medidas de seguridad que en la fabricación de nitroglicerina y en la industria de explosivos en general. En este sentido, se ha conseguido un progreso considerable gracias al control remoto (por medios ópticos, mecánicos o electrónicos) de las operaciones más peligrosas (en particular la trituration) y la automatización de numerosos procesos como la nitración, el mezclado, el llenado de cartuchos, etc. Estas modificaciones presentan asimismo la ventaja de reducir al mínimo el número de trabajadores expuestos al contacto directo con EGDN y los tiempos de exposición asociados.

En los casos en que sigue produciéndose la exposición de los trabajadores a EGDN, se hace necesario la adopción de una serie de medidas de salud y seguridad. En particular, la concentración de EGDN en la mezcla de explosivos debe reducirse en función de la temperatura ambiente; en países de clima templado no debe sobrepasarse un 20-25 % y durante la estación cálida puede ser conveniente prescindir por completo del EGDN. No obstante, deben evitarse los cambios demasiado frecuentes en la concentración de EGDN para evitar que se produzcan síntomas de abstinencia. El riesgo de inhalación se reduce controlando la concentración atmosférica en el lugar de trabajo mediante sistemas de ventilación general y, en caso necesario, inducción de aire, puesto que la extracción localizada entraña riesgo de explosión.

La absorción por la piel puede reducirse mediante la adopción de métodos de trabajo adecuados y el uso de prendas protectoras, incluyendo guantes de polietileno; el nitroglicol atraviesa fácilmente el neopreno, el caucho y el cuero, razón por la cual estos materiales no confieren una protección adecuada. La empresa debe asegurarse de que los equipos se laven al menos dos veces por semana. Debe promoverse la higiene personal y hacer que los trabajadores se duchen al final de cada turno. El uso de un jabón indicador de sulfito podría servir para detectar restos de la mezcla nitroglicerina/EGDN en la piel. La ropa de trabajo debe mantenerse totalmente separada de la ropa personal. En algunas circunstancias puede que sea necesario el uso de equipos de protección respiratoria, así como en el trabajo en espacios confinados.

En la fabricación de nitroglicerina es esencial adoptar las medidas recomendadas para la manipulación de explosivos, según se describen en otro capítulo de esta *Enciclopedia*. Debe prestarse una atención especial al control efectivo del proceso de nitración, que implica una reacción altamente exotérmica. Los recipientes de nitración deben estar provistos de serpentines refrigerantes o dispositivos similares, y deben disponer de un sistema para anegar completamente la carga en caso de que se produzca una situación peligrosa. En la planta no debe utilizarse vidrio ni metal expuesto y, normalmente, se excluyen los equipos eléctricos.

Siempre que sea posible, el proceso debe estar completamente automatizado, con controles remotos y vigilancia mediante circuitos cerrados de televisión. En los lugares donde sea necesario trabajar con nitroglicerina, debe instalarse extracción localizada, respaldada por una buena ventilación general. Cada trabajador debe recibir al menos tres conjuntos completos de ropa de trabajo, incluido un gorro, de cuya limpieza se encargará la empresa. Estas ropas deben cambiarse como mínimo al principio de cada turno; en ningún caso se dará la vuelta a las perneras o a las mangas, y solamente se llevará calzado

autorizado y en buen estado. La nitroglicerina atraviesa el caucho delgado, de manera que los trabajadores deben utilizar guantes de nylon o polietileno con una capa de algodón para absorber el sudor.

En los lugares donde se sospechen concentraciones atmosféricas excesivamente altas de nitroglicerina, los trabajadores deben utilizar equipos de protección respiratoria. Los encargados de limpiar cubas de control, maquinaria y pozos de tensión, deben utilizar un respirador neumático. En ningún caso se permitirá el consumo de alimentos, bebidas o tabaco en el lugar de trabajo y los trabajadores deben lavarse cuidadosamente las manos antes de las comidas.

El 2-nitropropano debe manipularse en el lugar de trabajo como si fuera un potencial cancerígeno humano.

Prevención médica. Consiste en un examen previo a la contratación para evaluar el estado general de salud, el sistema cardiovascular (es esencial el examen electrocardiográfico en reposo y durante el ejercicio), el sistema neurológico, la orina y la sangre. Las personas con presión sistólica superior a 150 o inferior a 100 mm Hg o con presión diastólica superior a 90 o inferior a 60 mm Hg no deben, en principio, considerarse adecuadas para la exposición profesional a nitroglicol. Tampoco se aconseja la exposición de mujeres embarazadas. Además de los exámenes periódicos, los trabajadores que se reincorporen al trabajo después de una larga baja por enfermedad deberán someterse también a este tipo de exploración. Los electrocardiogramas deben repetirse al menos una vez al año.

Los trabajadores que padezcan enfermedades cardíacas, hipertensión, trastornos hepáticos, anemia o trastornos neurológicos, especialmente del sistema vasomotor, no deben exponerse a mezclas de nitroglicerina/EGDN. Se recomienda también trasladar a otros puestos de trabajo a las personas que lleven más de 5 ó 6 años realizando tareas peligrosas, y evitar los cambios demasiados frecuentes en la intensidad de la exposición.

TABLAS DE NITROCOMPUESTOS ALIFATICOS

Tabla 104.125 Identificación química.

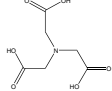
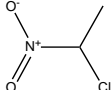
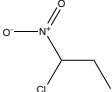
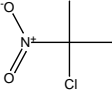
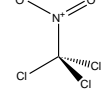
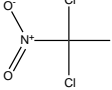
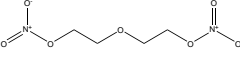
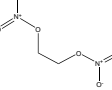

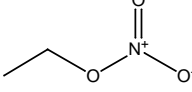
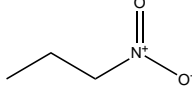
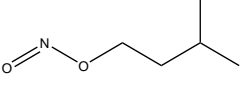
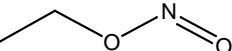
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
ACIDO NITRILOTRIACETICO	Acido aminotriacético ; N,N-bis(carboximetil)glicina; triglicina; ácido triglicolámico	139-13-9	
1-CLORO-1-NITROETANO		598-92-5	
1-CLORO-1-NITROPROPANO	Cloronitropropano	600-25-9	
2-CLORO-2-NITROPROPANO	Nitrito de etilo ; soluciones de nitrito de etilo (DOT); nitrosil etóxido; éter nitroso; nitroso etil éter UN1194	594-71-8	
CLOROPICRINA	Nitrocloroformo; nitrotriclorometano; tricloronitrometano UN1580 UN1583	76-06-2	
1,1-DICLORO-1-NITROETANO	Dicloronitroetano UN2650	594-72-9	
DIETILEN GLICOL DINITRATO	Di(hidroxietil) éter dinitrato UN0075	693-21-0	
ETILEN GLICOL DINITRATO	Dinitroglicol; etilen dinitrato; etilen nitrato; glicol dinitrato; nitroglicol, EGDN	628-96-6	
ETILEN GLICOL DINITRATO mezclado con NITROGLICERINA (1:1)		53569-64-5	
NITRATO DE ETILO	Ester propílico del ácido nítrico; nitrato de propilo; nitrato de n-propilo	625-58-1	
NITRATO DE PROPILO	Ester propílico del ácido nítrico; nitrato de n-propilo	627-13-4	
NITRITO DE AMILO	Nitrito de isoamilo ; nitrito de 3-metilbutanol; nitrito de 3-metilbutil; nitramilo; éster 3-metilbutílico del ácido nítrico	110-46-3	
NITRITO DE ETILO	Ester propílico del ácido nítrico; nitrato de propilo; nitrato de n-propilo	109-95-5	

Tabla 104.125 Identificación química.

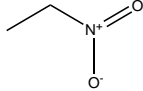

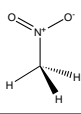
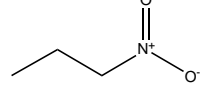
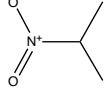
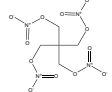

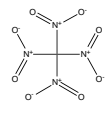
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
NITROETANO	UN2842	79-24-3	
NITROGLICERINA	Glicerol trinitrato; nitrato de glicerilo ; trinitrato de glicerilo ; nitroglicerol UN0143 UN0144 UN1204 UN3064	55-63-0	
NITROMETANO	Nitrocarbón UN1261	75-52-5	
1-NITROPROPANO		108-03-2	
2-NITROPROPANO	Dimetilnitrometano; isonitropropano; nitroisopropano	79-46-9	
PENTAERITRITOL TETRANITRATO	2,2-Bis((nitrooxi)metil)-1,3-propanediol dinitrato (éster); 2,2-bis(hidroximetil)-1,3-propanodiol tetranitrato; neopentanotetral nitrato; nitropentaeritró UN0411	78-11-5	
1,2-PROPILEN GLICOL DINITRATO	Propilen dinitrato; propilen glicol 1,2-dinitrato; 1,2-propanodiol, dinitrato	6423-43-4	
TETRANITROMETANO	UN1510	509-14-8	

Tabla 104.126 Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
ETILEN GLICOL DINITRATO 628-96-6	SCV	SCV	Inhalación Piel	Mareo, cefalea, náuseas, debilidad, los síntomas pueden tardar en aparecer Puede absorberse	SCV; sangre, piel; hígado; riñones Inh, abs, ing, con	Cef pulsátil; mar; náu, vómit, dolor abdom; hipotensión, sofocos, palp, angina; metahem; delirio, depres SNC; irrit piel; en animales: anemia; lesiones hepáticas y renales
NITROETANO 79-24-3	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, cefalea Enrojecimiento Enrojecimiento Dolor abdominal, dolor de garganta	Piel; sis resp; SNC; riñones; hígado Inh, ing, con	Derm; en animales: lag; dis, estertores y edema pulm; lesiones hepáticas y renales; narco
NITROMETANO 75-52-5	SNC	piel; riñones; hígado	Inhalación Piel Ojos	Tos, mareo, cefalea, náuseas, inconsciencia, vómitos Sequedad de piel Enrojecimiento	Ojos; piel; SNC; hígado Inh, ing, con	Derm; en animales: irrit ojos, sis resp; convuls, narco; lesiones hepáticas

Tabla 104.127 Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
ETILEN GLICOL DINITRATO 628-96-6		Al calentarse puede arder o explotar violentamente liberando vapores tóxicos (óxidos de nitrógeno) Puede descomponerse explosivamente por impacto, fricción o sacudida con ácidos	
NITROETANO 79-24-3		Al calentarse, puede arder o explotar violentamente rápidamente a altas temperaturas con álcalis fuertes, ácidos o combinación de aminas y óxidos de metales pesados Forma compuestos sensibles a impactos En su combustión libera gases tóxicos (dióxido de nitrógeno) Se descompone al calentarse a más de 300 °C produciendo humos tóxicos (óxidos de nitrógeno) Es un agente reductor fuerte y reacciona con oxidantes Puede atacar algunos plásticos	3
NITROMETANO 75-52-5	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Puede descomponerse explosivamente por impacto, fricción o sacudida Se descompone al calentarse produciendo óxidos de nitrógeno	3
PENTAERITRITOL TETRANITRATO 78-11-5			1.1D

Tabla 104.128 Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	P.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad de vapor relativa (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
ACIDO NITRILOTRIACETICO 139-13-9	crisales prismáticos en agua caliente, polvo blanco cristalino		242	191,1	lig sol	1					
1-CLORO-1-NITROETANO 598-92-5		124,5		109,51	insol	1,2837					
1-CLORO-1-NITROPROPANO 600-25-9	líquido	143		123,54	0,5ml/100 ml	1,209	0,3	5,8 mm Hg @ 25 °C		62 ca	
2-CLORO-2-NITROPROPANO 594-71-8	líquido	133,6		123,55	0,5 ml sol en 100 ml @ 20 °C	1,197 @ 20 °C/20 °C	4,3	8,5 mm Hg @ 25 °C		57 °C ca	
CLOROPICRINA 76-06-2	líquido ligeramente oleoso; incoloro; líquido amarillo pálido	112	-69,2	164,4	sol	1,6558	5,7	5,7 mm Hg @ 0 °C			
1,1-DICLORO-1-NITROETANO 594-72-9	líquido incoloro	124		143,9	0,25 ml/ 100 ml	1,4271	5,0	16,0 mm Hg @ 25 °C		76 ca	
DIETILEN GLICOL DINITRATO 693-21-0	líquido	161	-11,6		lig sol	1,377 @ 25 °C					
ETILEN GLICOL DINITRATO mezclado con NITROGLICERINA (1:1) 53569-64-5	líquido viscoso, amarillo pálido	197-200	-22,3	152,06	lig sol	1,4978				218	
ETILEN GLICOL DINITRATO 628-96-6	líquido amarillento y oleoso; incoloro	197-200	-22,3	152,06	insol	1,4918	5,24	7 Pa		215 cc	114

Tabla 104.128 Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	P.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad de vapor relativa (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
NITRATO DE ETILO 625-58-1	líquido incoloro	87,2 °C a 762 mm Hg	94,6 °C	91,07	1,3 g en 100 ml @ 55 °C	1,1084 a 20 °C/4 °C	3,1		Inferior, 4,0 % en volumen	10	
NITRATO DE PROPILO 627-13-4		110		105,09	lig sol	1,0538					
NITRITO DE AMILO 110-46-3	líquido amarillento, transparente	99		117,1	lig sol	0,8828	4,0				
NITRITO DE ETILO 109-95-5	líquido transparente incoloro o amarillento	17	-50	75,07	lig sol	0,90 @ 15 °C/15 °C	2,6		4,0% li 50,0% ls en volumen en aire	-35 °C	90 (se des- compo- ne),
NITROETANO 79-24-3	líquido oleoso; líquido incoloro	114	-50	75,07	lig sol	1,0448 @ 25 °C/4 °C	2,58	2,08	4,0 li ? ls	28	414
NITROGLICERINA 55-63-0	crisales triclinicos o rómicos de color amarillo pálido por debajo del punto de fusión; líquido viscoso; líquido oleoso, amarillo pálido	260	13	227,1	lig sol	1,5931	7,8	0,0025 mm Hg			270
NITROMETANO 75-52-5	líquido incoloro; líquido oleoso	101,1	-29	61,04	sol	1,14	2,11	3,5	7,3 li ? ls	35 cc	417
1-NITROPROPANO 108-03-2	líquido incoloro	131,6	-108	89,09	lig sol	0,9934 @ 25 °C/4 °C	3,1	7,5 mm Hg	2,2	34	
2-NITROPROPANO 79-46-9	líquido incoloro	120	-93	89,09	lig sol	0,9821 @ 25 °C/4 °C	3,06	20 mm Hg @ 25 °C	2,6 li 11,0 ls	24 cc	428
PENTAERITRITOL TETRANITRATO 78-11-5	prismas blancos cristalinos; (acetona-alcohol)	180 @ 50 mm Hg	140	316,1	lig sol	1,773					
1,2-PROPILLEN GLICOL DINITRATO 6423-43-4	líquido incoloro	121	-27,7	166,09	sol	0,9234				361	
TETRANITROMETANO 509-14-8	líquido amarillo claro; líquido oleoso incoloro	126	13,8	196,0	insol	1,6229	0,8	13 mm Hg @ 25 °C			

NITROCOMPUESTOS AROMATICOS

Los nitrocompuestos aromáticos constituyen un grupo de productos químicos orgánicos encabezados por el nitrobenzeno ($C_6H_5NO_2$) y derivados del benceno y sus homólogos (tolueno y xileno), el naftaleno y el antraceno, por sustitución de uno o más átomos de hidrógeno por un grupo nitro (NO_2). Este grupo nitro puede ser sustituido a su vez por un halógeno y ciertos radicales alquilo en casi todas las posiciones del anillo.

Los nitrocompuestos más importantes desde el punto de vista industrial son el nitrobenzeno, el mononitrotolueno, el dinitrotolueno, el trinitrotolueno (TNT), el tetrilo, los mononitroclorobenzenos, las nitroanilinas, los nitroclorotoluenos, el nitronaftaleno, el dinitrofenol, el ácido pícrico (trinitrofenol) y el dinitrocresol. La acción de todos estos compuestos en el organismo humano se ha estudiado lo suficiente como para establecer una relación de sus propiedades tóxicas y las medidas de control necesarias para evitar sus efectos nocivos.

Hay que considerar que existen muchos otros compuestos de este grupo, como son todos aquellos derivados que nunca se han producido en cantidad suficiente como para realizar una evaluación completa de los riesgos. Entre estos derivados están los dinitroclorobenzenos, dicloronitrobenzenos, nitroxilenos, nitrotoluidinas, nitrocloroanilinas, nitroanisoles, nitrofenoles y nitroanisidinas.

Usos

Los nitrocompuestos aromáticos tienen pocos usos directos que no sean en la fabricación de explosivos o como disolventes. Su mayor consumo corresponde a la reducción a derivados de la anilina que se utilizan en la fabricación de colorantes, pigmentos, insecticidas, textiles (poliamida resistente al calor: "Nomex"), plásticos, resinas, elastómeros (poliuretano), productos farmacéuticos, reguladores del crecimiento de las plantas, aditivos para combustibles, aceleradores del caucho y antioxidantes.

Los *dinitrotoluenos* se utilizan en la síntesis orgánica, colorantes, explosivos y como aditivos de propelentes. Los *nitrotoluenos* se emplean en la fabricación de colorantes, explosivos, toluidinas y ácidos nitrobenzoicos. También se encuentran en algunas formulaciones de detergentes, agentes de flotación y en la fabricación de neumáticos. Los nitrotoluenos se utilizan en la síntesis de protectores solares y en la producción de inhibidores de la gasolina. El *2,4,6-trinitrotolueno* es un explosivo militar e industrial. El *nitrobenzeno* se emplea en la fabricación de anilina, como disolvente de éteres de celulosa y como componente de productos para el pulido de metales, en ceras para suelos y calzados y en la fabricación de jabones. El nitrobenzeno se utiliza también en el refinado de aceites lubricantes y en la producción de isocianatos, pesticidas, productos químicos derivados del caucho y productos farmacéuticos.

El *m-nitrofenol* se utiliza en peletería como fungicida y el *p-nitrofenol*, como producto químico intermedio en la producción de conservantes de pieles. El *2,4-dinitrofenol* se utiliza en la fabricación de reveladores fotográficos, como conservante de madera y como insecticida. La *2-nitro-p-fenilendiamina* y el *4-amino-2-nitrofenol* se emplean como componentes de productos para el moldeado permanente del cabello y de tintes para pieles.

La *p-nitrosodifenilamina* actúa como acelerador de la vulcanización del caucho y como inhibidor de la polimerización en la fabricación de monómeros de vinilo. El *ácido pícrico* tiene numerosos usos en la industria textil, del vidrio y del cuero. También

se utiliza en explosivos, colorantes, germicidas, fungicidas, baterías eléctricas y combustibles de cohetes, así como para el grabado del cobre y como producto químico intermedio. El *tetrilo* se utiliza como agente detonante intermedio para otros explosivos menos sensibles y como carga multiplicadora en equipos militares.

Riesgos

Salud

El riesgo agudo para la salud más importante de los nitrocompuestos aromáticos es la cianosis, y la manifestación crónica es la anemia. Los nitrocompuestos liposolubles se absorben muy rápidamente a través de la piel intacta. Una cierta cantidad se excreta sin cambios a través de los riñones, pero la mayor parte se reduce para dar derivados nitrocianógenos e hidroxilamínicos, que a su vez se degradan a los análogos *orto* y *para*-aminofenol y se excretan en la orina. Tres de cada cuatro casos de cianosis muestran el aspecto azul o gris cenizo típico, pero sólo una tercera parte de las víctimas presentan síntomas de anoxia (cefalea, fatiga, náuseas, vértigo, dolor torácico, entumecimiento, dolor abdominal, dolor, palpitaciones, afonía, nerviosismo, disnea e irritabilidad). La intoxicación puede confirmarse mediante análisis de sangre y orina, detectándose cuerpos de Heinz en los hematíes. La metahemoglobinemia se trata con más detalle en otros artículos de esta *Enciclopedia*.

El potencial cianogénico depende en gran parte de la naturaleza y la posición de los grupos sustituyentes en el anillo de benceno. Además de su potencial cianogénico, los nitroclorobenzenos también son irritantes. Los dinitroclorobenzenos producen dermatitis por sensibilización en la mayoría de las personas incluso después de un contacto leve. El grado de toxicidad de los dicloronitrobenzenos es intermedio.

Los efectos a largo plazo son más insidiosos y sólo pueden detectarse mediante registros médicos bien documentados. Los análisis de sangre bimensuales revelarán la presencia de anemia durante varios años, incluso en ausencia de cianosis detectable o de una excreción urinaria significativamente elevada.

El *2,4-dinitrotolueno* afecta a las enzimas que metabolizan los fármacos en los microsomas hepáticos y se ha demostrado que es un carcinógeno hepático en la rata. No existen datos disponibles en lo referente a su potencial carcinogénico en el hombre.

La *1-* y la *2-nitronaftilamina* se han aislado como metabolitos urinarios del *1-* y del *2-nitronaftaleno*, respectivamente, en ratas. Este hecho tiene repercusiones importantes en cuanto al posible potencial carcinogénico de los nitronaftalenos.

El *dinitrofenol* (DNF) es un agente tóxico agudo que altera el metabolismo celular en todos los tejidos al interferir con el proceso esencial de fosforilación oxidativa. Si la víctima no sucumbe a la intoxicación, los efectos desaparecen rápida y completamente. La exposición puede tener lugar por inhalación de vapores, polvo o nieblas de soluciones de DNF. Esta sustancia se absorbe a través de la piel intacta pero, gracias a su color amarillo intenso, la contaminación de la piel es muy fácil de reconocer. Se han producido casos de intoxicación sistémica tanto durante su producción como durante su uso. El DNF sólido es explosivo y han ocurrido accidentes durante su producción y uso, por lo que debe manipularse con extrema precaución.

La intoxicación produce sudoración excesiva y una sensación de calor con debilidad y fatiga. En los casos graves, la respiración se hace rápida, existe taquicardia incluso en reposo y la temperatura corporal puede aumentar. Si se produce la muerte, ésta es

rápida y el *rigor mortis* se instaura casi de inmediato. El DNF ejerce su efecto tóxico por una alteración general del metabolismo celular que produce la necesidad de consumir cantidades excesivas de oxígeno para poder sintetizar los nucleótidos de adenina necesarios para la supervivencia de las células del cerebro, el corazón o los músculos. Si por ello la producción de calor es superior a su pérdida, puede producirse una hipertermia fatal. Estos efectos son más graves en los lugares de trabajo con ambientes cálidos.

El DNF se reduce rápidamente a aminofenol, un compuesto mucho menos tóxico, pero no inocuo, que se excreta como tal en la orina. Puesto que el DNF se metaboliza y excreta rápidamente, y como la intoxicación no produce lesiones estructurales en los tejidos, la absorción de pequeñas dosis durante largos períodos de tiempo no produce efectos crónicos ni acumulativos. La intoxicación puede confirmarse determinando el DNF o el aminofenol en la orina mediante el método de Derrien. No se produce metahemoglobinemia.

El *dinitrobenceno* es una sustancia química potente con efectos multisistémicos (como mínimo afecta al sistema nervioso central (SNC), la sangre, el hígado, el sistema cardiovascular y los ojos). Puede producir anemia grave y metahemoglobinemia.

El *nitrobenceno* puede penetrar en el organismo por vía respiratoria o percutánea (por ejemplo, por el uso de zapatos teñidos de negro con un colorante que contenga nitrobenceno o por la contaminación de la ropa de los trabajadores encargados de la producción de nitrobenceno). El efecto tóxico más importante del nitrobenceno es su capacidad de producir metahemoglobinemia. Su aparición es insidiosa y la cianosis sólo se presenta cuando el nivel de metahemoglobina en la sangre alcanza un 15 % o más. En caso de metahemoglobinemia grave, el paciente sufre, en estadios más avanzados, hipotensión, cefalea, náuseas, vértigo, entumecimiento de las extremidades, una intensa debilidad general grave y trastornos corticales. El nitrobenceno también es tóxico para el sistema nervioso central y, en algunos casos, produce excitación y temblores, seguidos de depresión grave, inconsciencia y coma. El análisis de orina de las personas expuestas muestra la presencia de nitro y aminofenoles, cuyos niveles pueden ser paralelos a los de la metahemoglobinemia. La exposición reiterada puede derivar en insuficiencia hepática que progresa a atrofia amarilla, ictericia hemolítica, anemia en distintos grados y presencia de cuerpos de Heinz en los hematíes. El nitrobenceno también provoca dermatitis por irritación primaria o sensibilización.

Ácido pícrico y derivados. Los derivados del ácido pícrico de importancia industrial son los picratos metálicos (de hierro, níquel, bario, cromo, plomo y potasio) y las sales de amoniaco y guanidina. Algunas de estas sales metálicas (bario, plomo o potasio) se han utilizado para la fabricación de mezclas detonantes y reforzadoras en bombas, minas y balas de cañón. Los efectos tóxicos pueden producirse por contacto cutáneo o por inhalación o ingestión del polvo de ácido pícrico o de sus sales. El contacto con la piel produce además dermatosis. Algunas de las sales metálicas también representan un riesgo de incendio y explosión.

Tras la ingestión de algunos gramos de ácido pícrico, que tiene un sabor sumamente amargo, puede producirse gastroenteritis aguda, hepatitis tóxica, nefritis, hematuria y otros síntomas urinarios. La piel y la conjuntiva se tornan de color amarillo, principalmente debido al ácido, pero también en parte, a causa de la ictericia. Puede producirse una visión amarilla. La muerte, cuando se produce, se debe a lesiones renales y anuria. En raras ocasiones, la muerte va precedida de ictericia y coma. Tras la absorción de esta sustancia por vía percutánea aparece cefalea, vértigo, náuseas, vómitos y erupciones cutáneas.

En la industria, sobre todo en la fabricación de explosivos, el principal problema de salud es la aparición de dermatopatías, en tanto que los casos de intoxicación sistémica son raros. Se ha visto que el ácido pícrico en forma sólida es irritante para la piel, pero en solución acuosa sólo irrita las pieles hipersensibles, produciendo una dermatitis por sensibilización similar a la producida por el picrato amónico. Generalmente afecta a la cara y, en especial, a la zona peribucal y los flancos de la nariz. Se aprecia edema, pápulas, vesículas y, por último, descamación. La zona aparece endurecida, como ocurre con el tetrilo o el trinitrotolueno. Los trabajadores que manipulan ácido pícrico o sus sales presentan la superficie cutánea y el pelo de un color amarillento.

La exposición intensa de animales de experimentación a polvo de picrato amónico durante períodos de hasta 12 meses produjo lesiones que demostraban alteraciones irreversibles en ciertos tejidos. El polvo del ácido pícrico puede causar no sólo irritación de la piel, sino también de la mucosa nasal. La inhalación de concentraciones elevadas de polvo produce pérdida de la consciencia momentáneamente, seguida de debilidad, mialgia, anuria y, posteriormente, poliuria. Los efectos del ácido pícrico en los ojos son: irritación, lesiones en la córnea, efectos visuales extraños (como el aspecto amarillo de los objetos) y coloración amarilla de los tejidos.

El ácido pícrico y sus derivados inflamables y explosivos deben almacenarse en cantidades pequeñas y en una zona fresca y bien ventilada, alejada de cualquier riesgo de incendio y de potentes agentes oxidantes y, preferiblemente, en un local aislado y separado del resto de las instalaciones.

Tetrilo. Los riesgos de explosión asociados a la producción de tetrilo son fundamentalmente los mismos que los de otros productos de la industria de explosivos, aunque el tetrilo, por ser relativamente estable, no puede considerarse como uno de los explosivos más peligrosos.

Durante la fabricación de tetrilo, los trabajadores pueden verse expuestos a óxidos de nitrógeno y a vapores ácidos en caso de ocurrir alguna fuga en los reactores de nitración. Hay exposición a cantidades apreciables de polvo de tetrilo durante la fabricación de los detonadores y en las operaciones subsiguientes de manejo, especialmente en el mezclado, pesaje, prensado de tabletas, eliminación de polvo y carga y montaje de los ingenios explosivos. Las principales manifestaciones de la exposición son irritación de las mucosas, pigmentación y decoloración de la piel y el cabello, dermatitis y, en casos de exposición intensa y prolongada, intoxicación sistémica debida a la inhalación y a la absorción cutánea.

La exposición inicial al tetrilo produce una irritación aguda de las mucosas de la nariz y la faringe. Al cabo de unos días, las manos, la cara, el cuero cabelludo y el cabello de los trabajadores expuestos se tiñen de un color amarillento. En las exposiciones más graves resulta afectada la conjuntiva y casi siempre se observa edema periorbital y palpebral inyectado de sangre. Durante las primeras 2 ó 3 semanas de exposición, los trabajadores pueden desarrollar dermatitis en forma de eritema, especialmente en la región del cuello, el pecho, la espalda y la cara interna de los antebrazos. Después de unos días, el eritema puede remitir, dejando una descamación moderada. Los trabajadores que pueden continuar trabajando a pesar de la dermatitis desarrollan tolerancia o resistencia al tetrilo. Sin embargo, la exposición prolongada o en personas con mala higiene personal o piel muy fina, la dermatitis puede extenderse a otras zonas del cuerpo y convertirse en papular, vesicular y eczematosa.

Después de sólo 3 ó 4 días de exposición a concentraciones elevadas de polvo, los trabajadores pueden llegar a quejarse de dolores de cabeza seguidos por hemorragias nasales periódicas. La irritación del tracto respiratorio superior no se extiende con frecuencia a los bronquios debido a que los cristales de tetrilo,

por su gran tamaño, no suelen llegar tan lejos; no obstante, en algunos casos se ha observado tos seca y espasmos bronquiales. Ocasionalmente pueden presentarse diarrea y trastornos menstruales.

Muchas de las alteraciones causadas por el tetrilo pueden atribuirse a la acción irritante de los cristales. En algunos casos la dermatitis es alérgica y en muchos casos se han sugerido mecanismos tales como la liberación local de histamina.

Después de una exposición intensa y prolongada, el tetrilo produce intoxicación crónica con trastornos digestivos como pérdida de apetito, dolor abdominal y vómitos, pérdida de peso, hepatitis crónica, irritación del sistema nervioso central con insomnio, hiperreflexia y excitación mental. Se han dado algunos casos de leucocitosis con ligera anemia ocasional. También se han descrito casos de trastornos menstruales. Los experimentos realizados con animales indican daños en los túbulos renales.

El *trinitrotolueno*, comúnmente conocido como TNT, es también un inductor de metahemoglobina. Durante la Primera Guerra Mundial se observó que los trabajadores que participaban en la fabricación de municiones desarrollaban efectos hepáticos graves y anemia y al menos el 25 % de los cerca de 500 casos descritos terminaron con la muerte del trabajador. Durante la Segunda Guerra Mundial también se observaron efectos adversos. Presumiblemente, las condiciones han mejorado de tal forma que, en la actualidad, la exposición es mucho más limitada y no deberían producirse casos de intoxicación grave. También se han descrito alteraciones del ciclo menstrual, problemas del tracto urinario y cataratas.

Incendio y explosión

Los nitrocompuestos aromáticos son inflamables y los di y trinitroderivados son explosivos en condiciones favorables (calor e impactos). Las bombas en funcionamiento que encuentran una válvula de descarga cerrada o una conducción taponada producen la suficiente cantidad de calor friccional con mononitrotolueno y nitroclorobenzenos como para provocar explosiones. Los nitrocompuestos aromáticos, excepto el nitrobenzeno, no deben calentarse en condiciones alcalinas. Los dinitrocompuestos pueden formar sales nítricas sensibles a los impactos y se han llegado a producir incendios por calentar carbonato potásico en *o*-nitrotolueno.

Durante el almacenamiento y el transporte debe evitarse el contacto con agentes reductores fuertes como sulfuro sódico, polvo de zinc, hidrosulfito sódico, hidruros metálicos y oxidantes fuertes como son los dicromatos, los peróxidos y los cloratos. Aquellos derivados que contengan átomos de cloro reactivos requieren unas condiciones muy especiales de almacenamiento y transporte. Los procesos de reducción química se utilizarán para la adición de nitrocompuestos a un sistema reductor (reducción ácida del hierro, sulfuro alcalino, etc.) en pequeños incrementos sobre una cantidad y a una velocidad que permita evitar el sobrecalentamiento o la acumulación de una excesiva cantidad de nitrocompuestos. Además de conocer los riesgos inherentes al uso

de ácido nítrico y sulfúrico concentrados, se debe tener mucho cuidado al desechar las mezclas de ácidos usadas, puesto que contienen compuestos orgánicos muy inestables durante el almacenamiento y calentamiento. El producto terminado deberá lavarse perfectamente y se neutralizará para evitar la corrosión de los metales y la descomposición espontánea.

Medidas de salud y seguridad

Un programa de salud eficaz encaminado a evitar daños en ésta debido a la exposición a nitrocompuestos aromáticos requiere una serie de medidas relacionadas con el control de la exposición y con la supervisión médica de los trabajadores. Como requisitos mínimos, deberán realizarse análisis en los puestos de trabajo para garantizar la idoneidad de los procedimientos de manipulación de los productos, del diseño de los equipos utilizados para los procesos y las labores de mantenimiento y del sistema de ventilación, realizándose un control de la contaminación ambiental. Siempre es preferible que los procesos se realicen en sistema cerrado. En algunas circunstancias puede que sea necesario realizar análisis del aire, pero en general, los resultados pueden inducir a error debido a la baja presión de vapor de los derivados del nitrobenzeno y a la contaminación de las superficies donde se produce el contacto cutáneo. No obstante, las nieblas liberadas de las operaciones de carga en caliente, conducciones de fuga, operaciones de vaporización, canales de drenaje en caliente, etc., no pueden ignorarse como posibles fuentes de intensa exposición cutánea y de contaminación del ambiente de trabajo.

Las medidas de protección necesarias, en orden ascendente de eficacia, son: protección respiratoria, rotación de los puestos de trabajo, limitación del tiempo de exposición, uso de ropa protectora y protección integral del cuerpo. La protección respiratoria tiene una aplicación limitada y el principal problema es el de la absorción percutánea. Los equipos protectores deben seleccionarse cuidadosamente para garantizar que sean impermeables a las sustancias químicas que se van a utilizar.

Para reducir al mínimo el riesgo de exposición crónica, que prive al individuo de una tolerancia limitada a los agentes cianogénicos, será preciso que exista un alto grado de higiene personal, sobre todo en lo que se refiere a la ducha diaria con agua y jabón abundante aplicado vigorosamente al final de cada turno de trabajo. Como consecuencia de la sospecha de ser potencialmente carcinógeno para el ser humano, la exposición profesional a los 1- y 2-nitronaftalenos debe mantenerse la más bajo nivel posible.

Cuando sea factible, se reemplazarán el ácido pícrico y sus derivados por otras sustancias inocuas o menos peligrosas. Si ello no fuese posible, se procederá a modificar los procesos, aislándolos o realizándolos en cerrado, mediante técnicas automáticas o mecánicas. Asimismo, se instalarán sistemas de extracción localizada y se recurrirá a los métodos húmedos, con el fin de reducir al mínimo la concentración atmosférica del producto. De cualquier forma, habrá que evitar el contacto directo con estas sustancias químicas.

TABLAS DE NITROCOMPUESTOS AROMATICOS

Tabla 104.129 Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
ACIDO PICRICO	2-Hidroxi-1,3,5-trinitrobenceno; 1,3,5-trinitrofenol; 2,4,6-trinitrofenol UN0154 UN1344	88-89-1	
1-AMINO-2-METIL-5-NITROBENCENO	2-Amino-4-nitrotolueno; 2-metil-5-nitroanilina; 6-metil-3-nitroanilina; 2-metil-5-nitro-benzenamina	99-55-8	
4-AMINO-2-NITROFENOL	4-Hidroxi-3-nitroanilina; o-nitro-p-aminofenol; 2-nitro-4-aminofenol	119-34-6	
1-CLORO-2,4-DINITROBENCENO	4-Cloro-1,3-dinitrobenceno; 6-cloro-1,3-dinitrobenceno; 1,3-dinitro-4-clorobenceno; 2,4-dinitroclorobenceno	97-00-7	
1-CLORO-2-NITROBENCENO	Cloro-o-nitrobenceno; o-cloronitrobenceno; 2-cloronitrobenceno; o-nitroclorobenceno UN1578	88-73-3	
1-CLORO-3-NITROBENCENO	Cloro-m-nitrobenceno; m-nitroclorobenceno UN1578	121-73-3	
1-CLORO-4-NITROBENCENO	p-Cloronitrobenceno; 4-cloronitrobenceno; 4-cloro-1-nitrobenceno; p-nitroclorobenceno UN1578	100-00-5	
3,5-CLORURO DE DINITROBENZOILO	Cloruro del ácido 3,5-dinitrobenzoico	99-33-2	
1,2-DICLORO-3-NITROBENCENO	2,3-Dicloronitrobenceno	3209-22-1	
1,2-DICLORO-4-NITROBENCENO	3,4-Dicloronitrobenceno	99-54-7	
2,4-DICLORO-1-NITROBENCENO	2,4-Dicloronitrobenceno	611-06-3	
DINITROBENCENO	UN1597	25154-54-5	
m-DINITROBENCENO	1,3-Dinitrobenceno; 2,4-dinitrobenceno UN1597	99-65-0	

Tabla 104.129 Identificación química.

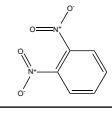
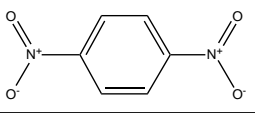
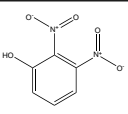
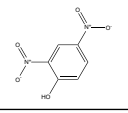
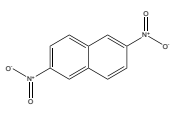
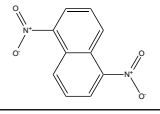
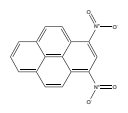
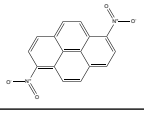
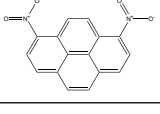
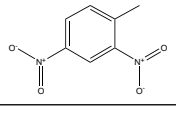
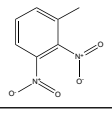
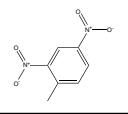
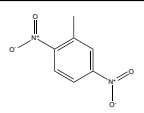
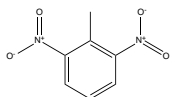
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
α -DINITROBENCENO	1,2-Dinitrobenceno UN1597	528-29-0	
ρ -DINITROBENCENO	UN1597	100-25-4	
2,3-DINITROFENOL		66-56-8	
2,4-DINITROFENOL	2,4-DNP; 1-hidroxi-2,4-dinitrobenceno	51-28-5	
DINITRONAFTALENO		27478-34-8	
1,5-DINITRONAFTALENO		605-71-0	
1,3-DINITROPIRENO		75321-20-9	
1,6-DINITROPIRENO		42397-64-8	
1,8-DINITROPIRENO		42397-65-9	
DINITROTOLUENO	Dinitrofenilmetano; metildinitrobenceno UN2038	25321-14-6	
2,3-DINITROTOLUENO	1-Metil-2,3-dinitrobenceno	602-01-7	
2,4-DINITROTOLUENO	Dinitrotolueno; 2,4-dinitrotoluoil; 1-metil-2,4-dinitrobenceno	121-14-2	
2,5-DINITROTOLUENO	2-Metil-1,4-dinitrobenceno	619-15-8	
2,6-DINITROTOLUENO	2-Metil-1,3-dinitrobenceno	606-20-2	

Tabla 104.129 Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
3,4-DINITROTOLUENO	4-Metil-1,2-dinitrobenceno	610-39-9	
3,5-DINITRO- <i>o</i> -TOLUIDINA	2-Amino-4,6-dinitrotolueno; 2-metil-3,5-dinitrobenzenamina	35572-78-2	
3,5-DINITRO- <i>p</i> -TOLUIDINA	Amino-2,6-dinitrotolueno; 3,5-dinitro-4-metilbenzenamina; 4-metil-3,5-dinitrobenzenamina	19406-51-0	
1-FLUORO-2,4-DINITROBENCENO	2,4-Dinitrofluorobenceno; 2,4-dinitro-1-fluorobenceno; 1,2,4-fluorodinitrobenceno	70-34-8	
4-METIL-2,6-DINITROANILINA	4-Amino-3,5-dinitrotolueno; 4-metil-2,6-dinitrobenzenamina; 2,6-dinitro-p-toluidina	6393-42-6	
2-METIL-1-NITROANTRAQUINONA	2-Metil-1-nitro-9,10-antracenediona; 1-nitro-2-metilantraquinona	129-15-7	
N-METIL-N-NITROSOANILINA	Metilnitrosoanilina; N-metil-N-nitrosobenzenamina; metilfenilnitrosamina; nitrosometilnilina; N-nitroso-N-metilnilina	614-00-6	
5-NITROACENAFTENO	1,2-Dihidro-5-nitro-acenaftileno; 5-nitronaftalenotileno	602-87-9	
5-NITRO- <i>o</i> -ANISIDINA	2-Amino-1-metoxi-4-nitrobenceno; 3-amino-4-metoxinitrobenceno; 2-amino-4-nitroanisol; 2-metoxi-5-nitroanilina	99-59-2	
NITROBENCENO	Nitrobenceno; nitrobenzol UN1662	98-95-3	
4-NITRODIFENILAMINA	4-Nitro-N-fenilbenzenamina; <i>p</i> -nitrodifenilamina; <i>p</i> -nitrofenilfenilamina	836-30-6	
4-NITRODIFENILO	4-Nitrodifenilo; <i>p</i> -nitrodifenilo; <i>p</i> -fenil-nitrobenceno; 4-fenil-nitrobenceno	92-93-3	
NITROFEN	Eter 2',4'-dicloro-4-nitrodifenilico; éter 2,4-dicloro-4'-nitrodifenilico; 2,4-dicloro-1-(4-nitrofenoxi)benceno; éter 2,4-diclorofenil- <i>p</i> -nitrofenilico	1836-75-5	
2-NITRO- <i>p</i> -FENILENDIAMINA	4-Amino-2-nitroanilina; 1,4-diamino-2-nitrobenceno; 2-nitro-1,4-bencendiamina; 2-nitro-1,4-diaminobenceno; 2-nitro-1,4-fenilendiamina	5307-14-2	

Tabla 104.129 Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
<i>m</i> -NITROFENOL	<i>m</i> -Hidroxinitrobenceno; 3-hidroxinitrobenceno; 3-Nitrofenol UN2648	554-84-7	
<i>o</i> -NITROFENOL	2-Hidroxinitrobenceno; 2-nitrofenol UN1663	88-75-5	
<i>p</i> -NITROFENOL	4-Hidroxinitrobenceno; 4-nitrofenol UN1663	100-02-7	
1-NITRONAFTALENO	α -Nitronaftaleno	86-57-7	
2-NITRONAFTALENO	β -Nitronaftaleno	581-89-5	
1-NITROPIRENO	3-Nitropireno	5522-43-0	
<i>p</i> -NITROSODIFENILAMINA	4-Nitrosodifenilamina; <i>p</i> -nitroso-N-fenilaniлина; 4-nitroso-N-fenilaniлина; 4-nitroso-N-fenilbencenamina	156-10-5	
<i>m</i> -NITROTOLUENO	3-Metilnitrobenceno; <i>m</i> -metilnitrobenceno; 3-nitrotolueno UN1664	99-08-1	
<i>o</i> -NITROTOLUENO	α -Metilnitrobenceno; 2-metilnitrobenceno; 2-nitrotolueno UN1664	88-72-2	
<i>p</i> -NITROTOLUENO	<i>p</i> -Metilnitrobenceno; 4-metilnitrobenceno; <i>p</i> -nitrotolueno; 4-nitrotolueno UN1664	99-99-0	
TETRILO	N-Metil-N,2,4,6-tetranitroaniлина; N-metil-N,2,4,6-tetranitrobencenamina; trinitrofenilmetilnitramina; 2,4,6-trinitrofenilmetilnitramina UN0208	479-45-8	
2,4,7-TRINITROFLUOREN-9-ONA	2,4,7-Trinitro-9-fluorenona	129-79-3	
1,3,6-TRINITROPIRENO		75321-19-6	
2,4,6-TRINITROTOLUENO	2-Metil-1,3,5-trinitrobenceno; trinitrotolueno, TNT UN0209 UN1356	118-96-7	

Tabla 104.130 Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
ACIDO PICRICO 88-89-1	ojos; piel	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta, debilidad Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Diarrea, mareo, cefalea, náuseas, vómitos	Riñones; hígado; sangre; piel; ojos Inh; abs; ing; con	Irrit ojos y piel; derm sens; coloración amarilla del cabello y la piel; deb, mialgia, anuria, poliuria; sabor amargo, trast GI; hepatitis, hema, album, nef
1-CLORO-2,4-DINITROBENCENO 97-00-7	ojos; piel; tract resp	piel; ojos	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Coloración azulada de los labios o uñas, piel azulada, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos, trastornos visuales Puede absorberse, enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, piel azulada, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos		
1-CLORO-2-NITROBENCENO 88-73-3	ojos; piel; tract resp; sangre	sangre; hígado; riñones; bazo	Inhalación Piel Ojos	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, mareo, cefalea, náuseas, respiración entrecortada Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor		
1-CLORO-4-NITROBENCENO 100-00-5	sangre	piel; sangre	Inhalación Piel	Cefalea, desvanecimiento, vértigo, debilidad Puede absorberse	Sangre; hígado; riñones; SCV; bazo; médula ósea; sis repro [en animales: tumores vasculares y hepáticos] Inh; abs; ing; con	Anox; sabor desagradable; anemia; metahemo; en animales: hema, hemog; cambios en bazo, riñones y médula ósea; efectos repro; [carc]
1,2-DICLORO-3-NITRO-BENCENO 3209-22-1	sangre	piel; hígado; riñones	Inhalación Piel Ingestión	Labios o uñas cianóticos Puede absorberse, enrojecimiento, labios o uñas cianóticos Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, confusión, cefalea, vómitos, debilidad		
1,2-DICLORO-4-NITRO-BENCENO 99-54-7	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel; riñones; hígado	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Labios o uñas cianóticos, sensación de quemazón en la garganta, cefalea, disnea Puede absorberse, enrojecimiento, sensación de quemazón, dolor, labios o uñas cianóticos Enrojecimiento, dolor Labios o uñas cianóticos		
2,4-DICLORO-1-NITRO-BENCENO 611-06-3	sangre	hígado; riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Labios o uñas cianóticos Puede absorberse, enrojecimiento, labios o uñas cianóticos Enrojecimiento Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, confusión, cefalea, vómitos, debilidad		
DINITROBENCENO 25154-54-5	ojos; piel; tract resp; pulmones; sangre	hígado; puede reducir la fertilidad masculina	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, sensación de quemazón, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, dolor de garganta, debilidad, trastornos visuales Puede absorberse, enrojecimiento, coloración amarilla de la piel Enrojecimiento Dolor abdominal, piel cianótica, diarrea, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos		

Tabla 104.130 Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
1,3-DINITROBENCENO 99-65-0	ojos; piel; tract resp	higado; puede causar alteraciones de la fertilidad masculina	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, debilidad, sensación de quemazón en la boca, sequedad de garganta, sed, trastornos visuales Puede absorberse, enrojecimiento, quemaduras en la piel, coloración amarilla de la piel Enrojecimiento, quemaduras Dolor abdominal, piel cianótica, diarrea, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos	Ojos; piel; sangre; higado; SCV; SNC Inh; abs; ing; con	Anox, cian; dist vis, escotomas centrales; sabor desagradable, sensación de quemazón en la boca, sequedad de boca, sed; coloración amarilla del cabello y la piel; anemia; les hepáticas
o-DINITROBENCENO 528-29-0	ojos; piel; tract resp; pulmones; sangre	higado	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, sensación de quemazón, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, debilidad, trastornos visuales Suede absorberse Enrojecimiento Dolor abdominal, piel cianótica, diarrea, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos	Ojos; piel; sangre; higado; SCV; SNC Inh; abs; ing; con	Anox, cian; dist vis, escotomas centrales; sabor desagradable, sensación de quemazón en la boca, sequedad de garganta, sed; coloración amarilla del cabello, los ojos y la piel; anemia; les hepáticas
p-DINITROBENCENO 100-25-4	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, debilidad, sensación de quemazón en la boca, sequedad de garganta, sed, trastornos visuales Puede absorberse, enrojecimiento, coloración amarilla de la piel Enrojecimiento, quemaduras Dolor abdominal, piel cianótica, diarrea, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos	Ojos; piel; sangre; higado; SCV; SNC Inh; abs; ing; con	Anox, cian; dist vis, escotomas centrales; sabor desagradable, sensación de quemazón en la boca, sequedad de garganta, sed; coloración amarilla del cabello, los ojos y la piel; anemia; les hepáticas
2,4-DINITROFENOL 51-28-5	Tract GI	piel; SNC; sangre; ojos;	Inhalación Piel	Sudoración, palpitaciones, náuseas, vómitos, colapso y muerte Puede absorberse		
DINITROTOLUENO 25321-14-6	sangre	higado; fertilidad masculina y femenina	Inhalación Piel	Sopor, náuseas, vómitos, debilidad Puede absorberse, labios o uñas cianóticos, piel azulada, piel metahemoglobinémica	Sangre; higado; SCV; sis repro [en animales: tumores de higado, piel y renales] Inh; abs; ing; con	Anox, cian; anemia, ict; efectos repro [carc]
2,3-DINITROTOLUENO 602-01-7	SNC; SCV; sangre		Piel Ingestión	Puede absorberse Labios o uñas cianóticos; cefalea, náuseas, dolor de garganta; vómitos		
2,4-DINITROTOLUENO 121-14-2	SNC; SCV; sangre		Inhalación Piel Ingestión	Labios o uñas cianóticos, cefalea, náuseas, dolor de garganta, vómitos Puede absorberse Labios o uñas cianóticos, cefalea, náuseas, dolor de garganta, vómitos		
2,6-DINITROTOLUENO 606-20-2	sangre	posible carcinógeno humano	Inhalación Piel	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, diarrea, mareo, sopor Puede absorberse		
3,4-DINITROTOLUENO 610-39-9	SNC; SCV; sangre;		Piel Ingestión	Puede absorberse Labios o uñas cianóticos, cefalea, náuseas, dolor de garganta, vómitos		

Tabla 104.130 Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
NITROBENCENO 98-95-3	ojos; sangre; SNC	piel; sangre; hígado; SNC; bazo; puede reducir la fertilidad masculina	Inhalación Piel	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, mareo, cefalea, náuseas, inconsciencia, debilidad Puede absorberse	Ojos; piel; sangre; hígado; riñones; SCV; sis repro Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel; anox; derm; anemia; metahemo: en animales: les hepáticas y renales; efectos testiculares
4-NITRODIFENILAMINA 836-30-6	ojos; piel; tract resp; sangre; cerebro	sangre	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, dolor de garganta, véase ingestión Véase ingestión Enrojecimiento, dolor Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, mareo, cefalea, dificultad respiratoria		
NITROFEN 1836-75-5	ojos; piel; tract resp	piel; sangre; SNC; sis reproductor humano	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor, visión borrosa Dolor abdominal		
p-NITROFENOL 100-02-7	ojos; piel; tract resp; SNC; sangre; riñones	SNC; hígado; riñones; sangre;	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Piel cianótica, mareo, cefalea, fiebre, náuseas, disnea, debilidad, sudoración Puede absorberse, enrojecimiento, costras Enrojecimiento, dolor Dolor como de quemazón en la boca y la garganta, dolor abdominal, mareo, inconsciencia		
o-NITROTOLUENO 88-72-2	ojos; piel; tract resp; sangre	hígado; sangre	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, tos, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, labios o uñas cianóticos, piel cianótica, mareo, cefalea, dificultad respiratoria	Sangre; SNC; SCV; piel; tract GI Inh; abs; ing; con	Anox, cian; cef, deb, mar; atax; dis; taqui; náu, vómit
p-NITROTOLUENO 99-99-0	ojos; piel; tract resp	hígado; riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, tos, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, labios o uñas cianóticos, piel cianótica, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, dolor de garganta, inconsciencia	Sangre; SNC; SCV; piel; tract GI Inh; abs; ing; con	Anox, cian; cef, deb, mar; ataxia; dis; taqui; náu, vómit
TETRILO 479-45-8	ojos; piel; tract resp; riñones; hígado; sangre	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Insomnio, tos, cefalea, dolor de garganta, hemorragias nasales Enrojecimiento, manchas amarillas en la piel y el cabello Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, mareo, cefalea, náuseas	sis resp; ojos; SNC; piel; hígado; riñones Inh; abs; ing; con	Derm sens, prurito, erit; edema de los pliegues nasales, mejillas y cuello; quera, estor; anemia; ftg; tos, coriza; irrit; mal, cef, las, insom; náu, vómit; les hepáticas y renales
2,4,6-TRINITROTOLUENO 118-96-7	ojos; piel; tract resp; sangre	hígado; sangre; ojos	Ojos	Enrojecimiento, dolor	Ojos; piel; sis resp; sangre; hígado; SCV; SNC; riñones Inh; abs; ing; con	Irrit piel y muc; les hepáticas, ict; cian; estorn; tos, dolor de garganta; neur peri, dolor musc; les renales, cataratas; derm sens; leucocit; anemia; irreg card

Tabla 104.131 Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
ACIDO PICRICO 88-89-1		Puede descomponerse violentamente como consecuencia de un impacto, fricción o sacudida Puede explotar si se calienta Forma compuestos sensibles a los impactos con los metales, principalmente cobre, plomo, mercurio y zinc En su combustión produce óxidos tóxicos de carbono y nitrógeno Reacciona violentamente con materiales oxidantes y reductores	1.1D
1-AMINO-2-METIL-5-NITROBENCENO 99-55-8			6.1
1-CLORO-2,4-DINITROBENCENO 97-00-7		Puede sufrir una combustión violenta o explosión cuando se calienta a aproximadamente 149 °C Puede explotar si se calienta en espacios cerrados o sufre un golpe Se descompone al calentarse, liberando gases tóxicos (óxidos de nitrógeno, cloro, cloruro de hidrógeno, fosgeno) Es un oxidante fuerte y reacciona con materiales combustibles y reductores Es un potente agente reductor y reacciona con los oxidantes Reacciona con oxidantes fuertes y bases fuertes	6.1
1-CLORO-2-NITROBENCENO 88-73-3	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Se descompone al calentarse o al arder, desprendiendo humos tóxicos y corrosivos (óxidos de nitrógeno, cloro, cloruro de hidrógeno, fosgeno) Reacciona violentamente con materiales reductores, con peligro de incendio y explosión	6.1
1-CLORO-3-NITROBENCENO 121-73-3			6.1
1-CLORO-4-NITROBENCENO 100-00-5		Se descompone al calentarse, liberando gases tóxicos (óxidos de nitrógeno, ácido clorhídrico, fosgeno y cloro) Es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores Reacciona con muchas sustancias, con peligro de incendio y explosión	
DINITROBENCENO 25154-54-5	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede explotar si se calienta en espacios cerrados En su combustión libera gases y humos tóxicos Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, bases fuertes y agentes reductores, con peligro de incendio y explosión Las mezclas con ácido nítrico son muy explosivas	6.1
1,3-DINITROBENCENO 99-65-0	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede explotar si se calienta en espacios cerrados En su combustión desprende gases y humos tóxicos Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, bases fuertes y metales reductores (estaño y zinc), con peligro de incendio y explosión Las mezclas con ácido nítrico son muy explosivas	6.1
o-DINITROBENCENO 528-29-0	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede explotar si se calienta en espacios cerrados En su combustión libera gases y humos tóxicos Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, bases fuertes y metales reductores, como estaño y zinc, con peligro de incendio y explosión Las mezclas con ácido nítrico son muy explosivas	6.1
p-DINITROBENCENO 100-25-4	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede explotar si se calienta en espacios cerrados En su combustión emite gases y humos tóxicos Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, bases fuertes y metales, como estaño y zinc, con peligro de incendio y explosión Las mezclas con ácido nítrico son muy explosivas	6.1
2,4-DINITROFENOL 51-28-5	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede descomponerse explosivamente por impacto, fricción o golpes Puede explotar si se calienta	
DINITROTOLUENO 25321-14-6	El vapor es más pesado que el aire Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede formar peróxidos explosivos Puede explotar si se calienta o se expone a una llama Se descompone al calentarse desprendiendo gases y humos tóxicos (monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno) Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, con peligro de incendio y explosión Reacciona con bases fuertes y metales como estaño y zinc, pudiendo producir calor y un aumento de la presión Ataca algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos	6.1

Tabla 104.131 Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios	
2,3-DINITROTOLUENO 602-01-7	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede explotar si se calienta carbono y óxidos de nitrógeno	Se descompone al calentarse, produciendo monóxido de carbono Reacciona con bases fuertes, oxidantes y agentes reductores	6.1
2,4-DINITROTOLUENO 121-14-2	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede explotar si se calienta carbono y óxidos de nitrógeno	Se descompone al calentarse, produciendo monóxido de carbono Reacciona con bases fuertes, oxidantes y agentes reductores	6.1
2,6-DINITROTOLUENO 606-20-2	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede explotar si se calienta carbono y óxidos de nitrógeno	Se descompone al calentarse, produciendo monóxido de carbono Reacciona con bases fuertes, oxidantes y agentes reductores	6.1
3,4-DINITROTOLUENO 610-39-9	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede explotar si se calienta carbono y óxidos de nitrógeno	Se descompone al calentarse, produciendo monóxido de carbono Reacciona con bases fuertes, oxidantes y agentes reductores	6.1
5-NITRO- <i>o</i> -ANISIDINA 99-59-2				6.1
NITROBENCENO 98-95-3		En su combustión libera humos corrosivos, como óxidos de nitrógeno Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y agentes reductores, con peligro de incendio y explosión Ataca muchos plásticos Forma sustancias o mezclas explosivas (térmicamente inestables) con muchos compuestos orgánicos e inorgánicos como oxidantes, cloruro de aluminio con fenol, hidróxido potásico anhidro o con pequeñas cantidades de metanol, anilina con glicerol, pentacloruro de fósforo, ácido nítrico, ácido sulfúrico o potasio		6.1
4-NITRODIFENILAMINA 836-30-6		Se descompone al calentarse o al arder, desprendiendo humos tóxicos (óxidos de nitrógeno) Reacciona con oxidantes fuertes Incompatible con agentes oxidantes fuertes y bases fuertes		
<i>m</i> -NITROFENOL 554-84-7				6.1
<i>o</i> -NITROFENOL 88-75-5				6.1
<i>p</i> -NITROFENOL 100-02-7	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede explotar si se calienta tóxicos como óxidos de nitrógeno, con peligro de incendio y explosión reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores Las mezclas con hidróxido potásico son explosivas	Se descompone al calentarse o al arder, liberando humos tóxicos Es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores Las mezclas con hidróxido potásico son explosivas	6.1
1-NITRONAFTALENO 86-57-7				4.1
<i>m</i> -NITROTOLUENO 99-08-1				6.1
<i>o</i> -NITROTOLUENO 88-72-2		Se descompone en contacto con oxidantes fuertes, ácido sulfúrico, agentes reductores, ácidos o bases, produciendo humos tóxicos, con peligro de incendio y explosión Ataca algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos		6.1
<i>p</i> -NITROTOLUENO 99-99-0		Se descompone al calentarse, desprendiendo humos tóxicos (óxidos de nitrógeno) reacciona violentamente con oxidantes fuertes o ácido sulfúrico, con peligro de incendio y explosión Ataca algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos		6.1

Tabla 104.131 Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
TETRILO 479-45-8	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Puede descomponerse violentamente como consecuencia de un impacto, fricción o sacudida Se descompone violentamente al calentarse a 187 °C El contacto del tetriilo con algunos materiales oxidables puede causar incendios y explosiones Explota espontáneamente en contacto con trioxigendifluoruro Al arder o explotar puede liberar gases y vapores tóxicos (como óxidos de nitrógeno)	1.1D
2,4,6-TRINITROTOLUENO 118-96-7		Puede descomponerse violentamente como consecuencia de un impacto, fricción o sacudida Al calentarse emite humos tóxicos Reacciona violentamente con agentes reductores, con peligro de incendio y explosión Reacciona con metales pesados Explota al calentarse a 240 °C	Al 1.1D

Tabla 104.132 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad de vapor relativa (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
ACIDO PICRICO 88-89-1	crisales amarillos	300	122,5	229,1	lig sol	1,763	7,90	< 1 torr		150	300
1-AMINO-2-METIL-5-NITROBENCENO 99-55-8	prismas monoclinicos amarillos en alcohol		105,5	152,2	lig sol			1,3x10 ⁻⁵ mm Hg			
4-AMINO-2-NITROFENOL 119-34-6	placas o agujas de color rojo oscuro en agua y alcohol		131	154,1	sol						
1-CLORO-2,4-DINITROBENCENO 97-00-7	crisales amarillos	315	53	202,6	insol	1,7	6,98		2,0 li 22,0 ls		
1-CLORO-3-NITROBENCENO 88-73-3	crisales amarillos; agujas monoclinicas	245–246	32–33	157,56	insol	1,305			261		
1-CLORO-4-NITROBENCENO 100-00-5	prismas monoclinicos; crisales amarillos	242	83,5	157,6	insol	1,3	5,44	20 Pa @ 30 °C		127 cc	510
2-CLORO-3-NITROBENCENO 121-73-3	prismas ortorrómbicos de color amarillo pálido en alcohol	236	46	157,6	insol	1,534					
3,5-CLORURO DE DINITROBENZOILO 99-33-2		196	74	230,56							
1,2-DICLORO-4-NITROBENCENO 99-54-7	agujas en alcohol y tetractoruro de carbono; líquido; sólido	255,5	43	192,00	insol	1,4558 @ 75 °C/4 °C	6,63	0,014 mm Hg			
2,4-DICLORO-1-NITROBENCENO 611-06-3		258,5	34	192,00	insol	1,4790 @ 80 °C					
DINITROBENCENO 25154-54-5	sólido amarillo pálido; sólido cristalino blanco	300	75–85	168	insol	1,6	5,8	< 0,1		150	
1,3-DINITROBENCENO 99-65-0	crisales amarillentos; placas rombohédricas en alcohol; sólido de color amarillo pálido	300–303	90	168,1	lig sol	1,575 @ 18 °C/4 °C	5,8	< .1		149	

Tabla 104.132 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad de vapor relativa (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
<i>o</i> -DINITROBENCENO 528-29-0	crisales, agujas o placas amarillos o incoloros; agujas en benceno, placas; crisales blancos; sólido de color amarillo pálido	319	118	168,1	insol	1,3119	120	5,79	< 0,1		150 cc
<i>p</i> -DINITROBENCENO 100-25-4	crisales blancos; agujas en alc; agujas monoclinicas incoloras o amarillas; sólido de color amarillo pálido; crisales amarillos	299	174	168,1	insol	1,625 @ 18 °C/4 °C		5,8	< 0,1		150
2,3-DINITROFENOL 66-56-8			144,5	184,10	lig sol	1,681					
2,4-DINITROFENOL 51-28-5	crisales ortorrómbicos amarillentos a amarillos		112–114	184,1	lig sol	1,683 g/ml @ 24 °C		6,35	2x10 ⁻⁵ mm Hg @ 25 °C		
1,5-DINITRONAFTALENO 605-71-0			219	218,16	insol						
DINITROTOLUENO 25321-14-6	líquido aceitoso	250–300	54–93	182,14	insol	1,3		6,28	0,13		207 cc
2,3-DINITROTOLUENO 602-01-7	crisales amarillos	250–300	63	182,1	insol	1,3		6,28			
2,4-DINITROTOLUENO 121-14-2	crisales o líquido aceitoso	300	71	182,1	insol	1,3208 g/ml @ 71 °C		6,27	0,13 @ 103 °C		207 ca
2,5-DINITROTOLUENO 619-15-8			52,5	182,13		1,282 @ 111					
2,6-DINITROTOLUENO 606-20-2	agujas rómbicas en alcohol; sólido entre amarillo y rojo	285	66	182,1		1,2833 @ 111 °C		6,28	5,67x10 ⁻⁴ mm Hg		207 cc
3,4-DINITROTOLUENO 610-39-9	crisales o agujas	250–300	58	182,1	insol	1,26		6,28			110
3,5-DINITRO- <i>p</i> -TOLUIDINA 19406-51-0			171	197,14							
1-FLUORO-2,4-DINITROBENCENO 70-34-8	crisales de color amarillo pálido en alcohol	296	25,8	186,10		1,4718 @ 84 °C					
2-METIL-1-NITROANTRAQUINONA 129-15-7	agujas de color amarillo pálido		270,5	267,2	insol						
N-METIL-N-NITROSOANILINA 614-00-6		225	14,7	136,15	insol	1,1240					
5-NITROACENAFTENO 602-87-9			103,5	199,2	sol						
5-NITRO- <i>o</i> -ANISIDINA 99-59-2	agujas rojas o naranja en alc, éter o agua		118	168,2	sol	1,2068 @ 156 °C			1,3x10 ⁻⁴ mm Hg @ 25 °C		

Tabla 104.132 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad de vapor relativa (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
NITROBENCENO 98-95-3	crisales amarillo verdosos o amarillos, líquido aceitoso	210,8	5,7	123,11	lig sol	1,2037	4,3	20 Pa	1,8 li 40 ls	88 cc	480
4-NITRODIFENILO 92-93-3	agujas amarillas; agujas blancas	340	114	199,2	insol						
NITROFEN 1836-75-5	sólido blanco; crisales; sólido cristalino; sólido cristalino amarillo; sólido fluyente de color marrón oscuro	180–190 @ 0.25 mm Hg	70–71	284,10	insol	1,33 @ 90 °C		< 0,1 Pa @ 40 °C			
4-NITROFENILBENZANAMINA 836-30-6	crisales tabulares o agujas de color amarillo en tetracloruro de carbono	211@ 30 mm Hg	133,5	214,23	insol		7,4				
2-NITRO- <i>p</i> -FENILENDIAMINA 5307-14-2	agujas casi negras con un brillo negro verdoso		137	153,1	sol						
<i>m</i> -NITROFENOL 554-84-7	prismas monoclinicos en éter y ácido clorhídrico diluido; crisales monoclinicos incolores o amarillos	194 @ 70 mm Hg	97	139,1	lig sol	1,2797 @ 100 °C/4 °C		0,75 torr			
<i>o</i> -NITROFENOL 88-75-5	agujas o prismas amarillo claro; monoclinicos	216	44,8	139,1	lig sol	1,495 @ 14 °C		1 mm Hg @ 49,3 °C			
<i>p</i> -NITROFENOL 100-02-7	crisales incolores o ligeramente amarillos; prismas monoclinicos amarillos en tolueno; sólido entre amarillo y marrón	279	113,8	139,1	lig sol	1,270	4,8	0,0032 Pa		169	
1-NITRONAFTALENO 86-57-7	crisales amarillos	304	61,5	173,2	insol	1,332		4,8x10 ⁻⁴ mm Hg @ 25 °C		164 cc	
2-NITRONAFTALENO 581-89-5		312,5	79	173,16	insol						
<i>p</i> -NITROSODIFENILAMINA 156-10-5	placas verdes con brillo azulado (en benceno) o prismas o placas de color azul acero (en éter o agua); placas o líquido de color amarillo; crisales verdosos		143	198,2	lig sol						
<i>m</i> -NITROTOLUENO 99-08-1	líquido amarillo	232	15,5	137,1	insol	1,1581	4,73	0,207 mm Hg @ 25 °C		106	

Tabla 104.132 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad de vapor relativa (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
<i>o</i> -NITROTOLUENO 88-72-2	líquido amarillento	222	-10	137,13	insol	1,1629	4,73	0,133 @ 50 °C	2,2 li ? ls	106 cc	
<i>p</i> -NITROTOLUENO 99-99-0	cristales amarillentos; agujas rómbicas incoloras; cristales ortorrómbicos en alcohol y éter	238,3	53-54	137,1	insol	1,1038 @ 75/ 4 °C	4,72	0,173 @ 65 °C		106	
TETRILO 479-45-8	sólido incoloro a amarillo; cristales monoclinicos; prismas amarillos en alcohol	187	131,5	287,15	insol	1,57		< 0,1 Pa		187	
2,4,7-TRINITROFLUOREN-9-ONA 129-79-3	agujas de color amarillo pálido en ácido acético o benceno		176	315,19	lig sol						
2,4,6-TRINITROTOLUENO 118-96-7	rombohedros monoclinicos; los cristales comerciales (agujas) son amarillos; sólido incoloro o amarillo claro en forma de cristales, escamas, gránulos, o bloques o placas fundidas; escamas trituradas	240	80,1	227,13	insol	1,654	7,85	< 0,1 Pa			

PEROXIDOS ORGANICOS E INORGANICOS

La estructura química de los peróxidos se caracteriza por la presencia de dos moléculas de oxígeno unidas por un enlace covalente sencillo (compuestos peroxídicos). Esta estructura es, en sí misma, inestable. Los peróxidos se descomponen rápidamente en radicales libres muy reactivos. El anión peróxido sirve como iniciador de numerosas reacciones químicas. Esta reactividad es esencial para la utilidad de algunos peróxidos en la industria y explica los riesgos que conllevan en materia de seguridad.

Usos

Los peróxidos orgánicos se utilizan sobre todo en las industrias químicas, de los plásticos y el caucho. Actúan como iniciadores para reacciones de polimerización de radicales libres, de monómeros para obtener polímeros termoplásticos, para resinas de poliéster termoestables y para elastómeros entrecruzados y polietileno. Los peróxidos orgánicos se utilizan como fuente de radicales libres en muchas síntesis orgánicas.

El *peróxido de 2-butanona* es un endurecedor de fibra de vidrio y plásticos reforzados y un agente de curado de resinas de poliéster insaturadas. El *peróxido de ciclohexanona* se utiliza como catalizador para el endurecimiento de ciertas resinas de fibra de vidrio, como blanqueador de harina, aceites vegetales, grasas y ceras, como agente de polimerización en la industria de los plásticos y como agente de vulcanización en la industria del caucho. El *peróxido de dilaurilo* se utiliza en las industrias cosmética y farmacéutica y en la combustión de hilos de acetato. Además de servir como catalizador de polimerizaciones, el *peróxido de terc-butilo* actúa como acelerador de la ignición de combustibles diesel.

El *peróxido de benzoilo* se utiliza principalmente en la producción de polímeros para iniciar los procesos de polimerización y copolimerización de radicales libres de cloruro de vinilo, estireno, acetato vinílico y acrílicos. Se utiliza también para el curado de resinas de poliéster termoestables y gomas de silicona y para el endurecimiento de algunas resinas de fibra de vidrio. El peróxido de benzoilo se utiliza en medicina para el tratamiento del acné. Es el blanqueador preferido para la harina y se utiliza también para decolorar quesos, aceites vegetales, ceras, grasas, etc. El *hidroperóxido de cumeno* se utiliza en la fabricación de fenoles y acetona. El *ácido peracético* es un bactericida y fungicida empleado especialmente en el procesamiento de los alimentos. Sirve también como decolorante de tejidos, papel, aceites, ceras y almidón, y como catalizador de polimerizaciones.

El *peróxido de hidrógeno* tiene numerosas aplicaciones, la mayoría de ellas basadas en sus propiedades como agente oxidante y blanqueante. Actúa también como reactivo en la síntesis de compuestos químicos. El peróxido de hidrógeno tiene diferentes usos dependiendo de su concentración: las soluciones al 3 % y 6 % se utilizan con fines medicinales y cosméticos; la solución al 30 % se usa como reactivo de laboratorio; las soluciones al 35 % y 50 % se utilizan en la mayoría de las aplicaciones industriales; la solución al 70 % se utiliza en oxidaciones orgánicas y la solución al 90 % tiene algunas aplicaciones industriales y sirve también como propelente en programas militares y espaciales. Las soluciones superiores al 90 % se usan sólo para fines militares especiales.

El peróxido de hidrógeno se emplea en la producción de glicerina, plastificantes, agentes blanqueantes, productos farmacéuticos, cosméticos, agentes secantes para grasas, aceites y ceras y

óxidos de amina para detergentes de lavavajillas. Se utiliza en la industria textil para blanquear tejidos, especialmente el algodón, y en la industria papelera para blanquear la pulpa mecánica obtenida de la madera. En minería, el peróxido de hidrógeno se utiliza para aumentar la solubilidad del uranio en la solución lixiviadora. Es también útil en la industria electrónica para la erosión catódica y la oxidación de metales y para el tratamiento de superficies metálicas. Además, el peróxido de hidrógeno se utiliza como esterilizante en la industria de los alimentos y como fuente de oxígeno en los equipos de protección respiratoria.

Riesgos

Los principales riesgos son los incendios y las explosiones. Los peróxidos orgánicos son excelentes combustibles que entran fácilmente en ignición y arden con fuerza. Los enlaces oxígeno-oxígeno son térmicamente inestables, descomponiéndose exotérmicamente, de forma creciente a medida que aumenta la temperatura. La inestabilidad térmica es muy variable. Las temperaturas de los peróxidos orgánicos para una vida media de 10 horas oscilan entre 25 °C y 172 °C. Los productos de descomposición son generalmente vapores inflamables que pueden formar mezclas explosivas con el aire; si la descomposición es rápida, puede alcanzarse una temperatura suficiente como para que se produzca la autoignición al entrar en contacto con el aire. La descomposición puede iniciarse por acción del calor, por fricción, por choques mecánicos o por contaminación, si bien la sensibilidad a estos estímulos varía mucho. Si el calor producido por la descomposición no se disipa con rapidez suficiente, puede producirse una reacción que va desde un ligero desprendimiento de gas hasta una descomposición espontánea violenta, con la consiguiente deflagración o explosión. Los peróxidos formados espontáneamente en diversos éteres y aldehídos de bajo peso molecular son extremadamente sensibles a la fricción y a los choques. El peróxido de metilacetona y el ácido peroxiacético son extremadamente sensibles a los choques y tienen que diluirse para poder ser manipulados sin riesgos. El peróxido de benzoilo seco es también sensible a los choques. El peróxido de dicumilo, por el contrario, no es sensible a los choques ni a la fricción. La sensibilidad a los choques puede aumentar con la temperatura. La descomposición violenta puede ser provocada por cantidades traza de una gran diversidad de contaminantes, como ácidos fuertes, bases, metales, aleaciones de metales, sales metálicas, compuestos azufrados, aminas, aceleradores o agentes reductores. Esto es especialmente cierto en el caso de los peróxidos de metilacetona y benzoilo, cuya descomposición puede provocarse inintencionadamente a temperatura ambiente cuando se utilizan pequeñas cantidades de aceleradores. La violencia de la descomposición se ve muy afectada por la cantidad y el tipo de peróxido, por la velocidad del aumento de la temperatura, por la cantidad y el tipo de contaminación y por el grado de confinamiento.

La seguridad de muchos peróxidos orgánicos mejora considerablemente cuando se dispersan en diluyentes disolventes o no disolventes que absorben el calor de la descomposición (p. ej., agua o un plastificante) o reducen la sensibilidad a los impactos (p. ej., dimetilftalato). Estas mezclas son, en general, mucho menos inflamables que los peróxidos puros, y algunas de ellas no son inflamables. No obstante, el uso de un diluyente tóxico puede aumentar considerablemente la toxicidad de la solución de peróxidos.

El principal efecto tóxico de la mayoría de los peróxidos es la irritación de la piel, las mucosas y los ojos. El contacto prolongado o intenso con la piel o las salpicaduras en los ojos pueden

causar lesiones graves. Algunos vapores de peróxidos orgánicos son irritantes y pueden causar también cefaleas, intoxicación similar a la del alcohol y edema pulmonar cuando se inhalan en grandes concentraciones. Otros, como los hidroperóxidos de cumeno, son sensibilizantes conocidos de la piel. Los peróxidos de dialquilo no suelen ser tan irritantes y los peróxidos de diacilo son los menos irritantes de todos los peróxidos. Los hidroperóxidos, los peroxiacidos y especialmente el peróxido de metiletilcetona son mucho más peligrosos. Son extremadamente irritantes y corrosivos para los ojos, con riesgo de ceguera, y pueden causar graves lesiones o la muerte si se ingieren en cantidad suficiente.

La carcinogenicidad de los peróxidos ha sido objeto de investigación, pero por el momento no se han obtenido resultados concluyentes. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha asignado al Grupo 3 (sustancias no clasificables por su carcinogenicidad) al peróxido de benzoilo, al cloruro de benzoilo y al peróxido de hidrógeno.

Peróxido de benzoilo. Los peligros del peróxido de benzoilo seco se reducen considerablemente cuando éste se dispersa en diluyentes no disolventes capaces de absorber el calor liberado por su descomposición y que, además, confieren otras ventajas. El peróxido de benzoilo se produce habitualmente en forma granular hidratada, con un contenido en agua del 20-30 % de agua, y en forma de pastas diversas que contienen en torno al 50 % de un plastificante y otros diluyentes. Estas formulaciones han reducido considerablemente la inflamabilidad y la sensibilidad al impacto en comparación con el peróxido de benzoilo seco. Algunas son ignífugas. Los endurecedores utilizados con cargas de resinas plásticas, como las imprimaciones para carrocerías de automóviles, contienen normalmente un 50 % de peróxido de benzoilo. Los blanqueadores de harina contienen un 32 % de peróxido de benzoilo, con un 68 % de almidón en grano y sulfato cálcico dihidratado o fosfato dicálcico dihidratado y se consideran no inflamables. Las cremas para combatir el acné, que tampoco son inflamables, contienen entre un 5 % y un 10 % de peróxido de benzoilo.

Peróxido de hidrógeno. Esta sustancia se vende en soluciones acuosas, normalmente al 35 %, 50 % (grado industrial), 70 % y 90 % (grado alto) en peso, aunque también está disponible en soluciones al 3 %, 6 %, 27,5 % y 30 %. Asimismo, se vende según "volúmenes" (lo que significa la cantidad de gas oxígeno que se liberará por ml de solución). El peróxido de hidrógeno se estabiliza durante su fabricación para evitar la contaminación por metales y otras impurezas; pese a ello, el aditivo no podrá inhibir la descomposición si se produce una contaminación excesiva.

La exposición humana por inhalación provoca irritación e inflamación extremas de la nariz, la garganta y el tracto respiratorio; edema pulmonar, cefalea, mareo, náuseas, vómitos, diarrea, irritabilidad, insomnio, hiperreflexia; temblores y entumecimiento de las extremidades, convulsiones, pérdida de la consciencia y shock. Estos últimos síntomas son el resultado de una intoxicación sistémica grave. La exposición a neblinas o pulverizaciones de peróxido de hidrógeno causa picor y lagrimeo de los ojos. Si el peróxido de hidrógeno salpica los ojos, puede producir lesiones graves, como ulceración de la córnea; en algunas raras ocasiones ésta aparece hasta una semana después de la exposición.

El contacto de la piel con el peróxido de hidrógeno en forma líquida produce una decoloración pasajera de la piel y, si la contaminación no cesa, es posible que se produzca eritema y vesiculación.

Aunque la ingestión de peróxido de hidrógeno es poco frecuente, cuando se produce puede causar irritación del tracto gastrointestinal superior. Su descomposición produce la rápida liberación de O₂, provocando la distensión del esófago o el estómago y, posiblemente, graves lesiones y hemorragias internas.

La descomposición del peróxido de hidrógeno es un proceso continuo que tiene lugar incluso a velocidad lenta cuando el compuesto está inhibido y, por tanto, debe almacenarse en un lugar adecuado y en envases ventilados. El peróxido de hidrógeno de grado alto es un producto altamente energético. Cuando se descompone en oxígeno y agua, se libera gran cantidad de calor, lo que produce a su vez un aumento de la velocidad de la descomposición. La velocidad se multiplica por casi 2,2 veces con cada 10 °C de aumento de la temperatura entre 20 y 100 °C. Aunque las soluciones puras de peróxido de hidrógeno no suelen ser explosivas a presión atmosférica, las concentraciones de vapor del peróxido de hidrógeno en equilibrio por encima de 26 mol % (40 % en peso) se hacen explosivas a temperaturas por debajo del punto de ebullición del líquido.

Puesto que el compuesto es un oxidante muy potente, cuando se derrama sobre materiales combustibles puede provocar un incendio. Cuando el peróxido se mezcla con compuestos orgánicos incompatibles (la mayoría), puede producirse una detonación. Las soluciones con concentraciones inferiores al 45 % se dilatan al congelarse, mientras que las que tienen una concentración superior al 65 %, se contraen. Cuando se produce una descomposición rápida cerca de materiales combustibles, puede ocurrir una detonación con exposiciones que causen irritación intensa de la piel, los ojos y las mucosas. Las soluciones de peróxido de hidrógeno superiores al 8 % se clasifican como líquidos corrosivos.

El peróxido de hidrógeno no es en sí mismo inflamable, pero puede causar la combustión espontánea de sustancias inflamables y mantener la combustión, puesto que libera oxígeno al descomponerse. Aunque no se considera una sustancia explosiva, cuando se mezcla con productos químicos orgánicos pueden formarse compuestos peligrosos sensibles a los impactos. Los materiales con catalizadores metálicos pueden provocar una descomposición explosiva del peróxido de hidrógeno.

La contaminación del peróxido de hidrógeno con metales como cobre, cobalto, manganeso, cromo, níquel, hierro y plomo, y sus sales, o con polvo, suciedad, aceites, distintas enzimas, herrumbre y agua no destilada, aumenta la velocidad de descomposición. Con la descomposición se libera oxígeno y calor. Cuando la solución se diluye, el calor que se genera es rápidamente absorbido por el agua. En soluciones más concentradas, el calor aumenta la temperatura de la solución y la velocidad de descomposición, con el consiguiente peligro de explosión. La contaminación con materiales que contienen catalizadores metálicos puede causar una descomposición inmediata y una ruptura explosiva del envase si éste no está debidamente ventilado. El uso de peroxodisulfato amónico para la producción de peróxido de hidrógeno entraña un riesgo de sensibilización bronquial y cutánea.

Medidas de seguridad

Los derrames se limpiarán con prontitud, para lo que habrá que utilizar herramientas que no produzcan chispas y un diluyente inerte húmedo, como vermiculita o arena. El material barrido puede introducirse en contenedores abiertos o sacos de polietileno y la zona se lavará con agua y detergente. Los peróxidos derramados, contaminados, desechados o en dudoso estado deben destruirse. La mayoría de los peróxidos pueden hidrolizarse añadiendo lentamente una cantidad aproximada de 10 veces su peso de una solución de hidróxido sódico frío al 10 % mientras se mezcla con una varilla o agitador. La operación puede requerir varias horas. Los envases rígidos de edad o aspecto incierto no deben nunca abrirse, sino quemarse con precaución desde una distancia segura.

Las personas que manipulen peróxidos deben utilizar gafas ajustadas de seguridad, gafas protectoras o pantallas faciales para

protegerse los ojos. Asimismo, existirán fuentes para el lavado de urgencia de los ojos. Para evitar el contacto con la piel, se usarán guantes, mandiles y otras prendas protectoras. No deben utilizarse prendas de vestir y equipos que generen electricidad estática. Estará prohibido fumar. Los peróxidos no deben almacenarse en los mismos refrigeradores que contengan alimentos o bebidas. Las reacciones de laboratorio se realizarán siempre detrás de una pantalla de seguridad.

Las zonas donde se almacenen y manipulen estos productos deben estar protegidas contra incendios mediante un sistema de rociado o aspersores (puede utilizarse un sistema de rociado con nitrógeno líquido para la protección de los peróxidos que sólo son estables por debajo del punto de congelación del agua). En caso de incendio, se aplicará agua desde una distancia segura mediante un sistema de aspersores o con manguera,

preferiblemente provista de una boquilla aspersora. Sin embargo, si el peróxido está diluido en un disolvente inflamable de baja densidad, será necesario utilizar espuma. No deben utilizarse extintores portátiles, salvo en el caso de incendios muy pequeños. Los peróxidos amenazados por un incendio deben humedecerse desde una distancia segura para enfriarlos.

En caso de producirse el contacto de la piel con peróxidos, la zona afectada debe lavarse rápidamente para evitar su irritación. En caso de contacto con los ojos, éstos deben lavarse inmediatamente con agua abundante, poniendo a la víctima bajo vigilancia médica. Si no se actúa rápidamente, la exposición a irritantes corrosivos como el peróxido de metilacetona puede causar ceguera. En caso de ingestión accidental, debe solicitarse también asistencia médica. Si se produjera sensibilización, habría que evitar ulteriores contactos con peróxidos.

TABLAS DE PEROXIDOS ORGANICOS E INORGANICOS

Tabla 104.133 • Identificación química.

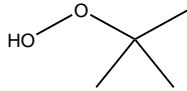
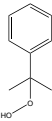
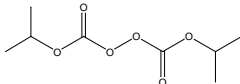
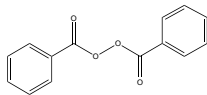
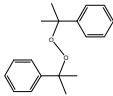
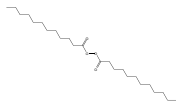
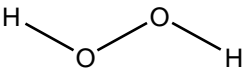
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
HIDROPEROXIDO DE <i>tert</i> -BUTILO	Cadox TBH; hidroperóxido de 1,1-dimetiletilo ; perbutilo H	75-91-2	
HIDROPEROXIDO DE CUMENO	Cumenil hidroperóxido; cumil hidroperóxido; hidroperóxido de α -cumilo; hidroperóxido de α,α -dimetilbenzilo; hidroperóxido de isopropilbenceno	80-15-9	
PEROXIDICARBONATO DE DIISOPROPILO		105-64-6	
PEROXIDO DE BENZOILO	BPO; benoxil; peróxido del ácido benzoico; benzoperóxido; benzoilo; superóxido de benzoilo; loción Clearasil de peróxido de benzoilo; tratamiento para el acné Clearasil BP	94-36-0	
PEROXIDO DE DICUMILO		80-43-3	
PEROXIDO DE DODECANOILO	Peróxido de dilauroilo; peróxido de dilaurilo; DYP-97F; Laurox; peróxido de lauroilo; lauridol; peróxido de bis(1-oxododecilo)	105-74-8	
PEROXIDO DE HIDROGENO	Dióxido de hidrógeno; Peroxan; peróxido UN2015	7722-84-1	

Tabla 104.134 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
HIDROPEROXIDO DE <i>tert</i> -BUTILO 75-91-2	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, disnea Enrojecimiento, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, sensación de quemazón, debilidad		
HIDROPEROXIDO DE CUMENO 80-15-9	ojos; piel; tract resp; pulmones		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, disnea Enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Dolor abdominal, sensación de quemazón		

Tabla 104.134 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
PEROXIDO DE BENZOILO 94-36-0			Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Enrojecimiento Enrojecimiento Dolor abdominal	Piel; sis resp; ojos Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, muc; derm sens
PEROXIDO DE DODECANOILO 105-74-8	ojos; tract resp; pulmones					
PEROXIDO DE HIDROGENO 7722-84-1			Inhalación Piel Ojos Ingestión	Corrosivo, tos, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, respiración entrecortada, dolor de garganta, los síntomas pueden tardar en aparecer Corrosivo, enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor Corrosivo, enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves, ulceración de la córnea, perforación Dolor abdominal, náuseas, dolor de garganta, vómitos, distensión abdominal	Piel; sis resp; ojos Inh; ing; con	Irrit ojos, nariz, garganta; ulcer córn; erit, vesic piel; decoloración del cabello

Tabla 104.135 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
HIDROPEROXIDO DE <i>tert</i> -BUTILO 75-91-2		Puede explotar al calentarse Es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, compuestos metálicos y de azufre	
HIDROPEROXIDO DE CUMENO 80-15-9		Puede explotar al calentarse a unos 150 °C En su combustión libera gases tóxicos Al calentarse se forman humos tóxicos Es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, con peligro de incendio y explosión El contacto con aleaciones de cobre o plomo y minerales ácidos puede producir su descomposición violenta	5.2
PEROXIDICARBONATO DE DIISOPROPILO 105-64-6			
PEROXIDO DE BENZOILO 94-36-0		Puede descomponerse violentamente por choque, fricción o sacudida Puede explotar al calentarse En su combustión libera humos y gases tóxicos e irritantes de ácido benzoico y monóxido de carbono Se descompone al calentarse a 103 °C Es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores Reacciona violentamente con muchos ácidos orgánicos e inorgánicos, alcoholes y aminas, con peligro de incendio y explosión Ataca algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos; puede ocasionar incendios y explosiones	
PEROXIDO DE DICUMILO 80-43-3			
PEROXIDO DE DODECANOILO 105-74-8			5.2
PEROXIDO DE HIDROGENO 7722-84-1		Se descompone al calentarse o por influencia de la luz produciendo oxígeno, lo que aumenta el peligro de incendio Es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, con peligro de incendio y explosión, particularmente en presencia de metales Ataca muchas sustancias orgánicas, p. ej., tejidos y papeles	

Tabla 104.136 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. Inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
HIDROPEROXIDO DE <i>terc</i> -BUTILO 75-91-2	líquido acuoso transparente	89 se descompone	-8	90,12	sol	0,8960	2,07	3,07	5 li 10 ls	43	238
HIDROPEROXIDO DE CUMENO 80-15-9	líquido incoloro o amarillo claro	153	-10	152,2	lig sol	1,05		32 Pa	0,9 li 6,5 ls	79	221
PEROXIDICARBONATO DE DIISOPROPILO 105-64-6	sólido cristalino de grano grueso; incoloro		8-10	206,22	insol	1,080 @ 15,5 °C/4 °C					
PEROXIDO DE BENZOILO 94-36-0	crisales; polvo blanco granular	explota	103-106	242,2	lig sol	1,334 @ 25 °C	8,4	0,1		80	
PEROXIDO DE DICUMILO 80-43-3	sólido granular de color blanco o amarillo claro		28	270,40		1,02					
PEROXIDO DE DODECANOILO 105-74-8	polvo grueso blanco; láminas blancas	descompone	49	398,70	insol	0,91 @ 25 °C (sólido)				112	
PEROXIDO DE HIDROGENO 7722-84-1	líquido transparente incoloro; sólido cristalino a bajas temperaturas	152	-0,43	34,02	misc	1,463 @ 0 °C/4 °C	1,0	0,2 (90 %), 0,1 (70 %)			

FENOLES Y COMPUESTOS FENOLICOS

Los fenoles son derivados del benceno que se caracterizan por la presencia de un grupo hidroxilo (-OH) unido al anillo de benceno.

Usos

Los fenoles se utilizan en la industria como antioxidantes, productos químicos intermedios, desinfectantes, agentes de curtido, reveladores fotográficos y aditivos de lubricantes y gasolina. Se emplean ampliamente en las industrias de fotografía, petróleo, pinturas, explosivos, caucho, productos farmacéuticos y productos agrícolas. Los tres principales usos de los fenoles son la fabricación de resinas fenólicas, bisfenol A y caprolactamo.

El *fenol* se utiliza en la fabricación de diversos compuestos, como medicamentos, tintes y resinas artificiales incoloras o de colores claros. Es un desinfectante general para cuartos de baño, establos, pozos negros, suelos y alcantarillas, así como un disolvente extractivo para el refinado del petróleo. El fenol se encuentra en pinturas germicidas, bactericidas antimoho y colas. El *catecol* se utiliza principalmente como antioxidante en las industrias del caucho, química, fotografía, colorantes, grasas y aceites, así como en cosméticos y en algunos productos farmacéuticos.

El *resorcinol* se utiliza en las industrias de curtidos, cosméticos, productos farmacéuticos y fotografía, así como en la fabricación de explosivos, colorantes, sustancias químicas orgánicas y antisépticos. Es también un ingrediente de adhesivos para neumáticos, caucho y madera. El resorcinol es un polímero que se añade de forma indirecta a los alimentos como componente básico de las superficies en contacto con alimentos de uso único o repetido. La *hidroquinona* es un agente reductor utilizado ampliamente como revelador fotográfico, antioxidante y estabilizante en pinturas, barnices, combustibles para motores y aceites. Muchos derivados de la hidroquinona se han utilizado como agentes bactericidas. El *ácido pirogálico* sirve también como revelador fotográfico, mordiente de madera, colorante de pieles y pelo, antioxidante en aceites lubricantes y agente reductor de sales de oro, plata y mercurio. Se utiliza para la tinción del cuero, la fabricación de fármacos sintéticos y el mantenimiento de las condiciones anaeróbicas para el crecimiento bacteriano. Su utilidad se debe principalmente a su tendencia a la oxidación en soluciones alcalinas (incluso por acción del oxígeno atmosférico).

El *2,4-dimetilfenol* se utiliza en la fabricación de productos farmacéuticos, plásticos, insecticidas, fungicidas, compuestos químicos de caucho, agentes humectantes y colorantes. Actúa como disolvente, desinfectante, germicida y esterilizante en las mezclas comerciales utilizadas para desinfectar todas las zonas, instrumentos y equipos de los hospitales. El α -fenilfenol tiene numerosas funciones como fungicida, germicida y desinfectante de uso doméstico. Se utiliza en las industrias del caucho y el procesamiento de alimentos y sirve como vehículo de los colorantes de fibras de poliéster y como desinfectante de lubricantes para cuchillas, madera y papel.

Los *cresoles* tienen una gran diversidad de aplicaciones en las industrias de resinas fenólicas, explosivos, petróleo, fotografía pintura y agricultura. Son ingredientes de muchos de los productos desinfectantes de uso doméstico. Los cresoles se utilizan también como aditivos de los aceites lubricantes y como ingredientes de compuestos desengrasantes y limpiadores de pinceles. El *m-cresol* es un detergente para la ropa; el α -cresol

se utiliza para el curtido, el tratamiento de fibras y el desengrasado de metales; el *p-cresol* sirve como disolvente de esmaltes metálicos, agente para la limpieza de metales y la flotación de minerales y componente de aromatizantes sintéticos y perfumes.

Los clorofenoles son productos químicos intermedios en la síntesis de colorantes, pigmentos y resinas fenólicas. Algunos clorofenoles se utilizan directamente como inhibidores de mohos, antisépticos, desinfectantes y agentes para evitar el espesamiento de la gasolina. El *pentaclorofenol* y su sal sódica se utilizan para proteger diversos productos industriales del ataque microbiológico. Entre ellos se encuentran la madera y otros productos celulósicos, almidones, adhesivos, proteínas, cuero, hilos y tejidos aprestados, soluciones fotográficas, aceites, pinturas, látex y caucho. El pentaclorofenol se utiliza en la construcción de barcos y edificios, para el control de mohos en las prospecciones y explotaciones petrolíferas, y como agente antibacteriano en desinfectantes y productos de limpieza. Es también útil para el tratamiento de revestimientos de cables, correas de lona, redes, poleas y agua de las torres de refrigeración. El pentaclorofenol es igualmente importante para controlar las termitas en madera y tableros aislantes, la carcoma de polvo de salvadera y otros insectos que se alimentan de la madera, así como el fango y las algas. Se emplea en la producción de herbicidas y como agente para inhibir la fermentación de diversos materiales.

Algunos clorofenoles se utilizan como productos químicos intermedios y conservantes en las industrias de pinturas, tejidos, cosmética y cuero. El *2-clorofenol* y el *2,4-diclorofenol* se utilizan en síntesis orgánicas. El *2-clorofenol* se emplea en la fabricación de colorantes y en el proceso de extracción de compuestos de azufre y nitrógeno del carbón. El *2,4,5-triclorofenol* es un conservante para adhesivos, tejidos sintéticos, caucho, madera, pinturas y papel, y el *2,4,6-triclorofenol* es un conservante para madera y pegamento. Los *tetraclorofenoles* (y sus sales sódicas) sirven como fungicidas y conservantes de la madera.

Riesgos

Fenol

El fenol se absorbe fácilmente a través de la piel y por vía digestiva, en tanto que los vapores de este producto lo hacen también con rapidez por vía pulmonar. Tras la absorción de una dosis subletal, la mayor parte del fenol se oxida o conjuga con ácido sulfúrico, ácido glucurónico y otros ácidos, y se excreta con la orina en forma de fenol "conjugado". Una pequeña parte se excreta como fenol "libre". Los efectos tóxicos del fenol están directamente relacionados con la concentración de fenol libre en la sangre.

En el ser humano, la intoxicación aguda de fenol produce vasodilatación, depresión cardíaca, hipotermia, coma y parada respiratoria. La ingestión de fenol causa un dolor abdominal intenso y quemaduras en la boca. También puede ocasionar insuficiencia renal aguda. En animales, los síntomas de intoxicación aguda son muy similares, con independencia del lugar o el modo de administración de este compuesto. Los efectos predominantes se ejercen en los centros motores de la médula espinal, produciendo temblores y fuertes convulsiones. En la actualidad, el número de casos notificados de intoxicación crónica por fenol es comparativamente menor. Los casos graves se caracterizan por trastornos sistémicos, como problemas digestivos con vómitos, dificultad para tragar, ptialismo, diarrea y anorexia; trastornos nerviosos, con cefalea, fatiga, vértigo y alteración mental; y posiblemente ocronosis y erupción cutánea. El pronóstico es grave

cuando se producen lesiones extensas en el hígado y los riñones. La ingestión de una dosis de 1 g de fenol es letal para el ser humano. Casi todos los segundos casos notificados de intoxicación aguda por fenol (en una misma persona) han tenido consecuencias mortales.

En términos generales, los síntomas de la intoxicación por di y trihidroxifenoles (*resorcinol*, *hidroquinona*, *pirogalo*) son similares a los del fenol, si bien la acción antipirética del resorcinol es más marcada que la del fenol. La aplicación cutánea de soluciones o pomadas con un 3-5 % de resorcinol produce hiperemia local, dermatitis pruriginosa, edema y destrucción de las capas superficiales de la piel. La dosis letal aproximada de resorcinol en solución acuosa para los conejos es 0,75 g/kg, y para las ratas y cobayas, 0,37 g/kg. La hidroquinona es más tóxica que el fenol. Se han comunicado dosis letales de 0,2 g/kg (conejo) y 0,08 g/kg (gato). La aplicación dérmica de pirogalol produce destrucción e irritación de la piel. Los contactos repetidos pueden llegar a producir sensibilización de la piel. Los síntomas observados en intoxicaciones agudas de seres humanos son similares a los que aparecen en los animales de experimentación, entre ellos vómitos, hipotermia, temblores ligeros, debilidad, descoordinación muscular, diarrea, pérdida de reflejos, coma, asfixia y muerte por insuficiencia respiratoria. La dosis letal estimada de pirogalol acuoso es de 1,1 g/kg (por vía oral) para el conejo, 0,35 g/kg (por vía subcutánea) para el gato y el perro, y 0,09 g/kg (por vía intravenosa) para el perro.

El *pentaclorofenol* y su sal sódica producen malestar y efectos locales o sistémicos. Es muy probable que la piel se irrite tras una única exposición relativamente breve a una solución con aproximadamente un 10 % de esta sustancia. Una solución al 1 % puede causar irritación si el contacto se repite. Una solución al 0,1 % o menos puede causar efectos adversos después de un contacto prolongado. Los síntomas de intoxicación sistémica grave consisten en pérdida de apetito, dificultad respiratoria, anestesia, hiperpirexia, sudoración, disnea y coma de rápida progresión.

El polvo fino y las pulverizaciones de pentaclorofenol o pentaclorofenato sódico causan una irritación dolorosa de los ojos, del tracto respiratorio y de la nariz. Las concentraciones atmosféricas superiores a 1 mg/m³ de aire causan ese dolor en personas no habituadas. El pentaclorofenol ha sido clasificado por la IARC como un posible carcinógeno humano del Grupo 2B.

Otros clorofenoles. Se han descrito casos de dermatosis humana por exposición a tetraclorofenol y su sal sódica, con lesiones papulofoliculares, quistes sebáceos e hiperqueratosis marcada. La exposición profesional a clorofenoles aumenta el riesgo de sarcoma de tejidos blandos. Los derivados clorofenólicos, entre ellos el ácido 2,4-diclorofenoxiacético, el ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético, el ácido 2,4,5-triclorofenoxipropiónico y las sales y ésteres de 2,4-D se describen en otras partes de este capítulo y en otros artículos de la *Enciclopedia*.

Los síntomas de intoxicación por *o*-, *m*- y *p*-clorofenol en ratas consisten en inquietud y aumento de la frecuencia respiratoria, evolucionando rápidamente a debilidad motora, temblores, convulsiones clónicas, disnea y coma. Los 2,4- y 2,6-diclorofenoles y los 2,4,6- y 2,4,5-triclorofenoles producen también estos síntomas, pero la reducción de la actividad y la debilidad motora no se manifiestan con tanta rapidez. Los temblores son mucho menos intensos pero, también en este caso, continúan hasta unos minutos antes de la muerte. Los *tetraclorofenoles* ocupan un lugar intermedio entre los homólogos de cadena más corta y el pentaclorofenol. Estos compuestos provocan también síntomas similares a los causados por los *mono*-, *di*- y *triclorofenoles*, si bien no suelen producir hiperpirexia.

En el ser humano se han descrito casos de dermatosis, entre ellas dermatitis fotoalérgica de contacto, tras la exposición a

2,4,5-triclorofenol, cloro-2-fenilfenol y tetraclorofenoles. Los síntomas observados son lesiones papulofoliculares, comedones, quistes sebáceos e hiperqueratosis marcada (cloracné).

Bromo- y yodofenoles. Los bromo- y yodofenoles se absorben rápidamente del tracto gastrointestinal. La dosis oral letal aproximada de *pentabromofenol* es de 200 mg/kg en la rata; la de *2,4,6-tribromofenol*, 2,0 g/kg en la rata; y la de *2,4,6-triyodofenol*, entre 2,0 y 2,5 g/kg en la rata. En ratas y cobayas, las LD₅₀ subcutáneas de *o*-bromofenol son 1,5 y 1,8 g/kg, respectivamente. En términos generales, los síntomas son similares a los del pentaclorofenol. El pentabromofenol produce también temblores y convulsiones.

En virtud de los resultados obtenidos en experimentos con animales, los fenoles halogenados, el pentabromofenol y el pentaclorofenato sódico y cúprico se consideran seguros para su uso como molusquicidas siempre que se tomen las debidas precauciones durante su aplicación.

Catecol (pirocatecol). Se sabe que el contacto de esta sustancia con la piel produce una dermatitis eczematosa. En algunos raros casos, la absorción a través de la piel ha producido síntomas tóxicos muy similares a los del fenol, con la excepción de algunos efectos centrales marcados (convulsiones). Las dosis tóxicas o letales provocan síntomas similares a los del fenol en los animales de experimentación. No obstante, al contrario que el fenol, la administración de dosis altas de pirocatecol produce una depresión predominante del sistema nervioso central y una elevación sostenida de la tensión arterial. Esta última parece deberse a una vasoconstricción periférica.

La absorción repetida de dosis subletales en animales provoca metahemoglobinemia, leucopenia y anemia. La muerte sobreviene aparentemente por insuficiencia respiratoria.

El *pirocatecol* produce una mayor toxicidad aguda que el fenol. La dosis oral letal aproximada es de 0,3 g/kg en perros y 0,16 g/kg en cobayas. El pirocatecol se absorbe fácilmente del tracto gastrointestinal y a través de la piel intacta. Tras su absorción, una parte del catecol se oxida por acción de la polifenol oxidasa para dar *o*-benzoquinona. Otra parte se conjuga en el organismo con ácido hexurónico, ácido sulfúrico y otros ácidos, mientras que una pequeña cantidad se excreta en la orina como pirocatecol libre. La fracción conjugada se hidroliza en la orina liberándose el compuesto libre, que se oxida con la formación de sustancias de color oscuro que son responsables del aspecto turbio de la orina. Aparentemente, el pirocatecol actúa por mecanismos similares a los descritos para el fenol.

Quinona. En animales, la absorción de grandes dosis de quinona a través de los tejidos subcutáneos o el tracto gastroentérico produce cambios locales, llanto, convulsiones clónicas, dificultad respiratoria, descenso de la tensión arterial y muerte por parálisis de los centros medulares. La asfixia parece desempeñar un papel fundamental como causa de la muerte, debido a las lesiones pulmonares producidas por la excreción de quinona en los alvéolos y a ciertos efectos todavía no bien conocidos de la quinona en la hemoglobina. La orina de los animales gravemente intoxicados contiene proteínas, sangre, cilindros e hidroquinona libre y conjugada.

En el ser humano, el contacto de las partes expuestas del cuerpo (especialmente superficies húmedas) con quinona, ya sea en forma de material cristalino, solución o vapores condensados, provoca lesiones locales graves en la piel y las mucosas. Los cambios locales consisten en despigmentación, irritación intensa con eritema, hinchazón y formación de pápulas y vesículas. El contacto prolongado con la piel puede causar necrosis. La condensación de vapores en los ojos provoca graves trastornos de la visión. La lesión suele extenderse por toda la conjuntiva y se caracteriza por un depósito de pigmento. La pigmentación, que va desde un marrón difuso hasta la aparición de glóbulos de color

negro marrón, se localiza principalmente en las zonas que se extienden desde los *canthi* en dirección medial hasta los bordes de la córnea. La lesión afecta a todas las capas de la córnea, con la consiguiente decoloración, que puede ser blanca y opaca o marrón verdusca y traslúcida. La lesión de la córnea puede seguir existiendo una vez que el pigmento ha desaparecido. Algunos casos de ulceración de la córnea se han producido después de tan sólo una breve exposición a altas concentraciones de vapor de quinona o tras la exposición reiterada a concentraciones moderadamente altas.

Cresoles y sus derivados. El cresol puro es una mezcla de isómeros *orto-* (*o-*), *meta-* (*m-*) y *para-* (*p-*), mientras que el ácido cresílico, utilizado algunas veces como sinónimo de mezcla de cresoles, es una mezcla de cresoles, xilenoles y fenol en la que el 50 % del material tiene un punto de ebullición superior a 204 °C. La concentración relativa de isómeros en el cresol puro depende de la fuente. Los efectos tóxicos del cresol son similares a los del fenol. Puede absorberse a través de la piel, el sistema respiratorio y el sistema digestivo. La velocidad de penetración a través de la piel depende más del área de la superficie que de la concentración.

Al igual que el fenol, es un veneno protoplásmico general y tóxico para todas las células. Las soluciones concentradas producen corrosión local de la piel y de las membranas mucosas, mientras que las soluciones diluidas producen irritación, vesiculación y ulceración de la piel. El contacto con la piel puede causar también neuritis periférica facial, deterioro de la función renal e incluso necrosis del hígado y de los riñones. En personas susceptibles puede aparecer dermatitis por sensibilización tras su exposición a soluciones inferiores al 0,1 %. A nivel sistémico, es un potente depresor de los sistemas cardiovascular y nervioso central, actuando sobre todo en la columna vertebral y la médula. La administración oral produce una sensación de quemazón en la boca y el esófago, pudiendo causar vómitos. La concentración de vapor alcanzada a temperaturas relativamente altas causa irritación de las vías aéreas superiores y de la mucosa nasal. La absorción sistémica va seguida de colapso vascular, shock, hipotermia, inconsciencia, insuficiencia respiratoria y muerte. Se han descrito también complicaciones pancreáticas. La dosis oral tóxica media para animales de pequeño tamaño es 1 mg/kg, y, específicamente, 0,6 mg/kg para el *p*-cresol, 0,9 mg/kg para el *o*-cresol, y 1,0 mg/kg para el *m*-cresol. Por su similitud con el fenol, la dosis letal en el hombre puede estimarse en unos 10 g. En el organismo, una pequeña parte se oxida a hidroquinona y pirocatequina, mientras que el resto se excreta tal cual o se conjuga con ácido glucurónico o sulfúrico. Al analizar la orina se observan células hemáticas, cilindros y albúmina. El cresol conlleva también un peligro moderado de incendio.

Medidas de salud y seguridad

Estas sustancias deben manipularse con precaución. Para prevenir sus efectos tóxicos y su absorción, debe evitarse la inhalación de los vapores y el contacto del polvo y la piel con soluciones de estos materiales. Debe prevenirse también la ingestión de incluso cantidades traza. Si la exposición al polvo no puede evitarse del todo, la nariz y la boca deben protegerse con un

respirador o un paño doblado y utilizar gafas herméticas para proteger los ojos. Deben utilizarse también prendas protectoras, como guantes de goma (no de algodón). Los trabajadores deben cambiarse inmediatamente de ropa si ésta se contamina con algún vertido. Toda la ropa utilizada durante una operación de nebulización debe lavarse antes de ser utilizada de nuevo. Las precauciones normales consisten en lavarse las manos, los brazos y la cara con agua y jabón antes de comer, beber o fumar. Al final de cada jornada, los trabajadores deben ducharse y ponerse ropa limpia.

Entre las medidas que deben adoptarse con respecto al fenol y sus derivados, pueden citarse las siguientes:

- una cuidadosa instrucción de las personas que participan en la fabricación, manipulación, almacenamiento y transporte de fenol
- una ventilación eficaz
- una eliminación adecuada de los residuos fenólicos para evitar la posible contaminación de la atmósfera, los cursos fluviales y las aguas subterráneas, puesto que las especies acuáticas son especialmente sensibles a los efectos de esta familia de compuestos químicos
- precauciones especiales durante la limpieza de los tanques, no debiendo realizarse ésta sin un equipo adecuado, con suministro de aire a presión, arnés de seguridad, cabo salvavidas, máscara con respirador, botas, mandil y guantes de caucho, y un "vigilante" apostado a la entrada del tanque
- vigilancia continua por parte del higienista o el médico para detectar síntomas de intoxicación aguda o crónica (local o sistémica)
- precauciones para la prevención de incendios.

Primeros auxilios. La velocidad en la administración del tratamiento es esencial en caso de producirse una exposición aguda. El agente tóxico debe eliminarse de la piel, para lo cual lo mejor es lavar la zona afectada con agua abundante. Al cabo de unos minutos de lavado, la zona afectada debe limpiarse o rociarse con polietilenglicol-300 hasta que haya pasado el peligro de colapso. Si la zona expuesta está cubierta con ropa, ésta debe retirarse debajo de la ducha. Las quemaduras provocadas por el fenol deben cubrirse suavemente con un apósito limpio y blanco. No deben utilizarse grasas, pomadas o ungüentos en el tratamiento inicial de este tipo de quemaduras. El tratamiento hospitalario consiste en sedación, retirada del tejido muerto, reposición de líquidos y administración de antibióticos y vitaminas. Si el fenol ha salpicado los ojos, será necesario lavarlos con agua abundante durante al menos 15 minutos. Todas las lesiones oculares, salvo las más triviales, deben ser vistas por un oftalmólogo.

La velocidad es también esencial en caso de ingestión de fenol. En el lugar de trabajo debe disponerse de un equipo adecuado de primeros auxilios y los servicios médicos locales deben ser informados de la posibilidad de este tipo de accidentes, de manera que estén preparados para dispensar un tratamiento médico de urgencia. El tratamiento de la intoxicación crónica por fenol es sintomático una vez que la víctima ha sido retirada del lugar de exposición.

TABLAS DE FENOLES Y COMPUESTOS FENOLICOS

Tabla 104.137 • Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
2,6-DI- <i>terc</i> -BUTIL- <i>p</i> -CRESOL	2,6-Bis(1,1-dimetiletil)-4-metilfenol; hidroxitolueno butilado; butilhidroxitolueno; DBMP; DBPC; 2,6-di- <i>terc</i> -butil-1-hidroxi-4-metilbenceno; 3,5-di- <i>terc</i> -butil-4-hidroxitolueno; 2,6-di- <i>terc</i> -butil- <i>p</i> -metilfenol; 2,6-di- <i>terc</i> -butil-4-metilfenol; 4-hidroxi-3,5-di- <i>terc</i> -butiltolueno	128-37-0	
2,6-DI- <i>terc</i> -BUTILFENOL	2,6-Bis(<i>terc</i> -butil)fenol;	128-39-2	
<i>p</i> - <i>terc</i> -BUTILFENOL	4- <i>terc</i> -Butilfenol; 4-(1,1-dimetiletil)fenol; 1-hidroxi-4- <i>terc</i> -butilbenceno; fenol, 4-(1,1-dimetiletil)-; PTBP	98-54-4	
4- <i>terc</i> -BUTILPIROCATECOL	1,2-Bencenodiol, 4-(1,1-dimetiletil)-; 4- <i>terc</i> -butil-1,2-bencenodiol; 4- <i>terc</i> -butilcatecol; <i>p</i> - <i>terc</i> -butilpirocatecol; 4- <i>terc</i> -butilpirocatecol	98-29-3	
CATECOL	<i>o</i> -Bencenodiol; 1,2-bencenodiol; catecol; <i>o</i> -dihidroxibenceno; 1,2-dihidroxibenceno; <i>o</i> -dioxibenceno; <i>o</i> -difenol; <i>o</i> -hidroquinona; <i>o</i> -hidroxifenol; 2-hidroxifenol; <i>o</i> -fenilenediol	120-80-9	
<i>p</i> -CLORO- <i>m</i> -CRESOL	4-Clor- <i>m</i> -cresol; clorocresol; <i>p</i> -clorocresol; 6-cloro- <i>m</i> -cresol; 2-cloro-hidroxitolueno	59-50-7	
<i>m</i> -CLOROFENOL	3-Clorofenol	108-43-0	
<i>o</i> -CLOROFENOL	2-Clorofenol	95-57-8	
<i>p</i> -CLOROFENOL	4-Clorofenol	106-48-9	
<i>m</i> -CRESOL	3-Cresol; ácido <i>m</i> -cresílico; 1-hidroxi-3-metilbenceno; <i>m</i> -hidroxitolueno; 3-hidroxitolueno; <i>m</i> -metilfenol; 3-metilfenol UN2076	108-39-4	
<i>o</i> -CRESOL	2-Cresol; ácido <i>o</i> -cresílico; 1-hidroxi-2-metilbenceno; <i>o</i> -hidroxitolueno; 2-hidroxitolueno; <i>o</i> -metilfenol; 2-metilfenol; <i>o</i> -metilfenilol; <i>o</i> -oxitolueno; fenol UN2076	95-48-7	
<i>p</i> -CRESOL	4-Cresol; ácido <i>p</i> -cresílico; 1-hidroxi-4-metilbenceno; <i>p</i> -hidroxitolueno; 4-hidroxitolueno; <i>p</i> -metilhidroxibenceno; 1-metil-4-hidroxibenceno; <i>p</i> -metilfenol; 4-metilfenol UN2076	106-44-5	
CRESOL, TODOS LOS ISOMEROS	Acido cresílico; ácido cresílico; metilfenol; Tekresol; Ar-toluenol; tricresol UN2022	1319-77-3	

Tabla 104.137 • Identificación química.

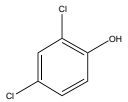
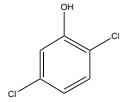
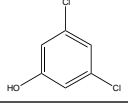
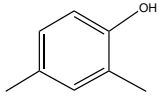
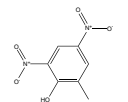
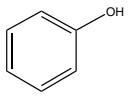
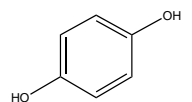
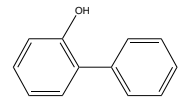
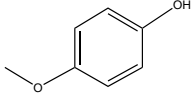
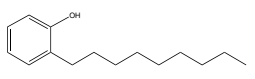
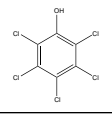
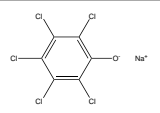
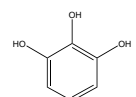
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
2,4-DICLOROFENOL	2,4-DCP; 2,4-diclorohidroxibenceno	120-83-2	
2,5-DICLOROFENOL		583-78-8	
3,5-DICLOROFENOL		591-35-5	
2,4-DIMETILFENOL	4,6-Dimetilfenol; 1-hidroxi-2,4-dimetilbenceno; <i>m</i> -xilenol; 2,4-xilenol	105-67-9	
DINITRO- <i>o</i> -CRESOL	Dinitrocresol; 2,4-dinitro- <i>o</i> -cresol; 4,6-dinitro- <i>o</i> -cresol; dinitrodendroxal; 3,5-dinitro-2-hidroxitolueno; dinitrol; dinitrometilciclohexiltriol; 2,4-dinitro-6-metilfenol; DNOC; 2-metil-4,6-dinitrofenol; Nitrador UN1598	534-52-1	
FENOL	Bencenol; ácido carbólico; hidroxibenceno; monohidroxibenceno; monofenol; oxibenceno; ácido fénico; alcohol fenol; hidrato de fenilo; hidróxido de fenilo; ácido fénico; alcohol fénico UN1671 UN2312 UN2821	108-95-2	
HIDROQUINONA	<i>p</i> -Bencenodiol; 1,4-bencenodiol; benzohidroquinona; benzoquinol; dihidroxibenceno; <i>p</i> -dihidroxibenceno; 1,4-dihidroxibenceno; <i>p</i> -dioxobenceno; <i>p</i> -dioxibenceno; <i>p</i> -hidroquinona UN2662	123-31-9	
2-HIDROXIBIFENILO	<i>o</i> -Bifenilol; 2-bifenilol; <i>o</i> -difenilol; <i>o</i> -hidroxidifenilo; 2-hidroxidifenilo; ortohidroxidifenilo	90-43-7	
4-METOXIFENOL	Eter monometílico de hidroquinona; <i>p</i> -metoxifenol; 4-metoxifenol; MME; éter monometílico de hidroquinona	150-76-5	
NONIL FENOL, TODOS LOS ISOMEROS	Hidroxilo no. 253	25154-52-3	
PENTACLOROFENOL	Dowicide 7; antimicrobiano Dow pentaclorofenol DP-2 ; Durotox; EP 30; 1-hidroxipentaclorobenceno; Lauxtol; Lauxtol A; Liroprem	87-86-5	
PENTACLOROFENOL, SAL SODICA	Pentaclorofenato sódico; pentaclorofenoxi sódico; pentaclorofenato sódico; pentaclorofenol sódico; UN2567	131-52-2	
PIROGALOL	1,2,3-Trihidroxi-benceno; 1,2,3-bencenotriol; Fouramine Brown AP; Fourrine PG; Fourrine 85; ácido pirogálico; 1,2,3-trihidroxibenceno	87-66-1	

Tabla 104.137 • Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
RESORCINOL	<i>m</i> -Bencenodiol; 1,3-bencenodiol; <i>m</i> -dihidroxibenceno; 1,3-dihidroxibenceno; <i>m</i> -dioxibenceno; <i>m</i> -hidroquinona; 3-hidroxiciclohexadien-1-ona; <i>m</i> -hidroxifenol; 3-hidroxifenol; <i>m</i> -hidroxi-fenol UN2876	108-46-3	
2,3,5,6-TETRACLOROFENOL		935-95-5	
2,4,5,6-TETRACLOROFENOL	Dowicide 6; TCP; 2,3,4,6-tetrachlorofenol	58-90-2	
4,4'-TIOBIS(6- <i>terc</i> -BUTIL- <i>m</i> -CRESOL)	Bis(3- <i>terc</i> -butil-4-hidroxi-6-metilfenil) sulfuro; Bis(4-hidroxi-5- <i>terc</i> -butil-2-metilfenilo) sulfuro; 4,4'-tiobis(6- <i>terc</i> -butil- <i>m</i> -cresol)	96-69-5	
2,3,4-TRICLOROFENOL		15950-66-0	
2,3,5-TRICLOROFENOL		933-78-8	
2,3,6-TRICLOROFENOL		933-75-5	
2,4,5-TRICLOROFENOL	Collunol; Dowicide 2; Dowicide B; Nurelle; Preventol I	95-95-4	
2,4,6-TRICLOROFENOL		88-06-2	
XYLENOL	Dimetilfenol; fenol, dimetil- UN2261	1300-71-6	

Tabla 104.138 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
ACIDO PIROGALICO 87-66-1	ojos; piel; tract resp; hígado; riñones; sangre	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Labios o uñas cianóticos, piel cianótica, tos, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, disnea, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, dolor, despigmentación local Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, náuseas, vómitos, debilidad		
2,6-DI- <i>tert</i> -BUTIL- <i>p</i> -CRESOL 128-37-0	ojos; piel; tract resp	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, diarrea, mareo, cefalea, vómitos	Ojos, piel Inh; ing; con	Irrit ojos, piel; en animales: menor tasa de crec, incr peso del hígado
CATECOL 120-80-9	ojos; piel; tract resp; tracto GI; SNC; sangre	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dificultad respiratoria Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento, quemaduras profundas graves Dolor abdominal, diarrea, vómitos	Ojos; piel; sis resp; SNC; riñones Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; sens piel, derm; lag, quemaduras en los ojos; convuls, incr TA, les renales
<i>p</i> -CLOROFENOL 106-48-9	ojos; piel; tract resp; SNC; vejiga	hígado; pulmones; riñones; sangre; corazón	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento Dolor abdominal		
<i>m</i> -CRESOL 108-39-4	SNC	piel; pulmones; hígado; riñones; SNC	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, inconsciencia Puede absorberse, aspereza Quemaduras profundas graves Mareo, embotamiento, cefalea, inconsciencia	Ojos; piel; sis resp; SNC; hígado; riñones; SCV; páncreas Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, muc; efectos en el SNC: conf, depres, insuf resp; dis, resp rápida irreg, pulso débil; quemaduras en ojos y piel; derm; lesiones en pulmones, hígado, riñones, páncreas
<i>o</i> -CRESOL 95-48-7	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC	piel; pulmones; hígado; riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos Puede absorberse, enrojecimiento, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, sensación de quemazón, colapso	Ojos, piel, sis resp, SNC, hígado, riñones, páncreas, SCV Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, muc; efectos en el SNC: conf, depres, insuf resp; dis, resp rápida irreg, pulso débil; quemaduras en ojos y piel; derm; lesiones en pulmones, hígado, riñones, páncreas
<i>p</i> -CRESOL 106-44-5	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC	piel; pulmones; hígado; riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos Puede absorberse, enrojecimiento, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, sensación de quemazón, colapso	Ojos, piel; sis resp; SNC; hígado; riñones; páncreas; SCV Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, muc; efectos en el SNC: conf, depres, insuf resp; dis, resp rápida irreg, pulso débil; quemaduras en ojos y piel; derm; lesiones en pulmones, hígado, riñones, páncreas
CRESOL, TODOS LOS ISOMEROS 1319-77-3	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC	piel; pulmones; riñones; hígado	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Confusión, tos, mareo, cefalea, disnea, dolor de garganta, inconsciencia, debilidad, los síntomas pueden tardar en aparecer Puede causar efectos tóxicos en 20-30 minutos después del contacto con la piel, puede absorberse, enrojecimiento, quemaduras graves en la piel, dolor Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Dolor abdominal, diarrea, vómitos		

Tabla 104.138 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
2,4-DICLOROFENOL 120-83-2			Ingestión	Mareo, cefalea, convulsiones, cambio de la temperatura corporal		
2,5-DICLOROFENOL 583-78-8	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Véase ingestión Puede absorberse, enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos, debilidad, pérdida de coordinación		
3,5-DICLOROFENOL 591-35-5	piel; ojos; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Véase ingestión Puede absorberse, enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, mareo, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos, debilidad, pérdida de coordinación		
DINITRO- <i>o</i> -CRESOL 534-52-1					SCV; sis endocrino; ojos Inh; abs; ing; con	Sensación de bienestar; cef, fiebre, las, sudoración abundante, sed intensa, tacar, hipernea, tos, disnea, coma
FENOL 108-95-2	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC; hígado; riñones	piel; riñones; hígado	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, mareo, cefalea, náuseas, disnea, inconsciencia, vómitos, los síntomas pueden tardar en aparecer Puede absorberse, quemaduras graves en la piel, shock, colapso, coma, convulsiones, efecto anestésico local, muerte Pérdida permanente de la visión, quemaduras profundas graves Dolor abdominal, convulsiones, diarrea, shock o colapso, dolor de garganta, orina de color gris o verde oscuro	Hígado; riñones; piel; ojos, sis resp Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, nariz, garganta; anor, bajo peso; deb, dolor musc, dolor; orina oscura; cian; lesiones en hígado y riñones; quemaduras en la piel; dermat; ocrónosis; temblores, convuls, contr
HIDROQUINONA 123-31-9	ojos; piel; tract resp piel		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dificultad respiratoria Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor, visión borrosa Piel cianótica, mareo, cefalea, náuseas, disnea, convulsiones, vómitos, zumbido de oídos	Ojos; sis resp; piel; SNC Inh; ing; con	Irrit ojos, conj, quera; excitación SNC; orina coloreada, náu, mar, sofoco, resp rápida; contr musc, delirio; colapso; piel irrit, sens, dermat
2-HIDROXIBIFENILO 90-43-7	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Véase ingestión Enrojecimiento Enrojecimiento Espasmos abdominales, dolor abdominal, tos, dificultad respiratoria		
NONILFENOL, TODOS LOS ISOMEROS 25154-52-3	ojos; piel; tract resp; pulmones		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta, inconsciencia Enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor Enrojecimiento, dolor, visión borrosa Dolor abdominal, diarrea, náuseas, dolor de garganta		

Tabla 104.138 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
PENTAFLUOROFENOL 87-86-5	ojos; piel; tract resp; pulmones; corazón	piel; pulmones; SNC higado; riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, mareo, sopor, cefalea, dificultad respiratoria, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, ampollas Enrojecimiento, dolor Espasmos abdominales, diarrea, náuseas, inconsciencia, vómitos, debilidad	SCV; sis resp; ojos; higado; riñones; piel; SNC Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, nariz, garganta; estor, tos; deb, anor, bajo peso; sudor; cef, mar; náu, vómit; dis, dolor torac; fiebre alta; derm
PENTAFLUOROFENOL, SAL SODICA 131-52-2	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel; SNC; pulmones; higado; riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, mareo, sopor, cefalea, sudoración, dificultad respiratoria, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, quemaduras en la piel, sensación de quemazón Enrojecimiento, dolor, pérdida de visión Fiebre, sudoración, excitación, convulsiones, coma		
2,3,5,6-TETRAFLUOROFENOL 935-95-5			Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, diarrea, mareo, cefalea, náuseas, fatiga, espasmos musculares, aumento de la temperatura corporal y sudoración		
2,3,5-TRICLOROFENOL 933-78-8		piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Convulsiones, dolor abdominal, diarrea, mareo, cefalea, vómitos, debilidad, fatiga, espasmos musculares, aumento de la temperatura corporal y sudoración		
2,3,6-TRICLOROFENOL 933-75-5	ojos; piel; tract resp	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, diarrea, mareo, cefalea, vómitos, debilidad, fatiga, espasmos musculares, aumento de la temperatura corporal y sudoración		
2,4,5-TRICLOROFENOL 95-95-4	ojos; piel; tract resp	piel; higado; riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento, visión borrosa Dolor abdominal, diarrea, mareo, cefalea, vómitos, debilidad, fatiga, sudoración		
2,4,6-TRICLOROFENOL 88-06-2	ojos; piel; tract resp	higado	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento Diarrea, náuseas, vómitos, debilidad		

Tabla 104.139 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
ACIDO PIROGALICO 87-66-1		Al calentarse libera humos tóxicos y bases	Es un ácido débil Reacciona con oxidantes
2,6-DI- <i>tert</i> -BUTIL- <i>p</i> -CRESOL 128-37-0		Se descompone al calentarse y por contacto con materiales oxidantes	
CATECOL 120-80-9		En su combustión libera humos acres e irritantes	Reacciona con oxidantes
<i>p</i> -CLORO- <i>m</i> -CRESOL 59-50-7			6.1
2-CLOROFENOL 95-57-8	El vapor es más pesado que el aire	Se descompone al calentarse liberando humos tóxicos y corrosivos (ácido clorhídrico, cloro)	Reacciona con oxidantes
3-CLOROFENOL 108-43-0		Se descompone al calentarse liberando humos tóxicos y corrosivos (ácido clorhídrico, cloro)	Reacciona con oxidantes
4-CLOROFENOL 106-48-9	El vapor es más pesado que el aire	Se descompone al calentarse liberando humos tóxicos y corrosivos (ácido clorhídrico, cloro)	Reacciona con oxidantes
<i>m</i> -CRESOL 108-39-4		Se descompone al arder liberando humos tóxicos e irritantes fuertes	Reacciona con oxidantes
<i>o</i> -CRESOL 95-48-7		En su combustión libera humos tóxicos fuertes, con peligro de incendio y explosión	Reacciona violentamente con agentes oxidantes fuertes Se oxida fácilmente en contacto con el aire
<i>p</i> -CRESOL 106-44-5		En su combustión libera humos tóxicos fuertes, con peligro de incendio y explosión	Reacciona violentamente con agentes oxidantes fuertes
CRESOL, TODOS LOS ISOMEROS 1319-77-3		Se descompone al calentarse produciendo ácidos y bases fuertes, con peligro de incendio y explosión	Ataca muchos metales
2,4-DICLOROFENOL 120-83-2	El vapor es más pesado que el aire	En su combustión libera gases corrosivos (cloruro de hidrógeno) con oxidantes fuertes	Libera humos tóxicos en un incendio
2,5-DICLOROFENOL 583-78-8		Se descompone al arder liberando gases irritantes y tóxicos, cloruros ácidos y anhídridos ácidos	Reacciona con oxidantes,
3,5-DICLOROFENOL 591-35-5		Se descompone al arder liberando gases irritantes y tóxicos, cloruros ácidos y anhídridos ácidos	Reacciona con oxidantes
2,4-DIMETILFENOL 105-67-9			
<i>o</i> -DINITROCRESOL 534-52-1			
FENOL 108-95-2	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Puede explotar al calentarse por encima de 78 °C (monóxido de carbono)	Al calentarse se forman humos tóxicos ácido débil Reacciona con oxidantes, con peligro de incendio y explosión
HIDROQUINONA 123-31-9	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Reacciona violentamente con hidróxido sodico	
2-HIDROXIBIFENILO 90-43-7	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o granular y se mezcla con el aire	Explota, produciendo monóxido de carbono, neblina acre y humos irritantes bases fuertes y oxidantes fuertes	Reacciona con

Tabla 104.139 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
PENTAFLUOROFENOL 87-86-5		Se descompone al calentarse por encima de 200 °C, produciendo humos y gases tóxicos, entre ellos cloruro de hidrógeno, dioxinas y fenoles clorados. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y agua, con peligro de incendio y explosión.	6.1
PENTAFLUOROFENOL, SAL SODICA 131-52-2		Al contactar con superficies calientes o llamas, se descompone liberando hidrocarburos clorados, fenoles clorados, monóxido de carbono y Na ₂ O. Reacciona con oxidantes fuertes con peligro de incendio y explosión.	6.1
RESORCINOL 108-46-3			6.1
2,3,4,6-TETRAFLUOROFENOL 58-90-2			6.1
2,3,5,6-TETRAFLUOROFENOL 935-95-5	El vapor es más pesado que el aire	Se descompone al calentarse y por contacto con oxidantes fuertes, liberando vapores y humos tóxicos e irritantes, así como cloruro de hidrógeno y fosgeno. Es un ácido débil.	6.1
2,3,4-TRICLORO FENOL 15950-66-0		Se descompone al calentarse produciendo monóxido de carbono y cloruro de hidrógeno. Reacciona con oxidantes, anhídridos ácidos y cloruros ácidos.	
2,3,5-TRICLORO FENOL 933-78-8		Se descompone al calentarse, al arder o por contacto con oxidantes fuertes, produciendo vapores y humos tóxicos e irritantes (cloruro de hidrógeno y fosgeno). Es un ácido débil. Reacciona con oxidantes fuertes.	
2,3,6-TRICLORO FENOL 933-75-5		Puede explotar al calentarse. Se descompone al calentarse o por contacto con oxidantes fuertes, liberando vapores y humos tóxicos e irritantes (cloruro de hidrógeno y fosgeno). Es un ácido débil. Reacciona con oxidantes fuertes.	
2,4,5-TRICLORO FENOL 95-95-4		Puede explotar al calentarse hasta su descomposición. Se descompone al calentarse y por contacto con oxidantes fuertes, liberando humos tóxicos e irritantes (cloro, ácido clorhídrico). Es un ácido débil. Reacciona con oxidantes fuertes. Reacciona en medio alcalino a elevadas temperaturas produciendo dioxinas cloradas altamente tóxicas.	
2,4,6-TRICLORO FENOL 88-06-2		En su combustión libera humos tóxicos (HCl, CO). Se descompone al calentarse o al arder, liberando humos tóxicos y corrosivos (cloruro de hidrógeno y cloro). Reacciona violentamente con oxidantes fuertes.	

Tabla 104.140 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
ACIDO PIROGALICO 87-66-1	crisales blancos; ortorrómbicos; laminillas o agujas en benceno	309	133	126,11	muy sol	1,45		1,33 @ 168 °C			
2,6-DI- <i>tert</i> -BUTIL- <i>p</i> -CRESOL 128-37-0	sólido cristalino blanco; polvo cristalino de color amarillo claro	265	70	220,34	insol	1,048	7,6			127 cc	
2,6-DI- <i>tert</i> -BUTILFENOL 128-39-2		133	39	206,31							
<i>p-tert</i> -BUTILFENOL 98-54-4		237	98	150,21	sol	0,908 @ 80 °C					

Tabla 104.140 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
4- <i>terc</i> -BUTILPIROCATÉCOL 98-29-3		285	53,5	166,21							
CATECOL 120-80-9	Tabletas monoclinicas, prismas en tolueno; cristales incoloros; cristales incoloros que adquieren una tonalidad marrón cuando se exponen al aire y la luz, especialmente en ambientes húmedos	245	105	110,11	muy sol	1,344	3,79	3x10 ⁻² mm Hg		127 cc	510
<i>p</i> -CLORO- <i>m</i> -CRESOL 59-50-7	cristales dimorfos; agujas en éter de petróleo; cristales blancos o rosáceos	235	67	142,58	lig sol						
2-CLOROFENOL 95-57-8	líquido de color ambar claro; líquido incolore o marrón amarillento	174,9	9,3	128,6	lig sol	1,2634	4,4	0,23		64 cc	
3-CLOROFENOL 108-43-0	agujas; cristales blancos	214	33	128,6	lig sol	1,268 @25 °C		0,13 @ 44,2 °C		112	
4-CLOROFENOL 106-48-9	cristales con forma de aguja y color blanco o amarillento; cristales rosas	220	43	128,6	lig sol	1,2238 @ 78 °C/4 °C	4,43	13 Pa		121 cc	
<i>m</i> -CRESOL 108-39-4	líquido incoloro o amarillento	202	12	108,1	lig sol	1,034	3,72	20 Pa @ 25 °C	1,1 li ? ls	86 cc	558
<i>o</i> -CRESOL 95-48-7	compuesto cristalino incolore; líquido/cristales blancos	191	31	108,1	sol	1,047	3,72	33 Pa @ 25 °C	1,35 li ? ls	81 cc	599
<i>p</i> -CRESOL 106-44-5	cristales; prismas; incoloros; cristales blancos; masa cristalina	201,9	35	108,13	lig sol	1,0178	3,72	15 Pa @ 25 °C	1,1 li ? ls	86 cc	559
CRESOL, TODOS LOS ISOMEROS 1319-77-3	líquido incoloro, amarillento, marrón amarillento o rosado	191–203	11–35	108,13	50 partes	1,030–1,038 @ 25 °C/ 25 °C	3,72	14–32 Pa @ 25 °C	1,1 li ? ls	43–82	559
2,4-DICLOROFENOL 120-83-2	cristales incoloros; agujas hexagonales en benceno; sólido blanco	210	45	163,00	lig sol	1,383 @ 60 °C/25 °C	5,62	0,075 mm Hg @ 25,0 °C		114	
2,5-DICLOROFENOL 583-78-8	prismas en benceno y éter de petróleo	211 @ 744 mm Hg	59	163,0	lig sol		5,6	16,6 Pa @ 25 °C			
3,5-DICLOROFENOL 591-35-5	prismas en éter de petróleo	233 @ 757 mm Hg	68	163,00	lig sol		5,6	1,1 Pa @ 25 °C			
2,4-DIMETILFENOL 105-67-9	cristales; agujas en agua; agujas incoloras	211,5 @ 766 mm Hg	25,4–26	122,16	lig sol	0,9650		10 mm Hg @ 92,3 °C			

Tabla 104.140 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
DINITRO- <i>o</i> -CRESOL 534-52-1		312	87	198,13	lig sol		6,8	1,05x10 ⁻⁴ mm Hg @ 25 °C			
FENOL 108-95-2	crisales aciculares incolores o masa cristalina blanca; crisales aciculares incolores o ligeramente rosas, entrelazados o separados, o masa cristalina de color rosa claro	181,8	43	94,11	sol	1,0576	3,24	47 Pa	1,7 li 8,6 ls	79 cc	715
HIDROQUINONA 123-31-9	prismas hexagonales incolores; crisales blancos; prismas monoclinicos (sublimación); agujas en agua; prismas en metanol	285–287	172	110,11	sol	1,332	3,81	0,12 Pa		165	515
2-HIDROXIBIFENILO 90-43-7	agujas en éter de petróleo; crisales rosáceos; crisales lamelares blancos; crisales incolores	286	59	170,20	insol	1,213 @ 25 °C/4 °C		2,7@ 163 °C		124 cc	530
4-METOXIFENOL 150-76-5	láminas en agua; sólido ceroso blanco	243	57	124,14	sol	1,55				132 ca	421
NONILFENOL, TODOS LOS ISOMEROS 25154-52-3	liquido espeso de color amarillo claro o pajizo	293–297	-10	220,39	insol	0,950	7,59	0,01	1,0 li ? ls	140 cc	370
PENTACLOROFENOL 87-86-5	crisales incolores (puro); polvo o escamas de color gris oscuro (producto crudo); perlas o escamas sólidas; sólido cristalino monoclinico blanco; crisales con forma de aguja	309–310	190–191	266,3	lig sol	1,978 @ 22 °C/4 °C	9,20	0,02 Pa			
PENTACLOROFENOL, SAL SODICA 131-52-2	escamas de color amarillo claro; polvo blanco o color canela			288,34	33 % @ 25 °C						
RESORCINOL 108-46-3	crisales aciculares blancos; agujas en benceno; láminas en agua; crisales tabulares rómbicos y piramidales; polvo	280	111	110,11	sol	1,2717	1,0739	1 mm Hg @ 108,4 °C	1,4 @ 200 °C li ? ls		

Tabla 104.140 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
2,3,4,6-TETRACLOROFENOL 58-90-2	agujas en ligroina, ácido acético; escamas marrones o masa sublimada; masa de color marrón claro	150 @ 15 mm Hg	70	231,89	insol	1,83 @ 25 °C/4 °C		1 mm Hg @ 100,0 °C			
2,3,5,6-TETRACLOROFENOL 935-95-5	láminas en ligroina	288	115	231,89	lig sol	1,7	8,1	Pa			
4,4'-TIO-BIS-(6- <i>terc</i> -BUTIL- <i>m</i> - CRESOL) 96-69-5	polvo gris claro; cristales blancos delgados		150	358,58	0,08 %						
2,3,4-TRICLOROFENOL 15950-66-0	polvo o agujas de color blanco		83,5 sublima	197,5							
2,3,5-TRICLOROFENOL 933-78-8	cristales incoloros	248-249	62	197,4	insol		6,8				
2,3,6-TRICLOROFENOL 933-75-5	agujas en alcohol diluído, éter de petróleo; agujas incoloras	253	58	197,44	lig sol	1,5	6,82			78	
2,4,5-TRICLOROFENOL 95-95-4	agujas en alcohol o ligroina; escamas grises en masa sublimada; agujas incoloras	253	67	197,4	lig sol	1,678 @ 25 °C/4 °C		2,9 Pa @ 25 °C			
2,4,6-TRICLOROFENOL 88-06-2	cristales en ligroina; escamas amarillas; agujas rómbicas en ácido acético; agujas incoloras	246	69	197,45	800 mg/l @ 25 °C	1,4901	6,8	133 Pa @ 76,5 °C			

FOSFATOS INORGANICOS Y ORGANICOS

Presencia y usos

El fósforo no está presente en la naturaleza en estado libre, sino combinado con numerosos compuestos vegetales y animales. Se encuentra también en formaciones rocosas que contienen fosfato, como la apatita (una forma de fosfato cálcico). En Estados Unidos (Tennessee y Florida), algunas zonas del norte de África y algunas islas del Pacífico, existen grandes depósitos de fosfatos en forma mineral.

Los fosfatos inorgánicos y orgánicos se utilizan ampliamente en la industria como aditivos de lubricantes, retardadores de llama, plastificantes y productos químicos intermedios. Se utilizan también en las industrias de caucho, plástico, papel, barnices y metal y como ingredientes de pesticidas y productos de limpieza.

El *dibutilfenil fosfato* y el *tributil fosfato* son componentes de los líquidos hidráulicos utilizados en los motores de los aviones, y la *hexametil fosforamida* es un descongelante que se añade a los combustibles de los reactores. El *dibutil fosfato* se utiliza en la separación y extracción de metales y como catalizador en la fabricación de fenol y resinas uréicas. El *trimetil fosfato* se emplea en la industria automovilística como antiincrustante de las bujías y como aditivo de la gasolina para controlar la ignición de superficie y el autoencendido.

El ácido fosfórico es un componente de cemento dental, látex de caucho, agentes controladores de llama y lodos de inyección de pozos de petróleo. Se utiliza como aromatizante de bebidas no alcohólicas, para la tinción del algodón, para el tratamiento de las aguas, como componente de ladrillos refractarios, en la fabricación de fertilizantes con superfosfatos, en la limpieza de los metales antes de pintarlos, como aditivo en la gasolina y como ligante en la cerámica.

El *tricresil fosfato* (TCP) se utiliza como disolvente de ésteres de nitrocelulosa y numerosas resinas naturales. Es un plastificante de caucho clorado, plásticos vinílicos, poliestireno y ésteres poliacrílicos y polimetacrílicos. El tricresil fosfato actúa también como ligante de resinas y nitrocelulosas, mejorando las propiedades de resistencia, elasticidad y pulido de los revestimientos. En solitario o combinado con hidrocarburos, se utiliza como aditivo antidesgaste y antifricción en numerosos lubricantes sintéticos, incorrectamente llamados "aceites" por su aspecto. Se utiliza también como líquido hidráulico. Cuando se incorpora a la gasolina, el tricresil fosfato contrarresta los efectos nocivos de los depósitos de plomo. Además, es un excelente retardante de la llama en numerosas industrias.

El *pirofosfato tetrasódico* tiene una gran diversidad de aplicaciones en las industrias del papel, la alimentación, los tejidos y el caucho. Se utiliza también en la perforación de pozos de petróleo, tratamiento de aguas, emulsificación de quesos, producción de detergentes para ropa y deposición galvanoplástica de metales. El pirofosfato tetrasódico se utiliza para la tinción de tejidos, el lavado de lana y el procesamiento de arcilla y papel. El *tributil fosfato* sirve como plastificante de ésteres de celulosa, lacas, plásticos y resinas vinílicas. Es también un agente acomplejante en la extracción de metales pesados y un agente antiespumante en procesos de separación de minerales. El *trifenil fosfato* es un plastificante retardador de la llama para materiales celulósicos y un plastificante para adhesivos aplicados en caliente. Es también útil en las industrias de tapicería y de cartón alquitranado.

Algunos fosfatos orgánicos se utilizan para la producción de materiales pirotécnicos, explosivos y pesticidas. El *fosforo cálcico* se utiliza en señales de fuego, torpedos, pirotécnia y como rodenticida. El *sulfuro de fósforo* se utiliza en la fabricación de cerillas de seguridad, compuestos de ignición, aditivos de aceites lubricantes y pesticidas. La *fosfina* se utiliza para el control de roedores y como insecticida aplicado en la fumigación de piensos, tabaco almacenado en hojas y vagones utilizados para el transporte de animales.

El *fosforo blanco* se utiliza en la fabricación de raticidas; el *fosforo rojo* se emplea en pirotécnia, en la fabricación de cerillas de seguridad, en la síntesis de compuestos químicos, en pesticidas, proyectiles incendiarios, balas trazadoras y bombas de humo. El *trisulfuro de tetrafósforo* se utiliza para fabricar las cabezas de cerillas y las cintas de rozamiento de las cajas de cerillas de "seguridad".

El *pentóxido de fósforo* se añade al asfalto en el proceso de refinado al aire para elevar su punto de fusión y se utiliza en la fabricación de vidrios especiales para tubos de vacío. El *tricloruro de fósforo* es un componente de los agentes de acabado de los tejidos y un producto químico intermedio o reactivo en la fabricación de muchos compuestos químicos industriales, entre ellos insecticidas, agentes tensioactivos sintéticos y productos para el pulido de la plata. El *oxicloruro de fósforo* y el *pentacloruro de fósforo* sirven como agentes clorantes de compuestos orgánicos.

Fósforo

El fósforo (P) existe en tres formas alotrópicas: blanco (o amarillo), rojo y negro, este último sin importancia industrial. El fósforo blanco es un sólido incoloro o de aspecto céreo que se oscurece con la exposición a la luz y brilla en la oscuridad (fosforescencia). Arde espontáneamente en contacto con el aire produciendo una llama azul y un olor desagradable característico parecido al del ajo. La forma roja es más estable.

Importancia histórica

El fósforo como elemento se extrajo por primera vez a partir de productos animales, especialmente de los huesos, a principios de siglo XIX. En seguida se descubrió su utilidad para fabricar cerillas que podían encenderse en cualquier superficie y, como resultado, surgió una gran demanda de este producto. Poco después comenzó a aparecer una grave enfermedad en las personas que lo manipulaban; los primeros casos se detectaron en 1845, con necrosis del maxilar inferior en los trabajadores que procesaban el fósforo. Esta enfermedad desfigurante y grave, que en el siglo XIX era mortal en el 20 % de los casos, fue pronto reconocida y se adoptaron medidas para combatirla, entre ellas la sustitución del fósforo blanco por fósforo rojo y sesquisulfuro de fósforo, relativamente más seguros. Los países europeos firmaron un acuerdo (el Convenio de Berna de 1906) para dejar de fabricar e importar cerillas fabricadas con fósforo blanco.

No obstante, en muchos países el fósforo siguió constituyendo un grave riesgo asociado a su uso en la industria pirotécnica hasta que se alcanzó un acuerdo con esos fabricantes para que dejaran de utilizarlo. En la actualidad, los riesgos para la salud del fósforo blanco siguen poniendo en peligro a los trabajadores que participan en las distintas etapas de la producción y fabricación de este compuesto.

El mecanismo por el cual se producen lesiones maxilares no se ha explicado del todo. Algunos autores creen que se debe al efecto local del fósforo en la cavidad oral y que la infección sobreviene por la presencia constante de organismos patógenos en la boca y alrededor de los dientes. De hecho, se ha observado que

las personas expuestas a fósforo con dientes cariados tienen más probabilidades de sufrir esta afección, si bien resulta difícil explicar la presencia de esta enfermedad en trabajadores sin dientes.

Una segunda explicación más plausible es que la necrosis producida por el fósforo en los maxilares es la manifestación de una enfermedad sistémica que afecta a muchos órganos y tejidos y principalmente a los huesos. En favor de esta teoría abogan los siguientes hechos:

- Como ya se ha dicho con anterioridad, se ha visto que personas sin dentadura presentaron necrosis maxilar cuando sufrieron exposición al fósforo en su trabajo, incluso aunque su "higiene dental" pudiera considerarse buena.
- Los animales de experimentación jóvenes y en período de crecimiento sufren alteraciones en las áreas "de crecimiento" de los huesos (metáfisis) cuando reciben dosis suficientes de fósforo blanco.
- En ocasiones, los huesos lesionados por traumatismo en los adultos expuestos al fósforo se curan muy despacio.

Riesgos

Riesgos para la salud. La intoxicación aguda por vapores de fósforo amarillo liberados en su combustión espontánea produce irritación de los ojos, con fotofobia, lagrimeo y blefaroespasmos; irritación intensa del tracto respiratorio y quemaduras profundas y penetrantes de la piel. El contacto directo de la piel con el fósforo, que puede ocurrir durante su producción o en período de guerra, produce quemaduras muy profundas de primero y segundo grado, similares a las producidas por el fluoruro de hidrógeno. Se han descrito casos de hemólisis masiva, seguida de hematuria, oliguria e insuficiencia renal, aunque este conjunto de episodios se debía probablemente al tratamiento con sulfato de cobre que se recomendaba anteriormente.

Tras su ingestión, el fósforo produce quemaduras en la boca y el tracto gastrointestinal (GI), con sensación de quemazón en la boca, vómitos, diarrea y dolor abdominal intenso. Las quemaduras progresan a segundo y tercer grado. Puede aparecer oliguria secundaria, deshidratación y mala perfusión renal; en los casos menos graves, los túbulos renales proximales sufren lesiones transitorias. Una característica típica es la ausencia de azúcar en el líquido cefalorraquídeo.

Tras su absorción por vía digestiva, el fósforo amarillo ejerce efectos directos en el miocardio, el sistema circulatorio de las extremidades (vasculatura periférica), el hígado, los riñones y el cerebro. Se han descrito casos de hipotensión y miocardiopatía dilatada y en las autopsias se ha observado la presencia de edema miocárdico intersticial con infiltración celular. La síntesis intracelular de proteínas parece estar deprimida en el corazón y el hígado.

Se han descrito tres estadios clínicos después de la ingestión de fósforo. En el estadio I, inmediatamente después de la ingestión, aparecen náuseas y vómitos, dolor abdominal, ictericia y aliento con olor a ajo. Los vómitos fosforescentes pueden ser peligrosos para el personal médico que atiende a la víctima. El estadio II se caracteriza por un período de latencia de 2-3 días durante el cual el paciente es asintomático, si bien puede producirse dilatación cardíaca e infiltración grasa en el hígado y los riñones. El estadio III se caracteriza por vómitos intensos con sangre, hemorragia en numerosos tejidos, uremia y anemia marcada como preludio de la muerte.

La ingesta prolongada (entre 10 meses y 18 años) puede causar necrosis de la mandíbula y el maxilar con afectación del hueso; la extirpación de esta afectación produce deformidad facial ("fosfo-necrosis de la mandíbula"). Los primeros síntomas consisten en dolor de muelas y un exceso de salivación. Además puede

aparecer anemia, caquexia y toxicidad hepática. En la literatura de principios del siglo XX se describieron numerosos casos de necrosis de la mandíbula con deformación facial como consecuencia de la exposición crónica al fósforo. Algunos autores han descrito este fenómeno en trabajadores de la producción y fabricación de rodenticidas. No se han descrito efectos reproductores ni carcinogénicos.

El *gas fosfina* (PH_3) se produce por reacción del ácido fosfórico calentado con metales tratados para su limpieza (similar al fosgeno), por calentamiento del tricloruro de fósforo, por humedecimiento del fosfato aluminico, en la fabricación de bengalas utilizando fosforo cálcico y en la producción de acetileno. Su inhalación causa una grave irritación de las mucosas, con tos, disnea y edema pulmonar hasta 3 días después de la exposición. El efecto fisiopatológico se debe a la inhibición de la respiración mitocondrial, así como a citotoxicidad directa.

La fosfina se libera también accidental o deliberadamente del fosfito aluminico por interacción química con el ácido clorhídrico del estómago. En la India se han descrito numerosos casos de ingestión suicida de este rodenticida. La fosfina se utiliza también como fumigante y se han descrito numerosos casos de muerte accidental por su inhalación en zonas próximas a la fumigación de cereales almacenados. Los efectos tóxicos sistémicos consisten en náuseas, vómitos, dolor abdominal, excitación del sistema nervioso central (inquietud), edema pulmonar, shock cardíaco, pericarditis aguda, infarto auricular, lesiones renales, insuficiencia hepática e hipoglucemia. La prueba del nitrato de plata dio positiva en el aspirado gástrico y en el aire espirado (esta última con menos sensibilidad). La medición de los niveles de aluminio en sangre puede servir para identificar a esta toxina. El tratamiento consiste en un lavado gástrico, con administración de agentes vasodilatadores, respiración asistida, administración de antiarrítmicos y altas dosis de infusión de sulfato magnésico.

El *fosforo de zinc*, utilizado ampliamente como rodenticida, se ha relacionado con la intoxicación grave de animales que ingieren pienso fumigado o cadáveres de animales envenenados. En el estómago se libera gas fosfina por acción de los ácidos gástricos.

Compuesto organofosforados

Los tricresil fosfatos (TCPs) forman parte de una serie de compuestos organofosforados que producen neurotoxicidad difusa. El brote de parálisis "por el jengibre" en 1930 estuvo causado por la contaminación de extracto de jengibre por cresil fosfatos utilizados en su procesamiento. Desde entonces se han producido algunos casos de intoxicación accidental de alimentos por *tri-o-cresil fosfato* (TOCP). En la literatura se encuentran algunos casos descritos de exposición profesional. Las exposiciones profesionales agudas parecen causar síntomas gastrointestinales seguidos por un período de latencia que puede durar entre días y 4 semanas, después del cual el dolor y el temblor de las extremidades evoluciona hasta la parálisis motora de las extremidades inferiores, extendiéndose hasta los muslos y de las extremidades superiores hasta los codos. Rara vez se produce pérdida sensorial. El paciente puede tardar varios años en recuperarse total o parcialmente. Se han producido algunas muertes por ingestión de altas dosis. Las células del asta anterior de la médula y los tractos piramidales se ven afectados, con observación necrótica de desmielinización y lesión de las células del asta anterior. En el ser humano, la dosis oral letal es de 1,0 g/kg y con dosis de entre 6 y 7 mg/kg se produce parálisis grave. No se han descrito casos de irritación de la piel o los ojos, aunque el TOCP se absorbe a través de la piel. La inhibición de la actividad de la colinesterasa no parece estar relacionada con los síntomas o el grado de exposición. La exposición de gatos y gallinas se asoció a lesiones en la médula espinal y los nervios ciáticos, con afección de las células de Schwann y las vainas de

mielina como resultado de la destrucción de los axones más largos. No se obtuvieron evidencias de teratogenicidad en ratas que recibieron dosis de hasta 350 mg/kg/día.

Tres moléculas de *o*-, *m*- o *p*-cresol esterifican una molécula de ácido fosfórico y, puesto que el cresol comercial es normalmente una mezcla de los tres isómeros con un contenido del isómero *orto* que varía entre 25 y 40 % según la fuente, el TCP resultante es una mezcla de los tres isómeros simétricos, que son muy difíciles de separar. No obstante, puesto que la toxicidad del TCP comercial se debe a la presencia del isómero *orto*, muchos países obligan a que la fracción fenólica esterificada no contenga más de un 3 % de *o*-cresol. La dificultad radica en seleccionar un cresol libre del isómero *orto*. El TCP preparado a partir de *m*- o *p*-cresol exhibe las mismas propiedades que el producto técnico, pero el coste de separar y purificar estos isómeros es prohibitivo.

Otros dos estéres que contienen fosfato, el *cresil difenil fosfato* y el *o-isopropilfenildifenil fosfato*, son también neurotóxicos para algunas especies, entre ellas el hombre, la gallina y el gato. Los animales adultos son, en general, más susceptibles que los jóvenes. Entre 8 y 10 días después de un único período largo de exposición a estos compuestos organofosforados neurotóxicos, aparecen lesiones axonales. La exposición crónica a pequeñas concentraciones puede causar también neurotoxicidad. Los axones de los nervios periféricos y los tractos ascendente y descendente de la médula espinal se ven afectados por un mecanismo diferente al de la inhibición de la colinesterasa. Aunque algunos de los insecticidas organofosforados que inhiben la colinesterasa causan este efecto (*diisopropil fluorofosfato*, *leptofos* y *mipafos*), la neuropatía diferida se produce aparentemente por un mecanismo diferente al de la inhibición de la colinesterasa. Existe una débil correlación entre la inhibición de pseudocolinesterasa o colinesterasa verdadera y el efecto neurotóxico.

El *trifenil fosfato* puede causar una ligera inhibición de la colinesterasa, pero por lo demás es poco tóxico para el ser humano. Este compuesto aparece en ocasiones conjuntamente con *tri-o-cresil fosfato* (TOCP). No se ha observado teratogenicidad en ratas alimentadas con dietas que contenían un 1 % de este compuesto. La administración por vía intraperitoneal de entre 0,1 y 0,5 g/kg en gatos causó parálisis al cabo de 16 ó 18 días. No se ha demostrado que produzca irritación de la piel ni se han descrito efectos en los ojos.

El *trifenil fosfito* (TPP) causa una neurotoxicidad en los animales de laboratorio similar a la descrita para el TOCP. Los estudios en ratas demostraron hiperexcitabilidad precoz y temblores seguidos por parálisis flácida, con las extremidades inferiores más afectadas que las superiores. La lesión patológica indicó daño de la médula espinal con una ligera inhibición de la colinesterasa. Un estudio en gatos que recibieron inyecciones de trifenil fosfito obtuvo prácticamente los mismos resultados clínicos. Se ha demostrado también que el TPP es irritante y sensibilizador de la piel.

El *tributil fosfato* causa irritación de la piel y las mucosas, así como edema pulmonar en los animales de laboratorio. Las ratas expuestas a una formulación comercial (bapros) de 123 ppm durante 6 horas sufrieron irritación de las vías respiratoria. Tras su ingestión, la LD₅₀ fue de 3 g/kg, con debilidad, disnea, edema pulmonar y contracción mucular. Inhibe débilmente a la colinesterasa presente en el plasma y en los eritrocitos.

Se ha demostrado que la *hexametil fosforamida* produce cáncer de la cavidad nasal cuando se administra a ratas en concentraciones de entre 50 y 4.000 ppb durante períodos entre 6 y 24 meses. Se observó metaplasia escamosa en la cavidad nasal y en la tráquea, esta última con la dosis más alta. Otros hallazgos fueron un incremento dependiente de la dosis en la inflamación y descamación de la tráquea, hiperplasia eritropoyética de la médula ósea,

atrofia testicular y degeneración de los túbulos contorneados del riñón.

Otros compuestos fosfatados inorgánicos

El *pentóxido de fósforo* (*fósforo anhidro*), el *pentacloruro de fósforo*, el *oxicloruro de fósforo* y el *tricloruro de fósforo* tienen propiedades irritantes, causando una serie de efectos leves, como corrosión de los ojos, quemaduras en la piel y las mucosas y edema pulmonar. La exposición crónica o sistémica no suele ser tan importante debido a la escasa tolerancia al contacto directo con estos compuestos químicos.

La neblina de *ácido fosfórico* es ligeramente irritante para la piel, los ojos y el tracto respiratorio superior. Se ha demostrado en grupos de trabajadores que los humos de *pentóxido de fósforo* (anhidrido del ácido fosfórico) pueden detectarse, pero no causan molestias, a concentraciones de entre 0,8 y 5,4 mg/m³, producen tos a concentraciones de entre 3,6 y 11,3 mg/m³, y resultan intolerables para los trabajadores no habituados a una concentración de 100 mg/m³. La inhalación de la neblina entraña un pequeño riesgo de edema pulmonar. El contacto de la piel con la neblina produce una ligera irritación, pero no toxicidad sistémica. La disolución de ácido fosfórico al 75 % produce quemaduras graves si salpica la piel. En el estudio de una cohorte de trabajadores expuestos a ácido fosfórico, no se observó un incremento de la mortalidad específica por esta causa.

Se ha estimado que la concentración letal media del oxicloruro de fósforo y sus productos de neutralización con amoníaco es de 48,4 y 44,4 micromoles por mol de aire en ratas y 52,5 y 41,3 en cobayas. El 15 % del oxicloruro de fósforo se hidroliza. La mayoría de las publicaciones sobre los efectos en la salud del oxicloruro de fósforo incluyen también la exposición a otros compuestos fosforados. En solitario, el oxicloruro de fósforo parece causar necrosis del estómago por ingestión, necrosis del tracto respiratorio por inhalación, ulceración de la piel por aplicación directa y ulceración de los ojos con pérdida de visión en conejos. La exposición crónica de los animales produjo alteración del metabolismo de los minerales y osteoporosis con eliminación de cantidades excesivas de fósforo inorgánico, sales de calcio y cloruros del organismo. En combinación con otros compuestos fosforados, algunos estudios publicados indican que el oxicloruro fosfórico produce asma y bronquitis.

El *pentasulfuro de fósforo* se hidroliza produciendo sulfuro de hidrógeno y ácido fosfórico, ocasionando los efectos de estas sustancias en contacto con las mucosas (véase ácido fosfórico, más arriba, y también sulfuro de hidrógeno en otros artículos de esta *Enciclopedia*). La LD₅₀ oral fue de 389 mg/kg en ratas. La instilación de 20 miligramos en los ojos de conejos produjo una grave irritación al cabo de 24 horas. La aplicación de 500 mg sobre la piel de conejos causó una irritación moderada al cabo de 24 horas.

Los vapores de tricloruro de fósforo son muy irritantes para las mucosas, los ojos y la piel. Al igual que el pentasulfuro de fósforo, su efecto se debe principalmente a la hidrólisis del ácido clorhídrico y el ácido fosfórico en contacto con las mucosas. La inhalación de vapores produce irritación de la garganta, broncoespasmo y/o edema pulmonar hasta 24 horas después de la exposición, dependiendo de la dosis. El síndrome de enfermedad reactiva de las vías aéreas, con síntomas prolongados de respiración sibilante y tos, puede estar causado por la exposición aguda o repetida a estos vapores. El tricloruro de fósforo produce quemaduras por contacto con los ojos, la piel y las mucosas. La ingestión, accidental o suicida, produce quemaduras en el tracto gastrointestinal. Setenta personas que se vieron expuestas a tricloruro fosfórico y a los productos de su hidrólisis después de un accidente con un buque cisterna fueron sometidas a evaluación médica. Las que se encontraban más cerca del lugar del vertido

sufrieron disnea, tos, náuseas, vómitos, irritación de los ojos y lagrimeo. En seis de ellas se observó una elevación transitoria de la lactato deshidrogenasa. Aunque las radiografías torácicas fueron normales, las pruebas de la función pulmonar indicaron una reducción significativa de la capacidad vital forzada y el VEF₁. En los 17 pacientes que fueron examinados de nuevo un mes más tarde, se observó una mejora de estos parámetros. La LC₅₀ fue de 104 ppm a las 4 horas en ratas. El principal hallazgo en las autopsias consistió en nefrosis, con lesiones pulmonares negligibles.

La inhalación de humo de pentacloruro de fósforo produce irritación grave del tracto respiratorio, con bronquitis documentada. La aparición diferida de edema pulmonar es posible, aunque no se ha descrito nunca. La exposición de los ojos a este humo produce también irritación grave y cabría esperar que el contacto con la piel produjera dermatitis por contacto. La LC₅₀ correspondiente a 4 horas de inhalación es de 205 mg/m³.

Fosfatos y superfosfatos. El principal problema de los fosfatos en el medio ambiente es que producen eutrofización en lagos y estanques. Los fosfatos se introducen en las masas de agua a través de la escorrentía de la agricultura (sus fuentes son los compuestos fosforados utilizados como fertilizantes y pesticidas, y la descomposición de plantas y animales) y los detergentes utilizados en viviendas particulares y en la industria. También se produce un crecimiento excesivo de algas verdeazuladas, puesto que el fósforo es generalmente el nutriente limitante esencial para su crecimiento. La proliferación de algas afecta al uso de los lagos para fines pesqueros y recreativos. Por otra parte, complica el proceso de purificación del agua potable.

Toxicidad de los fosfatos

Las minas de fosfatos se han asociado a traumas físicos. La neumoconiosis no es un problema en este caso, ya que la cantidad de polvo que se genera es pequeña. El polvo de

fosfato se crea en el proceso de secado y plantea un problema por ser causa de neumoconiosis en los trabajadores que manipulan y transportan el material. Este polvo puede contener también fluoruros tóxicos.

El polvo de fosfato se origina también durante la producción de superfosfatos utilizados como fertilizantes. Un estudio en mujeres que trabajaban en la fabricación de superfosfatos detectó trastornos en la función menstrual. Se han descrito lesiones oculares graves y ceguera en seres humanos y animales por contacto directo con superfosfatos.

Medidas de salud y seguridad

Peligro de incendio. El fósforo puede arder espontáneamente en contacto con el aire, produciendo incendios y explosiones. El contacto con la piel genera chispas y pequeños fragmentos de fósforo blanco que arden después de secarse, produce quemaduras graves.

Debido a su inflamabilidad en contacto con el aire, el fósforo blanco debe mantenerse siempre cubierto de agua. Además, las partículas sueltas deben mojarse con agua, para evitar que se sequen y empiecen a arder. Los incendios producidos por el fósforo pueden controlarse con agua (nebulizada o rociada), cubriéndolos con arena o tierra, o con extintores de dióxido de carbono. Este producto debe almacenarse en una zona fresca, ventilada, aislada y alejada de oxidantes fuertes, peligros agudos de incendio y de los rayos solares directos.

En caso de contacto de la piel con fragmentos de fósforo ardiendo, éstos deben mojarse con una disolución de sulfato de cobre al 1-5 % acuoso para apagar la llama y formar un compuesto no inflamable. Una vez aplicado este tratamiento, los fragmentos de fósforo pueden eliminarse con cantidades mayores de agua. La aplicación de una disolución jabonosa blanda con una concentración similar de sulfato de cobre puede resultar más eficaz que una simple disolución acuosa.

TABLAS DE FOSFATOS INORGANICOS Y ORGANICOS

Tabla 104.141 • Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
CLORURO DE FOSFORO	Tricloruro de fósforo; triclorofosforina UN1809	7719-12-2	
DIBUTIL FENIL FOSFATO	Ester dibutil fenílico del ácido fosfórico	2528-36-1	
DIBUTIL FOSFATO	Fosfato del ácido dibutilico; dibutil hidrógeno fosfato; dibutil fosfato; éster dibutilico del ácido fosfórico	107-66-4	
DIETIL TIOFOSFORIL CLORURO	<i>o,o</i> -Diethyl fosfocloroditioato; dietil clorotiofosfato; éster cloro, <i>o,o</i> -diético del ácido fosfonotioico UN2751	2524-04-1	
DIMETIL HIDROGENOFOSFITO	Oxido de bis(hidroximetil)fosfina; óxido de dimetoxifosfina; fosfito del ácido dimetilico; dimetil fosfito; dimetil fosfonato; ácido fosfórico dimetilico; hidrógeno dimetil fosfito; éster dimetilico del ácido fosfónico	868-85-9	
FENILFOSFINA		638-21-1	
FOSFINA	Gas-ex-B; fosfuro de hidrógeno; trihidruro fosfórico UN2199	7803-51-2	
FOSFORO (rojo)	Fósforo, amorfo UN1338	7723-14-0	P
FOSFURO CALCICO	Photophor cálcico; Photophor UN1360	1305-99-3	Ca ⁺⁺ P ⁻⁻⁻ Ca ⁺⁺ P ⁻⁻⁻ Ca ⁺⁺
HEXAMETIL FOSFORAMIDA	Hexametapol; hexametil fosforamida; triamida del ácido hexametilfosfórico; triamida hexametilfosfórica; óxido de tris(dimetilamino)fosfina; óxido de tris(dimetilamino)fósforo	680-31-9	
OXICLORURO DE FOSFORO	Oxitricloruro de fósforo; fosforil cloruro UN1810	10025-87-3	
OXIDO DE FOSFORO	Pentóxido de difósforo; óxido de fósforo(V); pentaóxido de fósforo; pentóxido de fósforo UN1807	1314-56-3	
PENTAFLUORURO DE FOSFORO	Cloruro de fósforo; percloruro de fósforo UN1806	10026-13-8	
PENTASULFURO DE FOSFORO	Sulfuro de fósforo; persulfuro de fósforo; fosfuro de azufre; anhídrido de trifósforo UN1340	1314-80-3	

Tabla 104.141 • Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
PIROFOSFATO TETRAPOTÁSICO	Sal tetrapotásica del ácido difosfórico; pirofosfato potásico; difosforato tetrapotásico; TKPP	7320-34-5	
PIROFOSFATO TETRASODICO	Pirofosfato tetrasódico anhidro; Phosphotex; pirofosfato; pirofosfato sódico; difosfato tetrasódico; pirofosfato tetrasódico, anhidro; TSPP	7722-88-5	
TIOFOSFORIL CLORURO	Tricloruro fosforotiónico; tricloruro fosforotiónico; sulfocloruro fosfórico; tiorcloruro de fósforo; tricloruro tiofosfórico; tiofosforil tricloruro UN1837	3982-91-0	
TRIBUTIL FOSFATO	Butil fosfato, tri; TBP; tributil fosfato	126-73-8	
TRICRESIL FOSFATO	Plastificante Flexol; TCP; éster tritolílico del ácido fosfórico; óxido de tris(toliloxi)fosfina; tritolil fosfato UN2574	1330-78-5	
TRI- <i>o</i> -CRESIL FOSFATO	<i>o</i> -Cresil fosfato; éster tri- <i>o</i> -tolilico del ácido fosfórico; TOCP; TOFK; <i>o</i> -tolil fosfato; TOTP; tricresil fosfato; triocresil fosfato; tri-2-metilfenil fosfato; tris(<i>o</i> -cresil)fosfato; tris(<i>o</i> -metilfenil)fosfato; tris(<i>o</i> -tolil)fosfato; tri- <i>o</i> -tolil fosfato; tri-2-tolil fosfato	78-30-8	
TRIEFIL FOSFATO	Etil fosfato; éster trietilico del ácido fosfórico; TEP	78-40-0	
TRIEFIL FOSFITO	Ester trietilico del ácido fosfórico UN2323	122-52-1	
TRIFENIL FOSFATO	Cellulflex TPP; TPP	115-86-6	
TRIFENIL FOSFINA		603-35-0	
TRIFENIL FOSFITO		101-02-0	
TRIMETIL FOSFATO	Metil fosfato; NCI-C03781; éster trimetilico del ácido fosfórico; TMP; <i>o,o,o</i> -trimetil fosfato	512-56-1	
TRIMETIL FOSFITO	Metil fosfito; trimetoxifosfina; éster trimetilico del ácido fosfórico UN2329	121-45-9	

Tabla 104.141 • Identificación química.

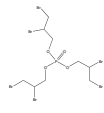
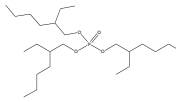
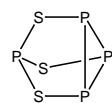
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
TRIS(2,3-DIBROMOPROPIL) FOSFATO	2,3-Dibromo1propanol fosfato; (2,3-dibromopropil) fosfato; Fyrol HB32; NCI-C03270; éster tris(2,3-dibromopropílico) del ácido fosfórico; 1-propanol, 2,3-dibromo, fosfato (3:1); TDBPP; T 23P; Tris; TrisBP; tris(dibromopropil)fosfato; éster tris(2,3-dibromopropílico) del ácido fosfórico; Tris (retardante de llama); Zetifex ZN	126-72-7	
TRIS(2-ETILHEXIL) FOSFATO	2-Etil-1-hexanol fosfato; 1-hexanol, 2-etil-, fosfato; éster tris(2-etilhexílico) del ácido fosfórico; TOF; trietilhexil fosfato; triocil fosfato	78-42-2	
TRISULFURO DE TETRAFOSFORO		1314-85-8	

Tabla 104.142 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
DIBUTIL FOSFATO 107-66-4					Sis resp; piel; ojos Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; cef
DIETILTIOSFORIL CLORURO 2524-04-1	ojos; piel; tract resp; pulmones		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, confusión, tos, mareo, cefalea, náuseas, disnea, dolor de garganta, inconsciencia, vómitos, debilidad, los síntomas pueden tardar en aparecer Puede absorberse, enrojecimiento, sensación de quemazón, dolor El vapor se absorbe, enrojecimiento, dolor, visión borrosa, pérdida de visión, quemaduras profundas graves Confusión, diarrea, cefalea, náuseas, vómitos		
FOSFINA 7803-51-2	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC; sangre; hígado; riñones; corazón		Inhalación Piel Ojos	Sensación de quemazón, diarrea, mareo, embotamiento, cefalea, temblores, dificultad respiratoria, náuseas, dolor de garganta Enrojecimiento, dolor, congelación por contacto con el líquido En caso de congelación: inflamación, dolor	Sis resp Inh; con (liq)	Náu, vómit, dolor abdom, diarr, sed; opresión en el tórax, dis; dolor musc, temblores; estupor o síncope; edema pulm; liq; congelación
FOSFORO 7723-14-0	ojos; piel; tract resp; pulmones; hígado; riñones	huesos	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, inconsciencia, los síntomas pueden tardar en aparecer Quemaduras en la piel, dolor Dolor, pérdida de visión, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, inconsciencia	Sis resp; hígado; riñones; mandíbula, dientes; sangre; ojos; piel Inh; ing; con	Irrit ojos, tract resp; quemaduras en ojos y piel; dolor abdom, náu, ict; anemia; caquexia; dolor dental, salv, dolor mandibular, hin
PENTAFLUORURO DE FOSFORO 10026-13-8			Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, disnea, vómitos, los síntomas pueden tardar en aparecer Puede absorberse, aspereza, quemaduras graves en la piel Dolor, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, dolor abdominal, sensación de quemazón, debilidad	Sis resp; ojos; piel Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; bron; derm

Tabla 104.142 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
PENTASULFURO DE FOSFORO 1314-80-3					Sis resp; SNC; ojos; piel Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; apnea, coma, convuls; dolor conj, lag, foto, querato-conj, vesic córni; mar; cef; ftg; irrit, insom; tract GI
PENTOXIDO DE FOSFORO 1314-56-3	ojos; piel; tract resp; pulmones		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, disnea Enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos		
PIROFOSFATO TETRAPOTASICO 7320-34-5	ojos; piel; tract resp; pulmones		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria Enrojecimiento, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Sensación de quemazón, dolor de garganta, espasmos abdominales, debilidad		
PIROFOSFATO TETRASODICO 7722-88-5	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Náuseas, vómitos, diarrea	Ojos; piel; sis resp Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; derm
TIOFOSFORIL CLORURO 3982-91-0	ojos; piel; tract resp; pulmones	pulmones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, confusión, tos, cefalea, resp sib, dificultad respiratoria, disnea, dolor de garganta, inconsciencia, vómitos, debilidad, los síntomas pueden tardar en aparecer Puede absorberse, quemaduras en la piel, dolor Dolor, pérdida de visión, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, dolor abdominal, sensación de quemazón, confusión, tos, cefalea, náuseas, disnea, dolor de garganta, inconsciencia, vómitos		
TRIBUTIL FOSFATO 126-73-8	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC	piel; sangre	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, cefalea, convulsiones, dificultad respiratoria, náuseas, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, aspereza, sensación de quemazón Enrojecimiento, dolor Espasmos abdominales, diarrea, dificultad respiratoria, náuseas, inconsciencia, vómitos, debilidad, hipersalivación	Sis resp; piel; ojos Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; cef; náu
TRICLORURO DE FOSFORO 7719-12-2			Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, diarrea, mareo, cefalea, disnea, dolor de garganta, vómitos Quemaduras graves en la piel, dolor, ampollas Enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras profundas graves Sensación de quemazón, dolor de garganta	Sis resp; ojos; piel Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; edema pulm; quemaduras en ojos y piel
TRI- α -CRESIL FOSFATO 78-30-8			Inhalación Piel Ingestión	Cefalea, náuseas, vómitos, dolor muscular, los síntomas pueden tardar en aparecer Puede absorberse, enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, náuseas, vómitos	SNP; SNC Inh; abs; ing; con	tract GI; neur peri; calambres en las pantorillas; pares en pies o manos; debilidad en los pies, muñeca péndula, pará

Tabla 104.142 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
TRIETIL FOSFITO 122-52-1	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, cefalea, náuseas, dolor de garganta, los síntomas pueden tardar en aparecer Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal		
TRIFENIL FOSFATO 115-86-6					Sangre; SNP Inh; ing	Ligeros cambios en enzimas de la sangre; en animales: deb musc, pará
TRIFENIL FOSFITO 101-02-0	ojos; piel; tract resp; SNC		Inhalación Piel Ojos	Sensación de quemazón, tos, irritante inconsciencia Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor		
TRIFENILFOSFINA 603-35-0	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Tos		
TRIMETIL FOSFATO 512-56-1	SNC	SNC; genes				
TRIS(2-ETILHEXIL FOSFATO) 78-42-2	piel		Piel Ojos	Enrojecimiento Enrojecimiento		

Tabla 104.143 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
DIETILIOFOSFORIL CLORURO 2524-04-1		Se descompone al calentarse liberando humos tóxicos	8
FOSFINA 7803-51-2	El gas es más pesado que el aire	Puede arder espontáneamente en contacto con el aire Reacciona con agua, halógenos, ácido nítrico, óxidos nitrosos, oxígeno y cobre, con peligro de incendio y explosión	6.1 / 2.1
FOSFORO 7723-14-0		Puede arder espontáneamente en contacto con el aire produciendo humos tóxicos (óxidos fosfóricos) Reacciona violentamente con oxidantes, halógenos y azufre, con peligro de incendio y explosión Reacciona con bases fuertes liberando gases tóxicos (fosfina)	4.2/ 6.1
FOSFURO CALCICO 1305-99-3			4.3/ 6.1
OXICLORURO DE FOSFORO 10025-87-3			8
PENTACLORURO DE FOSFORO 10026-13-8		En su combustión libera gases tóxicos violentamente con bases y es corrosiva de hidrógeno y neblina de ácido fosfórico Ataca los plásticos y el caucho	8
PENTASULFURO DE FOSFORO 1314-80-3			4.3/ 4.1

Tabla 104.143 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
PENTOXIDO DE FOSFORO 1314-56-3		La solución en agua es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva Reacciona violentamente con ácido perclórico, con peligro de incendio y explosión Reacciona violentamente con agua formando ácido fosfórico con generación de calor En presencia de agua, reacciona con metales formando gases inflamables o tóxicos (hidrógeno o fosfina)	8
PIROFOSFATO TETRAPOTASICO 7320-34-5		La solución en agua es una base de fuerza intermedia Reacciona con ácidos fuertes	
PIROFOSFATO TETRASODICO 7722-88-5		En su combustión libera gases tóxicos La solución en agua es una base débil Reacciona con ácidos	
TIOFOSFORIL CLORURO 3982-91-0	El vapor es más pesado que el aire	Se descompone en contacto con el agua o la humedad produciendo ácido fosfórico, cloruro de hidrógeno y sulfuro de hidrógeno, que son tóxicos e inflamables Al calentarse se forman humos tóxicos Reacciona con oxidantes fuertes y alcoholes Ataca muchos metales en presencia de agua	8
TRIBUTIL FOSFATO 126-73-8		Se descompone al calentarse o al arder produciendo vapores y gases tóxicos (óxidos de carbono y fósforo, y fosfina) Ataca algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos	
TRICLORURO DE FOSFORO 7719-12-2	El vapor es más pesado que el aire	En su combustión libera humos tóxicos, corrosivos e inflamables de óxidos fosfóricos, cloruro de hidrógeno y fósforo Se descompone al calentarse y por contacto con el agua produciendo humos y gases ácidos tóxicos (fosfina) y es corrosivo para muchos metales Es un oxidante fuerte y reacciona con materiales combustibles y reductores La solución en agua es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para muchos metales Reacciona violentamente con bases, con peligro de incendio y explosión Reacciona con alcoholes y fenoles En contacto con el aire, libera humos corrosivos Ataca muchos metales formando gas inflamable (hidrógeno) Ataca muchos materiales	3/ 6.1
TRICRESIL FOSFATO 1330-78-5			6.1
TRI- <i>o</i> -CRESIL FOSFATO 78-30-8		Se descompone al calentarse o al arder liberando humos tóxicos (entre ellos óxidos fosfóricos) Reacciona con oxidantes	6.1
TRIEFIL FOSFITO 122-52-1		Se descompone al arder liberando humos tóxicos Reacciona con oxidantes y bases fuertes	3
TRIFENIL FOSFITO 101-02-0		En su combustión libera humos tóxicos (PO _x) Se descompone al calentarse o al arder liberando humos tóxicos (óxidos fosfóricos) Reacciona con oxidantes fuertes	
TRIFENILFOSFINA 603-35-0	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o granular y se mezcla con el aire	Se descompone al calentarse liberando humos altamente tóxicos de óxidos fosfóricos y fosfina Reacciona con ácidos fuertes y oxidantes fuertes	
TRIMETIL FOSFATO 512-56-1		Se descompone al calentarse liberando humos tóxicos de PO _x	
TRIMETIL FOSFITO 121-45-9			3
TRIS(2-ETILHEXIL) FOSFATO 78-42-2		Se descompone al calentarse produciendo fosfina y óxidos fosfóricos Reacciona con oxidantes fuertes	
TRISULFURO DE TETRAFOSFORO 1314-85-8			4.1

Tabla 104.144 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
DIBUTIL FENIL FOSFATO 2528-36-1	líquido transparente ligeramente amarillo	131-132		286,34	lig sol	1,0691@ 25 °C/ 25 °C		0,007 torr @ 25 °C		129 cc; 177 ca	
DIBUTIL FOSFATO 107-66-4	líquido de color ámbar claro			210,21	insol	1,06		1 mm Hg			
DIETILIOFOSFORIL CLORURO 2524-04-1	líquido incoloro o de color ámbar claro	> 110	< -75	188,62	insol	1,196 @ 25 °C/ 25 °C		0,25 @ 50 °C		110	
DIMETIL HIDROGENO FOSFITO 868-85-9	líquido móvil incoloro	72-73 @ 25 mm Hg		110,05	sol	1,200					
FENILFOSFINA 638-21-1		160,5		110,09		1001 @ 15 °C					
FOSFINA 7803-51-2	gas incoloro	-87,7	-133	34,00	lig sol	0,75	1,17	3530	1,79 li ? ls	gas infla- mable	100- 150
FOSFORIL OXICLORURO 10025-87-3	líquido aceitoso incoloro o ligeramente amarillento	105,8	1,25	153,33		1,645 @ 25 °C/4 °C	5,3	40 mm Hg @ 27,3 °C			
FOSFORO 7723-14-0	blanco: sólido incoloro o blanco, transparente, cristalino; aspecto ceroso; amarillo: sólido blanco o amarillo, blando, ceroso; negro: forma cristalina polimórfica, ortorrómbica, forma amorfa; rojo: polvo rojo o violeta; polimorfismo; violeta: monoclínico violeta	Amarillo: 280; Rojo: 280 (ignición a @ 200)	Amarillo: 30,9737 44,1; Violeta: 590; Rojo: 590 @ 43 atm	insol		Rojo: 2,34; Violeta: 2,36; Negro: 2,70; Amarillo: 1,82	Rojo: 4,77; Blanco: 4,42	3,5 Pa		Rojo: 260 ; Blanco: 30	
FOSFURO CALCICO 1305-99-3	polvo cristalino de color marrón rojizo o grumos grises		1600	182,20		2,51					
HEXAMETIL FOSFORAMIDA 680-31-9	líquido móvil incoloro	233	5-7	179,24	misc	1,03	6,18	0,03 mm Hg			
PENTAFLUORURO DE FOSFORO 10026-13-8	masa cristalina de color blanco o amarillo claro; cristales tetragonales	160	148	208,27		4,65 g/l @ 296 °C (GAS)		133 Pa @ 55,5 °C			
PENTASULFURO DE FOSFORO 1314-80-3	cristales de color gris amarillento; cristales triclinicos de color amarillo claro; escamas sólidas o polvo; color gris verdusco	513-515	286-290	222,29	insol			1 mm Hg @ 300 °C		260- 290 polvo; 275 líquido	
PENTOXIDO DE FOSFORO 1314-56-3	cristales pulverulentos o monocíclicos blancos; existen distintas modificaciones cristalinas y amorfas; forma comercial hexagonal	300 sublima	580-5	141,96	muy sol	2,39		1 @ 384 °C			
PIROFOSFATO TETRAPOTASICO 7320-34-5	gránulos o polvo de color blanco		1090		muy sol						

Tabla 104.144 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
PIROFOSFATO TETRASODICO 7722-88-5	crisales; crisales transparentes incoloros o polvo blanco		988	265,94	2,61 g/100 ml @ 0 °C; 6,7 g/100 ml @ 25 °C	2,534					
TIOFOSFORIL CLORURO 3982-91-0	liquido incoloro; cristaliza como forma alfa a -40,8 °C o como forma beta a -36,2 °C	125	-35	169,41	se descompone	1,635	5,86	2,9 @ 25 °C			
TRIBUTIL FOSFATO 126-73-8	liquido incoloro	289	< 80	266,32	sol	0,976 @ 25 °C/ 25 °C	9,20	17 @ 177 °C		146	410
TRICLORURO DE FOSFORO 7719-12-2	liquido transparente incoloro	76	-112	137,35	reacciona	1,574 @ 21 °C	4,75	12,7			
TRICRESIL FOSFATO 1330-78-5	liquido prácticamente incoloro	420			0,36 mg/l @ 25 °C	1,162 @ 25/25 °C					410
TRI- <i>o</i> -CRESIL FOSFATO 78-30-8	liquido incoloro o amarillo claro	410	11	368,37	insol	1,1955	12,7	10 mm Hg @ 265 °C		225	385
TRIEFIL FOSFATO 78-40-0	liquido; incoloro	215,5	-56,4	182,16	sol	1,0695	6,28	1 mm Hg @ 39,6 °C			
TRIEFIL FOSFITO 122-52-1	liquido incoloro	157,9	-112	166,16	insol	0,9629		0,6		52	250
TRIFENIL FOSFATO 115-86-6	crisales en alcohol absoluto-ligroina, prismas en alcohol, agujas en éter-ligroina; polvo cristalino incoloro; placas pequeñas blancas	245 @ 11 mm Hg	50	326,28	insol	1,2055 @ 50 °C/4 °C	1,19	1 mm Hg @ 193,5 °C			
TRIFENIL FOSFINA 603-35-0	plaquetas monoclinicas o prismas en éter; sólido cristalino blanco	> 360	80,5	262,28	insol	1,075 @ 80 °C/4 °C	9,0			180 ca	
TRIFENIL FOSFITO 101-02-0	sólido o liquido aceitoso de color blanco o amarillo claro	360	25	310,29	insol	1,1844				218 ca	
TRIMETIL FOSFATO 512-56-1	liquido incoloro	197,2	-46	140,08	muy sol	1,2144					
TRIMETIL FOSFITO 121-45-9	liquido incoloro	111,5		124,08		1,0520	4,3				
TRIS-2,3-DIBROMOPROPIL FOSFATO 126-72-7	liquido viscoso amarillo claro; liquido denso casi incoloro		FP 5,5	697,93	8,0 mg/l	2,27 @ 25 °C		0,00019 mm Hg @ 25 °C			
TRIS(2-ETILHEXIL) FOSFATO 78-42-2	liquido viscoso	220 @ 5 mm Hg	-74	434,72	insol	0,926	14,95	0,25 @ 200 °C		207	
TRISULFURO DE TETRAFOSFORO 1314-85-8	agujas rómbicas largas de color amarillo verdusco en benceno	407,5	172,5	220,08	insol	2,03 @ 20 °C/ 4 °C					100

PROPIEDADES DE LOS FTALATOS

FTALATOS

Los ftalatos son ésteres de ácido ftálico y diversos alcoholes. Algunos diésteres tienen especial importancia práctica, como los diésteres de metanol, etanol, butanol, isobutanol, isooctanol, 2-etilhexanol, isononanol e isodecanol y alcoholes de cadena lineal. Los ftalatos se sintetizan a partir de anhídrido ftálico y dos moléculas del alcohol correspondiente.

Usos

Los ésteres ftálicos se utilizan en productos no plastificados como perfumes y cosméticos, en productos plastificados como piscinas de vinilo, asientos de vinilo plastificados para muebles y vehículos y en prendas de vestir tales como cazadoras, impermeables y botas. Estos compuestos se utilizan principalmente en la industria de los plásticos, que consume alrededor del 87 % de todos los ésteres ftálicos para producir "PVC blando". El 13 % restante se destina a la fabricación de barnices, dispersiones, celulosa, poliestirols, colorantes, caucho natural y sintético, lubricantes, poliamidas, repelentes de insectos, fijadores para perfumes, congelantes para explosivos y fluidos de trabajo para bombas de alto vacío. De entre los ftalatos, el *di-sec-octilftalato* (DOP) y el *diisnonilftalato* forman parte de los descalcificadores habituales.

El *dimetilftalato* y el *dibutilftalato* (DBP) tienen otros usos en numerosas industrias, como las de textiles, colorantes, cosméticos y vidrio. El dimetilftalato es un soporte para colorantes y un plastificante de lacas para el cabello y cristales de seguridad. El dibutilftalato se emplea como repelente de insectos para la impregnación de prendas de vestir y como plastificante de barnices de nitrocelulosa, elastómeros, explosivos, lacas de uñas y propelentes sólidos para cohetes. Sirve como disolvente para aceites esenciales, como fijador para perfumes y como lubricante para textiles. Además, se utiliza en la fabricación de cristales de seguridad, tintas de imprenta, revestimientos para papel, materiales para impresión dental y como componente del plastisol de PVC utilizado como refuerzo en el reverso de las alfombras.

Muchos compuestos de dialilftalato se usan con fines militares y en aplicaciones eléctricas y electrónicas de alta fiabilidad que tienen que resistir condiciones ambientales adversas, durante largos períodos de tiempo. Estos compuestos se utilizan en conectores eléctricos para comunicaciones, ordenadores y sistemas aeroespaciales, así como en circuitos impresos, aislantes y potenciómetros.

Riesgos

El primer paso en la biotransformación de los ésteres de ácido ftálico es su escisión en monoésteres. El siguiente paso en los mamíferos es la oxidación del alcohol resultante del monoéster. En la orina pueden detectarse los correspondientes productos de excreción.

Los ftalatos, especialmente los que tienen una cadena corta de alcohol, pueden absorberse por vía cutánea. Veinticuatro horas después de la aplicación dérmica de *diethylftalato* radiactivo (DEP), el 9 % de la radioactividad se detectó en la orina y, pasados 3 días, se hallaron rastros del compuesto radiactivo en varios órganos. Al parecer, existe una cierta relación entre el metabolismo y la toxicidad de los ftalatos, puesto que los ftalatos que poseen una cadena corta de alcohol, los cuales tienen una toxicidad más elevada, se fraccionan con especial rapidez para dar monoésteres y muchos de los efectos tóxicos de los ftalatos en los animales de experimentación están provocados por los monoésteres.

Toxicidad aguda. La toxicidad aguda de los ftalatos es muy ligera y, en general, es tanto menor cuanto mayor sea el peso molecular. Según los estudios publicados, la DL_{50} por vía oral en ratas del DBP varía entre 8 y 23 g/kg y la del DOP, entre 30,6 y 34 g/kg. En los conejos, los ftalatos no provocan inflamación de la piel ni de los ojos. No se ha descrito ningún caso de sensibilización cutánea, pero sí se ha visto que los ftalatos provocan una ligera irritación de la mucosa del tracto respiratorio. La combinación de una toxicidad baja y una presión de vapor también baja hace que, en términos generales, estos compuestos presenten un riesgo de inhalación más reducido.

Toxicidad crónica. En los estudios realizados para determinar la toxicidad crónica y subcrónica, los ftalatos exhiben una toxicidad relativamente baja en general. La administración diaria a ratas de DOP en dosis de 65 mg/kg de peso corporal, no mostró efectos adversos después de 2 años. Tampoco se ha comprobado la existencia de efectos adversos de otros ftalatos en experimentos que duraron 1 ó 2 años con ratas y perros a los que se administraron dosis de entre 14 y 1.250 mg por kg de peso y día. No obstante, recientemente se han detectado cambios testiculares y aumento de peso del hígado en ratas que habían recibido DOP al 0,2 % junto con el alimento durante un período de 17 semanas, por lo que posiblemente tenga que modificarse la "dosis sin efectos adversos".

La administración de DOP y DBP en cantidades superiores a la "dosis sin efectos adversos" produce un retraso de la ganancia de peso, alteraciones hepáticas y renales, alteraciones de las actividades enzimáticas en el tejido hepático y degeneración testicular. Este último efecto puede atribuirse a una interferencia con el metabolismo del zinc. Sin embargo, podría estar provocado no sólo por el DBP, sino también por el monoéster y el DOP. Tanto el DOP como el monoéster producen alteraciones tisulares hepáticas similares. Según este estudio, el DOP y el isómero de cadena recta di-n-octilftalato son los compuestos que presentan una mayor toxicidad de entre las ocho sustancias estudiadas. Otros dos ésteres del ácido ftálico, el bis-(2-metoxietil)ftalato y el butilcarboximetilftalato, tienen una toxicidad acumulativa relativamente baja (con factores de 2,53 y 2,06, respectivamente). Ahora bien, se desconoce si los efectos acumulativos observados son importantes también para dosis bajas o sólo en los casos en que la capacidad de las enzimas que participan en la biotransformación es insuficiente para lograr una velocidad de eliminación adecuada tras la administración parenteral de dosis altas.

Irritación local. El DOP sin diluir no provocó inflamación de la piel ni de los ojos en conejos, ni tampoco necrosis de la córnea. Calley y sus colaboradores detectaron reacciones inflamatorias tras la inyección intradérmica de la sustancia. Estos resultados no han sido confirmados por otros autores, por lo que se piensa que podrían deberse al uso de disolventes inadecuados. No obstante, sí se ha podido volver a demostrar la ausencia de irritación ocular en los conejos. Los estudios realizados en humanos, ninguno de los 23 voluntarios mostró señal alguna de irritación de la piel de la espalda tras mantenerla en contacto con el producto durante 7 días, ni tampoco pudo demostrarse la supuesta sensibilización por aplicación repetida en el mismo sitio. Obviamente, tanto la absorción del compuesto a través de la piel intacta como la irritación local son leves.

Toxicidad por inhalación. En los estudios de inhalación con ratas, éstas toleraron aire saturado de vapores de DOP durante 2 horas sin que falleciera ninguna de ellas. Cuando se amplió el tiempo de exposición, todos los animales murieron durante las dos horas

siguientes. En otro experimento, se hizo pasar aire a 50 °C a través de una solución de DOP y el vapor se enfrió y se introdujo en una cámara de inhalación. En dicha cámara se expusieron ratones a los vapores tres veces por semana y durante una hora cada vez, a lo largo de 12 semanas. Todos los animales sobrevivieron. Los ratones fueron sacrificados a las doce semanas y, cuando se realizaron estudios histológicos en 20 de ellos, no pudo demostrarse la existencia de neumonía crónica difusa.

Embriotoxicidad y teratogenicidad. Algunos ftalatos son embriotóxicos y teratogénos para embriones de pollo y ratas preñadas cuando se administran a dosis altas (una décima parte de la DL_{50} aguda o 10 ml/kg de DOP por vía intraperitoneal). El efecto nocivo para los embriones aumenta con la solubilidad de los ftalatos. El DEP y el DOP pueden llegar al embrión a través de la placenta de la rata. Al contrario que otros seis ftalatos, el DOP y el di-*n*-octilftalato de cadena lineal no producen anomalías en el esqueleto de la prole de ratas Sprague-Dawley.

Mutagenicidad. El DOP superó en capacidad mutágena al dime-toxietilftalato en la prueba realizada en ratones y mostró un evidente efecto mutágeno cuando se administraron dosis de un tercio, un medio y dos tercios de la DL_{50} aguda. Otros estudios de teratogenicidad han puesto de manifiesto una tendencia opuesta respecto a los efectos adversos. Aunque en los ensayos con el test de Ames para determinar la actividad mutágena *in vitro* se obtuvieron resultados dispares, cabe suponer que existe una débil actividad mutágena. Este efecto dependería, entre otros factores, de la facilidad del fraccionamiento del éster *in vitro*.

Carcinogenicidad. En los estudios de administración de ftalatos conjuntamente con el alimento en ratas y ratones, se han

obtenido tasas mayores de cambios hepatocelulares en ambos sexos. Los datos obtenidos de sujetos humanos son insuficientes para valorar el riesgo; sin embargo, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado el DOP como probable carcinógeno humano.

Datos obtenidos en humanos. Tras la administración de 10 g de DOP por vía oral a un voluntario, se presentaron ligeras molestias gástricas y diarrea. Un segundo voluntario toleró la administración oral de 5 g sin mostrar síntoma alguno. Algunos autores han observado una ausencia de irritación o, como mucho, una ligera irritación de la piel tras la aplicación tópica de DOP en voluntarios. Cuando se aplicó el producto por segunda vez sobre la misma zona, no se produjo signo alguno de sensibilización.

La exposición durante un período medio de 12 años (con períodos de entre 4 meses y 35 años) a concentraciones de entre 0,0006 y 0,001 ppm de DOP en el ambiente de trabajo, no provocó alteraciones de la salud ni aumentó la tasa de aberraciones cromosómicas en el personal expuesto. Los plásticos que contienen ésteres de ácido ftálico, especialmente el DOP, se utilizan mucho en equipos médicos, como por ejemplo en envases de sangre para hemodiálisis. Por ello se ha estudiado a fondo el problema de la posible absorción de ftalatos por vía intravenosa directa. La sangre almacenada en envases de plástico a 4 °C presentó una concentración de DOP de entre 5 y 20 mg por cada 100 ml de sangre después de transcurrir 21 días. Esto podría dar lugar a un aporte de DOP de 300 mg o 4,3 mg/kg en una transfusión total de sangre a un hombre de 70 kg. Consideraciones teóricas apuntan hacia un posible aporte de 150 mg de DOP durante una hemodiálisis de 5 horas.

TABLAS DE FTALATOS

Tabla 104.145 • Identificación química.

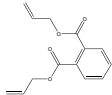
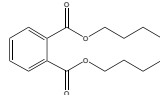

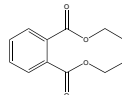
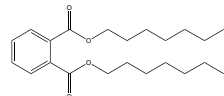
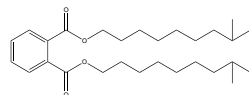
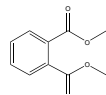
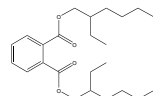
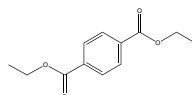

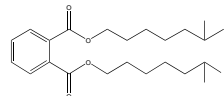
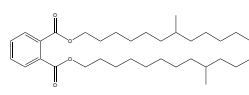

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
DIALILFTALATO	Ester di-2-propenilico del ácido 1,2-benzenodicarboxílico; éster dialílico del ácido ftálico; éster dialílico del ácido <i>o</i> -ftálico	131-17-9	
DIBUTILFTALATO	Ester dibutilico del ácido <i>o</i> -benzenodicarboxílico; éster di- <i>n</i> -butilico del ácido benceno- <i>o</i> -dicarboxílico; DBP; 1,2-benzenodicarboxilato de dibutilo; ftalato de dibutilo; ftalato de di- <i>n</i> -butilo; <i>n</i> -butilftalato; Polycizer DBP	84-74-2	
DICICLOHEXILFTALATO	Ester dicitclohexilico del ácido 1,2-benzenodicarboxílico; éster dicitclohexilico de ácido ftálico	84-61-7	
DIETILFTALATO	Ester dietílico del ácido 1,2-benzenodicarboxílico; etilftalato; Neantine; Palatinol a; ftalol	84-66-2	
DIHEPTILFTALATO	Ftalato de di- <i>n</i> -heptilo; ftalato de heptilo	3648-21-3	
DIISODECILFTALATO	Bis-(isodecil)ftalato del ácido 1,2-benzenodicarboxílico; DIDP (plastificante); ftalato diisodecílico; éster diisodecílico de ácido ftálico	26761-40-0	
DIMETILFTALATO	Ester dimetilico de 1,2-benzenodicarboxílico; dimetil-1,2-benzenodicarboxilato; DMP; ftalato de metilo; éster metilico del ácido ftálico	131-11-3	
DI- <i>sec</i> -OCTILFTALATO	Bis-(2-etilhexil)éster de ácido 1,2-benzenodicarboxílico; bis-(2-etilhexil)-1,2-benzenodicarboxilato; bis-(2-etilhexil)ftalato; di(2-etilhexil)ortoftalato	117-81-7	
ESTER DIETILICO DE ACIDO TEREFTALICO	Ester dietílico del 1,4-benzenodicarboxílico; tereftalato de dietilo	636-09-9	
ESTER DIISOBUTILICO DE ACIDO FTALICO	DIBP; ftalato de diisobutilo; Hexaplas M;1B; Palatinol IC	84-69-5	
ESTER DIISOCTILICO DE ACIDO FTALICO	Ester diisooctílico del ácido 1,2-benzenodicarboxílico; ftalato de diisooctilo; ftalato de isooctilo; bis-(6-metilheptil)éster de ácido ftálico	27554-26-3	
ESTER DIISOTRIDECILICO DE ACIDO FTALICO	Ester diisotridecílico del ácido 1,2-benzenodicarboxílico; ftalato de diisotridecilo	27253-26-5	
ESTER DIMETILICO DE ACIDO TEREFTALICO	Dimetil-1,4-benzenodicarboxilato del ácido 1,4-benzenodicarboxílico; dimetil- <i>p</i> -ftalato; dimetil-tereftalato; DMT; metil-4-carbometoxibenzoato; éster metilico de ácido tereftálico	120-61-6	

Tabla 104.146 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
DIALILFTALATO 131-17-9	ojos; piel; pulmones	higado	Ingestión	Diarrea, dificultad respiratoria		
DIBUTILFTALATO 84-74-2					Ojos; sist resp; tract GI Inh; ing; con	Irrit ojos, sis resp superior, estómago
DICICLOHEXILFTALATO 84-61-7	ojos; piel; tract resp					
DIETILFTALATO 84-66-2	ojos; piel; SNC		Inhalación Piel Ojos	Mareo, embotamiento Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor	Ojos; piel; sis resp; SNC; SNP; sis repro Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; cef, mar, náu; lag; posible polineur, disfunc vestibular; dolor, ent, deb, espasmos en brazos y piernas; en animales: efectos repro
DIISODECILOFTALATO 26761-40-0	ojo; piel	higado	Piel Ojos Ingestión	Enrojecimiento Enrojecimiento Mareo, náuseas, vómitos		
DIMETILFTALATO 131-11-3	ojos; nariz; garganta	defectos congénitos			Ojos; sis resp; tract GI Inh; ing; con	Irrit ojos, sis resp superior; dolor estomacal
DIMETEREFTALATO 120-61-6	ojos					
DI-sec-OCTILFTALATO 117-81-7	ojos; piel; tract resp; pulmones; tract GI	piel	Inhalación	Tos, dolor de garganta	ojos; tract GI; sis resp; SNC; higado; sis repro [en animales: tumores hepáticos] Inh; ing; con	Irrit ojos, muc; en animales: lesiones hepáticas; efectos terato; [carc.]

Tabla 104.147 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
DIALILFTALATO 131-17-9		Si no se inhibe, se polimeriza por calentamiento o en presencia de un catalizador En su combustión forma óxidos de carbono tóxicos	Reacciona con oxidantes fuertes, bases y ácidos
DIBUTILFTALATO 84-74-2	Pueden generarse cargas electrostáticas por flujo, agitación, etc.	Se descompone al arder, liberando vapores tóxicos e irritantes (anhídrido ftálico)	
DICICLOHEXILFTALATO 84-61-7		Reacciona con ácidos y bases	
DIETILFTALATO 84-66-2		Se descompone al calentarse o al arder liberando gases y vapores tóxicos (anhídrido ftálico) Ataca algunos plásticos	

Tabla 104.147 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
DIISODECILFTALATO 26761-40-0		Ataca algunos tipos de plásticos	
DIISOCTILFTALATO 27554-26-3		Reacciona con oxidantes fuertes	
DI-sec-OCTILFTALATO 117-81-7		Reacciona con oxidantes fuertes, ácidos, álcalis y nitratos	

Tabla 104.148 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa de vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
DIALILFTALATO 131-17-9	líquido oleaginoso casi incoloro	160–163	-70	246,26	182 mg/l @ 25 °C	1,120	8,3	310 Pa @ 150 °C		166	
DIBUTILFTALATO 84-74-2	líquido viscoso entre incoloro y amarillo pálido; líquido oleaginoso	340	-35	278,34	insol	1,0459	9,58	< 0,01	0,5 li 25,0 ls	157 cc	402
DICICLOHEXILFTALATO 84-61-7	sólido granulado blanco	222–228 @ 4 mm Hg	66	330,4	insol	1,383		13,3 Pa @ 150 °C		207	
DIETILFTALATO 84-66-2	líquido oleaginoso incoloro	295	-40,5	222,3	insol	1,1175	7,7	1,4 @ 75 °C	0,7	161 ca	457
DIISODECILFTALATO 26761-40-0		250–257 @ 4 mm Hg	-50	446,7	insol	0,966		147 Pa @ 200 °C	0,3 li ? ls	232 cc	402
DIISOCTILFTALATO 27554-26-3	líquido viscoso casi incoloro	370	-4	390,54	insol	0,986	13,5	< 10 Pa		227	393
DIMETILFTALATO 131-11-3	líquido oleaginoso; líquido viscoso incoloro; cristales de color amarillo pálido	283,7	5,5	194,2	insol	1,1905	6,69	< 0,01 mm Hg	0,9 li ? ls	132	490
DIMETILTEREFTALATO 120-61-6	cristales incoloros; agujas en éter	288	140	194,2	lig sol	1,08 @ 25 °C	5,5	1,7 @ 150 °C	0,8 li 11,8 ls	146 ca	500
DI-sec-OCTILFTALATO 117-81-7	líquido de color claro; líquido oleaginoso incoloro	384	-50	390,54	0,01 % @ 25 °C	0,9861	16,0	0,001	0,3 li ? ls	215 ca	390
ESTER DIHEPTILICO DE ACIDO FTALICO 3648-21-3	líquido incoloro	360		362,45	0,01 %						
ESTER DIISOBUTILICO DE ACIDO FTALICO 84-69-5	líquido	296,5	-64	278,33	insol	1,0490 @ 15 °C				185 ca	432

PROPIEDADES DEL SILICIO Y LOS COMPUESTOS ORGANOSILICEOS

SILICE Y COMPUESTOS ORGANOSILICEOS

Después del oxígeno, el silicio es el elemento que más abunda en la Tierra. No aparece libre en la naturaleza, sino en forma de óxido (sílice) o silicato (feldespato, caolinita, etc.) en arena, rocas y arcilla. El silicio se obtiene calentando cuarzo (SiO_2) con carbono, un proceso en el que se libera monóxido de carbono y se obtiene silicio en bruto (98 % de pureza). Este grado de pureza es suficiente para su incorporación a aleaciones —por ejemplo, de aluminio y hierro— con el fin de hacerlas más duras y menos frágiles. El silicio puro se obtiene calentando silicio en bruto con cloro. Durante este proceso se produce el compuesto volátil SiCl_4 , que se separa por destilación. Si este líquido se calienta conjuntamente con hidrógeno, se libera silicio puro, que se configura en forma de varilla y las últimas impurezas se separan por flotación de la varilla calentando sucesivamente pequeñas partes de la misma hasta el punto de fusión, en una atmósfera de gas inerte, como argón, conjuntamente con algunos vestigios de elementos que se deseen añadir y que se disuelven en el silicio líquido.

Los *siloxanos* son compuestos que contienen oxígeno además de hidrógeno, silicio y, normalmente, carbono (aunque existen algunos siloxanos inorgánicos). Partiendo de moléculas pequeñas, pueden formarse unidades más grandes (polímeros) con distintas propiedades (fluidez, elasticidad, estabilidad, etc.). Los siloxanos existen en forma de resinas, elastómeros (compuestos cauchutosos) o aceites.

Usos

El silicio se utiliza para obtener aleaciones de acero, aluminio, cobre, bronce y hierro. Se utiliza también ampliamente en la fabricación de semiconductores y en la producción de silanos y compuestos organosilíceos.

Los compuestos organosilíceos se utilizan en forma de resinas, elastómeros (compuestos cauchutosos) o aceites. Las *resinas* son compuestos organosilíceos que, cuando se mezclan con otras sustancias empleadas en la industria de las pinturas (endurecedores, aceleradores, etc.), forman capas muy estables que pueden aplicarse fácilmente incluso sobre bases a las que otras pinturas no suelen adherirse bien (como superficies metálicas). Además, son bastante resistentes al calentamiento momentáneo o al ataque por oxígeno y no se decoloran con la luz solar. Entre otras cosas, estas resinas se utilizan también como compuestos de moldeo (plásticos) y en la fabricación de espumas resistentes a altas temperaturas y útiles como termoaislantes. Otras resinas se utilizan en forma de las denominadas "pistas" (capas delgadas aplicadas en la industria electrónica) gracias a su baja combustibilidad y a sus excelentes propiedades como aislantes de la electricidad, incluso en presencia de humedad. Las resinas de silicio tienen numerosas aplicaciones por ser estables a altas temperaturas y repeler el agua, así como por su resistencia a los disolventes, las altas temperaturas y la luz solar. Las resinas de silicio se utilizan en pinturas, barnices, compuestos de moldeo (plásticos), aislantes eléctricos, revestimientos sensibles a la presión y de desconexión, y laminados.

El *silicato de metilo* es un líquido bastante volátil utilizado en la fabricación de pantallas de televisión. Al descomponerse en agua, se forma una capa transparente de ácido silícico que fija la pantalla a la pared de cristal. El *silicato de etilo* se utiliza como ligante en la fabricación de moldes para procesos especiales de

fundición de metales o como material de partida en síntesis químicas.

Riesgos y su prevención

En este artículo se hace referencia a los riesgos de los compuestos organosilíceos. El lector puede remitirse a otros artículos de esta *Enciclopedia* para una descripción de los importantes efectos en la salud de los silicatos, especialmente de los silicatos cristalinos. También se describen en otros artículos los efectos de los carburos de silicio.

Se desconocen los riesgos toxicológicos del silicio metálico. Para la mayoría de los proyectos reguladores, se considera simplemente un polvo molesto. Cuando el silicio se prepara y purifica en ausencia de aire, el proceso tiene lugar en un recipiente sellado y hermético para los gases que suele limitar la exposición. Los compuestos químicos que se utilizan conjuntamente con el silicio en diversos procesos de fabricación pueden entrañar también peligro. Aquí se consideran tres tipos de silicatos: silanos, siloxanos y heterosiloxanos.

Silanos. Los silanos contienen hidrógeno y silicio. La mayoría de ellos son sustancias aceitosas muy estables en sí mismas y de poca utilidad. No obstante, cuando se les añade cloro, nitrógeno u otros compuestos, pueden utilizarse para síntesis químicas. Tanto el tetraclorosilano como el triclorosilano son altamente reactivos y emiten vapores irritantes y asfixiantes. En contacto con el agua se descomponen (hidrólisis) liberando ácido clorhídrico. El agua presente en la atmósfera puede iniciar esta hidrólisis. Los productos de la hidrólisis irritan los ojos y el tracto respiratorio. Además, el triclorosilano arde fácilmente. Estos líquidos son tratados como sustancias corrosivas y se transportan en ampollas de cuarzo o cajas de acero inoxidable. Los derrames accidentales pueden hacerse inocuos con la adición de sosa cáustica anhidra.

Los vapores aceitosos de *siloxano* irritan los ojos y a concentraciones muy altas afectan gravemente al sistema respiratorio. Por el contrario, los compuestos de *resina de silicio* se han considerado inocuos en el pasado y se han utilizado ampliamente para implantes corporales.

Elastómeros (compuestos de caucho). Estas sustancias se caracterizan por su gran estabilidad a temperaturas altas (250 °C) y bajas (-75 °C) y su resistencia al ataque de los productos químicos. Su inercia química es tal que se utilizan con frecuencia como material para implantes en vasos sanguíneos y otras partes del organismo. Además, son insolubles en muchos disolventes orgánicos, como tricloroetileno o acetona. Las membranas de caucho de silicón son fácilmente permeables a gases como el oxígeno, aunque estén disueltos en agua.

Debe recordarse la controversia y los conflictos legales suscitados por los efectos de los implantes de mama de silicón, estando dividida la opinión de los autores con respecto a los posibles riesgos para la salud a largo plazo.

Aceites. Estos compuestos conservan también su estabilidad cuando se exponen a cambios extremos en la temperatura. Por esta razón, se utilizan con frecuencia como lubricantes, ya que su viscosidad se mantiene más o menos constante a diferentes temperaturas. Se utilizan también como repelentes del agua, aplicándose por ejemplo a muros, tejidos o cuero. Sirven para facilitar el desmoldeo a presión y como agentes antiespumantes (esta última propiedad es útil, entre otras cosas, para los que sufren bronquitis crónica, puesto que la inhalación de los vapores de estos aceites les ayuda a expectorar). En animales de experimentación se ha observado que estas sustancias se eliminan muy

lentamente de los pulmones, pero que su presencia no causa reacciones adversas. Las pomadas preparadas con siliconas se toleran también muy bien y, gracias a sus propiedades como repelentes del agua, contribuyen a prevenir o curar eczemas de contacto, puesto que evitan el contacto con las sustancias que causan reacciones de hipersensibilidad.

Los experimentos animales han demostrado que la inhalación de vapores muy concentrados puede producir una narcosis fatal; pero si los animales expuestos sobreviven a la narcosis, se recuperan totalmente. Los aceites de silicona irritan ligeramente la mucosa ocular, causando irritación indolora y lagrimeo. Sólo los compuestos de bajo peso molecular producen síntomas más graves.

Heterosiloxanos. Además de silicio, hidrógeno y oxígeno, los heterosiloxanos contienen algunos otros elementos como metales (aluminio, estaño, plomo, etc.), boro o arsénico, etc. Se hidrolizan fácilmente y, por tanto, son peligrosos para el cuerpo humano, la mayor parte del cual está formado por agua. Los heterosiloxanos suelen formarse como productos intermedios en síntesis químicas. El *silicato de metilo* y el *silicato de etilo* ocupan un lugar especial dentro de este grupo. El silicato de metilo, un líquido bastante volátil, se utiliza en la fabricación de pantallas de televisión. Al descomponerse en agua, se forma una película transparente de

ácido silícico que fija la pantalla a la pared de cristal. Cuando el silicato de metilo, ya sea en forma líquida o vapor, contacta con los ojos, no produce un efecto inmediato, sino que éste aparece al cabo de 10 ó 12 horas, con dolor ocular violento acompañado de irritación y lagrimeo. La cornea se vuelve opaca y pueden aparecer úlceras que ocasionen ceguera. La inhalación de sus vapores puede causar daños irreparables en los pulmones y los riñones. Como quiera que el contacto con el vapor o con el líquido no produce un dolor inmediato que sirva de advertencia, esta sustancia exige la adopción de precauciones especiales. Debe evitarse la rotura de frascos, proteger los ojos con gafas herméticas a los gases y prevenir el riesgo de inhalación de vapores en caso de derrames, etc. mediante la instalación de un sistema de ventilación aspirante local.

El silicato de etilo, que se utiliza como ligante en la fabricación de moldes para procesos especiales de fundición de metales o como material de partida en síntesis químicas, presenta una baja presión de vapor y esta propiedad física ayuda a reducir la exposición. A concentraciones altas, irrita las mucosas y a concentraciones muy altas se ha demostrado que es fatal para los animales.

La reactividad de los silicatos disminuye al aumentar su peso molecular.

TABLAS DE SILICIO Y COMPUESTOS ORGANOSILICEOS

Tabla 104.149 • Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
ACIDO SILICICO, SAL DISODICA	B-W; Crystamet; metasilicato disódico; monosilicato disódico; Metso 20; Metso beads, drymet; Sal disódica del ácido silicico; silicato sódico; cristal de agua	6834-92-0	
CARBURO DE SILICONA	Annanox CK; Betarundum; Ultrafine; Carbofrax M; Carbolon; siliciuro de carbono; Crystar; Crystolon 37; Crystolon 39; Densic c 500	409-21-2	SiC
DICLOROSILANO		4109-96-0	
METIL DICLOROSILANO	Diclorometilsilano UN1242	75-54-7	
METIL TRICLOROSILANO	Metilsilicocloroformo; metilsilil triclorigero; triclorometilsilano UN1250	75-79-6	
MONOXIDO DE SILICONA		10477-28-6	SiO
POLIDIMETILSILOXANO	AF 72; AF 75; Dimethicone 350; Dow Corning 346; Geon; Good-rite; Gum; Hycar; Latex; metil silicona; polimetilsiloxano	9016-00-6	
SILICATO CALCICO	Hidrosilicato cálcico; monosilicato cálcico; polisilicato cálcico; silicato cálcico; Calflo E; Calsil; CS Iafarge; Florite R; Marimet 45; Microcal 160; Promaxon P60; Silene WF; Silmos I; Solex; Stabinex NW 7PS; Starlex I; SW 400; Toyofine A	1344-95-2	
SILICATO DE ETILO	Etil ortosilicato; etil silicato; Extrema; silano, tetraetoxi-; TEOS; tetraetoxisilano; tetraetil ortosilicato; tetraetil silicato UN1292	78-10-4	
SILICATO DE METILO	Metil ortosilicato; metil silicato; éster metílico del ácido ortosilicico; éster tetrametílico del ácido silicico; tetrametoxisilano; tetrametil silicato UN2606	681-84-5	
SILICONA		7440-21-3	Si
TETRACLOROSILANO	Extrema; cloruro de silicona; tetracloruro disilicico; tetracloruro de silicona UN1818	10026-04-7	
TETRAFLUORURO DE SILICONA	Perfluorosilano; silano, tetrafluoro-; Tetrafluorosilano UN1859	7783-61-1	
TETRAHIDRURO DE SILICONA	Flots 100SCO; monosilano; silano; silicano UN2203	7803-62-5	

Tabla 104.149 • Identificación química.


Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
TRICLOROSILANO	Silicocloroformo; tricloromonosilano UN1295	10025-78-2	
TRIMETIL CLOROSILANO	Clorotrimetilsilano; silano, trimetilcloro-; clorotrimetilsilicano; TI 1163; trimetilsilil cloruro UN1298	75-77-4	

Tabla 104.150 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
ACIDO SILICICO, SAL DISODICA 6834-92-0	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, disnea Enrojecimiento, quemaduras graves en la piel, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves Sensación de quemazón, diarrea, shock o colapso, vómitos, colapso		
DICLOROSILANO 4109-96-0	ojos; piel; tract resp; pulmones	pulmones	Inhalación Piel Ojos	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, disnea, dolor de garganta Enrojecimiento, quemaduras en la piel, sensación de quemazón, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, pérdida de visión		
METIL DICLOROSILANO 75-54-7	ojos; piel; trac resp; pulmones					
METIL TRICLOROSILANO 75-79-6	ojos; piel; tract resp; pulmones		Inhalación Piel Ojos	Corrosiva, sensación de quemazón, tos, disnea, inconsciencia, los síntomas pueden tardar en aparecer Corrosiva, enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor, ampollas Corrosiva, enrojecimiento, dolor, pérdida de visión, quemaduras profundas graves		
POLIDIMETILSILOXANO 9016-00-6	ojos		Ojos	Enrojecimiento, dolor		
SILICATO DE ETILO 78-10-4					Sis resp; hígado; riñones; sangre; piel; ojos Inh; ing; con	Irrit ojos, nariz; en animales: lag, dis, edema pulm; temblores, narco; lesiones hepáticas y renales; anemia
SILICATO DE METILO 681-84-5	tract resp; ojos; pulmones	riñones; hígado	Inhalación Ojos	Sensación de quemazón, tos, disnea, dolor de garganta, los síntomas pueden tardar en aparecer Enrojecimiento, dolor, pérdida de visión	Ojos; sis resp; riñones Inh; ing; con (vap/liq)	Irrit ojos, lesiones córnea (incluso después de una corta exposición a vapor); les pulmonares y renales; edema pulm

Tabla 104.150 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
TETRACLOROSILANO 10026-04-7	ojos; pulmones		Inhalación Piel Ojos	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, disnea, dolor de garganta Enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, pérdida de visión, quemaduras profundas graves		
TETRAFLUORURO DE SILICONA 7783-61-1	ojos; piel; tract resp; pulmones		Inhalación Piel Ojos	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, disnea, dolor de garganta Enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, pérdida de visión, quemaduras profundas graves		
TETRAHIDRURO DE SILICONA 7803-62-5	ojos; tract resp; pulmones	pulmones	Inhalación Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, disnea, dolor de garganta, los síntomas pueden tardar en aparecer Enrojecimiento, dolor Debilidad	Ojos; piel; sis resp; SNC Inh	Irrit ojos, piel, muc; náu, cef
TRICLOROSILANO 10025-78-2	ojos; piel; tract resp; pulmones	pulmones	Inhalación Piel Ojos	Sensación de quemazón en el tórax, tos, dificultad respiratoria, disnea, dolor de garganta Enrojecimiento, quemaduras en la piel, sensación de quemazón, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, pérdida de visión		
TRIMETILCLOROSILANO 75-77-4	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria Enrojecimiento, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Dolor abdominal, sensación de quemazón, debilidad		

Tabla 104.151 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
ACIDO SILICICO, SAL DISODICA 6834-92-0		Es una base fuerte, reacciona violentamente con ácido y es corrosiva en presencia de aire húmedo para metales como zinc, aluminio, estaño y plomo, formando un gas inflamable y explosivo (hidrógeno)	
DICLOROSILANO 4109-96-0	El gas es más pesado que el aire	Reacciona violentamente con agua	En contacto con el aire, emite cloruro de hidrógeno
METIL DICLOROSILANO 75-54-7			4.3/ 3/ 8
METIL TRICLOROSILANO 75-79-6	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Se descompone al calentarse, produciendo cloruro de hidrógeno Reacciona violentamente con oxidantes fuertes	Reacciona violentamente con agua y humedad, produciendo cloruro de hidrógeno, con peligro de incendio y explosión Ataca metales como el aluminio y el magnesio

Tabla 104.151 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
POLIDIMETILSILOXANO 9016-00-6		Se descompone al calentarse (150 °C), produciendo formaldehído en pequeñas cantidades	
SILICATO DE ETILO 78-10-4			3
SILICONA 7440-21-3			4.1
TETRACLOROSILANO 10026-04-7	El vapor es más pesado que el aire	Reacciona violentamente con agua ácido silícico	En contacto con el aire, emite cloruro de hidrógeno y
TETRAFLUORURO DE SILICONA 7783-61-1	El gas es más pesado que el aire	Reacciona violentamente con agua	En contacto con el aire, emite fluoruro de hidrógeno 2.3/ 8
TETRAHIDRURO DE SILICONA 7803-62-5	El gas es más pesado que el aire	Puede arder espontáneamente por contacto con aire a temperatura ambiente	
TRICLOROSILANO 10025-78-2	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Reacciona violentamente con agua Ataca muchos metales en presencia de agua	En contacto con el aire, emite cloruro de hidrógeno 4.3/ 3/ 8
TRIMETILCLOROSILANO 75-77-4	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Se descompone al calentarse, liberando humos tóxicos y corrosivos (cloruro de hidrógeno, fosgene) Reacciona violentamente con agua, cetonas, alcohol, aminas y muchas otras sustancias, con peligro de explosión En contacto con el aire, emite humos corrosivos de cloruro de hidrógeno	3/ 8

Tabla 104.152 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
ACIDO SILICICO, SAL DISODICA 6834-92-0	crisales monoclinicos incolores; normalmente obtenido como vidrio; también crisales ortorrómbicos; gránulos blancos sin polvo		1089	122,07	sol	2,614					
CARBURO DE SILICONA 409-21-2	crisales afilados, iridescentes, extremadamente duros , de color verde o negro azulado; hexagonales o cúbicos		2600	40,07	insol	3,23					
DICLOROSILANO 4109-96-0	gas licuado comprimido	8,2	-122,0	101,01		1,22	3,484		4,1 li 99 ls	-307	100,58
METIL DICLOROSILANO 75-54-7	liquido incoloro	41	-93	115,04	lig sol	1,10 @ 27 °C	3,97	46	6,0 li 55 ls	-9 cc	316

Tabla 104.152 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
METIL TRICLOROSILANO 75-79-6	líquido incoloro	66,4	-90	149,48	reacciona	1,27 @ 25 °C	5,17	17,9	5,1 li ? ls	8	404
MONOXIDO DE SILICONA 10097-28-6	sólido negro amorfo					2,15–2,18					
POLIDIMETILSILOXANO 9016-00-6	líquido transparente con distintos grados de viscosidad				insol	0,97				> 200	
SILICATO CALCICO 1344-95-2	polvo blanco				insol	2,9					
SILICATO DE ETILO 78-10-4	líquido incoloro	168,8	-82,5	208,30	insol	0,933	7,22	1,0 mm Hg	1,3 li 23 ls	52 ca	
SILICATO DE METILO 681-84-5	líquido incoloro	121–122	-2	152,25	reacciona	1,032	5,3	2,2			
SILICATO SODICO 1344-09-8	fragmentos o trozos incoloros, blancos o blancos grisáceos; trozos de vidrio verduzco; polvo blanco; líquido turbio o transparente				lig sol						
SILICONA 7440-21-3	crisales negros o grises, brillantes, con forma de aguja o placas octahédricas (sistema cúbico); la forma amorfa es polvo marrón oscuro	2355	1410	28,0855	insol		2,33 @ 25 °C/4 °C				
TETRACLOROSILANO 10026-04-7	líquido incoloro, transparente, móvil	59	-70	169,89		1,52 @ 0 °C/4 °C	5,9	0,14 Pa @ 5,4 °C			
TETRAFLUORURO DE SILICONA 7783-61-1	gas incoloro	-86	-90,2	104,06		1,590 @ -80 °C (líquido)	3,57				
TETRAHIDRURO DE SILICONA 7803-62-5	gas incoloro	-112	-185	32,13	se descompone lentamente	16,32 @ 19 °C	1,114		1,37	-22	
TRICLOROSILANO 10025-78-2	líquido incoloro	31,8	-126,5	135,47		1,3417	4,7	13,3 @ -16,4 °C	1,2 li 90,5 ls	-14 ca	93– 104
TRIMETILCLOROSILANO 75-77-4	líquido incoloro	57	-57,7	108,66	reacciona	0,854 @ 25 °C	3,75	26,7	1,8 li 6 ls	-27	

COMPUESTOS ORGANICOS DE AZUFRE

Los tioles (mercaptanos, tioalcoholes o sulfhidratos) son compuestos orgánicos sulfhidrilo monofuncionales, alifáticos o aromáticos, que se caracterizan por la presencia de grupos sulfhidrilo (-SH). En general, los tioles poseen un olor intenso y desagradable, incluso a concentraciones muy bajas. A igual concentración, la intensidad del olor parece estar en relación inversa con el número de átomos de carbono de la molécula, de forma que el 1-dodecano-tiol y los tioles de cadena más larga son prácticamente inodoros. El principal método para la obtención de tioles consiste en la reacción de sulfuro de hidrógeno con olefinas o alcoholes a distintas temperaturas y presiones, en presencia de una serie de catalizadores y promotores, entre ellos ácidos, bases, peróxidos y sulfatos metálicos. El hidrógeno del grupo -SH puede ser sustituido por mercurio (el término *mercaptano* se deriva del latín *corpus mercurium captans*, que significa cuerpos que captan mercurio) y otros metales pesados para formar mercapturos.

Los tioles se encuentran espontáneamente en todos los sistemas vivos. En las células vivas, la mayor parte de los tioles proceden del aminoácido cisteína y el tripéptido glutatión. Además, el metanotiol y el etanotiol se forman espontáneamente en el gas "agrijo" a temperatura ambiente; los demás tioles son líquidos. Los alcanotioles C₁ a C₆ y el benconotiol despiden un olor desagradable a concentraciones mucho menores que los otros tioles.

Los compuestos orgánicos de azufre se forman también por unión de una unidad *sulfato* (SO₄) a un grupo orgánico. Los *sulfuros* y las *sales de sulfonio* están constituidos por dos grupos orgánicos unidos a un átomo de azufre.

Usos

Los sulfuros y sulfatos orgánicos se utilizan en la industria como disolventes, productos químicos intermedios y aceleradores de la vulcanización del caucho, así como en baños galvanoplásticos para el recubrimiento de metales.

Los mercaptanos se utilizan principalmente como productos químicos intermedios en la fabricación de combustibles para aviones, insecticidas, fungicidas, fumigantes, colorantes, fármacos y otros compuestos químicos y para la detección de gases tóxicos inodoros. El *amil mercaptano* (1-pentanotiol), el *etil mercaptano* y el *terc-butil mercaptano* (2-metil-2-propanotiol) se utilizan por su olor como aditivos para detectar fugas de gas, mientras que el *propil mercaptano* (propanotiol) y el *metil mercaptano* se emplean como aromatizantes para la odorización y aviso de otros gases tóxicos inodoros. El metil mercaptano se utiliza también para la síntesis de aromas sintéticos y como producto intermedio en la fabricación de pesticidas, combustibles para aviones, fungicidas y plásticos. El *fenil mercaptano* es un producto intermedio en la fabricación de insecticidas, fungicidas y fármacos. El *1-dodecanotiol mercaptano* (dodecil mercaptano) se utiliza en la fabricación de caucho sintético, plásticos, fármacos, insecticidas, fungicidas y detergentes no iónicos. Sirve también como agente complexante para la separación de los metales presentes en los residuos.

El *ácido tioglicólico* se utiliza para obtener tejidos plisados y como ingrediente de medios biológicos para el crecimiento de microorganismos. Es un componente de lacas para el pelo, plásticos y fármacos y un reactivo para la detección de hierro y otros iones metálicos.

El *dimetil sulfato* (eter dimetilico del ácido sulfúrico), un líquido aceitoso incoloro ligeramente soluble en agua, pero más soluble en disolventes orgánicos, se utiliza principalmente por sus propiedades metilantes para la obtención de esteres metílicos, éteres y aminas; en colorantes, fármacos y perfumes y en derivados fenólicos y otros compuestos químicos. Se emplea también como disolvente en la separación de aceites minerales.

El *disulfuro de tetrametiltiuram* (DTT, TMTD, Tiram, tirad, tiuram, Disulfuram), un cristal blanco o amarillo insoluble en agua, pero soluble en disolventes orgánicos, se utiliza como acelerador y vulcanizador del caucho, como fungicida para cosechas, frutas, nueces y setas, como bacteriostático en aceites y grasas comestibles y como ingrediente de cremas solares, aerosoles anti-sépticos, jabones y lociones. Se utiliza también como fungicida, repelente de roedores y conservante de la madera.

La *etilen tiourea* (2-imadazolidin etiona) y la *tiourea* se utilizan como componentes de baños galvanoplásticos. La etilen tiourea se utiliza también como colorante y en la industria farmacéutica, mientras que la tiourea tiene numerosas aplicaciones en las industrias fotográfica, textil, cosmética y papelería. La tiourea sirve para eliminar manchas en los negativos y como agente fijador en fotografía; como ingrediente de preparados capilares, productos químicos de limpieza y blanqueadores del papel; para el tratamiento del agua de las calderas y aguas residuales; para la fabricación de espejos antideslumbrantes; para evitar la aparición de manchas marrones en la madera de cicuta; como agente de pesado de la seda y como retardante de la llama en los tejidos.

El *dimetil sulfuro* (metil sulfuro) se utiliza como gas oloroso y como aditivo alimentario. El *alil propil disulfuro* es otro aditivo alimentario y el *dimetil sulfóxido* (metil sulfóxido) (DMSO) es un disolvente que se encuentra en productos de limpieza industriales, pesticidas, decapantes para pinturas y barnices y anticongelantes o líquidos hidráulicos cuando se mezcla con agua. El *2,4-diaminoanisol sulfato* (m-fenildiamino-4-metoxi-sulfato) se utiliza para el teñido de pieles y el *lauril sulfato sódico* (sal sódica del éster monododecílico del ácido sulfúrico) es un agente emulsionante utilizado en el procesamiento de metales, detergentes, champús, cremas, fármacos y alimentos.

Riesgos

Tioles (mercaptanos)

Los procesos industriales que utilizan tioles plantean una serie de problemas potenciales, entre ellos el peligro de incendio y explosión, así como efectos adversos en la salud de los trabajadores.

Incendio y explosión. La mayoría de los tioles son sustancias inflamables. Con los alcanotioles, la presión de vapor se reduce al aumentar el peso molecular. A temperaturas normales en el ambiente de trabajo, los tioles de bajo peso molecular (C₂ a C₆) pueden evaporarse y formar mezclas explosivas con el aire. Los mercaptanos son líquidos típicamente inflamables, salvo el metil mercaptano, que es un gas. Su principal característica es un olor intenso y desagradable.

Riesgos para la salud. Los tioles tienen un olor intensamente desagradable y el contacto con el líquido o el vapor puede causar irritación de la piel, los ojos y las membranas mucosas del tracto respiratorio. Los tioles líquidos pueden también causar dermatitis por contacto. El benconotiol parece tener propiedades más irritantes que los alcanotioles.

Todos los tioles se comportan como ácidos débiles y su efecto biológico predominante se manifiesta en el sistema nervioso central. La inhalación es especialmente importante en el caso de

los alcanotioles C₁- C₆, mientras que la exposición cutánea es el principal problema con los tioles de cadena más larga (C₇ a C₁₂, C₁₆, C₁₈). El bencenotiol es el más tóxico de los tioles comunes en el lugar de trabajo y conlleva un riesgo importante de lesiones oculares.

La exposición accidental de los trabajadores a altas concentraciones de tioles (superiores a 50 ppm) produce debilidad muscular, náuseas, mareo y narcosis. Por vía sistémica, el metanotiol actúa como el sulfuro de hidrógeno y puede deprimir el sistema nervioso central, produciendo parálisis respiratoria y muerte. Puesto que el sulfuro de hidrógeno es una materia prima utilizada o generada en las plantas de producción de tioles, es necesario adoptar precauciones especiales para evitar su liberación en concentraciones peligrosas. Después de una exposición aguda, si no se produce la muerte inmediata, la irritación del tracto respiratorio inferior puede ocasionar edema pulmonar, a veces de aparición diferida, que de no recibir un tratamiento rápido puede tener consecuencias fatales. Las víctimas que sobreviven sufren lesiones hepáticas y renales, así como cefalea, mareo, marcha vacilante, náuseas y vómitos.

Acido tioglicólico. El ácido tioglicólico puro tiene un efecto irritante pronunciado en la piel y las mucosas. Cuando está diluido, su acción irritante es menos pronunciada. Se han dado casos de lesiones cutáneas producidas por sales (amónica, sódica) del ácido, como erupciones pruriginosas, papulopustulosas y vesiculares discretas en el cuello, las orejas y los hombros de personas que se habían hecho una permanente en el pelo. Algunos peluqueros han sufrido lesiones aisladas similares a quemaduras profundas y eczema de contacto en manos, antebrazos, rostro y cuello. Los *tioglicolatos*, que se usan mucho en la industria, exhiben una acción sensibilizante muy débil y causan dermatitis por irritación primaria. No obstante, se ha observado que la *hidracida* y los ésteres *glicólicos* del ácido tioglicólico poseen una acción sensibilizante pronunciada, habiéndose dado muchos casos de eczema de contacto entre los profesionales de la peluquería. Por este motivo, en Alemania se prohibió la venta de preparados que contuviesen hidracida. Los derivados del ácido tioglicólico también han producido algunos casos de perionixis y sequedad de la piel de las manos de los peluqueros. Sin embargo, cuando aparece una dermatitis en un profesional de la peluquería, hay que pensar que también puede estar producida por otros productos utilizados para realizar permanentes, por una excesiva alcalinidad y por las impurezas del hidrosulfuro sódico.

El ácido tioglicólico exhibe un alto grado de toxicidad aguda. La DL₅₀ por vía oral del ácido sin diluir en ratas parece ser inferior a 50 mg/kg. Se absorbe rápidamente a través de la piel y, en el conejo, el 60 % se excreta en la orina en un plazo de 24 horas en forma de sulfato inorgánico o azufre neutro.

Prevención. Los profesionales de la peluquería deben utilizar ácido tioglicólico o sus derivados sólo en soluciones diluidas con un pH casi neutro. En Suiza, por ejemplo, sólo está permitido utilizar soluciones al 7,5 % con un pH máximo de 7,5, o soluciones al 9 % con un pH máximo de 8. Para aplicar esta solución, el peluquero debe protegerse las manos utilizando guantes de caucho o de plástico y evitar el contacto con los ojos. La solución debe neutralizarse lo más rápidamente posible y lavar la zona afectada al primer indicio de irritación.

Los profesionales de la peluquería que utilicen estos productos deben conocer todos los riesgos asociados a su uso y vigilar la aparición de cualquier signo precoz de exposición (es decir, sensación de quemazón, picores, etc.). Cuando padezcan alguna irritación cutánea, deben abstenerse de manipular estos productos. En los salones de peluquería, la ventilación debe ser suficiente para evitar que estos productos se acumulen en la atmósfera en forma de neblinas.

Sulfatos y sulfuros

El *dimetil sulfato* es un tóxico extremadamente peligroso. La toxicidad se deriva de sus propiedades alquílicas y su hidrólisis a ácido sulfúrico y alcohol metilo. El líquido es muy irritante para la piel y las mucosas. En contacto con la piel produce ampollas que suelen curar lentamente, a veces con formación de costras. El entumecimiento puede durar varios meses. La irritación de los ojos produce lagrimeo, sensibilidad a la luz (fotofobia), conjuntivitis y queratitis; en casos graves se han producido opacidades en la córnea y pérdida permanente de visión. Además de la irritación aguda del tracto respiratorio, puede aparecer edema pulmonar diferido, bronquitis y neumonitis. El efecto del vapor en las terminaciones de los nervios trigémino, laríngeo y vago ocasiona a veces bradicardia o taquicardia y vasodilatación pulmonar.

Rara vez se han observado efectos a largo plazo y estos suelen limitarse a dificultades respiratorias y oculares.

Se ha demostrado que el dimetil sulfato es carcinógeno en la rata, tanto de forma directa como tras la exposición prenatal. La inhalación de 1 ppm origina la excreción urinaria de metilpurinas, lo que demuestra la existencia de un proceso de alquilación inespecífica del ADN. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado al dimetilsulfato como un compuesto químico del Grupo 2A, probablemente cancerígeno para el ser humano.

Disulfuro de tetrametiluram (DTT). La exposición a DTT se produce por inhalación de polvo, aerosoles o nieblas. Los efectos locales son el resultado de la irritación de las mucosas: conjuntivitis, rinitis, estornudos y tos. El DTT ocupa un lugar importante entre las sustancias que originan hipersensibilidad de contacto, posiblemente reflejando el uso frecuente de utensilios de goma en el hogar, en las fábricas y en medicina. Puede causar dermatitis de contacto, eritema y urticaria. La sensibilidad cutánea se confirma con la prueba de los parches.

Los trabajadores expuestos a DTT muestran intolerancia al alcohol, manifestada por congestión facial, palpitaciones, pulso rápido, hipotensión y mareo. Se cree que estos efectos se deben al bloqueo de la oxidación del acetaldehído. (El homólogo dietilo de DTT se comercializa con el nombre de Antabuse y se administra a los alcohólicos crónicos con la esperanza de que los síntomas tan desagradables que aparecen tras la ingestión de alcohol les ayude a superar el síndrome de abstinencia.)

La intoxicación por inhalación o ingestión de DTT produce náuseas, vómitos, diarrea, ataxia, hipotermia, hipotonía y, finalmente, parálisis ascendente con muerte por insuficiencia respiratoria. La toxicidad es mayor en presencia de grasas, aceites y disolventes lipídicos. El DTT se metaboliza a disulfuro de carbono, atribuyéndose a este último efectos neurológicos y cardiovasculares.

Medidas de salud y seguridad

Las llamas abiertas y otras fuentes de ignición deben mantenerse alejadas de las zonas en donde se utilizan compuestos de azufre inflamables (p. ej., tioles), especialmente si son volátiles. Los procedimientos de emergencia y los métodos habituales de trabajo deben hacer hincapié en una manipulación adecuada, el control de los vertidos y el uso de equipos protectores adecuados, como respiradores y gafas de seguridad. Los tioles derramados deben neutralizarse con lejía de uso doméstico y regarse con agua abundante. La principal finalidad de las medidas de control es reducir la posibilidad de inhalación o contacto de la piel con los tioles, y especialmente de los ojos. En la medida de lo posible, el control debe centrarse en la fuente de exposición, ya sea realizando la operación en un recinto cerrado y/o utilizando ventilación local por aspiración. Cuando estos controles técnicos no sean suficientes para reducir las concentraciones ambiente hasta

niveles aceptables, se hará necesario el uso de respiradores para prevenir la irritación pulmonar y los efectos sistémicos. A bajas concentraciones (inferiores a 5 ppm), debe utilizarse un respirador de cartuchos con una semimascarilla y cartuchos para vapores orgánicos. A concentraciones altas se necesitan respiradores con máscara completa y suministro de aire.

En las zonas donde se utilicen cantidades apreciables de tioles, deben existir duchas, fuentes para lavarse los ojos y extintores de incendios. Los trabajadores expuestos deben disponer de lavabos, jabón y agua para limpiarse las manos.

Tratamiento. En situaciones de emergencia, los trabajadores afectados deben alejarse de la zona de exposición y en caso de haberse producido contaminación de los ojos o la piel, ser lavados con agua abundante, retirando rápidamente la ropa contaminada. En caso de inhalación de altas concentraciones, es aconsejable la hospitalización y observación durante al menos 72 horas, debido al riesgo de aparición tardía de edema pulmonar

grave. Las medidas terapéuticas son similares a las recomendadas para las sustancias que irritan las vías respiratorias.

Las medidas de protección son las mismas que para el dióxido de azufre. Consisten en utilizar prendas impermeables, mandiles, guantes, gafas y botas cuando se trabaje con tioles líquidos que puedan salpicar o derramarse.

Todas las operaciones industriales relacionadas con el uso de dimetilsulfato deben realizarse en sistemas herméticamente cerrados y siguiendo los procedimientos recomendados para la manipulación de cancerígenos humanos. Se adoptarán las medidas necesarias para la correcta eliminación de cualquier derrame y estará absolutamente prohibido cualquier intento de limpiar los derrames masivos, como los que se producen en caso de rotura de un envase, hasta que toda la zona haya sido regada con agua abundante. Muchos accidentes producidos por el dimetilsulfato han sido el resultado de intentos precipitados y sin protección de recoger la sustancia derramada.

TABLAS DE COMPUESTOS ORGANICOS DE AZUFRE

Tabla 104.153 • Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
ACIDO TIOACETICO	Acetil mercaptano; ácido etanotióico; ácido etanotióico; ácido metanocarbotióico; ácido tiacético; ácido tiolacético; ácido tionoacético UN2436	507-09-5	
ACIDO TIOGLICOLICO	Acido 2-tioglicólico; mercaptoacetato; ácido mercaptoacético; ácido 2-mercaptoacético; ácido 2-tioglicólico; ácido tiovánico UN1940	68-11-1	
ANTU	α -Nafil tiourea; 1-naftalenitiourea; 1-naftil tiourea; N-(1-naftil)-2-tiourea; 1-(1-naftil)-2-tiourea UN1651	86-88-4	
BENCENOSULFONIL CLORURO	Cloruro de benzenosulfónico UN2225	98-09-9	
<i>tert</i> -BUTIL MERCAPTANO	<i>tert</i> -Butanotiol; 2-metil-2-propanotiol	75-66-1	
<i>n</i> -BUTIL MERCAPTANO	<i>n</i> -Butanotiol; butil mercaptano UN2347	109-79-5	
CICLOHEXIL-1-MERCAPTANO	Ciclohexanotiol UN3054	1569-69-3	
DECIL MERCAPTANO	1-Decanótido; decilmercaptano; <i>n</i> -decilmercaptano; 1-mercaptodecano	143-10-2	
DIETIL SULFATO	Sulfato de dietilo; DS; etil sulfato; éster dietílico del ácido sulfúrico UN1594	64-67-5	
DIMETIL SULFATO	Dimetil monosulfato UN1595	77-78-1	
DODECIL MERCAPTANO	1-Dodecanotiol; 1-dodecil mercaptano; lauril mercaptano; Pennfloat M; Pennfloat S	112-55-0	
DODECILBENCENOSULFONATO SODICO		25155-30-0	
ETILMERCAPTANO	Etanotiol; etil sulfhidrato; tioalcohol etilífico; tioetanol; alcohol tioetilico UN2363	75-08-1	

Tabla 104.153 • Identificación química.

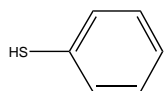
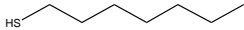
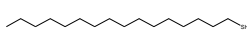
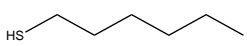
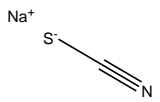
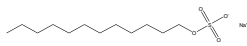
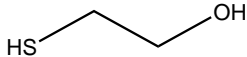


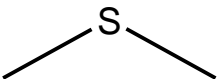
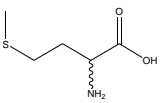
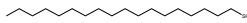

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
FENIL MERCAPTANO	Bencenotiol; tiofenol UN2337	108-98-5	
<i>n</i> -HEPTIL MERCAPTANO	1-Heptanotiol	1639-09-4	
HEXANOTIOL	Cetilmercaptano; hexadecanotiol-1; <i>n</i> -hexadecanotiol; hexadecilmercaptano	2917-26-2	
<i>n</i> -HEXIL MERCAPTANO	1-Hexanotiol	111-31-9	
ISOTIOCIANATO SODICO	Rodanato sódico; rodanuro sódico; sulfocianato sódico; sulfocianuro sódico; tiocianato sódico; tiocianuro sódico; sodio tiocianato	540-72-7	
LAURIL SULFATO SODICO	Monododecil sulfato sódico; dodecil sulfato sódico; <i>n</i> -dodecil sulfato sódico; dodecil sulfato sódico; monolauril sulfato sódico	151-21-3	
2-MERCAPTOETANOL	1-Etanol-2-tiol; monotioetilen glicol; 2-hidroxi-1-etanotiol; 2-hidroxi-etilmercaptano; mercaptoetanol; monotioetilenglicol; 2-tioetanol; tioglicol; tiomonoglicol UN2966	60-24-2	
METILMERCAPTANO	Metanotiol; tiometanol UN1064	74-93-1	
METIL SULFOXIDO	Dimetil sulfoxido; sulfoxido de dimetilo; diméxico; sulfinilbismetano; metilsulfonilmetano, DMSO	67-68-5	
METIL SULFURO	Dimetil sulfuro; metiltiometano; 2-tiapropano; 2-tiopropano UN1164	75-18-3	
D,L-METIONINA	Acimention; Bantionine; Cynaron; Dyprin; Lobamine; Meonine; Metionine; Metiona; Mertionin; Neston	59-51-8	
1-OCTADECANODIOL	1-Mercaptooctadeno; octadecil mercaptano; estearil mercaptano	2885-00-9	
1-OCTANOTIOL	1-Mercaptooctano; <i>n</i> -octil mercaptano; octiltiol; 1-octiltiol	111-88-6	

Tabla 104.153 • Identificación química.

Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
1-PENTANOTIOL	Amil hidrosulfuro; amil mercaptano; <i>n</i> -amil mercaptano; amil sulfhidrato; tioalcohol amílico; pentil mercaptano	110-66-7	
PERCLOROMETIL MERCAPTANO	PCM; sulfenil cloruro de triclorometano; triclorometanosulfenil cloruro; triclorometilsulfenil cloruro UN1670	594-42-3	
PROPANOTIOL		107-03-9	
SULFATO DE BENCIDINA	(1,1'-Bifenil)-4,4'-diamina , sulfato (1:1)	531-86-2	
SULFURO DE CARBONILO		463-58-1	
TIOACETAMIDA	Acetotioamida; etantioamida; ácido tioacetimidico	62-55-5	
2,2'-TIODIETANOL	Bis(β-hidroxiethyl)sulfuro; bis(2-hidroxiethyl)sulfuro; sulfuro de bis(2-hidroxiethyl); tiodietilen glicol; tiodiglicol; β-tiodiglicol	111-48-8	
TIOUREA	Isotiourea; pseudotiourea; tiocarbamida; diamida del ácido tiocarbónico; beta-tiopseudourea; 2-tiopseudourea; 2-tiourea; THU	62-56-6	
TIRAM	Disulfuro de bis((dimetilamino)carbonotioilo); sulfito de tetrametildiarano; disulfuro de tetrametiltiuram; diamida tetrametiltioperoxidicarbónica; tetrametiltiuram; bisulfuro de tetrametiltiuram; disulfuro de tetrametiltiuram	137-26-8	

Tabla 104.154 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
ACIDO TIOACETICO 507-09-5	ojos; piel; tract resp; pulmones	riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dificultad respiratoria, náuseas, dolor de garganta, los síntomas pueden tardar en aparecer Sensación de quemazón, dolor Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, sensación de quemazón		

Tabla 104.154 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
<i>n</i> -BUTIL MERCAPTANO 109-79-5	ojos; piel; tract resp; SNC; tiroides		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Debilidad, confusión, tos, mareo, cefalea, náuseas, vómitos, disnea Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Véase inhalación	Sis resp; SNC; hígado; riñones; ojos; piel Inh; ing; con	Irrit ojos, piel; deb musc, mal, sudor, náu, vómit, cef, conf; en animales: narco, desco, deb; cian, irrit pulm; lesiones hepáticas y renales
<i>terc</i> -BUTIL MERCAPTANO 75-66-1	ojos; piel; tract resp; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos	Tos, mareo, cefalea, náuseas, vómitos Enrojecimiento Enrojecimiento		
CICLOHEXIL MERCAPTANO 1569-69-3	ojos; piel; tract resp; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos	Tos, mareo, cefalea, náuseas, inconsciencia, vómitos, debilidad Enrojecimiento Enrojecimiento	Ojos; piel; sis resp; SNC Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; cef, mar, deb, náu, vómit, convuls; tos, estor, laringitis, dis
DECIL MERCAPTANO 143-10-2	ojos; piel; tract resp; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos	Confusión, mareo, cefalea, náuseas, inconsciencia, debilidad Enrojecimiento Enrojecimiento	Ojos; piel; sis resp Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; conf, mar, cef, sop, náu, vómit, deb, convuls
DODECIL MERCAPTANO 112-55-0	ojos; piel; tract resp; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Confusión, tos, mareo, cefalea, náuseas, disnea, dolor de garganta, inconsciencia, debilidad Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, embotamiento, cefalea, náuseas, inconsciencia	Ojos; piel; sis resp; SNC; sangre; Inh; con	Irrit ojos, piel, sis resp; tos; dis, deb, conf, cian; dolor abdom, náu; sens piel
DODECILBENCENOSULFONATO SODICO 25155-30-0	ojos; piel; tract resp	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dificultad respiratoria Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Diarrea, vómitos		
ETIL MERCAPTANO 75-08-1			Inhalación Piel Ojos	Sopor, náuseas, inconsciencia, debilidad, temblores Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor	Sis resp; hígado; riñones; ojos; sangre Inh; con	Irrit muc; cef, náu; en animals: desco, deb; lesiones hepáticas y renales; cian; narco
FENIL MERCAPTANO 108-98-5	ojos; piel; tract resp; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, cefalea, dificultad respiratoria Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Náuseas, dolor de garganta	Ojos; piel; sis resp; SNC; riñones; hígado; bazo Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; dermat; cian; tos, resp sib, dis, edema pulm, neuitis; cef, mar, SNC depres; náu, vómit; lesiones en riñones, hígado y bazo
HEXANOTIOL 2917-26-2	ojos; piel; tract resp; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos	Mareo, cefalea, náuseas, dolor de garganta, inconsciencia, debilidad Enrojecimiento Enrojecimiento	Ojos; piel; sis resp; SNC; sangre Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; cef, mar, deb, cian, náu, convuls
METIL MERCAPTANO 74-93-1	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC; sangre; piel		Inhalación Piel Ojos	Tos, irritante, cefalea, náuseas, disnea, dolor de garganta, inconsciencia Enrojecimiento, irritante, dolor, en contacto con el liquido: congelación Enrojecimiento, irritante, dolor	Sis resp; SNC; ojos; piel; sangre Inh; con (liq)	Irrit ojos, piel, sis resp; narco; cian; convuls; liq; congelación
1-OCTADECANOTIOL 2885-00-9					Ojos; piel; sis resp; SNC; sangre Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; cef; mar; deb; cian; náu; convuls

Tabla 104.154 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
1-OCTANOTIOL 111-88-6					Ojos; piel; sis resp; sangre; SNC Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; deb; cian; incr respiración; náu; sop; cef; vómit
PERCLOROMETIL-MERCAPTANO 594-42-3	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel; pulmones			Ojos; sis resp; hígado; riñones; piel Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; lag; tos, dis, dolor con resp profunda, estertores; vómit; pal, tacar; acidosis; anuria; lesiones hepáticas y renales
PROPANOTIOL 107-03-9					Ojos; piel; sis resp; SNC; sangre; hígado; riñones Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; sis resp; cef, náu, mar, cian; en animales: lesiones hepáticas y renales
TIOACETAMIDA 62-55-5	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor, visión borrosa Sensación de quemazón, dolor de garganta		

Tabla 104.155 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
ACIDO MERCAPTOACETICO 68-11-1			8
ACIDO TIOACETICO 507-09-5	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Se descompone al arder, produciendo humos tóxicos y corrosivos (óxidos de azufre) Es un ácido de fuerza intermedia y corrosiva con peligro de incendio y explosión Reacciona lentamente con agua, formando ácido acético y sulfuro de hidrógeno	
ANTU 86-88-4		Se descompone al calentarse produciendo humos tóxicos, entre ellos óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre Reacciona con oxidantes fuertes, con peligro de incendio y explosión	6.1
BENCENOSULFONIL CLORURO 98-09-9			8
n-BUTIL MERCAPTANO 109-79-5	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Se descompone al arder o calentarse, produciendo humos altamente tóxicos (dióxido de azufre) Reacciona con ácidos, bases, metales alcalinos, y oxidantes fuertes	3
terc-BUTIL MERCAPTANO 75-66-1	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Se descompone al arder produciendo gases altamente tóxicos, entre ellos óxidos de azufre Reacciona con ácidos fuertes, bases fuertes, metales alcalinos, agentes reductores fuertes y oxidantes fuertes	

Tabla 104.155 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios	
CETIL MERCAPTANO 2917-26-2		Se descompone al arder, produciendo gases altamente tóxicos, entre ellos óxidos de azufre Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, ácidos, agentes reductores, metales alcalinos		
CICLOHEXIL MERCAPTANO 1569-69-3		Se descompone al arder, produciendo gases altamente tóxicos, entre ellos dióxido de azufre Reacciona con oxidantes fuertes, agentes reductores y metales alcalinos	3	
DECIL MERCAPTANO 143-10-2		Se descompone al arder, produciendo gases altamente tóxicos, entre ellos dióxido de azufre Reacciona con oxidantes fuertes y bases fuertes		
DIETIL SULFATO 64-67-5		Se descompone al calentarse, produciendo humos inflamables y tóxicos fuerte y reacciona con materiales combustibles y reductores Reacciona con oxidantes La solución en agua es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva	Es un oxidante Es un agente reductor fuerte y	6.1
DIETIL SULFURO 352-93-2				3
DIMETIL SULFATO 77-78-1				6.1/ 8
DIMETIL SULFOXIDO 67-68-5	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Se descompone al calentarse por encima de 150 °C o al arder, produciendo humos tóxicos Reacciona violentamente con oxidantes fuertes como percloratos		
DIMETIL SULFURO 75-18-3	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Se descompone al calentarse y al arder, produciendo humos tóxicos y corrosivos (sulfuro de hidrógeno y óxidos de azufre) Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, con peligro de incendio y explosión		3
DODECIL MERCAPTANO 112-55-0		Se descompone al arder produciendo gases altamente tóxicos, entre ellos dióxido de azufre Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y metales alcalinos		
DODECILBENCENOSULFONATO SODICO 25155-30-0		Se descompone al calentarse y al arder, produciendo humos tóxicos e irritantes (óxidos de azufre) Reacciona con ácidos o humos ácidos, produciendo humos tóxicos e irritantes (óxidos de azufre)		
ETIL MERCAPTANO 75-08-1	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	En su combustión forma monóxido de carbono, óxidos de azufre y sulfuro de hidrógeno un ácido débil Reacciona con oxidantes, con peligro de incendio y explosión Reacciona violentamente con ácidos fuertes y bases, con peligro de intoxicación	Es	3
FENIL MERCAPTANO 108-98-5		Se descompone al calentarse, produciendo humos tóxicos (óxidos de azufre y monóxido de carbono) Reacciona con ácidos liberando humos tóxicos (óxidos de azufre)		6.1/ 3
LAURIL SULFATO SODICO 151-21-3		En su combustión se forman gases tóxicos Libera humos tóxicos en un incendio		
2-MERCAPTOETANOL 60-24-2				8
METANOSULFONIL CLORURO 124-63-0				6.1/ 8
METILMERCAPTANO 74-93-1	El gas es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Se descompone al calentarse y al arder, produciendo óxidos de azufre tóxicos Reacciona violentamente con oxidantes fuertes Reacciona con ácidos para formar gases inflamables y tóxicos (sulfuro de hidrógeno)	Reacciona	2.3/ 2.1
D,L-METIONINA 59-51-8		Se descompone al calentarse, produciendo óxidos de azufre y óxidos nitrosos Reacciona con oxidantes fuertes		

Tabla 104.155 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
1-PENTANOTIOL 110-66-7			3
PERCLOROMETIL MERCAPTANO 594-42-3			6.1
PROPANOTIOL 107-03-9			3
TIOACETAMIDA 62-55-5		Se descompone al arder, produciendo humos tóxicos	
TIOCIANATO SODICO 540-72-7		Se descompone al calentarse y por influencia de la luz, produciendo humos tóxicos de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y cianuros Reacciona violentamente con ácidos, bases fuertes y oxidantes fuertes	
TIOUREA 62-56-6		Se descompone al calentarse, produciendo humos tóxicos de óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre Reacciona con agentes oxidantes del sulfhidrilo, formando complejos y aductos con sales metálicas y numerosos compuestos orgánicos, entre ellos proteínas y algunos hidratos de carbono Reacciona violentamente con acroleína, ácidos fuertes y oxidantes fuertes	
TIRAM 137-26-8	Posibilidad de explosión de polvo cuando se encuentra en forma de polvo o granular y se mezcla con el aire	Se descompone al calentarse y al arder, produciendo humos tóxicos (óxidos de azufre, nitrógeno) Reacciona con oxidantes fuertes, ácidos y materiales oxidables	6.1

Tabla 104.156 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	pe (°C)	pf (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
ACIDO TIOACETICO 507-09-5	líquido amarillo	93	< -17	76,1	lig sol	1.064	2,62			18-21	
ACIDO TIOGLICOLICO 68-11-1	líquido incoloro	120 @ 20 mm Hg	-16,5	92,1	misc	1,3253		10 torr @ 18 °C			
n-BUTIL MERCAPTANO 109-79-5	líquido incoloro	98,4	-115.7	90,2	lig sol	0,8337	3,1	4,0		2 cc	< 225
terc-BUTIL MERCAPTANO 75-66-1	líquido móvil; líquido incoloro	64	-0.5	90,2	insol	0,8002	3,1	19,0		-26 cc	
CETIL MERCAPTANO 2917-26-2	líquido o sólido	184	18		insol	0,84	8,9	10 Pa		135	
CICLOHEXIL MERCAPTANO 1569-69-3	líquido	158	-118	116,2	insol	0,9782	4,00	1,3		43 cc	
DECIL MERCAPTANO 143-10-2	líquido incoloro	241	-26	174,3	insol	0,84	6,0	< 10 Pa			
DODECIL MERCAPTANO 112-55-0	líquido color agua o amarillo claro; líquido aceitoso incoloro	142-145 @ 15 mm Hg	-7	202,4	insol	0,8450	7,0	0,33 @ 25 °C		1278 oc	230
DODECILBENCENOSULFONATO SODICO 25155-30-0	copos, gránulos o polvo de color blanco o amarillo claro		300		sol	1,0 para suspensión al 60 %					

Tabla 104.156 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	pe (°C)	pf (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa del vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
ETIL MERCAPTANO 75-08-1	líquido incoloro	35	-144.4	62,13	lig sol	0,83907	2,14	589	2,8 II 18,0 sl	-483	299
FENIL MERCAPTANO 108-98-5	líquido color agua; cristales tipo prisma en éter de petróleo	168	-14,8	110,17	insol	1,0766	3,8	0,13 @ 18 °C		< 55	
<i>n</i> -HEPTIL MERCAPTANO 1639-09-4		177	-43	132,26	insol	0,8427					
<i>n</i> -HEXIL MERCAPTANO 111-31-9		151	-81	118,23	insol	0,8424					
2-MERCAPTOETANOL 60-24-2	líquido móvil color agua	157–158 @ 742 mm Hg		78,13	sol	1,1143	2,7	1,00 mm Hg			
METANOSULFONIL CLORURO 124-63-0	líquido amarillo claro	62 @ 18 mm Hg	-32	114,55	insol	1,4573					
METIL MERCAPTANO 74-93-1	líquido color agua por debajo del punto de ebullición o gas incoloro	5,9	-123	48,1	lig sol	0,8665	1,66	1520 mm Hg @ 26,1 °C	3,9 II 21,8 ul	-18	
OCTADECANOTIOL 2885-00-9	sólido	205–209	25			0,8420					
<i>n</i> -OCTANOTIOL 111-88-6	líquido color agua	199,1	-49,2	146,30		0,8433				46	
1-PENTANOTIOL 110-66-7	líquido	126,6 @ 460 mm Hg	-75,7	104,21	insol	0,8421	3,59	13,8 mm Hg @ 25 °C		18 ca	
PERCLOROMETIL MERCAPTANO 594-42-3	líquido aceitoso amarillo; amarillo o rojo anaranjado	147,5		185,88	insol	1,6947	6,414	3 mm Hg			
PROPANOTIOL 107-03-9	líquido móvil incoloro	67–68	-113,3	76,17	lig sol	0,8411 g/ml		154.2 mm Hg @ 25 °C		-20	
TIOACETAMIDA 62-55-5	cristales en benceno; laminillas incoloras; cristales en alc, placas en éter		116	75,1	muy sol						
2,2'-TIODIETANOL 111-48-8		164–166	-10	122,2		1,1819					

PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS INORGANICOS DE AZUFRE

COMPUESTOS INORGANICOS DE AZUFRE

El azufre se encuentra en estado nativo en algunas regiones volcánicas, o en estado combinado formando sulfuros metálicos (piritas, galena, blenda, cinabrio), sulfatos (anglesita, yeso) o sulfuro de hidrógeno en algunas manantiales de agua o gas natural. En otros tiempos, las rocas extraídas de las minas de azufre se calentaban hasta el punto de fusión en hornos primitivos excavados en el suelo o hechos de hormigón de mampostería y abiertos en su parte superior (llamados en *Sicilia calcaroni*); el material que contenía azufre se cubría con una capa de escoria para evitar su contacto con el aire. En ambos casos, una parte del azufre natural se consumía como combustible.

El azufre elemental se extrae en su mayor parte del refinado del petróleo. En algunos países, el azufre se recupera como un subproducto de los minerales azufrados utilizados en la producción de cobre, plomo y zinc; también se obtiene por calcinación de las piritas de hierro para la producción de ácido sulfúrico.

Usos

El *azufre* se utiliza para la producción de ácido sulfúrico, sulfatos, hiposulfitos, disulfuro de carbono, y también en la fabricación de cerillas, la vulcanización del caucho, la fusión de electrones y la fabricación de bombas incendiarias; en agricultura se emplea para combatir los parásitos de las plantas y para el tratamiento de los vinos. Es también útil para blanquear pasta de madera y papel, tejidos y frutos secos. El azufre es un componente de los champús anticascpa, un agente ligante y extendedor de asfalto para la pavimentación de carreteras, un aislante eléctrico y un agente nucleante en las películas fotográficas.

El *dióxido de azufre* sirve principalmente como producto químico intermedio en la producción de ácido sulfúrico, aunque también se utiliza en la producción de pasta de papel, almidón, sulfitos y tiosulfatos. Se utiliza para blanquear azúcar, fibras, cuero, colas y licor de azúcar; como material de partida para la síntesis orgánica de numerosas sustancias, entre ellas disulfuro de carbono, tiofeno, sulfonas y sulfonatos, y como conservante en las industrias vinícola y alimentaria. En combinación con amoníaco y la humedad ambiental, forma neblinas artificiales de sulfato amónico que protegen a los cultivos de las heladas nocturnas. El dióxido de azufre se utiliza como desinfectante en las fábricas de cerveza, como agente en el proceso de flotación por espuma de minerales azufrados, como disolvente de extracción en el refinado del petróleo, como agente limpiador en el drenado con tubos de barro cocido y como agente de curtido en la industria del cuero.

El *trioxido de azufre* se utiliza como producto químico intermedio en la fabricación de ácido sulfúrico y ácido sulfúrico fumante para la sulfonación, en particular, de tintes y colorantes, y para la producción de ácido nítrico anhidro y explosivos. El trióxido de azufre sólido se comercializa con nombres como Sulphan y Triosul, y se utiliza principalmente para la sulfonación de ácidos orgánicos. El *tetrafluoruro de azufre* es un agente de fluoración. El *hexafluoruro de azufre* sirve como aislante gaseoso en instalaciones eléctricas de alto voltaje. El *sulfiril fluoruro* se emplea como insecticida y fumigante.

El *hexafluoruro de azufre* y el *trioxidoclorofluoruro de azufre* se utilizan como materiales aislantes en sistemas de alto voltaje.

Muchos de estos compuestos se emplean en industrias de colorantes, química, cuero, fotografía y siderurgia. Otros compuestos

como *metabisulfito sódico*, *trisulfito sódico*, *hidrosulfito sódico*, *sulfato amónico*, *tiosulfato sódico*, *sulfato cálcico*, *dióxido de azufre*, *sulfito sódico* y *metabisulfito potásico*, sirven como aditivos, conservantes y decolorantes en la industria de los alimentos. En la industria textil, el trisulfito sódico y el sulfito sódico son decolorantes, el sulfato amónico y el sulfamato amónico se utilizan como materiales ignífugos y el sulfito sódico sirve para la impresión del algodón. El sulfato amónico y el *disulfuro de carbono* se utilizan en la fabricación de seda viscosa, y el tiosulfato sódico y el hidrosulfito sódico blanquean la pasta papelería y el papel. Además, el sulfato amónico y el tiosulfato sódico son agentes de curtido en la industria del cuero y el sulfamato amónico se utiliza en la producción de madera ignífuga y el tratamiento del papel de los cigarrillos.

El disulfuro de carbono es un disolvente de ceras, lacas, aceites y resinas, así como un lubricante de sopletes para cortar vidrio. Se utiliza para la vulcanización en frío del caucho y para producir catalizadores de petróleo. El *sulfuro de hidrógeno*, un subproducto del refinado del petróleo, sirve como aditivo de lubricantes sometidos a presiones extremas y lubricantes para cuchillas. Se utiliza en la producción de minerales y en la purificación de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico.

Riesgos

Sulfuro de hidrógeno

El sulfuro de hidrógeno es un gas inflamable que arde con una llama azul, liberando dióxido de azufre, un gas muy irritante que posee un olor característico. Las mezclas de sulfuro de hidrógeno y aire en proporciones explosivas pueden detonar violentamente. Dado que los vapores son más pesados que el aire, tienden a acumularse en las zonas bajas y a diseminarse por la zona pegada al suelo hasta que entran en contacto con una fuente de ignición y se incendian. Cuando se expone al calor, el sulfuro de hidrógeno se descompone, dando hidrógeno y azufre, y cuando entra en contacto con agentes oxidantes como ácido nítrico, trifluoruro de cloro, etc., reaccionan violentamente y arden espontáneamente. Los agentes extintores recomendados para apagar incendios producidos por sulfuro de hidrógeno son dióxido de carbono, polvo seco químico y rociadores de agua.

Riesgos para la salud. Incluso a bajas concentraciones, el sulfuro de hidrógeno irrita los ojos y el tracto respiratorio. La intoxicación puede ser hiperaguda, aguda, subaguda o crónica. Las bajas concentraciones se detectan fácilmente por su olor característico a huevos podridos. Sin embargo, las exposiciones prolongadas adormecen el sentido del olfato y hacen del olor un medio muy poco fiable de advertencia. Las altas concentraciones pueden anular rápidamente el sentido del olfato. El sulfuro de hidrógeno penetra en el organismo a través del aparato respiratorio y se oxida rápidamente para formar compuestos de escasa toxicidad. No existen fenómenos acumulativos y la eliminación tiene lugar a través del intestino, la orina y el aire espirado.

En los casos de intoxicación leve, por ejemplo, tras la exposición a una concentración de entre 10 y 500 ppm, la víctima puede sufrir cefalea durante varias horas, dolor en las piernas y rara vez pérdida de consciencia. En los casos de intoxicación moderada (entre 500 y 700 ppm), se produce pérdida de consciencia durante unos minutos, pero sin dificultad respiratoria. En los casos de intoxicación grave, la víctima entra en coma profundo con disnea, taquipnea y cianosis violeta-azulada en las pausas de apnea, taquicardia y convulsiones tónico-clónicas.

La inhalación de cantidades masivas de sulfuro de hidrógeno produce en poco tiempo anoxia, con el resultado de muerte por

asfixia. La víctima puede sufrir convulsiones epileptiformes y quedarse aparentemente inconsciente, en ocasiones falleciendo sin volver a moverse. Este es un síndrome característico de la intoxicación por sulfuro de hidrógeno en los trabajadores de las cloacas. No obstante, en estos casos la intoxicación suele deberse a una mezcla de gases formada por metano, nitrógeno, dióxido de carbono y amoníaco.

En la intoxicación subaguda, los síntomas consisten en náuseas, malestar de estómago, eructos fétidos, aliento con un olor característico a "huevos podridos" y diarrea. Estos trastornos del sistema digestivo pueden ir acompañados de trastornos del equilibrio, vértigo, sequedad e irritación de la nariz y la garganta con expectoración viscosa y mucopurulenta y estertores y roncus difusos.

Se han descrito casos de dolor retrosternal similar al observado en la *angina pectoris*, y el electrocardiograma puede mostrar una imagen característica de infarto de miocardio que, sin embargo, desaparece con bastante rapidez. Los ojos se ven afectados por edema palpebral, conjuntivitis bulbar y secreción mucopurulenta con, posiblemente, reducción de la agudeza visual, siendo todas estas lesiones normalmente bilaterales. Los trabajadores de las plantas azucareras y las cloacas conocen este síndrome como "ojos de gas". Se han descrito diversos efectos sistémicos, como cefalea, astenia, trastornos oculares, bronquitis crónica y presencia de una línea gris verdosa en las encías. Como ocurre con la intoxicación aguda, las lesiones oculares parecen predominar, con parálisis, meningitis, polineuritis e incluso alteración de la conducta.

En ratas, la exposición a sulfuro de hidrógeno tiene efectos teratogénicos.

Metabolismo y patología. El sulfuro de hidrógeno ejerce una acción tóxica general. Inhibe la enzima respiratoria de Warburg (citocromo oxidasa) por unión al hierro, bloqueando también los procesos de oxidación-reducción. Esta inhibición de enzimas esenciales para la respiración celular puede tener consecuencias mortales. La sustancia ejerce una acción irritante local en las mucosas puesto que, al contacto con la humedad, forma sulfuros cáusticos. Lo mismo puede ocurrir en el parénquima pulmonar como resultado de su combinación con las sustancias alcalinas de los tejidos. La investigación experimental ha demostrado que los sulfuros pasan a la circulación produciendo efectos respiratorios como polipnea, bradicardia e hipertensión por su acción en las zonas vasosensibles y reflexógenas de los nervios carótidos y el nervio de Hering.

El examen necrológico de las víctimas de intoxicación hipergada ha revelado la presencia de edema pulmonar y congestión de varios órganos. Un rasgo característico de la autopsia es el olor a sulfuro de hidrógeno que emana del cadáver diseccionado. Otras observaciones de interés son la presencia de hemorragias en la mucosa gástrica y la coloración verdosa de las partes más altas del intestino e incluso del cerebro.

Disulfuro de carbono

Los primeros casos de intoxicación por disulfuro de carbono se detectaron en el siglo XIX en Francia y Alemania, todos ellos relacionados con la vulcanización del caucho. Después de la primera Guerra Mundial aumentó la producción de rayón viscosa y, con ella, la incidencia de intoxicación aguda y crónica por disulfuro de carbono, que sigue siendo hoy día un problema grave en algunos países. Todavía se producen casos de intoxicación aguda y, sobre todo, crónica, si bien es verdad que los adelantos tecnológicos y la mejora de las condiciones de higiene de las fábricas han eliminado casi por completo estos problemas en otros países.

El disulfuro de carbono es principalmente una sustancia neurotóxica; por consiguiente, los síntomas más importantes son los

que afectan a los sistemas nerviosos central y periférico. Las concentraciones de entre 0,5 y 0,7 mg/l (entre 160 y 230 ppm) no causan síntomas agudos en el ser humano; las concentraciones de entre 1 y 1,2 mg/l (entre 320 y 390 ppm) pueden ser soportadas durante varias horas, con la aparición de cefalea y sensación de malestar después de 8 horas de exposición; a partir de una concentración de 3,6 mg/l (1.150 ppm) aparecen vértigos; las concentraciones de entre 6,4 y 10 mg/l (entre 2.000 y 3.000 ppm) producen una intoxicación leve, con parestesia y respiración irregular al cabo de media hora o una hora. Con concentraciones de 15 mg/l (4.800 ppm), la dosis es letal al cabo de 30 minutos; y con concentraciones superiores se produce pérdida de consciencia después de varias inhalaciones.

La *intoxicación aguda* ocurre sobre todo después de la exposición accidental a concentraciones muy altas. En poco tiempo se produce pérdida de consciencia, generalmente bastante profunda, con extinción de los reflejos de la córnea y de los tendones. La muerte sobreviene por bloqueo del centro respiratorio. Cuando el paciente recobra la consciencia, se observa agitación motora y desorientación. Si llega a recuperarse, suelen quedar secuelas, como trastornos psíquicos y lesiones permanentes en los sistemas nerviosos central y periférico. Los casos de intoxicación subaguda suelen producirse por exposición a concentraciones superiores a 2 mg/l. Se manifiestan principalmente como trastornos mentales de tipo maniaco-depresivo; no obstante, a concentraciones menores los casos de polineuritis son los más frecuentes.

La *intoxicación crónica* empieza con debilidad, fatiga, cefalea, alteración del sueño, a menudo con pesadillas, parestesia y debilidad de las extremidades inferiores, pérdida de apetito y gastralgia. Aparecen también síntomas neurológicos y, con frecuencia, impotencia. La exposición continuada puede causar polineuritis, que supuestamente aparece después de trabajar a concentraciones de entre 0,3 y 0,5 mg/l durante varios años, siendo un síntoma precoz la disociación de los reflejos tendinosos en las extremidades inferiores. Las lesiones en los nervios cerebrales son menos frecuentes, pero se han observado casos de *neuritis del nervio óptico* y *vestibular*, así como alteración del olfato.

Los trabajadores varones expuestos pueden sufrir trastornos de tipo sexual (hipo y astenospermia), así como una disminución de la excreción de 17-cetoesteroides, 17-hidroxicorticosteroides y androsterona. En la mujer se han descrito trastornos de la menstruación, metrorragia y una mayor frecuencia de abortos. El disulfuro de carbono atraviesa la placenta. En animales se ha demostrado que produce efectos fetotóxicos y teratogénicos a concentraciones iguales o superiores a 32 ppm.

La relación entre el disulfuro de carbono y la aterosclerosis es un problema de especial interés. Antes de la segunda Guerra Mundial no se prestó mucha atención a este hecho, pero a partir de entonces, cuando las intoxicaciones clásicas por disulfuro de carbono comenzaron a desaparecer en muchos países, varios autores observaron el desarrollo de aterosclerosis de los vasos cerebrales en trabajadores jóvenes de fábricas de rayón viscosa.

Los estudios oflalmodinamográficos en trabajadores jóvenes expuestos a concentraciones de disulfuro de carbono de entre 0,2 y 0,5 mg/l durante varios años demostraron que las presiones sanguíneas sistólica y diastólica en la retina eran superiores a las de la arteria braquial. Este incremento se debía a la hipertensión arterial en el cerebro y se vio que aparecían espasmos arteriales antes de la enfermedad subjetiva. En estos trabajadores se recomienda realizar una reoencefalografía para evaluar la función vascular cerebral, con la que se puede medir la resistencia eléctrica de la región craneal. La pulsación craneal provoca cambios en la resistencia, especialmente en los vasos intracraneales, pudiéndose, de este modo, detectar un posible aumento de la rigidez o espasmo de los vasos craneales. En los trabajadores

japoneses se ha observado una mayor incidencia de microaneurismas y pequeñas hemorragias en la retina.

En los hombres que han sufrido una exposición crónica se ha comprobado la existencia de una hialinosis arteriocapilar, que constituye un tipo especial de arteriosclerosis por disulfuro de carbono. Por todo ello, el disulfuro de carbono debe ser considerado como un factor que contribuye al origen de este tipo de esclerosis, pero no como una causa directa. Esta hipótesis, así como los resultados de los análisis bioquímicos, han sido corroborados por otros informes que demuestran un aumento significativo de la arteriosclerosis en personas jóvenes expuestas a disulfuro de carbono. Con respecto a los riñones, parece ser que la glomeruloesclerosis de tipo Kimmelstiel-Wilson es más frecuente en las personas expuestas a disulfuro de carbono que en la población general. Investigadores británicos, finlandeses y de otros países han demostrado que la mortalidad por cardiopatías coronarias es mayor en los trabajadores varones expuestos durante muchos años a concentraciones relativamente bajas de disulfuro de carbono.

La absorción de disulfuro de carbono por vía respiratoria es bastante alta y, cuando se alcanza el estado de equilibrio de la inhalación, se retiene casi un 30 % de la cantidad inhalada. El tiempo necesario para alcanzar este estado varía desde un período muy corto hasta varias horas cuando se realiza un trabajo físico ligero. Una vez finalizada la exposición, una parte del disulfuro de carbono se excreta rápidamente a través del tracto respiratorio. La duración del período de desaturación depende del grado de exposición. Aproximadamente entre el 80 y el 90 % del disulfuro de carbono absorbido se metaboliza en el organismo con la formación de ditiocarbamatos y posible ciclización a tiazolidano. Debido al carácter nucleofílico del disulfuro de carbono, que reacciona especialmente con grupos —SH, —CH, y —NH₂, es posible que se formen también otros metabolitos.

El disulfuro de carbono se absorbe a través de la piel en cantidades considerables, pero menos que a través del tracto respiratorio. Los ditiocarbamatos quelan fácilmente metales como cobre, zinc, manganeso, cobalto y hierro. Se ha demostrado un mayor contenido de zinc en la orina de animales y seres humanos expuestos a disulfuro de carbono. Se cree asimismo que se produce una reacción directa con algunos de los metales contenidos en las metaloenzimas.

Las pruebas con microsomas hepáticos han demostrado la formación de oxisulfuro de carbono (OSC) y azufre atómico, que establece uniones covalentes con las membranas microsomales. Otros autores han observado en ratas que el disulfuro de carbono, tras sufrir una descomposición oxidativa, se une principalmente a la proteína P-450. En la orina se excreta una fracción del 1 % como disulfuro de carbono, y de la fracción restante, se excreta casi un 30 % como sulfatos inorgánicos y el resto como sulfatos orgánicos y algunos metabolitos desconocidos, uno de los cuales sería la tiourea.

Se piensa que la reacción del disulfuro de carbono con la vitamina B₆ es muy importante, ya que altera su metabolismo, lo que se manifiesta por una mayor excreción de ácido xanturénico y una menor excreción de ácido 4-piridoxínico, así como una menor concentración plasmática de piridoxina. Parece ser también que la utilización del cobre se ve alterada, según reflejan los niveles reducidos de ceruloplasmina en los animales y seres humanos expuestos. El disulfuro de carbono interfiere con el metabolismo cerebral de la serotonina por inhibición de ciertas enzimas. Además, se ha demostrado que inhibe el factor de aclaramiento (lipasa activada por la heparina en presencia de lipoproteínas), interfiriendo así con el aclaramiento de las grasas del plasma sanguíneo. Esto puede provocar la acumulación de colesterol y sustancias lipídicas en las paredes de los vasos y acelerar

el proceso aterosclerótico. Sin embargo, no todos los informes publicados sobre la inhibición del factor de aclaramiento resultan convincentes. Son muchos, aunque a menudo contradictorios, los estudios que hablan del comportamiento de las lipoproteínas y el colesterol en la sangre y los órganos de animales y seres humanos expuestos a disulfuro de carbono durante largos períodos de tiempo, o intoxicados por esta sustancia.

Se ha observado también una menor tolerancia a la glucosa del tipo de la diabetes química. Este fenómeno parece guardar relación con los altos niveles séricos de ácido xanturénico, que, como se ha demostrado en algunos experimentos, forma complejos con la insulina y reduce su actividad biológica. Los estudios neuroquímicos han demostrado una alteración de los niveles de catecolaminas en el cerebro, así como en otros tejidos nerviosos. Estos hallazgos indican que el disulfuro de carbono altera la biosíntesis de las catecolaminas, probablemente inhibiendo la dopamina hidroxilasa por quelación del cobre enzimático.

El examen de animales intoxicados con disulfuro de carbono demuestra la aparición de una serie de cambios neurológicos. En el ser humano, los cambios consisten en una grave degeneración de la sustancia gris del cerebro y el cerebelo, alteraciones del sistema piramidal a nivel de la protuberancia y la médula, cambios degenerativos de los nervios periféricos y desintegración de sus vainas. También se han descrito casos de atrofia, hipertrofia y degeneración hialínica de las fibras musculares.

Azufre y dióxido de azufre

La extracción de minerales que contienen azufre puede ocasionar la inhalación de altas concentraciones de polvo de azufre en las minas y causar efectos nocivos en el sistema respiratorio. En las minas de azufre y al inicio de la exposición, el trabajador sufre catarro del tracto respiratorio superior, con tos y expectoración mucoide que puede contener granos de azufre. El asma es una complicación frecuente.

Los efectos agudos de la inhalación de azufre y sus compuestos inorgánicos afectan al sistema respiratorio superior (inflamación catarral de la mucosa nasal, que puede desarrollar una hipertrofia con abundante secreción nasal). Con frecuencia se produce traqueobronquitis, con falta de aliento (disnea), tos persistente y expectoración que, en ocasiones, puede ser sanguinolenta. También es posible que se produzca irritación de los ojos, con lagrimeo, fotofobia, conjuntivitis y blefaroconjuntivitis, y se han dado algunos casos de lesiones en el cristalino, con formación de opacidades e incluso cataratas y coriorretinitis focal.

En la piel pueden aparecer lesiones eritematosas y eczemas, así como signos de ulceración, especialmente cuando se trata de trabajadores cuyas manos sufren contactos prolongados y repetidos con azufre en polvo o compuestos sulfurosos, como por ejemplo durante los procesos de blanqueo y decoloración en la industria textil.

El *dióxido de azufre* es uno de los contaminantes más comunes de los ambientes de trabajo. Se libera en grandes cantidades durante la fabricación de ácido sulfúrico, dióxido de azufre líquido y hierro colado, en el refinado de minerales ricos en azufre (cobre, plomo, zinc, etc.) y en la combustión de carbón rico en azufre. Se encuentra también como contaminante en la producción de celulosa, azúcar y superfosfatos, en la conservación de alimentos, en el refinado de petróleo, en procesos de decoloración y desinfección, etc.

El dióxido de azufre es un gas irritante y sus efectos se deben a la formación de ácido sulfuroso y sulfúrico en contacto con las mucosas húmedas. Puede penetrar en el organismo a través del tracto respiratorio, o también puede mezclarse con la saliva y al deglutir ésta, pasar al aparato digestivo en forma de ácido sulfuroso. Algunos autores creen que se absorbe a través de la piel.

Debido a su gran solubilidad, el dióxido de azufre se distribuye rápidamente por todo el organismo, produciendo acidosis metabólica, con reducción de las reservas alcalinas de la sangre y eliminación compensatoria de amoníaco en la orina y alcalinización de la saliva. La acción tóxica general se manifiesta con trastornos del metabolismo de las proteínas y los hidratos de carbono, deficiencia de vitaminas B y C e inhibición de la oxidasa. En la sangre, el ácido sulfúrico se metaboliza a sulfatos que se excretan en la orina. Es probable que la absorción de grandes cantidades de dióxido de azufre tenga un efecto patológico en el sistema hematopoyético y pueda ocasionar metahe-moglobina.

La intoxicación aguda se produce por inhalación de concentraciones muy altas de dióxido de azufre y se caracteriza por una irritación intensa de la conjuntiva y la mucosa del tracto respiratorio superior, con disnea y cianosis, seguidos en poco tiempo por alteración de la consciencia. La muerte puede sobrevenir por asfixia como consecuencia de un espasmo reflejo de la laringe, parada circulatoria súbita a nivel pulmonar o shock.

En la industria, la intoxicación por dióxido de azufre suele ser de naturaleza crónica. La acción irritante local de esta sustancia en las mucosas produce sensación de quemazón, sequedad y dolor en la nariz y la garganta, altera el sentido del olfato y causa secreción (que puede ser sanguinolenta), hemorragias nasales y tos seca o productiva, en ocasiones con esputos hemoptoicos. Se han descrito también problemas gástricos. Los síntomas objetivos consisten en hiperanemia pronunciada acompañada de edema de las mucosas de la nariz, la pared faríngea, las amígdalas y, en algunos casos, también la laringe. Se ha observado conjuntivitis crónica. En los estados más avanzados, el proceso se hace atrofico, con dilatación de los vasos sanguíneos en algunas regiones. Puede producirse ulceración del tabique nasal, que sangra fácilmente. Las personas con una larga historia de exposición a altas concentraciones de dióxido de azufre pueden sufrir bronquitis crónica acompañada de enfisema. Los síntomas iniciales consisten en una reducción de la capacidad vital en detrimento del volumen residual, hiperventilación compensatoria y reducción del consumo de oxígeno.

Estas manifestaciones suelen preceder al estadio radiológico, en el cual se aprecian sombras hiliares alargadas y densas, reticulación intensa producida por peribronquitis y, en algunos casos, bronquiectasia e incluso imágenes nodulares. Estas alteraciones radiológicas son bilaterales y más evidentes en las regiones medias y basales.

Pueden aparecer trastornos de la conducta y del sistema nervioso, probablemente debidos al efecto tóxico general del dióxido de azufre en el organismo.

La boca puede verse también afectada, con caries dentales y afección peridontal y gingival. Algunos pacientes se quejan de una destrucción dental rápida e indolora, caída de empastes y mayor sensibilidad de los dientes a los cambios de temperatura. Los síntomas objetivos consisten en pérdida de brillo y estriamiento y coloración amarillenta del esmalte.

El dióxido de azufre causa irritación de la piel que se agrava con la sudoración, un hecho que puede atribuirse a la conversión del dióxido de azufre en ácido sulfuroso en contacto con el sudor. Los síntomas iniciales del tracto respiratorio superior e inferior remiten con un tratamiento adecuado y el cese de la exposición a todas las fuentes de inflamación; no obstante, el pronóstico es sombrío en los casos más avanzados, sobre todo cuando se acompañan de bronquiectasias e insuficiencia cardíaca derecha.

Los efectos crónicos consisten principalmente en enfermedad broncopulmonar que, al cabo de varios años, puede complicarse con enfisema y bronquiectasia. Los senos maxilares y frontales se ven también afectados, generalmente de forma bilateral, y

en algunos casos se observa pansinusitis. El examen radiológico del sistema respiratorio revela opacidades irregulares, especialmente en la región media-basal, mientras que las regiones apicales no suelen verse afectadas. En algunos casos se observa nodulación. La estratigrafía indica que el refuerzo de la trama pulmonar se debe a repleción vascular.

El examen de la función pulmonar puede indicar cambios en la ventilación pulmonar, aumento del consumo de oxígeno, reducción del volumen espiratorio por segundo y aumento del volumen residual. La capacidad de difusión del dióxido de carbono pulmonar se ve también afectada. Los trastornos suelen ser de naturaleza espasmódica. Los niveles de azufre en sangre pueden ser más elevados de lo normal, observándose un aumento de la excreción urinaria de sulfatos y de la proporción entre el azufre total y el orgánico.

El polvo de azufre y el dióxido de azufre están claramente relacionados con el origen de la bronquitis crónica. Irritan las mucosas y producen signos de obstrucción. La posibilidad de una esclerosis pulmonar inducida por el azufre ha sido objeto de numerosos debates, y la neumoconiosis por el azufre ("tioneumoconiosis") se describió por primera vez hace un siglo. Sin embargo, las investigaciones experimentales y las autopsias han demostrado que el azufre produce lesiones broncopulmonares crónicas pero no la formación de nódulos fibrosos que pudieran tener algún parecido con la silicosis.

Otros compuestos de azufre

Trióxido de azufre. La presión de vapor del trióxido de azufre aumenta rápidamente con la temperatura y, cuando la forma se funde, la presión alcanzada es explosiva. Por ello, los envases utilizados para su transporte y almacenamiento deben soportar presiones de entre 10 y 15 atm. El trióxido de azufre reacciona violentamente y de forma muy exotérmica con el agua para producir ácido sulfhídrico. Cuando se expone a la humedad del ambiente, desprende vapores y forma una neblina de ácido sulfúrico que puede llegar a ocupar todo el espacio útil y corroer los metales. Es un potente agente oxidante y, en estado líquido, carboniza la materia orgánica.

Cuando se utiliza en estado sólido, líquido o gaseoso, o cuando se emplea ácido sulfúrico fumante o caliente, el trióxido de azufre contaminará el ambiente de trabajo. El dióxido de azufre presente en el aire se oxida por acción del oxígeno atmosférico para producir trióxido de azufre.

Esta sustancia se introduce en el organismo a través del tracto respiratorio y actúa como irritante local y como tóxico general, de forma análoga a la del dióxido de azufre, aunque su acción irritante es más pronunciada. Produce lesiones crónicas en el tracto respiratorio y puede disminuir las reservas alcalinas y alterar el metabolismo de las proteínas y los hidratos de carbono; se metaboliza a sulfato en la sangre y se elimina en la orina de la misma forma que el dióxido de azufre.

La acción tóxica del ácido sulfúrico fumante en el organismo es similar a la del ácido sulfúrico, si bien los síntomas objetivos son más pronunciados. Las medidas de salud y seguridad para el trióxido de azufre son similares a las recomendadas para el dióxido de azufre.

Sulfuro carbonilo (COS). El sulfuro carbonilo se encuentra en estado natural en los gases volcánicos y en las aguas sulfurosas. Se produce por reacción del ácido sulfúrico líquido con tiocianato amónico. El sulfuro carbonilo es bien conocido por su alto grado de toxicidad. Se ha observado que produce graves lesiones en el sistema nervioso, con efectos narcóticos a altas concentraciones y una acción irritante.

Es una potente sustancia oxidante y debe manipularse con las debidas precauciones.

El *tetrafluoruro de azufre*, el *pentafluoruro de azufre* (S_2F_{10}), el *decafluoruro disulfúrico*, el *fluoruro sulfurilo* (SO_2F_2), el *oxifluoruro sulfúrico* y el *fluoruro de tionilo* (SOF_2) son todas ellas sustancias irritantes capaces de causar edema pulmonar en concentraciones superiores a los límites de exposición, debido a su insolubilidad en agua. El más peligroso es el pentafluoruro de azufre, que en presencia de humedad se hidroliza para formar fluoruro de hidrógeno y dióxido de azufre. Su acción irritante se considera más grave que la del fosgeno, no sólo en lo que se refiere a las dosis, sino también porque el edema pulmonar puede asociarse a hemorragias pulmonares. El fluoruro sulfurilo parece actuar principalmente como agente convulsivo en los animales de laboratorio.

Las medidas de salud y seguridad que deben adoptarse en caso de exposición a pentafluoruro de azufre son las mismas que las recomendadas para la mayoría de los compuestos que producen una intensa irritación. Los otros compuestos sulfofluorados deben de tratarse igual que el dióxido de azufre.

El *cloruro de azufre* es un líquido inflamable que conlleva un riesgo moderado de incendio asociado a la aparición de productos peligrosos con su descomposición: dióxido de azufre y cloruro de hidrógeno. Es un líquido humeante y corrosivo peligroso para los ojos; los vapores irritan los pulmones y las mucosas. En contacto con la piel, puede causar quemaduras químicas. Debe manipularse en recipientes lo más cerrados posibles y los trabajadores deben utilizar equipos de protección personal, entre ellos equipos de protección ocular y respiratoria.

El *cloruro sulfurilo* se forma por reacción directa del dióxido de azufre y el cloro en presencia de un catalizador que puede ser carbón vegetal, alcanfor o anhídrido acético. Se obtiene también calentando ácido clorosulfónico con sulfato de mercurio, antimonio o estaño como catalizador. Se utiliza en la fabricación de fármacos y colorantes y generalmente en síntesis orgánicas como agente de cloración, deshidratación o acilación.

El cloruro sulfurilo es un líquido corrosivo que, al contactar con el organismo, produce quemaduras. Sus vapores irritan el tracto respiratorio. Las precauciones que deben adoptarse son similares a las recomendadas para el cloruro de azufre.

Medidas de salud y seguridad

El polvo de azufre en suspensión conlleva peligro de incendio y explosión. Existe también el riesgo de una liberación insidiosa de dióxido de azufre que ocasione la inhalación de vapores irritantes. Los vapores liberados durante la fusión del azufre pueden contener suficiente cantidad de sulfuro de hidrógeno y disulfuro de carbono para permitir la ignición de la mezcla de aire y vapor

al contactar con una superficie caliente. Este tipo de ignición puede originar la transmisión de las llamas al azufre fundido.

Los principales peligros durante la manipulación, el transporte y el almacenamiento del azufre fundido se deben a la inflamabilidad de la sustancia y a la posible liberación, durante su enfriamiento, de sulfuro de hidrógeno, que se inflama más fácilmente y es explosivo en el aire a concentraciones de entre 4,3 y 45 %. Los trabajadores empleados en la extracción de azufre deben disponer de equipos autónomos de protección respiratoria, sobre todo para las operaciones de rescate. Estará prohibido fumar durante el transporte y la manipulación del azufre y en las zonas donde éste se almacena. Se evitará el contacto del azufre líquido o sublimado con una fuente de ignición y los almacenes de azufre no deben estar situados cerca de agentes oxidantes. La carga y descarga de azufre líquido requiere la adopción de medidas especiales de protección y prevención de incendios. El transporte y almacenamiento de azufre exige unos procedimientos adecuados de ventilación y evacuación del sulfuro de hidrógeno, así como un control periódico de su concentración, y protección de los tanques contra su corrosión por el sulfuro de hidrógeno.

El azufre es un mal conductor de la electricidad y tiende a acumular electricidad estática durante su transporte o procesado. Las descargas de electricidad estática pueden incendiar el polvo de azufre. Los depósitos pirofóricos de azufre ferroso que se forman en las paredes de los tanques constituyen también un peligro. En los montones de azufre son frecuentes los incendios y pueden comenzar de nuevo cuando, aparentemente, el incendio inicial haya quedado extinguido.

El disulfuro de carbono es también muy inflamable y explosivo.

El control del dióxido de azufre debe orientarse principalmente a reducir las emisiones de gas y a asegurar una ventilación adecuada para mantener las concentraciones de dióxido de azufre en el lugar de trabajo por debajo de los niveles máximos permisibles. Lo más aconsejable es realizar todos los procesos en cerrado. Los trabajadores deben disponer de equipos de protección respiratoria siempre que puedan verse expuestos, en circunstancias excepcionales, a concentraciones peligrosas.

Deben tomarse precauciones para evitar la emisión de polvo de azufre a la atmósfera y se recomienda el uso de respiradores cuando la concentración atmosférica de polvo sobrepase los límites máximos permisibles.

Los reconocimientos médicos previos al empleo deben servir para asegurar que personas con bronquitis o asma no se vean expuestas al azufre. Estas contraindicaciones deben también considerarse en los reconocimientos periódicos, en los que la exploración clínica se suplementará con una radiografía de tórax.

TABLAS DE COMPUESTOS INORGANICOS DE AZUFRE

Tabla 104.157 • Identificación química.

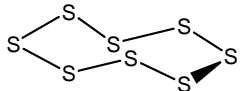
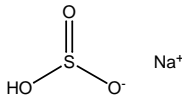
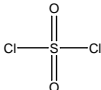
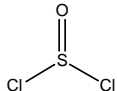

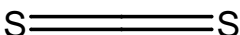
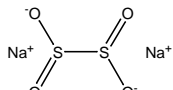
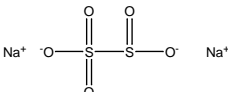
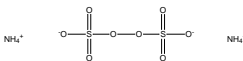
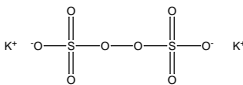
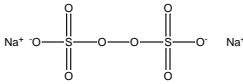
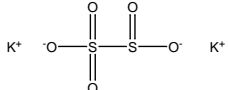
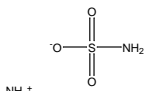
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
AZUFRE	Azufre en polvo; azufre sublimado; azufre volc** terrestre; Hexasul; Kocide; Tesuloid; Thiolux; Thiovit UN2448 UN1350	7704-34-9	
BISULFITO SODICO	Sulfito sódico hidrógeno; sulfito monosódico; hidrógeno sulfito sódico; sulfito sódico; sulfhidrato sódico; sal monosódica del ácido sulfuroso	7631-90-5	
CLORURO SULFUROILO	Sulfinil cloruro; oxiclорuro sulfúrico; cloruro de sulfurilo UN1834	7791-25-5	
CLORURO TIONILO	Sulfinil cloruro; óxido de cloruro sulfúrico; dicloruro sulfuroso; oxiclорuro sulfuroso; tionil dicloruro UN1836	7719-09-7	
DIOXIDO DE AZUFRE	Dióxido de azufre, ácido sulfuroso anhidro; anhídrido sulfuroso; óxido sulfuroso; óxido de azufre; superóxido de azufre UN1079	7446-09-5	
DISULFURO DE CARBONO	Bisulfuro de carbono; sulfuro de carbono; anhídrido ditiocarbónico; anhídrido sulfocarbónico UN1131	75-15-0	
HIDROSULFITO SODICO	Sal disódica del ácido ditionoso; D-ox; Hydrolin; K-brite; Reductone; ditionita sódica; sodio ditionita; sulfoxilato sódico UN1384	7775-14-6	
METABISULFITO SODICO	Disulfito disódico; metabisulfito disódico; pirosulfito disódico; sal disódica del ácido disulfuroso; sal disódica del ácido piroulfuroso; disulfito sódico; pirosulfito sódico	7681-57-4	
PERSULFATO AMONICO	Peroxidisulfato amónico; peroxidisulfato diamónico; peroxidisulfato amónico; sal diamónica del ácido peroxidisulfúrico UN1444	7727-54-0	
PERSULFATO POTASICO	Anthion; persulfato dipotásico; sal dipotásica del ácido peroxidisulfúrico; peroxidisulfato potásico UN1492	7727-21-1	
PERSULFATO SODICO	Peroxidisulfato sódico; sal disódica del ácido peroxidisulfúrico UN1505	7775-27-1	
PIROSULFURO POTASICO	Disulfuro dipotásico; sal dipotásica del ácido disulfuroso; disulfuro potásico; sal dipotásica del ácido piroulfuroso	16731-55-8	
SULFAMATO AMONICO	Amcide; amidosulfonato amónico; amidosulfato amónico; sulfamato amónico; sulfamato; sulfamato amonio	7773-06-0	

Tabla 104.157 • Identificación química.

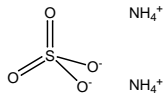
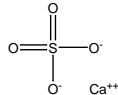
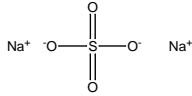
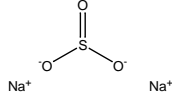
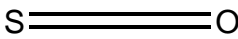
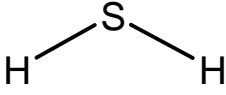
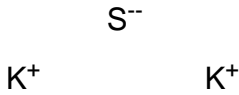
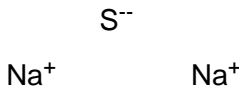
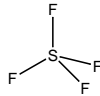
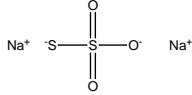
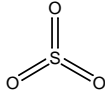
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
SULFATO AMONICO	Actamaster; amonio sulfato; sulfato diamónico; Dolamin; Mascagnite; sal diamónica del ácido sulfúrico	7783-20-2	
SULFATO CALCICO	Crysalba; Drierite; Gibs; sal cálcica del ácido sulfúrico (1:1); tiolita	7778-18-9	
SULFATO SODICO	Sulfato disódico; sulfato salino; sulfato sódico anhidro; sal disódica del ácido sulfúrico; Thenardite; Trona	7757-82-6	
SULFITO SODICO	Sulfuro sódico anhidro; sulfuro disódico; sulfuro sódico anhidroso; sal disódica del ácido sulfuroso	7757-83-7	
SULFURO AMONICO	Bisulfuro amónico; sulfuro de hidrógeno amonio; hidrosulfuro amónico; mercaptano amónico; sulfhidrato amónico; sulfuro monoamónico; sulfuro amónico verdadero	12124-99-1	NH ₄ ⁺ SH ⁻
SULFURO CALCICO	Polisulfuro cálcico; azufre de cal; Neviken; Orthorix; Sulka	1344-81-6	Ca [S] _x
SULFURO CARBONILO		463-58-1	
SULFURO DE HIDROGENO	Acido sulfúrico hidrógeno; hidrógeno sulfurado; hidruo de azufre UN1053	7783-06-4	
SULFURO POTASICO	Monosulfuro potásico UN1382 UN1847	1312-73-8	
SULFURO SODICO	Monosulfuro sódico UN1385	1313-82-2	
TETRAFLUORURO DE AZUFRE	Tetrafluorosulfurano UN2418	7783-60-0	
TIOSULFATO SODICO	Ametox; Antichlor; Chlorine control; tiosulfato disódico; Hypo; hiposulfuro sódico; óxido de sulfuro sódico; tiosulfato sódico; tiosulfato sódico anhidro; sodotiol; sulfotiorina; sal disódica del ácido tiosulfúrico	7772-98-7	
TRIOXIDO DE AZUFRE	Sulphan; anhídrido sulfúrico; óxido sulfúrico UN1829	7446-11-9	

Tabla 104.158 • Riesgos para la salud.

Denominación química Número CAS	Tarjetas Internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos				NIOSH (EE.UU.)	
	Período corto de exposición	Período largo de exposición	Vías de exposición	Síntomas	Organos afectados Vías de entrada	Síntomas
AZUFRE 7704-34-9	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel; tract resp	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, dolor de garganta Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor, visión borrosa Sensación de quemazón, diarrea		
DIOXIDO DE AZUFRE 7446-09-5	ojos; tract resp; pulmones; piel	pulmones	Inhalación Piel Ojos	Irritación del tracto respiratorio, tos, ahogo, estornudos En contacto con el líquido: congelación Irritación, quemaduras	Sis resp; piel; ojos Inh; con	Irrit ojos, nariz, garganta; rin; ahogo, tos; broncoconstricción por reflejo; liq; congelación
DISULFURO DE CARBONO 75-15-0	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC		Inhalación Piel Ojos	Confusión, mareo, sopor, cefalea, náuseas, disnea, vómitos, debilidad, irritabilidad, alucinaciones Puede absorberse, sequedad de piel, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor	SNC; SNP; SCV; ojos; riñones; higado; piel; sis repro Inh; abs; ing; con	Mar, cef, insomnio, ftg, ner, anor, bajo-p; psicosis; polineur; síndrome de tipo Parkinson; cambios oculares; cardiopatía coronaria; gastritis; lesiones renales y hepáticas; quemaduras en ojos y piel; dermat; efectos repro
SULFAMATO AMONICO 7773-06-0					Sis resp; ojos Inh; con	Irrit ojos, nariz, garganta; tos, dis
SULFURO DE HIDROGENO 7783-06-4					Sis resp; ojos; SNC Inh; con	Irrit ojos, sis resp; apnea, coma, convuls; conj, dolor de ojos, lag, foto, vesic córni; mar, cef, ftg, irrit, insom; trast GI
SULFURO POTASICO 1312-73-8	ojos; piel; tract resp; pulmones		Inhalación Piel Ojos	Tos, mareo, sopor, cefalea, náuseas, disnea, dolor de garganta, debilidad, los síntomas pueden tener efectos diferidos Enrojecimiento, quemaduras en la piel, dolor Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves		

Tabla 104.159 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos		Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
AZUFRE 7704-34-9	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire. En seco puede cargarse electrostáticamente como resultado de turbulencias, transporte neumático, vertido, etc.	En su combustión forma óxidos de azufre, entre ellos dióxido de azufre violentamente con oxidantes fuertes, con peligro de incendio y explosión	Reacciona	4.1
CLORURO SULFURILO 7791-25-5				8

Tabla 104.159 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
CLORURO TIONILO 7719-09-7			8
DIOXIDO DE AZUFRE 7446-09-5			2.3/ 8
DISULFURO DE CARBONO 75-15-0	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia Pueden generarse cargas electrostáticas como resultado de flujo, agitación, etc.	Puede descomponerse explosivamente por impacto, fricción o sacudida Puede arder espontáneamente en contacto con el aire o superficies calientes, liberando humos tóxicos de dióxido de azufre Reacciona violentamente con oxidantes, con peligro de incendio y explosión Ataca algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos	3/ 6.1
HIDROSULFITO SODICO 7775-14-6			4.2
PERSULFATO AMONICO 7727-54-0			5.1
PERSULFATO POTASICO 7727-21-1			5.1
PERSULFATO SODICO 7775-27-1			5.1
SULFATO AMONICO 7783-20-2			8
SULFURO CARBONILO 463-58-1			2.3/2.1
SULFURO DE HIDROGENO 7783-06-4			2.3/ 2.1
SULFURO POTASICO 1312-73-8	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o granular y se mezcla con el aire	Al calentarse puede arder o explotar violentamente por impacto, fricción o sacudida Puede arder espontáneamente en contacto con el aire, formando sulfuro de hidrógeno La solución en agua es una base fuerte, reacciona violentamente con ácido y es corrosiva, formando dióxido de azufre	4.2
SULFURO SODICO 1313-82-2			4.2
TETRAFLUORURO DE AZUFRE 7783-60-0			2.3/ 8
TRIOXIDO DE AZUFRE 7446-11-9			8

Tabla 104.160 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa de vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
AZUFRE 7704-34-9	crisales de color ámbar ortorrómbicos, cicloocta o alfa-azufre; crisales con forma de aguja, monoclinicos, cicloocta o beta-azufre, brillantes, opacos, de color amarillo claro; el azufre sublimado y lavado tiene forma de polvo cristalino fino amarillo	444,6	112-120	32,06	insol	2,1	0,00005 libras/pies ³ @ 32 °C	3,96x10 ⁶ mm Hg @ 30,4 °C	35 mg/li 1400 ls	207	232
BISULFITO SODICO 7631-90-5	crystal blanco o polvo cristalino; polvo granular; blanco, monoclinico			104,07	3,5 partes en frio, 2 partes en ebullición	1,48					
BROMURO DE AZUFRE 13172-31-1	liquido amarillo	54	- 40	223,93	se descompone	2,63					
CLORURO SULFURILO 7791-25-5	liquido móvil, incoloro	69,3	-54,1	134,98		1,6674	4,7	100 mm Hg @ 17,8 °C			
CLORURO TIONILO 7719-09-7	liquido incoloro, amarillo claro o rojizo; liquido refractario, humeante, incoloro o amarillo claro	76	-104,5	118,98		1,638	4,1	110 mm Hg @ 26 °C			
DIOXIDO DE AZUFRE 7446-09-5	liquido incoloro o gas	-10	-72,7	64,07	8,5% @ 25 °C	2,927 g/l (gas); 1,434 (liquido)	2,2	330			
DISULFURO DE CARBONO 75-15-0	liquido móvil; liquido transparente, incoloro o ligeramente amarillo	46,5	-111,5	76,14	0,2 g/100 ml	1,2632	2,67	48 @ 25 °C	1,3 li 50 ls	-30 cc	90
HIDROSULFITO SODICO 7775-14-6	polvo cristalino blanco o blanco grisáceo			176,10							
METABISULFITO SODICO 7681-57-4	crisales blancos o polvo cristalino blanco o amarillento		150 se des- compone	190,13	54 g/100 cc; 81,7 g/100 cc @ 100 °C	1,4					
PERSULFATO AMONICO 7727-54-0	crisales blancos		120 se des- compone	228,19	muy sol	1,98					
PERSULFATO POTASICO 7727-21-1	crystal triclinico incoloro; crystal blanco			270,3	1,75g/100 cc @ 0 °C; 5,2 g/100 cc @ 20 °C	2,47					
PIROSULFITO POTASICO 16731-55-8	crisales blanco o polvo cristalino; placas monoclinicas incoloras		190 se des- compone	222,32	muy sol	2,34					

Tabla 104.160 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa de vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Limit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
SULFAMATO AMONICO 7773-06-0	crisales (placas grandes); sustancia cristalina incolora o blanca; marrón grisácea; sólido cristalino brillante de color amarillo-naranja		131	114,13	166,6 g/100 ml @ 10 °C; 2,16 kg/ kg @ 25 °C	1 (sólido)					
SULFATO AMONICO 7783-20-2	crisales rómbicos incoloros; crisales ortorrómbicos o gránulos blancos; crisales blancos o marrón grisáceos según su grado de pureza			132,14	sol	1,769 @ 50 °C					
SULFATO CALCICO 7778-18-9	los crisales naturales de anhídrito son incoloros, rómbicos o monoclinicos; los crisales naturales de anhídrito son ortorrómbicos, el color varia (blanco con vetas azules, grises o rojizas, o rojo ladrillo); el anhídrito insoluble presenta la misma estructura cristalina que el anhídrito mineral	1193	1450	136,14	lig sol	2,960					
SULFATO SODICO 7757-82-6	polvo blanco o crisales bipiramidales ortorrómbicos; crisales monoclinicos a la temperatura de 160–185 °C		888	142,06	sol en unas 3,6 partes	2,671					
SULFITO SODICO 1313-82-2	crisales transparentes; grumos o escamas de color amarillo o rojo ladrillo; crisales cúbicos o gránulos; crisales amorfos, de color blanco o amarillo-rosáceo		1180	78,05	18,6 g/100 g	1,856 @ 14 °C/4 °C					
SULFITO SODICO 7757-83-7	crisales pequeños o polvo; polvo blanco o prismas hexagonales			128,06	sol en 3,2 partes	2,633 @ 15,4 °C					
SULFURO AMONICO 12124-99-1	crisales amarillos		se des-compone	68,14	muy sol						
SULFURO CALCICO 1344-81-6	liquido maloliente de color naranja intenso					1,28 @ 15,6 °C					

Tabla 104.160 • Propiedades físicas y químicas.

Denominación química Número CAS	Color/Forma	p.e. (°C)	p.f. (°C)	p.m./ (g/ mol)	Solubilidad en agua	Densidad relativa (agua=1)	Densidad relativa de vapor (aire=1)	Pvap/ (kPa)	Límit. inflam.	p.ig. (°C)	p.aut ig. (°C)
SULFURO CARBONILO 463-58-1	gas	-30	-138	60,08	1220 mg/l a 25 °C	1,028 @ 17 °C/4 °C	2,1	9412 mm Hg a 25 °C	12% li 29% ls		
SULFURO DE HIDROGENO 7783-06-4	gas incoloro	-60,33	-85,49	34,08	1 g /242 ml	1,5392 g/l @ 0 °C;1,19 (gas)	1,189	1 atm @ -60,4 °C	4,3 li 45 ls		260
SULFURO POTASICO 1312-73-8	crisales cúbicos blancos o placas fundidas; masa cristalina roja o amarilla rojiza o sólido fundido		912	110,26	muy sol	1,805 @ 14 °C					
TETRAFLUORURO DE AZUFRE 7783-60-0	gas	- 40	- 124	108,05	se descompone						
TIOSULFATO SODICO 7772-98-7	polvo; crisales monoclinicos incolores			158,13	50 g/100 ml	1,667					
TRIOXIDO DE AZUFRE 7446-11-9	forma alfa, agujas similares a las del amianto; forma beta, agujas similares a las del amianto; forma gamma, masa similar al hielo o liquido			80,07	sol en 100 partes			73 mm Hg @ 25 °C			

PROPIEDADES DEL MONOXIDO DE CARBONO

MONOXIDO DE CARBONO

Kari Kurppa

El monóxido de carbono (CO) es un gas inodoro e incoloro que reduce la capacidad de la hemoglobina para transportar y suministrar oxígeno.

Formación. El monóxido de carbono se produce cuando se queman materias orgánicas, como carbón, madera, papel, aceite, gasolina, explosivos o cualquier otra sustancia que contenga carbono, en una atmósfera con suministro limitado de aire u oxígeno. Si el proceso de combustión tiene lugar con un suministro abundante de aire, sin que la llama contacte con ninguna superficie, es poco probable que se genere monóxido de carbono. El CO se produce cuando la llama entra en contacto con una superficie que se encuentra a una temperatura inferior a la temperatura de ignición de la porción gaseosa de la llama. Las fuentes naturales producen un 90 % del CO atmosférico y la actividad humana, cerca de un 10 %. Los vehículos motorizados generan entre el 55 y el 60 % de esta última. Los gases de escape de los motores de combustión que utilizan gasolina como carburante (ignición por chispa) constituyen la principal fuente de CO ambiental. Los gases de escape de los motores diesel (ignición por compresión) contienen en torno al 0,1 % de CO cuando el motor está bien reglado, pero cuando el reglaje es deficiente, o cuando el motor se fuerza o no se somete al debido mantenimiento, puede emitir cantidades considerables de CO. La instalación de dispositivos catalíticos o térmicos de inyección de combustible en los tubos de escape reduce considerablemente la cantidad de CO emitido. Otras importantes fuentes de CO son los hornos de ladrillo en las fundiciones, las unidades de destilación catalítica en las refinerías de petróleo, la destilación de hulla y madera, los hornos de cal, los hornos de recuperación de celulosa en las fábricas de papel kraft, la producción de metanol sintético y otros compuestos orgánicos derivados del monóxido de carbono, la sinterización del mineral en bruto para altos hornos, la producción de carburo, formaldehído y negro de humo, las coquerías, las fábricas de gas y las plantas de tratamiento de residuos.

Cualquier proceso en el que se realice una combustión incompleta de materia orgánica puede constituir una fuente de emisión de monóxido de carbono.

El monóxido de carbono se produce a escala industrial mediante oxidación parcial de hidrocarburos gaseosos obtenidos del gas natural o mediante gasificación de la hulla o el coque. Se utiliza como agente reductor en metalurgia, síntesis orgánicas y producción de carbonilos metálicos. Algunos gases industriales que se utilizan para calentar calderas y hornos, y para mover motores de gas, contienen monóxido de carbono.

Se cree que el monóxido de carbono es, con diferencia, la causa más común de intoxicación en la industria y en los hogares. Miles de personas sucumben todos los años como consecuencia de intoxicaciones por CO. El número de víctimas de intoxicaciones no mortales que quedan con lesiones permanentes del sistema nervioso central es todavía mayor. La magnitud del riesgo para la salud del monóxido de carbono, tanto si es mortal como si no lo es, es enorme y las intoxicaciones son incluso más frecuentes de lo que suele reconocerse.

Un porcentaje considerable de la población activa de cualquier país está sometida a una importante exposición a CO en su trabajo. El CO es un riesgo siempre presente en la industria automovilística, los garajes y las estaciones de servicio. Los

conductores de camiones pueden verse en peligro si los gases de escape del motor penetran en el interior de la cabina. Las profesiones con exposición potencial a CO son numerosas, por ejemplo: mecánicos de garajes, carboneros de carbón vegetal, trabajadores de altos hornos, herreros, mineros, trabajadores que construyen túneles, operarios del proceso Mond, trabajadores del gas, caldereros, horneros de cerámica, destiladores de madera, cocineros, panaderos, bomberos, personas que trabajan con formaldehído y muchos más. Durante los trabajos de soldadura en cubas de reacción, depósitos y otros recintos cerrados, se pueden acumular cantidades peligrosas de CO si la ventilación no es suficiente. Las explosiones de metano y polvo de carbón en las minas de carbón producen "mofeta", que contienen cantidades considerables de CO y dióxido de carbono. Si la ventilación disminuye o se incrementan las emisiones de CO debido a fugas o problemas en los procesos, pueden producirse intoxicaciones accidentales de CO en actividades industriales que habitualmente no plantean problemas relacionados con este gas.

Acción tóxica

El cuerpo humano produce pequeñas cantidades de CO como consecuencia del catabolismo de la hemoglobina y otros pigmentos que contienen hemo, originando una saturación endógena de carboxihemoglobina (COHb) de entre 0,3 y 0,8 % en sangre. La concentración endógena de COHb aumenta en las anemias hemolíticas y después de sufrir contusiones o hematomas importantes, que incrementan el catabolismo de la hemoglobina.

El CO se absorbe fácilmente a través de los pulmones y pasa a la sangre. El efecto biológico mejor conocido del CO es su combinación con la hemoglobina para formar carboxihemoglobina. El monóxido de carbono compite con el oxígeno por los puntos de unión de las moléculas de hemoglobina. La afinidad de la hemoglobina humana por el CO es unas 240 veces mayor que su afinidad por el oxígeno. La formación de COHb tiene dos efectos negativos: bloquea el transporte de oxígeno inactivando la hemoglobina y su presencia en la sangre desplaza la curva de disociación de la oxihemoglobina hacia la izquierda, de manera que se impide el paso del oxígeno que queda a los tejidos. Este último efecto explica por qué la presencia de COHb en la sangre interfiere con la oxigenación de los tejidos bastante más que una reducción equivalente de la concentración de hemoglobina, por ejemplo, en caso de hemorragia. El monóxido de carbono se une también a la mioglobina para formar carboximioglobina, que puede alterar el metabolismo muscular, especialmente en el miocardio.

La relación aproximada entre carboxihemoglobina (COHb) y oxihemoglobina (O₂Hb) en la sangre puede calcularse a partir de la ecuación de Haldane. La relación entre COHb y O₂Hb es proporcional a la relación entre las presiones parciales de CO y oxígeno en el aire alveolar:

$$\frac{COHb}{O_2Hb} = 240 \frac{pCO}{pO_2}$$

Esta ecuación puede aplicarse en la mayoría de los casos para conocer la verdadera relación en estado de equilibrio. Para una cierta concentración de CO en el aire ambiente, la concentración de COHb aumenta o disminuye hacia el estado de equilibrio de acuerdo con esta ecuación. La dirección del cambio en la COHb depende de su nivel de partida. Por ejemplo, la exposición continua a una atmósfera que contenga 35 ppm de CO determinará un estado de equilibrio de aproximadamente un 5 % de

COHb en sangre. Si la concentración en el aire permanece invariable, tampoco variará el nivel de COHb en sangre. Si la concentración ambiental aumenta o disminuye, la de COHb tenderá a equilibrarse de nuevo. Un fumador empedernido puede presentar una concentración de COHb en sangre del 8 % al comenzar la jornada laboral. Si se ve continuamente expuesto a una concentración de 35 ppm de CO durante el trabajo, pero no fuma durante ese período, su nivel de COHb disminuirá gradualmente hasta alcanzar la concentración de equilibrio de un 5 % de COHb. Al mismo tiempo, el nivel de COHb en los trabajadores no fumadores aumentará gradualmente desde el nivel de partida de unos 0,8 % de COHb endógeno hasta un nivel del 5 %. Por tanto, la absorción de CO y la acumulación de COHb se rigen por las leyes de los gases y la solución de la ecuación de Haldane dará el valor máximo aproximado de COHb para cualquier concentración de CO en el aire ambiental. No obstante, debe recordarse que el tiempo que transcurre hasta alcanzarse el equilibrio es de varias horas en el caso del hombre con las concentraciones ambientales de CO habitualmente encontradas en los lugares de trabajo. Por tanto, cuando se trata de evaluar el riesgo potencial para la salud de la exposición a CO, es importante tener en cuenta el tiempo de exposición además de la concentración de CO en el aire. La ventilación alveolar es otra variable importante que afecta a la velocidad de absorción de CO. Cuando la ventilación alveolar aumenta—por ejemplo, cuando se realiza un esfuerzo físico intenso—, el estado de equilibrio se alcanza antes que en una situación de ventilación normal.

La vida media biológica de la concentración de COHb en la sangre de personas adultas sedentarias es de 3 a 4 horas. La eliminación de CO se hace más lenta con la edad y cuanto menor sea el nivel inicial de COHb, menor será la velocidad de eliminación.

Intoxicación aguda

La aparición de síntomas depende de la concentración de CO en el aire, el tiempo de exposición, el grado de esfuerzo y la susceptibilidad individual. Si la exposición es masiva, la víctima puede quedar inconsciente casi en el acto con pocos o ningún síntoma de advertencia. La exposición a concentraciones de entre 10.000 y 40.000 ppm produce la muerte en cuestión de minutos. Las concentraciones de entre 1.000 y 10.000 ppm causan síntomas de cefalea, mareo y náuseas a los 13 ó 15 minutos, que pueden ir seguidos de inconsciencia y muerte si la exposición se mantiene entre 10 y 45 minutos, dependiendo la rapidez de su aparición de la concentración. Por debajo de estos niveles, el tiempo transcurrido hasta la aparición de los síntomas es mayor: concentraciones de 500 ppm producen cefalea al cabo de 20 minutos y concentraciones de 200 ppm hacen lo propio en un plazo de 50 minutos. En la Tabla 104.161 se indica la relación entre las concentraciones de carboxihemoglobina y los principales signos y síntomas.

La víctima de intoxicación por CO presenta un color rojo cereza característico. En los primeros momentos de la intoxicación, el paciente puede aparecer pálido. Más tarde, la piel, los lechos ungueales y las mucosas adquieren un color rojo cereza debido a la elevada concentración de carboxihemoglobina y a la baja concentración de hemoglobina reducida en la sangre. Este síntoma puede encontrarse con una concentración de COHb superior al 30 %, pero no es un signo fiable de la intoxicación por CO. El pulso del paciente es rápido e irregular. No se produce hipernea o ésta es muy leve hasta que se alcanzan concentraciones de COHb muy altas.

Cuando estos síntomas aparecen en una persona que puede estar expuesta a monóxido de carbono en su trabajo, debe

Tabla 104.161 Principales signos y síntomas correspondientes a distintas concentraciones de carboxihemoglobina.¹

Concentración de carboxihemoglobina (%)	Principales signos y síntomas
0,3–0,7	Ausencia de síntomas. Nivel endógeno normal.
2,5–5	Ausencia de síntomas. Aumento compensatorio del aporte sanguíneo a ciertos órganos vitales. Los pacientes con cardiovasculopatías graves pueden perder la reserva compensatoria. En pacientes con angina de pecho aparece dolor torácico al menor esfuerzo.
5–10	Ligero aumento del umbral de visión luminosa.
10–20	Sensación de opresión en las sienes. Ligera cefalea. Respuestas visuales provocadas anormales. Es posible que exista ligera fatiga al realizar ejercicio. Puede producir la muerte del feto. Puede ser mortal para pacientes con cardiopatías avanzadas.
20–30	Cefalea ligera o moderada y palpitación de las sienes. Sonrojo. Náuseas. Deterioro de la destreza manual fina.
30–40	Cefalea intensa, vértigo, náuseas y vómitos. Debilidad y dificultad para pensar. Síncope al realizar ejercicio.
40–50	Los mismos síntomas que en el punto anterior, pero más acusados y con mayor probabilidad de sufrir colapso y síncope.
50–60	Posible coma con convulsiones intermitentes y respiración de Cheyne-Stokes.
60–70	Coma con convulsiones intermitentes. Depresión de las funciones respiratorias y cardíacas. Posiblemente muerte.
70–80	Pulso débil y respiración lenta. Depresión del centro respiratorio que conduce a la muerte.

¹ Existe una considerable variación en la aparición de los síntomas según los diferentes individuos.

sospecharse en el acto una intoxicación por este gas. El diagnóstico diferencial frente a intoxicación medicamentosa, intoxicación etílica aguda, accidente cerebrovascular, ataque cardíaco o coma diabético o urémico puede ser difícil y es bastante frecuente que se desestime o simplemente se olvide la posibilidad de que se trate de una intoxicación por monóxido de carbono. El diagnóstico de intoxicación por monóxido de carbono no debe considerarse definitivamente establecido en tanto no se tenga la certeza de que el organismo contiene cantidades anormales de CO. El monóxido de carbono se detecta fácilmente en las muestras de sangre o, si la persona tiene los pulmones sanos, puede estimarse la concentración hemática de COHb en las muestras del aire alveolar exhalado al final de la espiración, que está en equilibrio con la concentración de COHb en sangre.

Los órganos críticos con respecto a la acción del CO son el cerebro y el corazón, por cuanto que ambos dependen del suministro ininterrumpido de oxígeno. El monóxido de carbono produce una sobrecarga del corazón merced a dos mecanismos: porque su trabajo aumenta para atender la demanda periférica de oxígeno y porque su propio suministro de oxígeno se ve reducido por el CO. Todo ello aumenta el riesgo de sufrir un infarto de miocardio.

La intoxicación aguda puede provocar complicaciones neurológicas o cardiovasculares que se manifiestan tan pronto como el

paciente se recupera del coma inicial. En los casos de intoxicación grave puede producirse edema pulmonar (exceso de líquido en los tejidos pulmonares). También puede aparecer neumonía, algunas veces por aspiración, horas o días después de la exposición, así como glucosuria o albuminuria transitorias. Algunos pacientes desarrollan insuficiencia renal aguda que complica la recuperación y otros presentan diferentes manifestaciones cutáneas.

Tras una intoxicación grave por CO, el paciente puede sufrir edema cerebral con lesiones cerebrales irreversibles de distinto grado. La recuperación inicial puede ir seguida por una recaída neuropsiquiátrica días o semanas después de la intoxicación. Los estudios anatomopatológicos de casos mortales han demostrado que las lesiones afectan preferentemente a la sustancia blanca y no a las neuronas, en aquellas víctimas que sobreviven algunos días desde el momento de la intoxicación. El grado de afectación cerebral tras la intoxicación por CO depende de la intensidad y la duración de la exposición. Al recuperar la consciencia después de una intoxicación grave por CO, el 50 % de las víctimas presentaban un estado mental anormal manifestado en forma de irritabilidad, inquietud, delirio prolongado, depresión y ansiedad. El seguimiento durante tres años de estos pacientes reveló que un 33 % presentaba deterioro de la personalidad y un 43 %, pérdida de memoria persistente.

Exposiciones repetidas. El monóxido de carbono no se acumula en el organismo. Se elimina completamente después de cada exposición si la persona puede respirar aire fresco durante un período de tiempo suficiente. No obstante, es posible que intoxicaciones leves o moderadas repetidas que no producen inconsciencia, vayan destruyendo las células cerebrales y causen con el tiempo lesiones permanentes del sistema nervioso central, con multitud de posibles síntomas, como cefalea, mareo, irritabilidad, pérdida de memoria, cambios de personalidad y debilidad de las extremidades.

Las personas expuestas en repetidas ocasiones a concentraciones moderadas de CO están posiblemente adaptadas en cierta medida a la acción del CO. Se cree que los mecanismos de adaptación son similares a la tolerancia que se desarrolla a la hipoxia en las grandes altitudes. Se ha observado un aumento de la concentración de hemoglobina y del hematocrito en los animales expuestos, pero no se ha podido cuantificar con exactitud la

evolución con el tiempo ni el umbral de cambios similares en las personas expuestas.

Altitud. En las grandes alturas aumenta la posibilidad de que se produzcan combustiones incompletas y se incremente la producción de CO, puesto que existe menos cantidad de oxígeno por unidad de aire que a nivel del mar. Las respuestas adversas del organismo también aumentan como consecuencia de las menores presiones parciales de oxígeno en el aire respirado. El déficit de oxígeno que se da en altitudes elevadas y los efectos del CO son aparentemente aditivos.

Hidrocarburos halogenados derivados del metano. El diclorometano (cloruro de metileno), que es el principal componente de muchos decapantes para pintura y otros disolventes de este grupo, se metaboliza en el hígado produciendo CO. Este mecanismo puede hacer que la concentración de carboxihemoglobina aumente en los casos de intoxicación moderada.

Efectos de la exposición a pequeñas concentraciones de monóxido de carbono. En los últimos años se han realizado numerosas investigaciones sobre los efectos biológicos de concentraciones de COHb inferiores al 10 % en personas sanas y en pacientes con enfermedades cardiovasculares. Los pacientes con enfermedades cardiovasculares graves pueden perder la reserva compensatoria a concentraciones de COHb del 3 %, de forma que al menor esfuerzo físico provocará dolor torácico en pacientes con angina de pecho. El monóxido de carbono atraviesa fácilmente la barrera placentaria y alcanza al feto, que es más sensible a una carga hipóxica adicional, pudiendo verse amenazado su desarrollo normal.

Grupos susceptibles. Las personas cuya capacidad de transporte de oxígeno está reducida debido a anemia o hemoglobinopatías son más sensibles a la acción del CO. Lo mismo ocurre con la personas que tienen una mayor necesidad de oxígeno a causa de fiebre, hipertiroidismo o embarazo, los pacientes con hipoxia sistémica debido a insuficiencia respiratoria y los pacientes con cardiopatía isquémica y arteriosclerosis cerebral o generalizada. Los niños y jóvenes, cuya ventilación es más rápida que la de los adultos, alcanzan el nivel de intoxicación de COHb antes que los adultos sanos. Asimismo, los fumadores, que parten de un nivel inicial de COHb más alto que los no fumadores, alcanzan más rápidamente concentraciones peligrosas de COHb cuando las exposiciones son altas.