

## HIDROCARBUROS AROMATICOS

Los hidrocarburos aromáticos son aquellos hidrocarburos que poseen las propiedades especiales asociadas con el núcleo o anillo del benceno, en el cual hay seis grupos de carbono-hidrógeno unidos a cada uno de los vértices de un hexágono. Los enlaces que unen estos seis grupos al anillo presentan características intermedias, respecto a su comportamiento, entre los enlaces simples y los dobles. Así, aunque el benceno puede reaccionar para formar productos de adición, como el ciclohexano, la reacción característica del benceno no es una reacción de adición, sino de sustitución, en la cual el hidrógeno es reemplazado por otro sustituto, ya sea un elemento univalente o un grupo.

Los hidrocarburos aromáticos y sus derivados son compuestos cuyas moléculas están formadas por una o más estructuras de anillo estables del tipo antes descrito y pueden considerarse derivados del benceno de acuerdo con tres procesos básicos:

1. por sustitución de los átomos de hidrógeno por radicales de hidrocarburos alifáticos,
2. por la unión de dos o más anillos de benceno, ya sea directamente o mediante cadenas alifáticas u otros radicales intermedios,
3. por condensación de los anillos de benceno.

Cada una de las estructuras anulares puede constituir la base de series homólogas de hidrocarburos, en las que una sucesión de grupos alquilo, saturados o no saturados, sustituye a uno o más átomos de hidrógeno de los grupos de carbono-hidrógeno.

Las principales fuentes de hidrocarburos aromáticos son la destilación de la hulla y una serie de procesos petroquímicos, en particular la destilación catalítica, la destilación del petróleo crudo y la alquilación de hidrocarburos aromáticos de las series más bajas. Los aceites esenciales, que contienen terpenos y *p*-cimeno, también pueden obtenerse de los pinos, los eucaliptos y las plantas aromáticas y son un subproducto de las industrias papeleiras que utilizan pulpa de pino. Los hidrocarburos policíclicos se encuentran en las atmósferas urbanas.

### Usos

La importancia económica de los hidrocarburos aromáticos ha aumentado progresivamente desde que a principios del siglo XIX se utilizaba la nafta de alquitrán de hulla como disolvente del caucho. En la actualidad, los principales usos de los compuestos aromáticos como productos puros son: la síntesis química de plásticos, caucho sintético, pinturas, pigmentos, explosivos, pesticidas, detergentes, perfumes y fármacos. También se utilizan, principalmente en forma de mezclas, como disolventes y como constituyentes, en proporción variable, de la gasolina.

El *cumeno* se utiliza como componente de alto octanaje en los combustibles de los aviones, como disolvente de pinturas y lacas de celulosa, como materia prima para la síntesis de fenol y acetona y para la producción de estireno por pirólisis. También se encuentra en muchos disolventes comerciales derivados del petróleo, con puntos de ebullición que oscilan entre 150 y 160 °C. Es un buen disolvente de grasas y resinas y, por este motivo, se ha utilizado como sustituto del benceno en muchos de sus usos industriales. El *p-cimeno* se encuentra en muchos aceites esenciales y se puede obtener por hidrogenación de los terpenos monocíclicos. Es un subproducto del proceso de fabricación de pasta de papel al sulfito y se utiliza principalmente, junto con

otros disolventes e hidrocarburos aromáticos, como diluyente de lacas y barnices.

La *cumarina* se utiliza como desodorante o como potenciador del olor en jabones, tabaco, productos de caucho y perfumes. También se utiliza en preparados farmacéuticos.

El *benceno* se ha prohibido como componente de productos destinados al uso doméstico y en muchos países también se ha prohibido su uso como disolvente y componente de los líquidos de limpieza en seco. El benceno se ha utilizado ampliamente en la fabricación de estireno, fenoles, anhídrido maleico, detergentes, explosivos, productos farmacéuticos y colorantes. También se ha empleado como combustible, reactivo químico y agente de extracción para semillas y frutos secos. Los derivados mono, di y trialquilados del benceno se utilizan principalmente como disolventes y diluyentes y en la fabricación de perfumes y productos intermedios en la producción de colorantes. Estas sustancias se encuentran en algunos petróleos y en los destilados del alquitrán de hulla. El *pseudocumeno* se utiliza en la fabricación de perfumes y el *1,3,5-trimetilbenceno* y el pseudocumeno se emplean también como productos intermedios en la producción de colorantes, aunque el uso industrial más importante de estas sustancias es como disolventes y diluyentes de pinturas.

El *tolueno* es un disolvente de aceites, resinas, caucho natural (mezclado con ciclohexano) y sintético, alquitrán de hulla, asfalto, brea y acetilcelulosas (en caliente, mezclado con etanol). También se utiliza como disolvente y diluyente de pinturas y barnices de celulosa y como diluyente de las tintas de fotografía. Al mezclarse con el agua, forma mezclas azeotrópicas que tienen un efecto deslustrante. El tolueno se encuentra en mezclas que se utilizan como productos de limpieza en distintas industrias y en artesanía. También se utiliza en la fabricación de detergentes y cuero artificial y es una importante materia prima para síntesis orgánicas, como las de cloruro de benzoilo y bencilideno, sacarina, cloramina T, trinitrotolueno y un gran número de colorantes. El tolueno es un componente del combustible para aviones y de la gasolina para automóviles. El Reglamento 594/91/CE del Consejo ha prohibido el uso de esta sustancia en la Unión Europea.

El *naftaleno* se utiliza como material de partida para la síntesis orgánica de una amplia gama de sustancias químicas, como antipolillas, y en conservantes de madera. También se emplea en la fabricación de índigo y se aplica externamente al ganado o las aves para controlar los insectos parásitos.

El *estireno* se utiliza en la fabricación de una amplia gama de polímeros (como el poliestireno) y elastómeros copolímeros, como el caucho de butadieno-estireno o el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), que se obtienen mediante la copolimerización del estireno con 1,3-butadieno y acrilonitrilo. El estireno se utiliza ampliamente en la producción de plásticos transparentes. El *etilbenceno* es un producto intermedio en síntesis orgánicas, especialmente en la producción de estireno y caucho sintético. Se utiliza como disolvente o diluyente, como componente de los combustibles para automóviles y aviones y en la fabricación de acetato de celulosa.

Existen tres isómeros del *xileno*: *orto*- (*o*-), *para*- (*p*-) y *meta*- (*m*-). El producto comercial es una mezcla de estos isómeros, con el isómero *meta*- en mayor proporción (hasta un 60 a 70 %) y el *para*- en menor proporción (hasta un 5 %). El xileno se utiliza como diluyente de pinturas y barnices, en productos farmacéuticos, como aditivo de alto octanaje en combustibles de aviones, en la síntesis de colorantes y en la producción de ácidos ftálicos. Debido a que el xileno es un buen disolvente de la parafina, el

bálsamo de Canadá y el poliestireno, también se utiliza en histología.

Los *terfenilos* se utilizan como productos químicos intermedios en la producción de lubricantes densos y como refrigerantes en los reactores nucleares. Los *terfenilos* y *difenilos* se utilizan como agentes de transferencia de calor, en síntesis orgánicas y en la fabricación de perfumes. El *difenilmetano*, por ejemplo, se utiliza como perfume en la industria del jabón y como disolvente de lacas de celulosa. También tiene algunas aplicaciones como pesticida.

### Riesgos

La absorción de los hidrocarburos aromáticos tiene lugar por inhalación, ingestión y, en cantidades pequeñas, por vía cutánea. En general, los derivados monoalquilados del benceno son más tóxicos que los dialquilados, y los derivados de cadena ramificada son más tóxicos que los de cadena simple. Los hidrocarburos aromáticos se metabolizan mediante la biooxidación del anillo. Si existen cadenas laterales, preferiblemente de grupos metilo, éstas se oxidan y el anillo permanece sin modificar. En gran parte se convierten en compuestos hidrosolubles y posteriormente se conjugan con glicina, ácido glucurónico o ácido sulfúrico y se eliminan en la orina.

Los hidrocarburos aromáticos pueden causar efectos agudos y crónicos en el sistema nervioso central. La intoxicación aguda por estos compuestos produce cefalea, náuseas, mareo, desorientación, confusión e inquietud. La exposición aguda a dosis altas puede incluso provocar pérdida de consciencia y depresión respiratoria. Uno de los efectos agudos más conocidos es la irritación respiratoria (tos y dolor de garganta). También se han observado síntomas cardiovasculares, como palpitaciones y mareos. Los síntomas neurológicos de la exposición crónica pueden ser: cambios de conducta, depresión, alteraciones del estado de ánimo y cambios de la personalidad y de la función intelectual. También se sabe que la exposición crónica produce o contribuye a producir neuropatía distal en algunos pacientes. El tolueno se ha asociado con un síndrome persistente de ataxia cerebelar. Otros efectos crónicos son sequedad, irritación y agrietamiento de la piel y dermatitis. La exposición, sobre todo a los compuestos clorados de este grupo, puede causar hepatotoxicidad. El benceno es un carcinógeno humano demostrado que favorece el desarrollo de todo tipo de leucemias y, en particular, de la leucemia no linfocítica aguda. También puede causar anemia aplásica y pancitopenia reversible.

Los hidrocarburos aromáticos, en conjunto, entrañan un riesgo considerable de ignición. La National Fire Prevention Association (NFPA) de Estados Unidos ha clasificado a la mayoría de los compuestos de este grupo con un código de inflamabilidad de 3 (donde 4 representa un riesgo grave). Con estas sustancias deben adoptarse las medidas necesarias para evitar la acumulación de vapores en los lugares de trabajo y para atacar rápidamente las fugas y los derrames. En presencia de vapores se deben evitar las fuentes de calor extremo.

### Benceno

El benceno se conoce generalmente como "Benzol" cuando se encuentra en forma comercial (que es una mezcla de benceno y sus homólogos) y no debe confundirse con la bencina, un disolvente comercial compuesto por una mezcla de hidrocarburos alifáticos.

*Mecanismo de acción.* La absorción del benceno tiene lugar principalmente por vía respiratoria y digestiva. Esta sustancia no penetra fácilmente por vía cutánea, a menos que la exposición sea excepcionalmente alta. Una pequeña cantidad del benceno se exhala sin cambios. El benceno se distribuye ampliamente por todo el organismo y se metaboliza principalmente en fenol, que

se excreta en la orina tras su conjugación. Una vez que cesa la exposición, los niveles en los tejidos corporales disminuyen rápidamente.

Desde el punto de vista biológico, parece ser que las alteraciones hemáticas y de la médula ósea encontradas en los casos de intoxicación crónica con benceno pueden atribuirse a la conversión del benceno en epóxido de benceno. Se ha sugerido que el benceno podría oxidarse directamente a epóxido en las células de la médula ósea, como los eritroblastos. En lo que se refiere al mecanismo de toxicidad, los metabolitos del benceno parecen interferir con los ácidos nucleicos. Tanto en las personas como en los animales expuestos al benceno, se ha detectado un aumento de la frecuencia de aberraciones cromosómicas. Cualquier factor que inhiba el metabolismo del epóxido de benceno y las reacciones de conjugación, especialmente las alteraciones hepáticas, tenderá a potenciar los efectos tóxicos del benceno. Estos factores son importantes cuando se consideran las susceptibilidades individuales a este agente tóxico. El benceno se trata con más detalle en otros artículos de esta *Enciclopedia*.

*Incendio y explosión.* El benceno es un líquido inflamable y sus vapores forman mezclas inflamables o explosivas con el aire en una amplia gama de concentraciones. El benceno líquido puede emitir vapores a temperaturas tan bajas como -11 °C. Por ello, si no se observan las necesarias precauciones durante el almacenamiento, la manipulación o el uso del benceno líquido, es seguro que, a las temperaturas normales de trabajo, se formarán concentraciones inflamables. Este riesgo aumentará cuando se produzcan salpicaduras o derrames accidentales.

### Tolueno y sus derivados

*Metabolismo.* El tolueno se absorbe en el organismo principalmente a través del tracto respiratorio y, en menor proporción, a través de la piel. Traspasa la membrana alveolar. La mezcla sangre/aire se mantiene en una proporción de 11,2 a 15,6 a 37 °C y, entonces, se distribuye por los distintos tejidos en cantidades variables que dependen de sus características de perfusión y solubilidad, respectivamente. La proporción tejido/sangre es de 1:3, excepto en el caso de los tejidos ricos en grasas, que presentan un coeficiente de 80/100. A continuación, el tolueno es oxidado en su cadena lateral por los microsomas hepáticos (mono-oxigenación microsomal). El producto más importante de esta transformación, que representa aproximadamente un 68 % del tolueno absorbido, es el ácido hipúrico (AH), que aparece en la orina debido a la excreción renal que suele producirse en los túbulos proximales. También pueden detectarse en la orina pequeñas cantidades de *o*-cresol (0,1 %) y *p*-cresol (1 %), como resultado de la oxidación del núcleo aromático, según se explica en el Capítulo *Control biológico* de esta *Enciclopedia*.

La vida media biológica del AH es muy corta, del orden de 1 a 2 horas. El nivel de tolueno en el aire espirado, en reposo, es del orden de 18 ppm durante una exposición a 100 ppm, y disminuye rápidamente al cesar la exposición. La cantidad de tolueno retenida en el organismo está en función del porcentaje de grasa presente. Las personas obesas retienen más tolueno que las delgadas.

En el hígado, los mismos sistemas enzimáticos son los encargados de oxidar el tolueno, el estireno y el benceno. Por ello, estas tres sustancias tienden a inhibirse mutuamente de forma competitiva. Si se administra a ratas una cantidad importante de tolueno y benceno, se observa una disminución de la concentración de los metabolitos del benceno en los tejidos y en la orina y un aumento de benceno en el aire espirado. En el caso del tricloroetileno, la inhibición no es competitiva, ya que estas dos sustancias no son oxidadas por el mismo sistema enzimático. La exposición simultánea produce una disminución del AH y la aparición de compuestos triclorados en la orina. La absorción

de tolueno es mucho mayor durante un esfuerzo que en reposo. Con un rendimiento de 50 vatios, los valores detectados en la sangre arterial y en el aire alveolar se duplican con respecto a los obtenidos en reposo.

*Riesgos agudos y crónicos para la salud.* La toxicidad aguda del tolueno es ligeramente más intensa que la del benceno. En concentraciones de aproximadamente 200 ó 240 ppm, produce en el plazo de 3-7 h, vértigos, mareo, dificultad para mantener el equilibrio y cefalea. Las concentraciones más altas pueden provocar un coma narcótico.

Los síntomas de toxicidad crónica son los que se observan habitualmente con la exposición a los disolventes de uso común y son: irritación de las mucosas, euforia, cefalea, vértigo, náuseas, pérdida de apetito e intolerancia al alcohol. Estos síntomas aparecen generalmente al final del día, se agravan hacia el final de la semana y disminuyen o desaparecen durante el fin de semana o los días festivos.

El tolueno no ejerce acción alguna sobre la médula ósea. Los casos registrados se debieron a una exposición simultánea a tolueno y benceno, o no existen datos claros sobre este extremo. En teoría, el tolueno podría ocasionar un cuadro hepatotóxico, pero este cuadro no se ha llegado a probar nunca. Algunos autores indican la posibilidad de que cause una enfermedad autoinmune similar a la del síndrome de Goodpasture (glomerulonefritis autoinmune).

Hay que hacer referencia a algunos casos de muerte súbita que se han producido, especialmente en niños o adolescentes que tenían la costumbre de "esnifar pegamento", inhalando así los vapores de pegamentos que contenían tolueno además de otros disolventes. En estos casos, la muerte sobrevino por un paro cardíaco secundario a fibrilación ventricular y pérdida de catecolaminas. Los estudios en animales han demostrado que el tolueno sólo es teratogénico a dosis elevadas.

*Incendio y explosión.* El tolueno emite vapores sumamente inflamables a todas las temperaturas normales de trabajo. En las zonas donde se manipule este líquido o donde pueda encontrarse, aunque sea por accidente, estarán prohibidas todas las llamas desnudas y otros elementos capaces de incendiar los vapores. Esta sustancia exige unas instalaciones adecuadas para su almacenamiento y transporte.

*Otros derivados monoalquilados del benceno.* El *propilbenceno* produce depresión del sistema nervioso central, con efectos lentos pero prolongados. El *dodecilbencenosulfonato sódico* se obtiene mediante la reacción catalítica entre el *tetrapropileno* y el benceno, la acidificación con ácido sulfúrico y el tratamiento con sosa cáustica. El contacto reiterado de esta sustancia con la piel puede causar dermatitis y, si la exposición es prolongada, puede producir una ligera irritación de las mucosas.

*p-terc-Butiltolueno.* Los vapores de este compuesto pueden detectarse por su olor a partir de concentraciones de 5 ppm. Tras la exposición a concentraciones de 5-8 ppm, se produce una irritación leve de la conjuntiva. La exposición a los vapores provoca cefalea, náuseas, malestar y signos de distonía neurovegetativa. El metabolismo de esta sustancia es probablemente similar al del tolueno. Cuando se utilice p-terc-butiltolueno, tendrán que adoptarse las mismas precauciones con relación a la salud y los incendios que en el caso del tolueno.

### **Xileno**

Al igual que el benceno, el xileno es un narcótico, por lo que la exposición prolongada al mismo provoca alteraciones de los órganos hematopoyéticos y del sistema nervioso central. El cuadro clínico de la intoxicación aguda es similar al de la intoxicación por benceno. Los síntomas son: fatiga, mareo, sensación de borrachera, temblores, disnea y, en ocasiones, náuseas y vómitos. En los casos más graves puede producirse pérdida de

la consciencia. También se observa irritación de la mucosas oculares, de las vías respiratorias altas y de los riñones.

La exposición crónica produce debilidad general, excesiva fatiga, mareo, cefalea, irritabilidad, insomnio, pérdida de memoria y zumbidos en los oídos. Los síntomas típicos son alteraciones cardiovasculares, sabor dulzón en la boca, náuseas, en ocasiones vómitos, pérdida del apetito, mucha sed, sensación de quemazón en los ojos y hemorragia nasal. En algunos casos se han observado alteraciones funcionales del sistema nervioso central asociadas con efectos neurológicos pronunciados (por ejemplo, distonía), alteración de la síntesis de proteínas y deterioro de la actividad inmunológica.

Las mujeres pueden sufrir alteraciones en los ciclos menstruales (menorragia o metrorragia). Se ha visto que las trabajadoras expuestas a tolueno y xileno en concentraciones que sobrepasaban periódicamente los límites de exposición, también se vieron afectadas por problemas durante sus embarazos (toxicosis, amenaza de aborto, hemorragias durante el parto) y esterilidad.

Las alteraciones hematológicas se manifiestan en forma de anemia, poiquilocitosis, anisocitosis (en ocasiones leucocitosis) con linfocitosis relativa y, a veces, una trombocitopenia muy pronunciada. Existen datos sobre diferencias en la susceptibilidad individual al xileno. En algunos trabajadores expuestos durante varias décadas al xileno no se han producido intoxicaciones por este compuesto, mientras que una tercera parte del personal que trabajaba en las mismas condiciones de exposición presentó síntomas de intoxicación crónica por xileno y fueron inhabilitados. La exposición prolongada al xileno puede reducir la resistencia del organismo y hacerlo más vulnerable a diversos tipos de factores patógenos. Los análisis de orina muestran la presencia de proteínas, sangre, urobilina y urobilinógeno en la orina.

Se han producido casos mortales consecutivos a intoxicaciones crónicas, sobre todo en trabajadores de imprenta, aunque también en otros sectores de la industria. Asimismo, se han descrito casos de intoxicación grave y mortal en trabajadoras embarazadas con hemofilia y aplasia de la médula ósea. El xileno también puede causar alteraciones cutáneas, particularmente eczema.

En los casos de intoxicación crónica se detectan vestigios de xileno en todos los órganos y, en especial, en las glándulas suprarrenales, la médula ósea, el bazo y el tejido nervioso. El xileno se oxida en el organismo para formar ácidos toluicos (ácidos *o*-, *m*- y *p*-metilbenzoico), que a su vez reaccionan con la glicina y el ácido glucurónico.

Durante la producción o el uso del xileno pueden darse concentraciones elevadas en la atmósfera del lugar de trabajo si las instalaciones no son totalmente estancas o si se realizan procesos abiertos, en ocasiones con grandes superficies de evaporación. También pueden liberarse al ambiente grandes cantidades de xileno durante las labores de reparación y limpieza de los equipos.

El contacto con el xileno que haya podido contaminar las superficies del lugar de trabajo, los equipos o las prendas protectoras puede determinar su absorción por vía cutánea. La velocidad de absorción por esta vía en el hombre es de 4-10 mg/cm<sup>2</sup> por hora.

La exposición a concentraciones de 100 ppm durante un máximo de 30 minutos produce una ligera irritación de las vías respiratorias altas. Con 300 ppm, resultan afectados el equilibrio, la visión y el tiempo de reacción. La exposición a 700 ppm durante 60 minutos puede causar cefalea, mareo y náuseas.

*Otros derivados dialquílicos del benceno.* El *p*-cimeno comporta un cierto riesgo de incendio y es también un irritante primario de la piel. El contacto con el líquido puede causar sequedad, pérdida de la protección grasa de la piel y eritema. No existen pruebas

concluyentes de que pueda afectar a la médula ósea. La exposición aguda al *p-terc*-butiltolueno, en concentraciones iguales o superiores a 20 ppm, provoca náuseas, sabor metálico, irritación ocular y desvanecimiento. En los casos de exposiciones repetidas se observa disminución de la presión sanguínea, aumento de la frecuencia cardíaca, ansiedad, temblores, ligera anemia con leucopenia y eosinofilia, así como leve irritación de la piel por eliminación de la grasa. Los estudios de toxicidad en animales han demostrado los efectos de esta sustancia en el sistema nervioso central (SNC), con lesiones en el cuerpo calloso y la médula espinal.

*Estireno y etilbenceno.* Las intoxicaciones por estireno y por etilbenceno son muy similares y, por tanto, se tratan conjuntamente aquí. El estireno puede penetrar en el organismo por inhalación de sus vapores y, al ser liposoluble, por vía cutánea. Una vez en el organismo, al que satura rápidamente (en 30 ó 40 min), se distribuye por todos los órganos y se elimina rápidamente (85 % en 24 h), ya sea en la orina (71 % en forma de productos de oxidación del grupo vinilo: ácidos hipúrico y mandélico) o en el aire espirado (10 %). En cuanto al etilbenceno, el 70 % se elimina en la orina en forma de distintos metabolitos: ácido fenilacético, alcohol  $\alpha$ -feniletílico, ácido mandélico y ácido benzoico.

La presencia del doble enlace en la cadena lateral del estireno aumenta considerablemente las propiedades irritantes del anillo de benceno. Con todo, el efecto tóxico general del estireno es menos pronunciado que el del etilbenceno. El estireno líquido produce un efecto local en la piel. Los experimentos en animales demuestran que el estireno líquido irrita la piel y produce ampollas y necrosis tisular. La exposición a los vapores de estireno también puede causar irritación cutánea.

Los vapores de etilbenceno y estireno en concentraciones superiores a 2 mg/ml provocan intoxicación aguda en animales de laboratorio. Los síntomas iniciales son irritación de las mucosas de las vías respiratorias altas, los ojos y la boca. Poco después puede producirse narcosis, contracciones musculares y muerte por parálisis de los centros respiratorios. Los principales hallazgos patológicos son edema cerebral y pulmonar, necrosis epitelial de los túbulos renales y distrofia hepática.

El etilbenceno es más volátil que el estireno y su producción se asocia a un mayor riesgo de intoxicación aguda. Ambas sustancias son tóxicas cuando se ingieren. Los experimentos en animales han demostrado que la ingestión de estireno produce síntomas de intoxicación similares a los que se producen por inhalación. Las dosis letales son de 8 g/kg de peso corporal para el estireno y de 6 g/kg para el etilbenceno. Las concentraciones letales por inhalación oscilan entre 45 y 55 mg/l.

En la industria, la intoxicación aguda por estireno o etilbenceno puede producirse como resultado de una operación errónea o mal planteada. Las reacciones de polimerización en las que se pierde el control se acompañarán de una liberación rápida de calor y precisarán la rápida evacuación del producto del vaso de reacción. Es indispensable contar con controles técnicos que impidan un aumento repentino de las concentraciones de estireno y etilbenceno en la atmósfera del lugar de trabajo; en caso contrario, los trabajadores podrían verse expuestos a concentraciones peligrosas y sufrir secuelas como encefalopatía y hepatitis tóxica, a menos que se protejan con equipos de respiración adecuados.

*Toxicidad crónica.* Tanto el estireno como el etilbenceno pueden causar intoxicación crónica. La exposición prolongada a los vapores de estireno o etilbenceno en concentraciones superiores a los niveles permitidos puede causar alteraciones funcionales del sistema nervioso, irritación de las vías aéreas superiores, alteraciones hematológicas (en particular leucopenia y linfocitosis) y trastornos hepáticos y de las vías biliares. Los reconocimientos médicos de trabajadores empleados durante más de 5 años en

plantas de poliestireno y caucho sintético, donde las concentraciones atmosféricas de estireno y etilbenceno eran de aproximadamente 50 mg/m<sup>3</sup>, detectaron casos de hepatitis tóxica. La exposición prolongada a concentraciones de estireno inferiores a 50 mg/m<sup>3</sup> produjo alteraciones de algunas funciones hepáticas (proteínas, pigmentos, glucógeno). También se han observado, en trabajadores y trabajadoras en la producción de poliestireno, casos de astenia e inflamación de la mucosa nasal así como trastornos menstruales y de la ovulación.

Los estudios experimentales en ratas han demostrado que el estireno produce efectos embriotóxicos en concentraciones de 1,5 mg/m<sup>3</sup>. Su metabolito, el óxido de estireno, es mutagénico y reacciona con los microsomas, las proteínas y los ácidos nucleicos de las células hepáticas. El óxido de estireno es químicamente activo y mucho más tóxico que el propio estireno para las ratas. La IARC ha clasificado al óxido de estireno en el Grupo 2A, como probable carcinógeno. El propio estireno se considera un compuesto del Grupo 2B: posible carcinógeno humano.

Los experimentos realizados en animales sobre la toxicidad crónica del etilbenceno han demostrado que las concentraciones elevadas (1.000 y 100 mg/m<sup>3</sup>) pueden ser nocivas y producir alteraciones funcionales y orgánicas (trastornos del sistema nervioso, hepatitis tóxica y problemas del tracto respiratorio superior). En concentraciones de tan solo 10 mg/m<sup>3</sup>, puede causar inflamación catarral de la mucosa de las vías respiratorias altas. Las concentraciones de 1 mg/m<sup>3</sup> causan alteraciones de la función hepática.

*Derivados triarquílicos del benceno.* En los *trimetilbencenos* se sustituyen tres átomos de hidrógeno del núcleo de benceno por tres grupos metilo para formar otro grupo de hidrocarburos aromáticos. El uso de estos líquidos representa un riesgo para la salud y un riesgo de incendio. Los tres isómeros son inflamables. El punto de ignición del *pseudocumeno* es de 45,5 °C, pero estos líquidos se utilizan comúnmente en la industria como componentes del disolvente nafta de alquitrán de hulla, que puede tener un punto de ignición desde menos de 23 °C hasta 32 °C. Si no se toman las debidas precauciones, puede producirse una concentración inflamable de vapores cuando se utilizan los líquidos en procesos de disolución y dilución.

Riesgos para la salud. La mayor parte de la información que se dispone sobre los efectos tóxicos de los trimetilbencenos, el 1,3,5-trimetilbenceno y el pseudocumeno, tanto en animales como en seres humanos, procede de estudios sobre un disolvente y diluyente de pinturas que contiene un 80 % de estas sustancias en su composición. Estas sustancias actúan como depresores del sistema nervioso central y pueden afectar a la coagulación sanguínea. Aproximadamente el 70 % de los trabajadores expuestos a concentraciones elevadas se quejaron de bronquitis asmática, cefalea, fatiga y sopor. Una gran parte del 1,3,5-trimetilbenceno se oxida en el organismo a ácido mesitilénico, que se conjuga con glicina y se excreta en la orina. El pseudocumeno se oxida a ácido *p-xílico* y también se excreta en la orina.

*Cumeno.* Siempre que se utilice cumeno en procesos industriales, tendrán que tenerse en cuenta los riesgos para la salud y el riesgo de incendio de esta sustancia. El cumeno es irritante para la piel y se puede absorber lentamente a través de la piel. También tiene un potente efecto narcótico en animales y la narcosis se desarrolla más lentamente y dura más tiempo que con benceno o tolueno. También suele producir lesiones pulmonares, hepáticas y renales, aunque no se han descrito este tipo de lesiones en seres humanos.

El cumeno líquido no emite vapores en concentraciones inflamables a menos que la temperatura alcance los 43,9 °C. Por tanto, sólo podrán formarse mezclas inflamables de vapores y aire durante operaciones no controladas en las que se utilicen temperaturas más elevadas. Si se calientan las soluciones o revestimientos que contienen cumeno durante un proceso (en una

estufa de secado, por ejemplo), pueden incendiarse rápidamente y, en ciertas condiciones, provocar una explosión.

### Medidas de salud y seguridad

Puesto que la principal vía de entrada al organismo es la pulmonar, es muy importante evitar la presencia de estos compuestos en el aire respirado. Uno de los métodos más importantes para evitar la inhalación excesiva es el uso de sistemas eficaces de extracción localizada. Los envases abiertos se deben mantener tapados o cerrados cuando no se utilicen. Estas precauciones para evitar que se acumulen concentraciones nocivas de vapores en la atmósfera de trabajo evitan también la formación de mezclas inflamables en el aire en condiciones normales. Para evitar el riesgo de fugas o derrames accidentales de líquidos en los envases donde se almacenen estos compuestos o en los vasos de reacción, deberán adoptarse precauciones adicionales, como la construcción de una solera con talud en las entradas de los depósitos para retener los líquidos que puedan derramarse. En las zonas donde se utilicen o almacenen estos compuestos se eliminarán todas las llamas y fuentes de ignición. Deberá existir un procedimiento eficaz para limpiar los derrames y las fugas.

Los respiradores, pese a ser eficaces, deben utilizarse sólo como una medida adicional (o en casos de emergencia) y dependen completamente del usuario. La protección de la segunda vía principal de exposición, la piel, puede lograrse mediante el uso de prendas protectoras como guantes, protectores y máscaras faciales y mandiles. Además, deberán utilizarse gafas protectoras en caso de que exista riesgo de recibir salpicaduras en los ojos de estas sustancias. Los trabajadores no deben utilizar lentes de contacto cuando trabajen en áreas con riesgo de exposición (especialmente de la cara y los ojos), ya que las lentes de contacto, si no se quitan inmediatamente, pueden potenciar el efecto nocivo de estas sustancias y hacer que los lavados oculares sean menos eficaces.

En caso de contacto de estas sustancias con la piel, se procederá inmediatamente a lavar la zona afectada con agua y jabón. La ropa contaminada se retirará rápidamente. Las salpicaduras de hidrocarburos aromáticos en los ojos deben eliminarse mediante irrigación con agua durante al menos 15 minutos. Las quemaduras producidas por salpicaduras de los compuestos líquidos requieren asistencia médica lo antes posible. En caso de exposición grave, debe llevarse al paciente a un sitio al aire libre y dejarlo descansar hasta que llegue el médico. Si la víctima tiene dificultades para respirar, se le administrará oxígeno. La mayoría de las personas se recuperan rápidamente cuando salen al aire libre y el tratamiento sintomático sólo es necesario en raras ocasiones.

*Sustitución del benceno.* Actualmente se admite que el uso del benceno con fines industriales o comerciales debe abandonarse cuando exista una sustancia eficaz y menos dañina disponible, aunque con frecuencia esto no es posible cuando el benceno se utiliza como reactivo en un proceso de síntesis química. Por otra parte, se ha demostrado que se pueden encontrar sustitutos para casi todas las operaciones, muy numerosas, en las que se utilizaba benceno como disolvente. En ocasiones, el sustituto no es un disolvente tan bueno como el benceno, pero puede ser preferible debido a que las precauciones necesarias son menos costosas. Estos sustitutos pueden ser homólogos del benceno (en especial tolueno y xileno), ciclohexano, hidrocarburos alifáticos (ya sea puros, como en el caso del hexano, o en forma de mezclas, como la amplia gama de disolventes del petróleo), naftas como disolventes (que son mezclas relativamente complejas y de composición variable, obtenidas de la hulla) o algunos derivados del petróleo. Estos compuestos prácticamente no contienen benceno y contienen muy poco tolueno. Sus principales componentes son homólogos de estos dos hidrocarburos en proporciones variables dependiendo del origen de la mezcla. Existen varios disolventes más que pueden elegirse en función del material que se desee disolver y el proceso industrial, como alcoholes, cetonas, ésteres y derivados clorados del etileno.

TABLAS DE HIDROCARBUROS AROMATICOS

Tabla 104.105 • Identificación química.

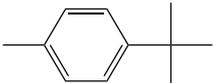
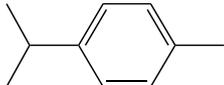
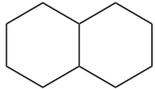
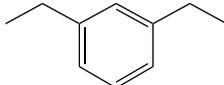
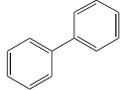
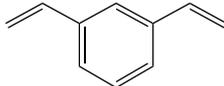
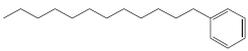
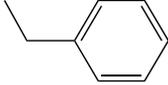
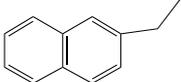
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
BENCENO	Hidruro de fenilo; pirobenzol UN1114	71-43-2	
<i>p</i> - <i>terc</i> -BUTILTOLUENO	<i>p</i> -metil- <i>terc</i> -butilbenceno; 1-metil-4- <i>terc</i> -butilbenceno; TBT	98-51-1	
<i>p</i> -CIMENO	<i>p</i> -Isopropilmetilbenceno; 4-isopropil-1-metilbenceno; <i>p</i> -isopropiltolueno; <i>p</i> -metilisopropilbenceno	99-87-6	
CUMENO	Isopropilbenceno; (1-metiletil)benceno; 2-fenilpropano UN1918	98-82-8	
DECAHIDRONAFTALENO	Naftalano; naftano; perhidronaftaleno UN1147	91-17-8	
DIETILBENCENO	Dietilbenzol UN2049	25340-17-4	
DIFENILO	Dibenceno; 1,1'-difenilo; bifenilo; limoneno; fenilbenceno	92-52-4	
DIVINILBENCENO	Vinilestireno	1321-74-0	
DODECILBENCENO	1-Fenildodecano	123-01-3	
ESTIRENO	Etenilbenceno; fenileteno; feniletileno; vinilbenceno UN2055;	100-42-5	
ETILBENCENO	Etilbenzol; feniletano UN1175	100-41-4	
1-ETILNAFTALENO		1127-76-0	
2-ETILNAFTALENO		939-27-5	

Tabla 104.105 • Identificación química.

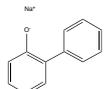
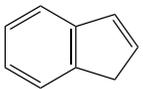
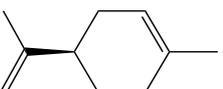
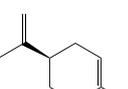
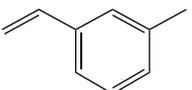
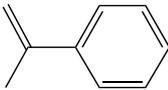
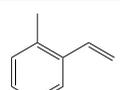
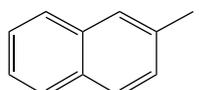
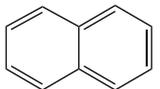
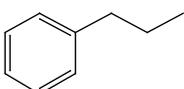
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
<i>o</i> -FENILFENOL SODICO	Sal sódica de 2-hidroxidifenilo; sal sódica de 2-fenilfenol; (2-difeniloxi)sodio; 2-hidroxidifenilo sódico; <i>o</i> -fenilfenato sódico; 2-fenilfenato sódico	132-27-4	
INDENO	Indonafteno	95-13-6	
LIMONENO	<i>p</i> -menta-1,8-dieno; 1-metil-4-isopropenil-1-ciclohexeno; Nesol UN2052	138-86-3	
D-LIMONENO	D-4-isopropenil-1-metilciclohexeno	5989-27-5	
L-LIMONENO	L-1-Metil-4-(1-metiletetil)ciclohexeno; L(-)- <i>p</i> -menta-1,8-dieno	5989-54-8	
METILESTIRENO	Viniltolueno UN2618	25013-15-4	
$\alpha$ -METILESTIRENO	Isopropenilbenceno; 2-fenilpropeno; 2-fenilpropileno; $\beta$ -fenilpropileno UN2303	98-83-9	
<i>m</i> -METILESTIRENO	1-Etenil-3-metilbenceno; 3-metilestireno; <i>m</i> -viniltolueno; 3-viniltolueno	100-80-1	
<i>o</i> -METILESTIRENO	1-Etenil-2-metilbenceno; 2-metilestireno; <i>o</i> -viniltolueno; 2-viniltolueno	611-15-4	
<i>p</i> -METILESTIRENO	1-Etenil-4-metilbenceno; 1- <i>p</i> -tolieteno; <i>p</i> -viniltolueno; 4-viniltolueno	622-97-9	
METILNAFALENO		1321-94-4	
NAFALENO	Naftalina; nafteno UN1334 UN2304	91-20-3	
PROPENILBENCENO	<i>trans</i> -1-Fenilpropeno; <i>trans</i> -1-propenilbenceno	873-66-5	
<i>n</i> -PROPILBENCENO		103-65-1	

Tabla 104.105 • Identificación química.

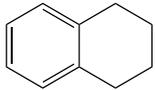
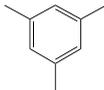
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
1,2,3,4-TETRAHIDRONAFTALENO	Naftaleno 1,2,3,4-tetrahidruro; d(sup 5,7,9)-naftantrieno; tetrahidronaftaleno	119-64-2	
TOLUENO	Metilbenceno; metilbenzol; fenilmetano UN1294	108-88-3	
1,3,5-TRIMETILBENCENO	Trimetilbenceno; mesitileno; trimetilbenzol UN2325	108-67-8	
<i>m</i> -XILENO	<i>m</i> -Dimetilbenceno; 1,3-dimetilbenceno; 1,3-xileno UN1307	108-38-3	
<i>o</i> -XILENO	<i>o</i> -Dimetilbenceno; 1,2-dimetilbenceno; <i>o</i> -metiltolueno; 1,2-xileno UN1307	95-47-6	
<i>p</i> -XILENO	<i>p</i> -Dimetilbenceno; 1,4-dimetilbenceno; <i>p</i> -metiltolueno; 1,4-xileno UN1307	106-42-3	

Tabla 104.106 • 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
BENCENO 71-43-2	piel; tract resp; pulmones; SNC	piel; sangre; hígado; sistema inmune	Inhalación Piel Ingestión	Mareo, sopor, cefalea, náuseas, disnea, convulsiones, inconsciencia Puede absorberse, sequedad de piel Dolor abdominal, dolor de garganta, vómitos	sangre; SNC; piel; médula ósea; ojos; sis resp inh, abs, ing, con	Irrit ojos, piel, nariz, sis resp; mar; cef, náu, andar vacilante; ftg, anor, las; derm; depres médula ósea; [carc]
<i>p</i> - <i>terc</i> -BUTILTOLUENO 98-51-1					SCV; SNC; piel; médula ósea; ojos; sis resp sup; hígado; riñones inh, ing, con	Irrit ojos y piel; sequedad de nariz y garganta; cef; TA baja, taqui, estrés SCV anor; SNC, depres hemato; sabor metálico; les hepáticas y renales
<i>p</i> -CIMENO 99-87-6	ojos; piel		Inhalación	Mareo, sopor, vómitos, inhalación		
CUMENO 98-82-8					ojos; sis resp sup; piel; SNC inh, abs, ing, con	Irrit ojos, piel, muc; derm; cef, narco, coma
DIETILBENCENO 25340-17-4	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC	piel; riñones; hígado	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, embotamiento, cefalea, náuseas Sequedad de piel, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Espasmos abdominales, mareo, embotamiento, cefalea, náuseas		

Tabla 104.106 • 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
DIFENILO 92-52-4	ojos; piel; tract resp; hígado	piel; SNC ; hígado	Inhalación Ojos	Tos, náuseas, vómitos Enrojecimiento, dolor	hígado; piel; SNC; sis resp sup; ojos inh, abs, ing, con	Irrit ojos, garganta; cef; náu, ftg, entu de las extremidades; les hepáticas
DIVINILBENCENO 1321-74-0	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel	Inhalación Piel Ojos	Tos, dolor de garganta Enrojecimiento Enrojecimiento	ojos; piel; sis resp; sangre inh, ing, con	Irrit ojos, piel, sis resp; quemaduras en la piel; en animales: depres SNC
DODECILBENCENO 123-01-3	piel; ojos	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, irritante enrojecimiento, irritante Náuseas		
ESTIRENO 100-42-5	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel; pulmones; SNC	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, cefalea, náuseas, debilidad Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal	SNC; sis resp; ojos; piel inh, abs, ing, con	Irrit ojos, nariz; sis resp; cef, ftg, mar, conf, mal, sop, deb, andar vacilante; narco; derm por desengrasado; posibles les hepáticas, efectos repro
ETILBENCENO 100-41-4	ojos; piel; tract resp; pulmones; SNC	piel			ojos; sis resp sup; piel; SNC inh, ing, con	Irrit ojos, piel, muc; cef; derm; narco; coma
D-LIMONENO 5989-27-5	ojos; piel; tract resp	piel	Inhalación Piel Ojos	Tos Enrojecimiento Enrojecimiento		
METILESTIRENO 25013-15-4	ojos; piel; tract resp; SNC	piel; hígado	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, embotamiento, cefalea, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, náuseas, vómitos	ojos; piel; tract resp inh, ing, con	Ojos, piel, sis resp, SNC
$\alpha$ -METILESTIRENO 98-83-9	ojos; piel; tract resp		Inhalación	Tos, dolor de garganta	ojos; tract resp; piel inh, ing, con	Ojos, piel, sis resp, SNC
<i>m</i> -METILESTIRENO 100-80-1	ojos; piel; tract resp; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, embotamiento, cefalea, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento Dolor abdominal, náuseas, vómitos		
$\alpha$ -METILESTIRENO 611-15-4	ojos; piel; tract resp; riñones; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, embotamiento, cefalea, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, irritante Enrojecimiento Dolor abdominal, náuseas, vómitos		
<i>p</i> -METILESTIRENO 622-97-9	ojos; piel; tract resp; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, embotamiento, cefalea, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, irritante de la piel Enrojecimiento Dolor abdominal, náuseas, vómitos		
METILNAFTELENO 1321-94-4	ojos; tract resp		Inhalación Piel Ojos	Tos Enrojecimiento Enrojecimiento		

Tabla 104.106 • 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
NAFTALENO 91-20-3					ojos; sangre; hígado; riñones; piel; SNC inh, abs, ing, con	Irrit ojos; cef, conf, excitación, mal; náu, vómit, dolor; irrit vejiga; sudoración abundante; ict; hema, hemog, fallo renal; derm; neuritis óptica, les córn
PROPENILBENCENO 873-66-5	piel					
TOLUENO 108-88-3	ojos; tract resp; pulmones; SNC; SCV	piel; SNC ; corazón	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, cefalea, náuseas, inconsciencia Sequedad de piel, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, sensación de quemazón	SNC; hígado; riñones; piel; ojos; sis resp inh, abs, ing, con	Irrit ojos, nariz; ftg, deb, conf, euf, mar, cef; pupilas dilatadas, lag; ner, ftg musc, insom; pares; derm; les hepáticas y renales
<i>m</i> -XILENO 108-38-3	garganta, ojos; pulmones; SNC	piel; pulmones; SNC	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, cefalea, inconsciencia Sequedad de piel, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, sensación de quemazón	Ojos; piel; sis resp; SNC; tracto GI; sangre; hígado; riñones inh, abs, ing, con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; mar, excitación, sop, desco, andar vacilante; vacuolización de la córnea; anor, náu, vómit, dolor abdom; derm
<i>o</i> -XILENO 95-47-6	garganta, ojos; pulmones; SNC	piel; pulmones ; SNC	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, cefalea, inconsciencia Sequedad de piel, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, sensación de quemazón	Ojos; piel; sis resp; SNC; tracto GI; sangre; hígado; riñones inh, abs, ing, con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; mar, excitación, sop, desco, andar vacilante; vacuolización de la córnea; anor, náu, vómit, dolor abdom; derm
<i>p</i> -XILENO 106-42-3	garganta, ojos; pulmones; SNC	piel; pulmones; SNC	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, cefalea, inconsciencia Sequedad de piel, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, sensación de quemazón	Ojos; piel; sis resp; SNC; tracto GI; sangre; hígado; riñones inh, abs, ing, con	Irrit ojos, piel, nariz y garganta; mar, excitación, sop, desco, andar vacilante; vacuolización de la córnea; anor, náu, vómit, dolor abdom; derm

Tabla 104.107 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
BENCENO 71-43-2	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Reacciona violentamente con oxidantes y halógenos, con peligro de incendio y explosión	3
<i>p</i> -terc-BUTILTOLUENO 98-51-1			6.1
<i>p</i> -CIMENO 99-87-6	El vapor es más pesado que el aire	Reacciona con oxidantes Ataca el caucho	3
CUMENO 98-82-8			3
DECAHIDRONAFTALENO 91-17-8			3

Tabla 104.107 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
DIETILBENCENO 25340-17-4	Pueden generarse cargas electrostáticas como resultado del flujo, la agitación, etc.	Reacciona con oxidantes fuertes, con peligro de incendio y explosión	3
DIFENILO 92-52-4	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	Se descompone al calentarse, liberando gases tóxicos y humos acres Reacciona con oxidantes, con peligro de incendio y explosión	
DIVINILBENCENO 1321-74-0		Puede polimerizarse al calentarse, con peligro de incendio o explosión Reacciona violentamente con oxidantes	
DODECILBENCENO 123-01-3	El vapor es más pesado que el aire		
ESTIRENO 100-42-5	Pueden generarse cargas electrostáticas como resultado de flujo, agitación, etc.	Puede formar peróxidos explosivos Puede polimerizarse al calentarse, por efecto de la luz solar y en contacto con muchos compuestos, como oxígeno, agentes oxidantes, peróxidos y ácidos fuertes, con peligro de incendio o explosión Ataca el cobre y las aleaciones de cobre	3
ETILBENCENO 100-41-4			3
D-LIMONENO 5989-27-5		En su combustión emite gases tóxicos (CO <sub>x</sub> ) Tiende a oxidarse con la exposición prolongada	
L-LIMONENO 5989-54-8			3
METILESTIRENO 25013-15-4		Si no se estabiliza, se polimeriza generando calor Se debe evitar el contacto con catalizadores, como peróxidos, ácidos fuertes o cloruro de aluminio Se descompone al calentarse, liberando gases y humos tóxicos (monóxido de carbono) Es un potente agente reductor y reacciona violentamente con oxidantes	3
α-METILESTIRENO 98-83-9	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 monóxido de carbono fuertes	Reacciona con oxidantes 3
m-METILESTIRENO 100-80-1		Si no se estabiliza, se polimeriza Se descompone al calentarse, liberando gases y humos tóxicos (monóxido de carbono) Reacciona con oxidantes fuertes y ácidos fuertes	3
o-METILESTIRENO 611-15-4		Si no se estabiliza, se polimeriza Se descompone al calentarse, liberando gases y humos tóxicos (monóxido de carbono) Reacciona con oxidantes fuertes y ácidos fuertes	3
p-METILESTIRENO 622-97-9	El vapor es más pesado que el aire	Si no se estabiliza, se polimeriza Se descompone al calentarse, liberando gases y humos tóxicos (monóxido de carbono) Es un oxidante fuerte y reacciona con materiales combustibles y reductores Es un potente agente reductor y reacciona con oxidantes Reacciona con oxidantes fuertes y ácidos fuertes	3
METILNAFALENO 1321-94-4		Se descompone al calentarse, desprendiendo humos irritantes	
PROPENILBENCENO 873-66-5	El vapor es más pesado que el aire	Se descompone al calentarse, liberando gases y humos tóxicos (monóxido de carbono) Reacciona con oxidantes fuertes	

Tabla 104.107 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
TOLUENO 108-88-3	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.	Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, con peligro de incendio y explosión	3
1,3,5-TRIMETILBENCENO 108-67-8			3
<i>m</i> -XILENO 108-38-3	Pueden generarse cargas electrostáticas como resultado de flujo, agitación, etc.	Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, como el ácido nítrico	3
<i>o</i> -XILENO 95-47-6	Pueden generarse cargas electrostáticas como resultado de flujo, agitación, etc.	Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, con peligro de incendio y explosión	3
<i>p</i> -XILENO 106-42-3	Pueden generarse cargas electrostáticas como resultado de flujo, agitación, etc.	Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, como el ácido nítrico	3

Tabla 104.108 • 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)
BENCENO 71-43-2	líquido transparente e incoloro; prismas romboédricos	80	5,5	78,11	lig sol	0,8765	2,7	10	1,3 li 7,1 lu	-11cc	500
<i>p</i> - <i>terc</i> -BUTILTOLUENO 98-51-1	líquido transparente incoloro	193	-52	148,2	insol	0,8612	4,62	0,65 mm Hg @ 25 °C			
<i>p</i> -CIMENO 99-87-6	líquido incoloro	177,1	-67,94	134,2	insol	0,8573	4,62	0,2	0,7 li 5,6 ls	47 cc	436
<i>o</i> -CLOROESTIRENO 2039-87-4	líquido	188,7	-63,1	138,60		1,1000		9,6x10 <sup>-1</sup> mm Hg @ 25 °C			
CUMENO 98-82-8	líquido incoloro	152,4	-96,0	120,19	insol	0,862	4,2	10 mm Hg @ 38,3 °C	0,9 li 6,5 ls		
DECAHIDRONAFTALENO 91-17-8	líquido transparente incoloro	155,5	-43	138,24	0,9 ppm	0,8965	4,8	2,3 mm Hg @ 25 °C	0,7 li 4,9 @ 100 °C ls	58 cc	250; 255 isómero trans
DIETILBENCENO 25340-17-4	líquido	181-184	< -20		insol	0,9	4,6	0,13	0,8 li 5 ls	56	395- 450

Tabla 104.108 • 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)
DIFENILO 92-52-4	escamas blancas; láminas en alcohol dil; laminillas incoloras	256	69	154,20	insol	1,041	5,31	0,13 @ 71 °C	0,6 @ 232 mm Hg 5,8 @ 311 mm Hg	113 cc	540
DIVINILBENCENO 1321-74-0	líquido incoloro	195	-66,9 a -52	130,19	insol	0,9	4,48	0,133 @ 32,7 °C	1,1 li 6,2 ls	169 ca	500
DODECILBENCENO 123-01-3	líquido incoloro	328	3	246,4	insol	0,9	8,47	< 10 Pa		1406	
ESTIRENO 100-42-5	líquido aceitoso incoloro o amarillento; líquido viscoso; con propiedades disolventes, elástico	145	-31	104,14	insol	0,906	3,6	0,7	0,9 li 6,8 ls	344– 367	490
ETILBENCENO 100-41-4	líquido incoloro	136	-95	106,16	insol	0,8670	3,66	0,9	1,6 li 7 ls	128 cc	432
1-ETILNAFTELENO 1127-76-0		258,6	-13,9	156,22	insol	1,0082					
2-ETILNAFTELENO 939-27-5		258	-7,4	156,22	insol	0,9922					
INDENO 95-13-6	líquido; agujas amarillas	182	-1,8	116,15	insol	0,9968					
LIMONENO 138-86-3	líquido móvil incoloro	175,5–176,5	-95,5	136,23	13,8 mg/l @ 25 °C	0,8402	4,7	20 mm Hg @ 68,2 °C	0,7 li 6,1 ls	45 cc	237
D-LIMONENO 5989-27-5	líquido	178	-74,35	136,23	insol	0,8411	4,7	0,4 @ 14,4 °C	0,7 li 6,1 @ 302 °C ls	48	237
L-LIMONENO 5989-54-8		177,5		136,23		0,8422					
METILESTIRENO 25013-15-4	líquido incoloro	170–171	-76,67	118,18	insol	0,890 @ 25 °C /25 °C	4,08	0,15	0,8 li 11 ls	544	494
α-METILESTIRENO 98-83-9	líquido incoloro	164	-23,2	118,2	insol	0,91	4,08	29 Pa	0,9 li 6,6 ls	8389 cc	574
m-METILESTIRENO 100-80-1	líquido	172	-86,3	118,17	insol	0,91	4,1				
o-METILESTIRENO 611-15-4	líquido	170	-69	118,17	insol	0,91	4,1			51	
p-METILESTIRENO 622-97-9	líquido incoloro	173	-34	118,2	insol	0,8764	4,1	0,1	1,1 li 5,3 ls	45	515
METILNAFTELENO 1321-94-4	líquido incoloro	241–244	-22	142,21	insol	1,0				82-97	
NAFTELENO	sólido o escamas cristalinas blancas; escamas, esferas, polvo o agregados de color blanco; placas monoclinicas en alcohol	217,9	80,2	128,16	insol	1,0253	4,42	0,01	0,9 li 5,9 ls		526

Tabla 104.108 • 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)
PROPENILBENCENO 873-66-5	líquido	175	-29,3	118,2	insol	0,911	4,1		0,9 li ? ls	53	
<i>n</i> -PROPILBENCENO 103-65-1	líquido incoloro	159,2 °C a 760 mm Hg	-99,2	120,19	0,06 g/l	d. esp: 0,8620 @ 20 °C/4 °C	4,14	1 mm Hg a 6,3 °C	0,8–6%		
1,2,3,4-TETRAHIDRONAFTALENO 119-64-2	líquido incoloro	207,6	-35,7	132,20	insol	0,9702	4,6	0,368 mm Hg @ 25 °C	? li 5,0 @ 150 °C ls	77 ca 82 cc	
TOLUENO 108-88-3	líquido incoloro	111	-95	92,13	insol	0,866	3,2	2,9	1,2 li 7,1 ls	4 cc	480
1,3,5-TRIMETILBENCENO 108-67-8	líquido transparente e incoloro	164,7	-44,7	120,19	insol	0,8637	1,006	1,86 mm Hg			
<i>m</i> -XILENO 108-38-3	líquido transparente e incoloro; móvil	139,3	-47,8	106,17	insol	0,8684 @ 15 °C/4 °C	3,7	760 mm Hg @ -47,9 °C	1,1 li 7,0 ls	27 cc	527
<i>o</i> -XILENO 95-47-6	líquido incoloro	144	-25	106,16	insol	0,880	3,7	0,7	1,0 li 7,0 ls	32 cc	463
<i>p</i> -XILENO 106-42-3	placas o prismas incolores a temperaturas bajas; líquido incoloro	138,3	13	106,2	insol	0,861	3,7	0,9	1,1 li 7,0 ls	27 cc	528

## HIDROCARBUROS AROMATICOS HALOGENADOS

Los hidrocarburos aromáticos halogenados son productos químicos que contienen uno o más átomos de un halógeno (cloro, flúor, bromo, yodo) y un anillo de benceno.

### Usos

*Clorobenceno* (y derivados como el diclorobenceno; el *m*-diclorobenceno; el *p*-diclorobenceno; el 1,2,3-triclorobenceno; el 1,3,5-triclorobenceno; el 1,2,4-triclorobenceno; el hexaclorobenceno; el 1-cloro-3-nitrobenceno; el 1-bromo-4-clorobenceno). El monoclorobenceno y los diclorobencenos se utilizan mucho como disolventes y productos químicos intermedios. Los diclorobencenos, especialmente el isómero *p*, se usan como fumigantes, insecticidas y desinfectantes. Asimismo, para combatir las termitas se utiliza una mezcla de isómeros de triclorobenceno. Antiguamente se utilizaban el 1,2,3-triclorobenceno y el 1,3,5-triclorobenceno como medios de transferencia térmica, líquidos para transformadores y disolventes.

El *hexaclorobenceno* es un fungicida y un producto químico intermedio para colorantes y hexafluorobenceno. También es la materia prima para la producción de caucho sintético, un plastificante para el cloruro de polivinilo, un aditivo para compuestos pirotécnicos militares y un agente de control de la porosidad en la fabricación de electrodos.

El *cloruro de bencilo* sirve como producto químico intermedio en la fabricación de compuestos bencílicos. Se utiliza en la fabricación de cloruros amónicos cuaternarios, colorantes, agentes de curtido, productos farmacéuticos y perfumes. El *cloruro de benzoilo* se utiliza en las industrias textil y de tinte para mejorar la resistencia del color en fibras o tejidos teñidos.

Los *cloronaftalenos* de uso industrial son mezclas de tri-, tetra-, penta- y hexacloronaftalenos. Muchos de estos compuestos se utilizaban antiguamente como medios de transferencia térmica, disolventes, aditivos para lubricantes, líquidos dieléctricos y material de aislamiento eléctrico (pentacloronaftaleno, octacloronaftaleno, tricloronaftaleno, hexacloronaftaleno y tetracloronaftaleno). En la mayoría de los casos, los naftalenos clorados han sido sustituidos por plásticos.

El *DDT* se ha utilizado muchísimo para el control de insectos que son parásitos o vectores de organismos patógenos para el hombre. Entre las enfermedades que pueden transmitir estos vectores se encuentran la malaria, la fiebre amarilla, el dengue, la filarisis, el tifus exantemático transmitido por los piojos y la fiebre recurrente transmitida por los piojos. Todos los vectores de estas enfermedades son artrópodos vulnerables al DDT. Aunque en los países europeos, en Estados Unidos y en Japón se ha abandonado el uso del DDT, esta sustancia sigue siendo utilizada por las autoridades encargadas de la salud pública y por los militares para controlar enfermedades transmitidas por vectores, para fines de cuarentena y en fármacos administrados contra las ladillas.

El *hexaclorofeno* es un antiinfeccioso tópico, un detergente y un agente antibacteriano en jabones, productos de limpieza empleados en cirugía, equipos médicos y cosméticos. Se utiliza como fungicida para verduras y plantas decorativas. El *cloruro de benzatonio* se emplea como antiinfeccioso tópico en medicina, como germicida para la limpieza de utensilios con los que se manipulan alimentos y productos lácteos y como agente algicida

para las piscinas. También es un aditivo para desodorantes y productos de peluquería.

*Bifenilos policlorados (PCBs)*. La producción de PCBs de grado técnico con fines comerciales aumentó en 1929, cuando estos compuestos comenzaron a utilizarse como aceites no inflamables en condensadores y transformadores eléctricos. Así, por ejemplo, se estima que en Estados Unidos se fabricaron 1,4 billones de libras de PCBs desde finales del decenio de 1920 hasta mediados del decenio de 1970. Las principales propiedades de los PCBs que los hacen útiles para la producción de una gran diversidad de artículos son: su baja solubilidad en agua, su miscibilidad con disolventes orgánicos y polímeros, su elevada constante dieléctrica, su estabilidad química (degradación muy lenta), sus altos puntos de ebullición, su baja presión de vapor, su termoestabilidad y su resistencia a las llamas. Los PCBs también son bacteriostáticos, fungostáticos y sinérgicos pesticidas.

Los PCB se han utilizado en sistemas "cerrados" o "semicerrados", como transformadores eléctricos, condensadores, sistemas de transferencia térmica, reactancias de lámparas fluorescentes, líquidos hidráulicos, aceites lubricantes, cables e hilos eléctricos aislados, etc., y en sistemas "abiertos", como plastificantes de materiales plásticos, adhesivos para revestimientos murales impermeables, tratamientos de superficie para tejidos, tratamientos de superficie para madera, metal y hormigón, productos de calafateado, pinturas, tintas de imprenta, papel, papel autocopiativo, papeles impregnados para la envoltura de cítricos, aceites de corte, medios de montaje y aceites de inmersión para microscopía, antiempañantes, retardadores de llama, y también en productos insecticidas y bactericidas.

### Riesgos

La exposición a hidrocarburos aromáticos halogenados entraña numerosos riesgos. Los efectos pueden variar considerablemente según el tipo de compuesto. En conjunto, la toxicidad de los hidrocarburos aromáticos halogenados se caracteriza por irritación aguda de los ojos, las mucosas y los pulmones, así como síntomas gastrointestinales y neurológicos (náuseas, cefalea y depresión del sistema nervioso central). También pueden presentarse acné (cloracné) y disfunciones hepáticas (hepatitis, ictericia, porfiria). Se han registrado alteraciones reproductivas (abortos, mortinatos y recién nacidos de bajo peso) y también ciertos efectos carcinogénicos. Seguidamente se realiza un análisis más detenido de los efectos específicos que producen algunos productos químicos de este grupo.

La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado a los toluenos clorados (cloruro de bencilo, benzalcloruro y benzotricloruro) como carcinógenos del Grupo 2A. Debido a sus propiedades fuertemente irritantes, las concentraciones de *cloruro de bencilo* de 6-8 mg/m<sup>3</sup> causan una ligera conjuntivitis a los cinco minutos de exposición. Las concentraciones de 50-100 mg/m<sup>3</sup> en suspensión en el aire causan de inmediato lagrimeo y parpadeo y, a concentraciones de 160 mg/m<sup>3</sup>, la irritación de los ojos y la mucosa nasal resulta insoportable. Los trabajadores expuestos a concentraciones de 10 mg/m<sup>3</sup> o más de cloruro de bencilo sufrieron debilidad, fatiga rápida, dolores de cabeza persistentes, irritabilidad creciente, calor intenso, pérdida de sueño y apetito y, en algunos casos, picores en la piel. Los exámenes médicos de estos trabajadores revelaron astenia, distonía del sistema nervioso autónomo (hiperhidrosis, temblores en los párpados y los dedos, inseguridad en la prueba de Romberg, dermografismo positivo, etc.). Pueden producirse también trastornos de la función hepática, con

aumento del contenido de bilirrubina en sangre y resultados positivos en las pruebas de Takata-Ara y Weltmann, disminución del número de leucocitos y tendencia a enfermedades como resfriados y rinitis alérgicas. No se han registrado casos de intoxicaciones agudas. El cloruro de bencilo puede provocar dermatitis y, si penetra en los ojos, provoca una quemadura intensa, lagrimeo y conjuntivitis.

El *clorobenceno* y sus derivados provocan irritación aguda de los ojos, la nariz y la piel. La exposición a concentraciones altas produce dolores de cabeza y crisis respiratorias. Dentro de este grupo, el *hexaclorobenceno* merece una mención especial. Entre 1955 y 1958 se produjo una grave epidemia en Turquía como consecuencia de la ingestión de trigo que había sido contaminado con el fungicida hexaclorobenceno. Miles de personas desarrollaron porfiria, que comenzó con lesiones bullosas que progresaron hasta convertirse en úlceras, con escaras pigmentadas. En niños, las lesiones iniciales recordaban a los comedones y milto. El diez por ciento de los afectados fallecieron. En los lactantes que ingirieron leche materna contaminada con hexaclorobenceno, la tasa de mortalidad fue del 95 %. Se detectaron descargas masivas de porfirinas en la orina y las heces de los pacientes. Incluso 20 ó 25 años después, entre el 70 y el 85 % de supervivientes seguían presentando hiperpigmentación y cicatrices residuales en la piel, así como artritis y trastornos musculares. La IARC ha clasificado el hexaclorobenceno como carcinógeno del Grupo 2B (posible carcinógeno humano).

La toxicidad de los *cloronaftalenos* aumenta con el grado de cloración. Los principales problemas provocados por la exposición a esta sustancia son el cloracné y la hepatitis tóxica. Los naftalenos más clorados pueden provocar lesiones hepáticas graves, caracterizadas por atrofia aguda amarilla o necrosis subaguda. Los cloronaftalenos también tienen un efecto fotosensibilizante sobre la piel.

Los PCBs pueden penetrar en el organismo humano por vía percutánea, respiratoria o digestiva durante la fabricación y/o manipulación de estos compuestos. Son sustancias muy lipofílicas que se difunden rápidamente en el tejido adiposo. Se metabolizan en el hígado, tanto más despacio cuanto mayor sea el contenido de cloro del isómero. De ahí que estos compuestos tardan mucho en eliminarse y puedan detectarse en el tejido adiposo años después de la exposición. Los isómeros bifenílicos con un elevado índice de cloración son metabolizados muy lentamente en el organismo, de manera que sus tasas de eliminación son muy bajas (se excretó menos del 20 % del 2,4,5,2',4',5'-hexaclorobifenilo durante el tiempo que vivieron una serie de ratas a las que se administró una sola dosis intravenosa de este compuesto).

Aunque la fabricación, distribución y utilización de PCBs se prohibió en Estados Unidos en 1977 y posteriormente en otros países, la exposición accidental (por fugas o contaminación ambiental) sigue siendo motivo de preocupación. No es raro que los transformadores que contienen PCBs se incendien o exploten, contaminando el medio ambiente con PCBs y productos tóxicos originados en su descomposición. En algunos trabajadores expuestos, el perfil de la cromatografía de gases correspondiente a los residuos de PCBs es diferente al de la población general. La dieta, la exposición concomitante a otros xenobióticos y determinadas características bioquímicas individuales también pueden influir en los perfiles de la cromatografía de gases de los PCBs. La disminución de los niveles plasmáticos de PCBs tras cesar la exposición fue relativamente rápida en los trabajadores expuestos durante cortos periodos de tiempo y muy lenta en los expuestos durante más de 10 años y/o en los expuestos a mezclas de PCBs con un alto índice de cloración.

En las personas expuestas a PCBs por razones profesionales se ha detectado un amplio abanico de efectos nocivos para la salud, como alteraciones de la piel y las mucosas; inflamación de los

párpados, quemaduras en los ojos y lagrimeo excesivo. También pueden aparecer sensación de quemazón y edema en la cara y las manos, erupciones eritematosas simples con prurito, eczema agudo de contacto (erupciones vesiculoeritematosas), cloracné (una forma de acné extremadamente rebelde), hiperpigmentación de la piel y las mucosas (conjuntiva, palpebral y gingival), decoloración de las uñas y engrosamiento de la piel. En muchos casos se produce irritación de las vías respiratorias altas y, en un porcentaje relativamente alto de los trabajadores expuestos en una fábrica de condensadores eléctricos, se detectó una disminución de la capacidad vital forzada, sin que se acompañara de alteraciones radiológicas.

Pueden también producirse síntomas digestivos tales como: dolor abdominal, anorexia, náuseas, vómitos e ictericia y, rara vez, coma y muerte del paciente. En estos últimos casos mortales, las autopsias han revelado la existencia de atrofia amarilla aguda del hígado.

Asimismo, se han encontrado en diferentes proporciones otros síntomas neurológicos como: cefaleas, mareos, depresión, nerviosismo, etc. y, en ocasiones, fatiga, pérdida de peso, disminución de la libido, mialgias y altralgias.

La IARC ha asignado los PCBs al Grupo 2A (probables carcinógenos humanos). Tras el desastre ecológico ocurrido en Yusho, Japón, donde los PCBs contaminaron aceites comestibles, se observó un aumento de la tasa de tumores malignos. Los embarazos patológicos (toxemia, abortos, mortinatos, recién nacidos de bajo peso, etc.) se relacionaron con un aumento de los niveles séricos de PCBs en los enfermos de Yusho y en la población general.

Los *PBBs (bifenilos polibromados)* son análogos químicos de los PCBs con bromo en lugar de cloro en los anillos bifenílicos. Al igual que en los PCBs, existen numerosos isómeros, aunque los PBBs comerciales son, en su mayoría, hexabromados y se han utilizado principalmente como retardadores de llama. Son lipofílicos y se acumulan en el tejido adiposo. Se metabolizan muy despacio en el organismo, razón por la cual también se excretan lentamente. Sus efectos en la salud humana se conocen bien debido a un episodio ocurrido en Michigan en 1973 en el que se mezclaron inadvertidamente unos 900 kg de PBBs con pienso para el ganado, tras lo cual numerosas familias granjeras estuvieron expuestas a productos lácteos y cárnicos contaminados. Se observaron efectos tóxicos como acné, sequedad y oscurecimiento de la piel, náuseas, dolores de cabeza, visión borrosa, mareo, depresión, fatiga inusual, nerviosismo, somnolencia, debilidad, parestesia, pérdida del equilibrio, dolores en las articulaciones, en la espalda y en las extremidades inferiores, aumento de los niveles de las enzimas hepáticas SGPT y SGOT y disminución de la función inmunológica. Se ha detectado la presencia de PBBs en el plasma y el tejido adiposo de personas que trabajan en la producción de PBBs, así como en la leche materna, en la sangre del cordón umbilical, en el líquido biliar y en las heces de mujeres y lactantes expuestos a través de la dieta.

La IARC ha clasificado los PBBs como posibles carcinógenos humanos (Grupo 2B).

### **Dioxina**

La dioxina —2,3,7,8-tetraclorodibenzo-*p*-dioxina (TCDD)— no se produce a escala comercial, si bien se encuentra como impureza en el 2,4,5-triclorofenol (TCP). Asimismo, pueden existir vestigios de esta sustancia en el herbicida 2,4,5-T y en el agente antibacteriano hexaclorofeno, que se obtiene a partir del triclorofenol.

La TCDD se forma, como subproducto, durante la síntesis de 2,4,5-triclorofenol a partir de 1,2,4,5-tetraclorobenceno en condiciones alcalinas por condensación de dos moléculas de

triclorofenato sódico. Cuando se mantiene un control estricto de la temperatura y la presión a medida que avanza la reacción, el 2,4,5-triclorofenol crudo contiene entre 1 mg/kg y 5 mg/kg de TCDD (1-5 ppm). A temperaturas más altas (230 a 260 °C), la formación del producto aumenta.

La estructura química de la TCDD fue identificada en el año 1956 por Sandermann y sus colaboradores, quienes sintetizaron esta sustancia por primera vez. Un técnico de laboratorio que trabajaba en la síntesis fue hospitalizado con cloracné muy severo.

Existen 22 isómeros posibles de la tetraclorodibenzo-*p*-dioxina. La abreviatura TCDD se utiliza normalmente para referirse a la 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-*p*-dioxina, sin excluir la existencia de los otros 21 tetraímeros. La TCDD puede obtenerse para grados químico y toxicológico mediante la condensación catalítica de 2,4,5-triclorofenato potásico.

La TCDD es una sustancia sólida poco soluble en agua y en los disolventes comunes (0,2 ppb) y muy estable frente a la degradación térmica. En presencia de un donante de hidrógeno, se descompone rápidamente por la acción de la luz. Cuando se incorpora a la tierra o a las aguas, prácticamente no se altera.

### Incidencia

La principal fuente de formación de TCDD en el medio ambiente es la reacción térmica, bien durante los procesos químicos de producción de 2,4,5-triclorofenol, bien durante la combustión de productos químicos que puedan contener precursores de las dioxinas en general.

La exposición laboral a TCDD puede ocurrir durante la producción del triclorofenol y sus derivados (2,4,5-T y hexaclorofeno), durante su incineración y durante el uso y el manejo de estos productos químicos y sus residuos.

Asimismo, es posible que se produzca exposición de la población general como consecuencia de programas de aplicación de herbicidas, por la bioacumulación de TCDD en la cadena alimentaria, por inhalación de polvos de cenizas o gases emanados de incineradores municipales e instalaciones industriales, durante la combustión de carbón que contiene esta sustancia en presencia de cloro, por el desenterramiento de residuos químicos, y por contacto con personas que lleven las ropas contaminadas.

### Toxicidad

La TCDD es extremadamente tóxica para los animales de experimentación. Todavía no se comprende el mecanismo por el que se produce la muerte de los mismos y la sensibilidad a los efectos tóxicos varía según la especie. La dosis letal por vía oral oscila entre 0,5 mg/kg para los cobayas y más de 1.000 mg/kg para los hámsters. Los efectos letales son lentos y duran varios días o semanas desde la administración de una dosis única.

El cloracné y la hiperqueratosis son dos características típicas de la toxicidad por TCDD que se observa en conejos, monos y ratones sin pelo, y en el hombre. La TCDD tiene efectos teratogénos y/o embriotóxicos en los roedores. En conejos, la toxicidad parece afectar principalmente al hígado. En monos, el primer signo de toxicidad se manifiesta en la piel, mientras que el hígado permanece relativamente normal. Algunas especies sufren alteraciones del metabolismo de la porfirina hepática. También se han observado inmunosupresión, carcinogénesis, inducción enzimática y mutagénesis en condiciones experimentales. La vida media en ratas y cobayas es de aproximadamente 31 días y la principal vía de excreción son las heces.

K.H. Schulz descubrió en 1957 en Hamburgo que la TCDD era el agente tóxico responsable de las lesiones y los síntomas observados en el ser humano tras la exposición al triclorofenol o al ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético. Este investigador demostró

posteriormente las propiedades cloracnégenas y hepatotóxicas de la TCDD en conejos. En una prueba de autoadministración cutánea (10 mg aplicados dos veces) se demostró también el efecto de la TCDD en la piel humana. Klingmann repitió un experimento humano en 1970 y volvió a comprobar que la aplicación en el hombre de 70 mg/kg producía cloracné evidente.

Se han registrado efectos tóxicos producidos por la TCDD en seres humanos como consecuencia de exposiciones laborales repetidas durante la producción industrial de triclorofenol y 2,4,5-T y exposiciones agudas en fábricas y sus alrededores donde se habían producido accidentes durante la producción de estas sustancias.

### Exposición industrial

Se ha estimado que la producción mundial anual de 2,4,5-triclorofenol en el año 1979 fue de unas 7.000 toneladas, la mayor parte de las cuales se destinaron a la producción del herbicida 2,4,5-T y sus sales. Dicho herbicida se aplica con periodicidad anual para controlar el crecimiento de hierbas en los bosques, montes y zonas industriales, urbanas y acuáticas. El uso general de 2,4,5-T se ha suspendido parcialmente en Estados Unidos. En algunos países se ha prohibido su utilización (Italia, Holanda, Suecia); en otros, como Reino Unido, Canadá, Australia y Nueva Zelanda, este herbicida se sigue utilizando. La aplicación normal de 2,4,5-T y sus sales (0,9 kg/acre) podría dispersar no más de 90 mg de TCDD por cada acre tratado con la concentración más alta permitida de 0,1 ppm de TCDD en 2,4,5-T de grado técnico. En el tiempo transcurrido desde que se inició la producción comercial de 2,4,5-T a escala comercial hasta la actualidad (1946-1947), se han producido varios episodios industriales de exposición a TCDD. La mayoría de estas exposiciones han ocurrido durante la manipulación de productos intermedios contaminados, es decir, triclorofenol. En ocho ocasiones, se produjeron explosiones durante la producción de triclorofenato sódico y los trabajadores se vieron expuestos a TCDD en el mismo momento del accidente, durante las tareas de limpieza o por contaminación posterior del ambiente de trabajo. En la literatura se mencionan otros cuatro episodios, si bien no se facilitan datos acerca de las personas afectadas.

### Características clínicas

En estos episodios se han visto envueltas alrededor de 1.000 personas. Se han descrito lesiones y síntomas muy diversos relacionados con la exposición a este producto y se ha descrito la existencia de una relación causal para algunos de ellos. Como síntomas cabe citar:

- dermatológicos: cloracné, porfiria cutánea tardía, hiperpigmentación e hirsutismo
- internos: lesiones hepáticas (fibrosis ligera, degeneración grasa, depósito de hemofucsina y degeneración parenquimatosa celular), aumento de los niveles plasmáticos de enzimas hepáticas, alteraciones del metabolismo de las grasas, alteraciones del metabolismo de los hidratos de carbono, alteraciones cardiovasculares, alteraciones del tracto urinario, alteraciones del aparato respiratorio, alteraciones pancreáticas
- neurológicos: (a) periféricos: polineuropatías, alteraciones sensoriales (vista, oído, olfato, gusto); (b) centrales: cansancio, debilidad, impotencia, pérdida de libido

Realmente, sólo en unos pocos casos se ha producido exposición únicamente a la TCDD. Casi siempre, la contaminación y los síntomas pueden deberse a productos químicos que se utilizan para la fabricación de TCP y sus derivados; es decir, tetraclorobenceno, hidróxido sódico o potásico, etilenglicol o metanol, triclorofenato sódico, monocloracetato sódico y algunos otros

compuestos dependiendo del proceso de fabricación. La acción tóxica de la TCDD está probablemente relacionada con cuatro signos clínicos, todos ellos sugeridos por los estudios realizados en animales u observados en varios episodios. Estos síntomas son:

- cloracné, presente en la gran mayoría de los casos registrados
- hepatomegalia y, en ocasiones, deterioro de la función hepática
- síntomas neuromusculares ocasionales
- alteración del metabolismo de la porfirina en algunos casos.

**Cloracné.** Desde el punto de vista clínico, el cloracné es una erupción de puntos negros, habitualmente acompañada de pequeños quistes de color amarillo pálido, que en todos los casos, salvo en los más graves, tienen un tamaño que va desde el de una cabeza de alfiler hasta el de una lenteja. En los casos graves pueden aparecer pápulas (manchas rojas) o incluso pústulas (nódulos con pus). Esta enfermedad tiene predilección por la piel de la cara y, especialmente, por la zona malar debajo de los ojos y detrás de las orejas en los casos muy benignos. A medida que aumenta la gravedad, se ve afectado el resto de la cara y del cuello, en tanto que la zona externa de las extremidades superiores, el tórax, la espalda, el abdomen, la cara externa de los muslos y los genitales se ven afectados en diversos grados en los peores casos. Por lo demás, la enfermedad es asintomática y se limita a una desfiguración. Su duración depende en gran medida de la gravedad y en los casos graves pueden quedar lesiones activas incluso 15 años después de que haya cesado el contacto. En las personas estudiadas, diez días después de comenzar la exposición se produjo enrojecimiento de la piel y un ligero aumento de la queratina en los conductos de las glándulas sebáceas que, en la segunda semana, fue seguido de taponamiento del infundíbulo. A continuación desaparecen las células sebáceas y son reemplazadas por quistes de queratina y comedones que persisten durante muchas semanas.

El cloracné se produce frecuentemente como consecuencia del contacto cutáneo con el producto químico causante, pero también aparece tras su ingestión o inhalación. En estos casos casi siempre es grave y puede ir acompañado de signos de lesiones sistémicas. El cloracné, por sí mismo, carece de gravedad, pero es indicativo de que la persona ha estado expuesta, aunque sea mínimamente, a una toxina cloracnégena. Por esta razón constituye el indicador más sensible que existe para identificar a las personas que están sometidas a una sobreexposición a TCDD. Sin embargo, la ausencia de cloracné no indica ausencia de exposición.

**Hepatomegalia y alteraciones de la función hepática.** Tras la exposición a esta sustancia, en algunos casos puede detectarse un aumento de los valores séricos de transaminasas que, por regla general, se normalizan en pocas semanas o meses. No obstante, las pruebas de función hepática pueden ser normales incluso en casos de exposición a concentración ambientales de TCDD de 1.000 ppm que producen cloracné grave. En el 50 % de los casos se han observado también signos clínicos de disfunción hepática como trastornos abdominales, gastropatías, pérdida de apetito, intolerancia a ciertos alimentos y hepatomegalia.

La laparoscopia y la biopsia del hígado mostraron ligeras alteraciones fibrosas, depósitos de hemofucsina, degeneración grasa y ligera degeneración de las células del parénquima en algunos de estos casos. Las lesiones hepáticas causadas por TCDD no se caracterizan necesariamente por hiperbilirrubinemia.

Los estudios de seguimiento de los casos que en la actualidad aún presentan lesiones acneiformes después de 20 años o más, han indicado que la hepatomegalia y la alteración de las pruebas funcionales hepáticas desaparecen. En casi todos los animales de experimentación, las lesiones hepáticas no son de magnitud suficiente como para provocar la muerte.

**Efectos neuromusculares.** Las manifestaciones más discapacitantes parecen ser, en algunos casos, la existencia de intensos dolores musculares que se agravan con el ejercicio, especialmente en la pelvis y los muslos, así como en la zona torácica, fatiga, debilidad de los miembros inferiores y alteraciones sensoriales.

En los animales, el sistema nervioso central y el periférico no se ven afectados por la toxicidad de la TCDD. No se han realizado estudios en animales que justifiquen la presencia de adinamia muscular o alteración de la función musculoesquelética en las personas expuestas a TCDD. Por consiguiente, este efecto podría estar relacionado con la exposición simultánea a otros productos químicos.

**Alteración del metabolismo de la porfirina.** La exposición a TCDD se ha asociado a alteraciones del metabolismo intermediario de los lípidos, los hidratos de carbono y las porfirinas. En animales, la TCDD produjo una acumulación de uroporfirina en el hígado, con aumento del ácido  $\delta$ -aminolevulínico (ALA) y de la excreción de uroporfirina en la orina. En los trabajadores expuestos a TCDD se ha observado un aumento de la excreción de uroporfirinas. Esta anomalía se traduce en un aumento cuantitativo de la excreción urinaria de uroporfirinas y un cambio en la proporción con la coproporfirina.

### Efectos crónicos

La TCDD produce diversos efectos perjudiciales en la salud de animales y seres humanos, como inmunotoxicidad, teratogenicidad, carcinogenicidad y letalidad. Los efectos agudos en animales pueden originar la muerte por emaciación, a menudo acompañada de atrofia del timo, una glándula que desempeña un papel activo en la función inmunológica de los animales adultos (pero no de las personas adultas). La TCDD provoca cloracné, un síndrome cutáneo grave, en animales y seres humanos y altera la función inmunológica en muchas especies. Las dioxinas provocan malformaciones congénitas y otros problemas reproductivos en los roedores, como el paladar hendido y la deformación de los riñones.

En los trabajadores sometidos a exposiciones intensas, se ha observado cloracné y otros síndromes cutáneos, porfiria cutánea tardía, aumento de los niveles plasmáticos de las enzimas hepáticas, alteraciones del metabolismo de las grasas y los hidratos de carbono, polineuropatías, debilidad, pérdida de libido e impotencia.

**Teratogenicidad y embriotoxicidad.** La TCDD es un teratógeno extremadamente potente en roedores, especialmente en ratones, provocando paladar hendido e hidronefrosis. La TCDD causa toxicidad reproductiva, como disminución de la producción de esperma en mamíferos. En grandes dosis, la TCDD es embriotóxica (letal para el feto en desarrollo) en muchas especies. Sin embargo, existen pocos estudios de toxicidad reproductiva en el ser humano. Los escasos datos disponibles sobre la población expuesta a TCDD como consecuencia del accidente de Seveso, ocurrido en 1976, no indican que se haya producido un aumento de la tasa de malformaciones congénitas, si bien el número de casos estudiados fue demasiado pequeño como para poder detectar un aumento de malformaciones muy raras. La ausencia de datos históricos y la posibilidad de que los informes fueran desvirtuados hace difícil evaluar la frecuencia de abortos espontáneos en esta población.

**Carcinogenicidad.** En animales de laboratorio, la TCDD provoca cáncer en distintas zonas, como los pulmones, la cavidad buconasal, las glándulas suprarrenales, el tiroides y el hígado de las ratas y los pulmones, el hígado, el tejido subcutáneo, la glándula tiroides y el sistema linfático de los ratones. Por esta razón, muchos estudios de trabajadores expuestos a dioxinas se han centrado en la incidencia de cáncer. Ha sido más difícil realizar estudios concluyentes en seres humanos porque los trabajadores

suelen verse expuestos a mezclas contaminadas por dioxinas (como los fenoxiherbicidas), más que a dioxina pura. Por ejemplo, en estudios de casos y controles se ha observado que los trabajadores agrícolas y forestales expuestos a herbicidas tienen un mayor riesgo de sufrir sarcoma de los tejidos blandos y linfoma no hodgkiniano.

Se han realizado numerosos estudios de cohortes humanas, si bien pocos de ellos han obtenido resultados concluyentes debido al número relativamente pequeño de trabajadores empleados en cualquier planta de producción. En 1980, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) emprendió un estudio de mortalidad en una cohorte multinacional en el que actualmente participan más de 30.000 trabajadores y trabajadoras de 12 países, cuyo empleo se extiende desde 1939 hasta la actualidad. Un informe publicado en 1997 apuntaba a una tasa dos veces superior a la normal de sarcoma de los tejidos blandos y un aumento pequeño, pero significativo, de la mortalidad global por cáncer (710 fallecimientos, tasa de mortalidad ajustada = 1,12; intervalo de confianza del 95 % = 1,04 - 1,21). Las tasas de mortalidad por linfoma no hodgkiniano y cáncer de pulmón también fueron ligeramente superiores a lo normal, sobre todo en trabajadores expuestos a herbicidas contaminados por TCDD. En un estudio de casos y controles anidados en esta cohorte, la exposición a fenoxiherbicidas se asoció a un riesgo diez veces mayor de sarcoma de tejidos blandos.

### Diagnóstico

El diagnóstico de la contaminación por TCDD realmente se basa en la historia lógica de la posibilidad (correlación cronológica y geográfica) de exposición a sustancias que se sabe que contienen TCDD como contaminante y en la demostración de contaminación por TCDD en el ambiente mediante análisis químico.

Los síntomas y signos clínicos de la toxicidad no están lo suficientemente diferenciados como para permitir su reconocimiento clínico. Se sabe que en el ser humano el cloracné, que es el indicador más sensible de la exposición a TCDD, puede estar producido por:

- cloronaftalenos (CN)
- bifenilos policlorados (PCB)
- bifenilos polibromados (PBB)
- dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD)
- dibenzofuranos policlorados (PCDF)
- 3,4,3,4-tetraclorazobenceno (TCAB)
- 3,4,3,4-tetraclorazobenceno (TCAOB).

La determinación en laboratorio de la TCDD en el organismo humano (sangre, órganos, sistemas, tejidos y grasa) solamente sirve para demostrar el depósito real de TCDD en el organismo, pero se desconoce el nivel al que es capaz de provocar toxicidad en el hombre.

### Medidas de salud y seguridad

Las medidas de salud y seguridad son similares a las recomendadas para los disolventes. En general, debe reducirse al mínimo el contacto con la piel y la inhalación de vapores. Para ello, la medida más eficaz es el aislamiento del proceso de fabricación y la existencia de un sistema eficaz de ventilación junto con extractores locales en los principales focos de exposición. Los equipos de protección personal deberán consistir en respiradores con filtros industriales y protectores del rostro, los ojos, las manos y los brazos. Las ropas de trabajo deberán inspeccionarse y lavarse con frecuencia. Una buena higiene personal, incluida la ducha diaria, es muy importante para los trabajadores que manipulan *cloronaftalenos*. Con algunos productos, como el cloruro de bencilo, deben realizarse exámenes médicos periódicos. A conti-

nuación se comentan algunos aspectos específicos de los PCBs relacionados con la salud y la seguridad.

### Bifenilos policlorados

En el pasado, la concentración de PCBs en las atmósferas de trabajo de las industrias donde se manipulan estos productos eran variables, pero a menudo superaban los 10 mg/m<sup>3</sup>. A la vista de los efectos tóxicos observados con esas concentraciones, en Estados Unidos (Código de Reglamentos Federales de Estados Unidos, 1974) y en otros países se adoptó un TLV de 1 mg/m<sup>3</sup> para los bifenilos con un bajo índice de cloración (42 %) y de 0,5 mg/m<sup>3</sup> para los de alto índice de cloración (54 %). Estos límites siguen vigentes en la actualidad.

La concentración de PCBs en los ambientes de trabajo debe controlarse anualmente para comprobar la eficacia de las medidas preventivas encaminadas a mantener dichas concentraciones dentro de los niveles recomendados. Los análisis deben repetirse en los 30 días siguientes a cualquier cambio que se realice en los procesos tecnológicos que pueda aumentar la exposición de los trabajadores a PCBs.

En caso de producirse fugas o derrames de PCBs, habrá que proceder a una evacuación inmediata del personal. Para ello, las salidas de emergencia deberán estar convenientemente señalizadas y existirán instrucciones claras respecto a los procedimientos de emergencia que deben seguirse, teniendo en cuenta las características tecnológicas especiales de cada industria. Sólo podrá penetrar en la zona contaminada personal convenientemente entrenado y siempre que vaya provisto de equipos de protección adecuados. Las tareas que debe realizar el personal de emergencia son: reparación de las fugas, limpieza de los derrames (se echará arena o tierra sobre toda la superficie del derrame) y extinción de incendios.

Los trabajadores recibirán información sobre los efectos adversos para la salud derivados de la exposición profesional a los PCBs, así como sobre los efectos cancerígenos comprobados en animales expuestos experimentalmente a PCB y los efectos negativos sobre la actividad reproductora de mamíferos y del hombre con niveles de PCBs relativamente altos. Las mujeres en estado de gestación deberán evitar las zonas contaminadas con PCBs, puesto que estos compuestos pueden ser nocivos para su salud y para el feto, ya que atraviesan la barrera placentaria y ejercen efectos fetotóxicos. A estas trabajadoras se les debe ofrecer la posibilidad de realizar otros trabajos durante el embarazo y la lactancia, si bien esta última se desaconseja debido a la gran cantidad de PCBs que se excretan en la leche materna (la cantidad de PCB transmitidos al lactante a través de la leche es mayor que la que atraviesa la placenta). Se ha observado una correlación significativa entre los niveles plasmáticos de PCBs en madres expuestas en sus trabajos a estos compuestos y los niveles de PCBs en la leche. Si estas madres amamantan a sus hijos durante más de 3 meses, los niveles de PCBs en los niños superan a los de sus respectivas madres y quedan retenidos en los organismos de los niños durante muchos años. No obstante, la extracción y el desecho de leche puede ayudar a disminuir el contenido de PCBs en el organismo de las madres.

El acceso a las zonas donde se trabaje con PCBs debe restringirse al personal autorizado. Estos trabajadores pasarán provistos de ropas protectoras adecuadas: monos de trabajo con mangas largas, botas, cubrebotas y mandiles de tipo babero que lleguen a cubrir la parte alta de las botas. Asimismo, tendrán que utilizar guantes para reducir la absorción cutánea durante tareas especiales. Se prohibirá terminantemente manipular sin guantes materiales que contengan PCBs fríos o calientes. (La cantidad de PCBs que se absorbe a través de la piel intacta puede ser igual o, incluso, mayor que la absorbida por inhalación.) Todos los días se proveerá al personal de ropa de trabajo limpia, que se

inspeccionará periódicamente para detectar posibles deterioros. Para la protección de los ojos se utilizarán gafas provistas de protección lateral. Los equipos de protección respiratoria (que deben cumplir los requisitos legales) se utilizarán en aquellas zonas donde existan vapores de PCBs y durante las operaciones de instalación y reparación de depósitos y en trabajos de emergencia, cuando se desconozca la concentración de PCBs o ésta supere el TLV. La ventilación de las naves de trabajo evitará la acumulación de vapores. (Una vez usados, los equipos de protección respiratoria se deben limpiar y almacenar en un lugar adecuado.)

Los empleados deben lavarse las manos antes de comer, beber o fumar, y abstenerse de realizar estas actividades en las naves contaminadas. Las ropas de calle se guardarán en taquillas separadas de las ropas de trabajo y, antes de cambiarse, los trabajadores deberán ducharse. En las cercanías de los puestos de trabajo existirán duchas, fuentes para el lavado de los ojos e instalaciones sanitarias.

Será necesario realizar exámenes clínicos periódicos de los trabajadores (al menos una vez al año), en los que se prestará la máxima atención a posibles dermatopatías, alteraciones de la función hepática y posibles efectos en la reproducción.

### **Dioxina**

La experiencia de exposición laboral a TCDD, bien sea por un accidente durante los procesos de producción de triclorofenol y sus derivados, bien como consecuencia de procesos industriales normales, ha demostrado que las lesiones que provoca esta sustancia pueden incapacitar por completo a los trabajadores durante varias semanas o incluso meses. La resolución y cicatrización de las lesiones puede llegar a lograrse, pero en algunas casos las lesiones cutáneas y viscerales se hacen tórpidas y reducen la capacidad laboral del individuo en un 20-50 % durante más de 20 años. La toxicidad por TCDD puede evitarse mediante un control estricto de los procesos químicos donde interviene este producto. Unas buenas prácticas de fabricación pueden eliminar el riesgo de exposición de los trabajadores que manipulan los productos y de la población general. En caso de accidente, es decir, si el proceso de síntesis del 2,4,5-triclorofenol queda fuera de control y se liberan grandes cantidades de TCDD, los afectados deberán quitarse las ropas contaminadas inmediatamente para evitar la contaminación de la piel y de otras partes del cuerpo. Las zonas expuestas se lavarán cuanto antes y repetidamente hasta que se obtenga atención médica. Se recomienda que los trabajadores que se ocupen de las labores de descontaminación después de un accidente, utilicen equipos de protección desechables para proteger la superficie cutánea y prevenir la

exposición al polvo y a los vapores de los materiales contaminados. Asimismo, se usarán máscaras contra gases si se sospecha que durante alguna tarea pudiera producirse inhalación de productos contaminados en suspensión aérea.

Todos los trabajadores estarán obligados a ducharse a diario al final de la jornada laboral. Las ropas y el calzado de calle no debe entrar nunca en contacto con las ropas y el calzado de trabajo. La experiencia ha demostrado que varias esposas de trabajadores afectados por cloracné también desarrollaron la enfermedad aunque nunca hubieran estado en la fábrica donde se producía triclorofenol. Algunos de los hijos también sufrieron una experiencia similar. En el caso del personal de laboratorio que trabaja con TCDD o con productos contaminados y del personal sanitario, como enfermeras y auxiliares sanitarios, que tratan con trabajadores enfermos o personas contaminadas, tendrán que adoptarse las mismas medidas preventivas recomendadas para los trabajadores en caso de accidente. El personal encargado del cuidado de los animales de experimentación o cualquier personal técnico que tenga contacto con materiales contaminados o con instrumentos y material de vidrio utilizado para los análisis de TCDD, debe ser consciente de la toxicidad de esta sustancia y manejarla debidamente. La eliminación de residuos, incluidos los cadáveres de los animales de experimentación, requiere métodos especiales de incineración. El material de vidrio, las encimeras, los instrumentos y las herramientas deben controlarse con regularidad, mediante pruebas de arrastre (arrastrar sobre un papel filtrante y determinar la cantidad de TCDD). Los envases de TCDD, así como el material de vidrio y las herramientas, estarán separados y toda la zona de trabajo permanecerá aislada.

Para la protección del público en general y, especialmente, de aquellas personas (aplicadores de herbicidas, personal de hospitales, etcétera) más expuestas a posibles riesgos, los organismos reguladores de todo el mundo impusieron en 1971 una especificación, en la fabricación, de un máximo de 0,1 ppm de TCDD. Gracias a las mejoras constantes en los procesos de fabricación, el grado comercial del producto contenía en 1980 0,01 ppm de TCDD o menos.

Esta especificación pretende evitar toda exposición a cantidades que puedan plantear un riesgo importante para las personas y su acumulación en la cadena alimentaria humana. Además, para evitar la contaminación de la cadena alimentaria humana, aunque sea por cantidades mínimas de TCDD que pudieran estar presentes en pastos o pastizales inmediatamente después de la aplicación de 2,4,5-T, no debe permitirse que los animales destinados a la producción láctea pasten en las zonas tratadas con este producto hasta que pasen entre una y seis semanas desde la fecha de su aplicación.

TABLAS DE HIDROCARBUROS AROMATICOS HALOGENADOS

Tabla 104.109 • Identificación química.

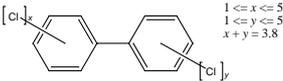
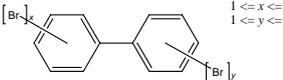
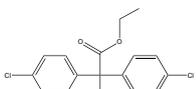
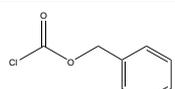
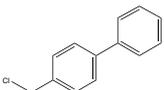
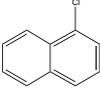
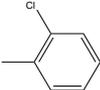
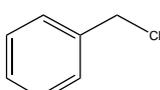
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
BENZALCLORURO	Dicloruro de bencilo; cloruro de bencileno; cloruro de bencilideno; clorobenzal UN1886	98-87-3	
BIFENILO POLICLORADO (AROCLOR 1242)	Clorodifenilo (42 % de cloro)	53469-21-9	
BIFENILO POLICLORADO (AROCLOR 1254)	Clorodifenilo (54 % de cloro); PCB	11097-69-1	
BIFENILOS POLIBROMADOS	Hexabromobifenilo (grado técnico); PBB	59536-65-1	
BROMOBENCENO	Bromobenceno; monobromobenceno; bromuro de fenilo UN2514	108-86-1	
BROMURO DE BENCILO	α-Bromotolueno; bromometilbenceno; bromofenilmetano UN1737	100-39-0	
CANFENO CLORADO	Toxafeno; clorocanfeno; octaclorocanfeno; PCC	8001-35-2	
CLOROBENZILATO	4,4'-Diclorobenzilato; éster etílico del ácido 4,4'-diclorobencilico; etil- <i>p,p'</i> -diclorobenzilato; etil-4,4'-diclorobenzilato	510-15-6	
CLOROFORMIATO DE BENCILO	Cloruro de bencilcarbonilo; bencilclorocarbonato; BZCF; carbobenzoxicloruro UN1739	501-53-1	
4-CLOROMETILBIFENILO	4-(Clorometil)-1'-bifenilo; 4-CMB; <i>p</i> -fenilbencilcloruro; 4-fenilbencilcloruro	1667-11-4	
1-CLORONAFTALENO	α-Cloronaftaleno	90-13-1	
o-CLOROTOLUENO	1-Cloro-2-metilbenceno; 2-cloro-1-metilbenceno; o-clorotolueno; 2-clorotolueno; 1-metil-2-clorobenceno; 2-metilclorobenceno UN2238	95-49-8	
CLORURO DE BENCENO	Clorbenceno; clorbenzol; clorobenceno; monoclorobenceno; monoclorobenceno; cloruro de fenilo UN1134	108-90-7	
CLORURO DE BENCILO	Clorometilbenceno; clorofenilmetano; a-clorotolueno; cloruro de tolijo UN1738	100-44-7	

Tabla 104.109 • Identificación química.

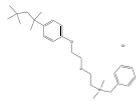
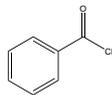
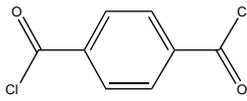
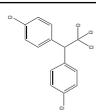
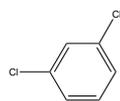
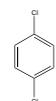
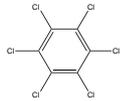
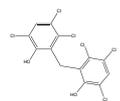
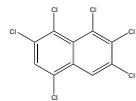
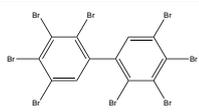
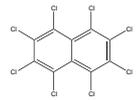
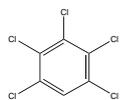
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
CLORURO DE BENZATONIO	Bencetonio; BZT; DIAPP; cloruro de diisobutilfenoxietoxietildim etilbencilamonio	121-54-0	
CLORURO DE BENZOILO	Cloruro de bencenocarbonilo; cloruro de ácido benzoico; cloruro de benzoilo UN1736	98-88-4	
CLORURO DE TEREFTALOILO	Cloruro de 1,4-bencenodicarbonilo; dicloruro de 1,4-bencenodicarbonilo; dicloruro de <i>p</i> -fenilendicarbonilo; cloruro de ácido tereftálico; dicloruro de ácido tereftálico	100-20-9	
CUMARINA		91-64-5	
DDT	Diclorodifeniltricloroetano; 2,2-bis-( <i>p</i> -clorofenil)-1,1,1-tricloroetano; clorofenotano; difeniltricloroetano; paraclorocidum; triclorobis-(4-clorofenil)-etano	50-29-3	
<i>m</i> -DICLOROBENCENO	1,3-Diclorobenceno; <i>m</i> -diclorobenzol; <i>m</i> -fenilendicloruro	541-73-1	
<i>o</i> -DICLOROBENCENO	1,2-Diclorobenceno; ortodiclorobenceno; ortodiclorobenzol UN1591	95-50-1	
<i>p</i> -DICLOROBENCENO	<i>p</i> -Clorofenilcloruro; diclorida; <i>p</i> -diclorobenceno; 1,4-diclorobenceno; <i>p</i> -diclorobenzol; paradiclorobenceno; paradiclorobenzol; UN1592	106-46-7	
HEXACLOROBENCENO	Granox NM; HCB; Hexa C.B.; cloruro de carbono de Julin; pentaclorofenilcloruro; perclorobenceno; fenilperclorilo UN2729	118-74-1	
HEXACLOROFENO	Bis-(2-hidroxi-3,5,6-triclorofenil)-metano; bis-(3,5,6-tricloro-2-hidroxifenil)-metano; 2,2'-metilen-bis-(3,4,6-triclorofenol) UN2875	70-30-4	
HEXACLORONAFTALENO	Halowax 1014	1335-87-1	
OCTABROMOBIFENILO	Octabromodifenilo	27858-07-7	
OCTACLORONAFTALENO		2234-13-1	
PENTAACLOROBENCENO	PCB; QCB	608-93-5	

Tabla 104.109 • Identificación química.

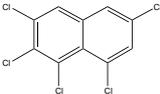
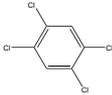
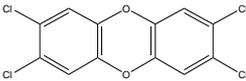
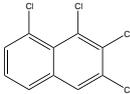
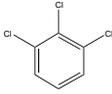
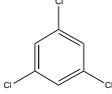
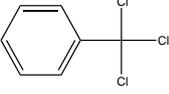
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
PENTACLORONAFTALENO		1321-64-8	
1,2,4,5-TETRACLOROBENCENO	Tetracloruro de benceno; <i>sim</i> -tetraclorobenceno	95-94-3	
2,3,7,8-TETRACLORODIBENZO- <i>p</i> -DIOXINA	Dioxina; TCDBD; TCDD; 2,3,7,8-TCDD; 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-1,4-dioxina; tetradioxina	1746-01-6	
TETRACLORONAFTALENO	Halowax; tetracloronaftaleno	1335-88-2	
1,2,3-TRICLOROBENCENO	<i>vic</i> -Triclorobenceno; 1,2,6-triclorobenceno	87-61-6	
1,2,4-TRICLOROBENCENO	1,2,4-Triclorobenceno; 1,2,5-triclorobenceno; 1,3,4-triclorobenceno; 1,2,4-triclorobenzol	120-82-1	
1,3,5-TRICLOROBENCENO	<i>sim</i> -Triclorobenceno	108-70-3	
TRICLOROMETILBENCENO	Cloruro de bencenilo; tricloruro de bencenilo; tricloruro benzoico; benzotricloruro; tricloruro de bencilo UN2226	98-07-7	
TRICLORONAFTALENO	Halowax; cera Nibren; cera Seekay; tricloronaftaleno	1321-65-9	

Tabla 104.110 • 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
BENZALCLORURO 98-87-3	ojos; piel; tract resp; SNC		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dificultad respiratoria, náuseas, dolor de garganta Enrojecimiento, dolor irritante, irritante Enrojecimiento, dolor irritante Sensación de quemazón, vómitos		
BIFENILO POLICLORADO (AROCOR 1254) 11097-69-1	ojos	piel; hígado	Piel Ojos Ingestión	Puede absorberse, sequedad de piel, enrojecimiento, cloracné Enrojecimiento, dolor Cefalea, entumecimiento, fiebre	Piel; ojos; hígado; sis repro [en animales: tumores de la glándula pituitaria y de hígado, leucemia] Inh; abs; ing; con	Irrit ojos; cloracné; les hepáticas; efectos repro; [carc]

Tabla 104.110 • 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
CANFENO CLORADO 8001-35-2	SNC		Piel Ojos Ingestión	Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento Convulsiones, mareo, náuseas, vómitos	Piel; SNC [en animales: cáncer de hígado] Inh; abs; ing; con	Náu, conf, agitación, temblores, convuls, desco; piel seca, enrojecida; [carc]
CLORURO DE BENCILO 108-90-7	pulmones	piel; SNC; sangre; hígado; riñones; malformaciones congénitas	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sopor, cefalea, náuseas, inconsciencia Puede absorberse, sequedad de piel, enrojecimiento, rugosidad Enrojecimiento Dolor abdominal	sis resp; ojos; piel; SNC; hígado Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz; sop, desco; depres SNC; en animales: les hepáticas, pulmonares, renales
CLORURO DE BENCILO 100-44-7	ojos; piel; tract resp; SNC	hígado; riñones; reproducción humana	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, náuseas, cefalea, disnea, mareo Enrojecimiento, dolor, Puede absorberse Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, lesiones en la córnea o daños oculares permanentes, quemaduras profundas graves Dolor abdominal, diarrea, vómitos, sensación de quemazón detrás del esternón	Ojos; sis resp; piel; SNC Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz; deb; irrit; cef; erupción cutánea, edema pulm
CLORURO DE BENZATONIO 121-54-0	ojos; piel; tract resp	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Enrojecimiento Enrojecimiento, lesiones en la córnea Diarrea, náuseas, vómitos, colapso, convulsiones, coma		
CLORURO DE TEREFTALOILO 100-20-9	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, náuseas Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Sensación de quemazón, tos, vómitos		
CUMARINA 91-64-5	sangre					
DDT 50-29-3					SNC; riñones; hígado; piel; ojos; SNP [en animales: tumores hepáticos, pulmonares y linfáticos] Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel; pares en lengua, labios, rostro; temblores; apre, mar, conf, mal, cef, ftg; convuls; pares en manos; vómit; [carc]
p-DICLOROBENCENO 106-46-7	ojos; piel; tract resp; hígado; riñones	hígado; riñones; pulmones; piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, sopor, cefalea, náuseas, disnea, vómitos Enrojecimiento Dolor Sensación de quemazón, convulsiones, diarrea	Hígado; sis resp; ojos; riñones; piel [en animales: cáncer de hígado y riñón] Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, hinchazón periorb; rinitis profusa; cef, anor, náu, vómit; bajo-p, ict, crr; en animales: les hepáticas, renales; [carc]
HEXACLOROBENCENO 118-74-1		hígado; piel; SNC	Piel	Puede absorberse		
PENTACLOROBENCENO 608-93-5	SNC	riñones; hígado; sistema reproductor	Inhalación Ingestión	Véase ingestión Vómitos, debilidad, temblores		
PENTACLORONAFTALENO 1321-64-8	ojos; piel; tract resp	piel; hígado	Inhalación Piel Ojos	Dolor de garganta Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor	Hígado; piel; SNC Inh; abs; ing; con	Cef, ftg, vért, anor; prurito, erupciones cutáneas acneiformes; ict, necr hepática
1,2,4,5-TETRACLOROBENCENO 95-94-3	piel; tract resp		Inhalación Ingestión	Sensación de quemazón, tos, disnea Mareo, náuseas, inconsciencia, vómitos, debilidad		
1,2,4-TRICLOROBENCENO 120-82-1	ojos; piel; tract resp	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta Enrojecimiento, aspereza Enrojecimiento, dolor Vómitos	Ojos; piel; sis repro; hígado; sis resp Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, muc; en animales: les hepáticas, renales; posibles efectos terato

Tabla 104.110 • 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
1,3,5-TRICLORO BENCENO 108-70-3	piel; tract resp; pulmones	piel; hígado; riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, embotamiento, disnea, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, dolor, desengrasa la piel Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal, náuseas, dolor de garganta		
TRICLOROMETILBENCENO 98-07-7	ojos; piel; tract resp; pulmones		Inhalación Piel Ojos	Tos, embotamiento, disnea, dolor de garganta, inconsciencia, síntomas de efectos retardados Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, pérdida de visión		
TRICLORONAFTALENO 1321-65-9	ojos; piel	piel; hígado	Piel Ojos Ingestión	Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Náuseas, vómitos	Piel; hígado Inh; abs; ing; con	Anor, náu; vért; ict, les hepáticas

Tabla 104.111 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división (UN)/Riesgos subsidiarios
BENZALCLORURO 98-87-3		En contacto con superficies calientes o llamas, se descompone liberando vapores tóxicos de compuestos clorados. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes o metales. En contacto con el aire, emite vapores corrosivos (cloruro de hidrógeno)	6.1
BIFENILO POLICLORADO (AROCLOR 1254) 11097-69-1		Se descompone en contacto con el fuego, produciendo gases tóxicos e irritantes	9
BROMOBENCENO 108-86-1			3
BROMURO DE BENCILO 100-39-0			6.1/ 8
CANFENO CLORADO 8001-35-2		Se descompone al calentarse, al arder o por efecto de álcalis, luz solar intensa y catalizadores como el hierro, produciendo vapores tóxicos. Ataca el hierro. Incompatible con pesticidas fuertemente alcalinos	
CLOROBENZILATO 510-15-6			6.1
CLOROFORMIATO DE BENCILO 501-53-1			8
o-CLOROTOLUENO 95-49-8			3
5-CLORO-o-TOLUIDINA 95-79-4			6.1
CLORURO DE BENCENO 108-90-7	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse por el suelo; posible ignición a distancia	Se descompone al calentarse, al arder y en contacto con superficies calientes, produciendo vapores tóxicos y corrosivos. Reacciona con oxidantes fuertes. Reacciona violentamente con cloratos, dimetilsulfóxido y metales alcalinos, con peligro de incendio y explosión. Ataca el caucho	3
CLORURO DE BENCILO 100-44-7		Se polimeriza bajo la influencia de todos los metales comunes excepto el níquel y el plomo, produciendo vapores corrosivos (cloruro de hidrógeno), con peligro de incendio o explosión. En su combustión se forman vapores tóxicos y corrosivos (cloruro de hidrógeno). Reacciona violentamente con oxidantes fuertes. Reacciona con agua, produciendo vapores corrosivos (cloruro de hidrógeno). Ataca muchos metales en presencia de agua	6.1/ 8
CLORURO DE BENZATONIO 121-54-0		En su combustión libera gases tóxicos e irritantes (cloruro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno y carbono). Desprende vapores tóxicos en contacto con el fuego	

Tabla 104.111 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división (UN)/Riesgos subsidiarios
CLORURO DE BENZOILO 98-88-4	El vapor es más pesado que el aire	En contacto con superficies calientes o llamas, se descompone liberando gases altamente tóxicos y corrosivos (fosgeno y HCl) Se descompone violentamente al calentarse o en contacto con álcalis, aminas, otros compuestos básicos y DMSO, con peligro de incendio y explosión Reacciona violentamente con oxidantes fuertes Reacciona con agua o vapor de agua desprendiendo calor y vapores tóxicos y corrosivos Ataca muchos metales con formación de gas hidrógeno inflamable, y también en contacto con sales metálicas, alcoholes, aminas y bases fuertes	8
p-DICLOROBENCENO 106-46-7	El vapor es más pesado que el aire	En su combustión libera vapores tóxicos y corrosivos como el fosgeno y el cloruro de hidrógeno Se descompone en contacto con ácidos o vapores ácidos, produciendo vapores altamente tóxicos Reacciona con oxidantes fuertes, agentes reductores fuertes y metales alcalinos, con peligro de incendio y explosión Ataca algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos	
HEXACLOROFENO 70-30-4			6.1
HEXACLOROBENCENO 118-74-1		Se descompone al calentarse, produciendo vapores tóxicos Reacciona violentamente con dimetilformamida por encima de 65 °C	6.1
OCTACLORONAFTALENO 2234-13-1		Se descompone al calentarse, produciendo vapores tóxicos (cloro)	
PENTACLOROBENCENO 608-93-5		Se descompone al calentarse o en contacto con ácidos o vapores ácidos, produciendo vapores tóxicos e irritantes (cloruro de hidrógeno)	4.1
PENTACLORONAFTALENO 1321-64-8		En contacto con superficies calientes o llamas, se descompone y produce vapores tóxicos de cloro	
1,2,4,5-TETRACLOROBENCENO 95-94-3	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o gránulos y se mezcla con el aire	En su combustión se produce fosgeno Se descompone al calentarse o al arder, desprendiendo vapores tóxicos y corrosivos como el cloruro de hidrógeno y el fosgeno Reacciona violentamente con bases y oxidantes fuertes, con peligro de explosión Cuando se calienta con hidróxido sódico y un disolvente (metanol o etilenglicol) para producir triclorofenol, se pueden producir explosiones violentas	3
1,2,3-TRICLOROBENCENO 87-61-6			6.1
1,2,4-TRICLOROBENCENO 120-82-1		Se descompone al calentarse o al arder, produciendo vapores tóxicos e irritantes (fosgeno, cloro y cloruro de hidrógeno) Reacciona violentamente con oxidantes, ácidos y vapores ácidos	6.1
1,3,5-TRICLOROBENCENO 108-70-3			6.1
TRICLOROMETILBENCENO 98-07-7			8
TRICLORONAFTALENO 1321-65-9		Se descompone al calentarse y al arder, liberando vapores tóxicos y corrosivos (incluidos el cloruro de hidrógeno y el fosgeno) Reacciona con oxidantes fuertes, con peligro de incendio y explosión	

Tabla 104.112 • 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)
BENZALCLORURO 98-87-3	líquido oleaginoso incolore	205	-17	161,03	insol	1,26	5,6	0,04	1 li 11 ls	93	
BENZOTRICLORURO 98-07-7	líquido transparente, incolore o amarillento; líquido oleaginoso	221	-5	195,48	reacciona	1,3756	6,77	20 Pa	2,1 li 6,5 ls	127 cc	211

Tabla 104.112 • 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)
BIFENILO POLICLORADO (AROCOLOR 1242) 53469-21-9	aceite móvil incoloro	325–366		261							
BIFENILO POLICLORADO (AROCOLOR 1254) 11097-69-1	líquido viscoso amarillo claro	365–390		327	insol	1,495–1,505 @ 65 °C/ 15,5 °C		0,01 Pa @ 25 °C		> 141	
BROMOBENCENO 108-86-1	líquido móvil; incoloro	156	-30,6	157,02	insol	1,4950	5,41	10 mm Hg @ 40 °C		51	
BROMURO DE BENCILO 100-39-0	líquido transparente; líquido incoloro o amarillo	198–199	-4,0	171,04	insol	1,438 @ 22°C/ 0 °C; 1,443 @ 17 °C	5,9	1,mm Hg @ 32,2 °C, 10 mm Hg @ 73,4 °C			
CANFENO CLORADO 8001-35-2	sólido ceroso amarillo; sólido ceroso ámbar		65–90	414	insol	1,65 @ 25 °C	14,3	53 Pa @ 25(°C)		135	
CLOROBENZILATO 510-15-6	sólido incoloro (puro)	146–148 @ 0,04 mm Hg	36– 37,3	325,20	10 mg/l	1,2816		2,2x10 <sup>6</sup> mm Hg			
CLOROFORMATO DE BENCILO 501-53-1	líquido oleaginoso; líquido incoloro o amarillo pálido	103		170,60		1,20					
4-CLOROMETILBIFENILO 1667-11-4			72	202,67							
1-CLORONAFTALENO 90-13-1	líquido oleaginoso; cristales en alcohol, acetona	259	-2,5	162,61	insol	1,19382	5,6	0,029 mm Hg @ 25 °C		> 558	
o-CLOROTOLUENO 95-49-8	líquido incoloro	159	35,1	126,6	insol	1,0826		3,6 mm Hg @ 25 °C			
CLORURO DE BENCENO 108-90-7	líquido incoloro	132	-45	112,56	insol	1,1058	3,88	1,17	1,8 li 9,6 ls	27	638
CLORURO DE BENCILO 100-44-7	líquido incoloro o ligeramente amarillo	179	-45	126,58	insol	1,100	4,4	120 Pa	1,1 li 14,0 ls	67 cc	585
CLORURO DE BENZATONIO 121-54-0	cristales incoloros		164–166	448,10	muy sol						
CLORURO DE BENZOILO 98-88-4	líquido incoloro transparente; líquido ligeramente marrón	197	-1,0	140,57	se descompone	1,2120	4,9	50 Pa	1,2 li 4,9 ls	88	197
CLORURO DE TEREFALTOILO 100-20-9	agujas incoloras	259	83,5	203,02	reacciona		7,0	Pa		180	
DDT 50-29-3	cristales tabulares alargados biaxiales; la <i>p,p</i> -DDT químicamente pura consta de agujas blancas; cristales incoloros o polvo blanco o ligeramente blancuzco	260	108,5	354,50	insol	0,98		1,5x10 <sup>7</sup> mm Hg			
<i>m</i> -DICLOROBENCENO 541-73-1	líquido incoloro	173	-24,7	147,00	insol	1,2884		2,3 mm Hg @ 25 °C			

Tabla 104.112 • 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)
<i>o</i> -DICLOROBENCENO 95-50-1	líquido incoloro	181	-17	147,01	insol	1,3048	5,05	1,47 mm Hg @ 25 °C	2 li 9 ls		
<i>p</i> -DICLOROBENCENO 106-46-7	crisales blancos; prismas monoclinicos, láminas en acetona; disponible en forma de crisales puros	174	53	147,01	insol	1,2475	5,08	1,33 @ 55 °C	2,5 li 16 ls	66 cc	413
HEXACLOROBENCENO 118-74-1	agujas en alcohol bencilico; agujas blancas	325	231	284,80	insol	1,5691 @ 23,6 °C	9,83	< 0,1 Pa		242	
HEXACLOROFENO 70-30-4	agujas en benceno; polvo cristalino blanco o ligeramente tostado		164	406,92	insol						
HEXACLORONAFTALENO 1335-87-1	sólido blanco	344–388	137	334,74	insol	1,78	11,6	3x10 <sup>-8</sup> mm Hg @ 25 °C			
OCTACLORONAFTALENO 2234-13-1	amarillo pálido; aguas en benceno y tetracloruro de carbono; sólido ceroso amarillo	440	192	403,74	insol	2,00	13,9	< 0,13			
PENTAACLOROBENCENO 608-93-5	sólido cristalino incoloro	277	86	250,14	insol	1,8342 @ 16,5 °C	8,6	2,2 Pa			
PENTAACLORONAFTALENO 1321-64-8	sólido blanco; polvo blanco; sólido amarillo pálido	327–371	120	300,41	insol	1,7	10,4	< 133 Pa			
1,2,4,5-TETRACLOROBENCENO 95-94-3	escamas, crisales blancos	245	139,5	215,90	insol	1,9	7,4	0,3 Pa @ 25 °C		155 cc	
2,3,7,8-TETRACLORO-DIBENZO- <i>p</i> -DIOXINA 1746-01-6	agujas incoloras		305–306	322				7,4x10 <sup>-10</sup> mm Hg @ 25 °C			
TETRACLORONAFTALENO 1335-88-2	crisales; sólido amarillo pálido; sólido incoloro o amarillo pálido	312–360	182	265,94	insol	1,59–1,65	9,2	1x10 <sup>-6</sup> mm Hg @ 25 °C		210 ca	
1,2,3-TRICLOROBENCENO 87-61-6	plaquetas en alcohol; crisales blancos	221	52,6	181,46	insol	1,69	6,26	1 mm Hg @ 40 °C		1127 cc	
1,2,4-TRICLOROBENCENO 120-82-1	líquido incoloro; crisales rómbicos	214	17	181,46	insol	1,5	6,26	40 Pa @ 25 °C	2,5 li 6,6 ls	105	571
1,3,5-TRICLOROBENCENO 108-70-3	crisales blancos; agujas alargadas	208	63,5	181,45	insol		6,26	0,13 @ 78 °C		> 110	
TRICLORONAFTALENO 1321-65-9	sólido incoloro o amarillo pálido	304–354	92,78	231,5	insol	1,58	8,0	< 133 Pa		200 ca	

## HIDROCARBUROS POLIAROMATICOS

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son compuestos orgánicos formados por tres o más anillos aromáticos condensados, en donde algunos átomos de carbono son comunes a dos o tres anillos. Esta estructura se denomina también sistema de anillos fusionados. Los anillos pueden estar en línea recta, angulados o racimados. Además, el término hidrocarburo indica que la molécula contiene sólo carbono e hidrógeno. La estructura condensada más sencilla, formada por sólo dos anillos aromáticos condensados, es el naftaleno. A los anillos aromáticos pueden unirse otros tipos de anillos, como los de cinco átomos de carbono o los que contienen otros átomos (oxígeno, nitrógeno o azufre) en lugar del carbono. Estos últimos compuestos se conocen como compuestos heteroaromáticos o heterocíclicos y no se considerarán aquí. En la literatura sobre los HAPs se pueden encontrar muchas otras denominaciones, como APN (aromáticos polinucleares), CAP (compuestos aromáticos policíclicos) o MOP (materias orgánicas policíclicas). Esta última denominación suele englobar a los compuestos heteroaromáticos. Entre los HAPs se encuentran cientos de compuestos que han sido objeto de gran atención por ser muchos de ellos cancerígenos, especialmente los HAPs que contienen entre cuatro y seis anillos aromáticos.

La ausencia de una nomenclatura uniforme en la literatura puede confundir al lector de trabajos procedentes de distintos países y publicados en épocas distintas. La IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) ha adoptado una nomenclatura que es la más utilizada en la actualidad. A continuación se ofrece un breve resumen de la misma:

Se han seleccionado algunos de los principales HAP y se han mantenido sus nombres vulgares. Se dibujan tantos anillos como sea posible en una línea horizontal y el mayor número de los anillos sobrantes se colocan en el cuadrante superior derecho. La numeración comienza por el primer átomo de carbono que no sea común a dos anillos, en el anillo situado a la derecha de la primera línea. Los siguientes átomos de carbono unidos a un hidrógeno se numeran en el sentido de las agujas del reloj. A los lados más externos de los anillos se les asignan letras en orden alfabético, empezando por el lado situado entre C 1 y C 2.

Como ejemplo de la nomenclatura de los HAPs hemos tomado el benzo(a)pireno. Benzo(a)— indica que hay un anillo aromático unido al pireno en la posición a. Un anillo puede unirse también a las posiciones b, e, etc. No obstante, las posiciones a, b, h e i son equivalentes, y lo mismo ocurre con e y 1. En consecuencia, sólo hay dos isómeros, benzo(a)pireno y benzo(e)pireno. Sólo se utiliza la primera letra y las fórmulas se escriben aplicando las anteriores reglas. En las posiciones cd, fg, etc. del pireno también puede unirse un anillo. Sin embargo, esta sustancia, el 2H-benzo(cd)pireno, está saturada en la posición 2, lo que se indica con una H.

*Propiedades fisicoquímicas de los HAPs.* Los sistemas conjugados  $\pi$ -electrón de los HAPs son los responsables de su estabilidad química. Son sólidos a temperatura ambiente y su volatilidad es muy pequeña. Dependiendo de su carácter aromático, los HAPs absorben luz ultravioleta y producen un espectro fluorescente característico. Son solubles en muchos disolventes orgánicos, pero muy poco solubles en agua, tanto menos cuanto mayor sea su peso molecular. Sin embargo, los detergentes y compuestos que forman emulsiones en agua, o los HAPs adsorbidos en partículas en suspensión, pueden aumentar el contenido de HAPs en

aguas residuales o naturales. Desde el punto de vista químico, los HAPs reaccionan por sustitución del hidrógeno o por adición cuando se produce su saturación. Generalmente se conserva el sistema de anillos. La mayoría de los HAPs se fotooxidan, una reacción importante para eliminarlos de la atmósfera. La reacción de fotooxidación más frecuente es la formación de endoperoxidos, que pueden convertirse a quinonas. Por razones estéricas, un endoperoxido no puede formarse por fotooxidación del benzo(a)pireno; en este caso se forman 1,6-diona, 3,6-diona y 6,12-diona. Se ha observado que la fotooxidación de los HAPs adsorbidos es mayor que la de los HAPs en disolución. Este hecho debe tenerse en cuenta al analizar los HAPs mediante cromatografía en capa fina, especialmente si se utilizan capas de gel de sílice, donde muchos HAPs se fotooxidan rápidamente cuando se iluminan con luz ultravioleta. Para la eliminación de los HAPs existentes en los lugares de trabajo, las reacciones de oxidación no tienen interés. Los HAPs reaccionan rápidamente con óxidos de nitrógeno o  $\text{HNO}_3$ . Por ejemplo, el antraceno puede oxidarse a antraquinona por acción del  $\text{HNO}_3$  o dar un derivado nitrogenado mediante una reacción de sustitución con  $\text{NO}_2$ . Los HAPs pueden reaccionar con  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para formar ácidos sulfinico y sulfónico. El hecho de que los HAPs cancerígenos reaccionen con otras sustancias no significa necesariamente que se inactiven como tales; por el contrario, muchos HAPs que contienen sustituyentes son carcinógenos más potentes que el correspondiente compuesto progenitor. Aquí se describen algunos de los HAPs más importantes.

*Formación.* Los HAPs se forman por pirólisis o combustión incompleta de materia orgánica que contiene carbono e hidrógeno. A elevadas temperaturas, la pirólisis de compuestos orgánicos produce fragmentos de moléculas y radicales que se combinan para formar HAPs. La composición de los productos resultantes de la pirosíntesis depende del combustible, la temperatura y el tiempo de estancia en la zona de caldeo. Los combustibles que forman HAPs son metano, otros hidrocarburos, hidratos de carbono, ligninas, péptidos, etc. Sin embargo, los compuestos que contienen cadenas laterales, los compuestos insaturados y las estructuras cíclicas suelen favorecer la formación de HAPs. Evidentemente, los HAPs se liberan de la zona de combustión en forma de vapores. Debido a sus bajas presiones de vapor, la mayoría de los HAPs se condensan en el acto sobre partículas de hollín o forman ellos mismos partículas muy pequeñas. Los HAPs liberados a la atmósfera en forma de vapor son adsorbidos por las partículas presentes en ella. Por ello, se producirá una diseminación de aerosoles que contienen HAPs, que pueden ser transportados a grandes distancias por los vientos.

### Producción y usos

Muchos HAPs pueden obtenerse a partir de alquitrán de hulla. Las sustancias puras no tienen aplicaciones técnicas importantes, salvo el naftaleno y el antraceno. No obstante, se utilizan indirectamente en el alquitrán de hulla y el petróleo, que contienen mezclas de distintos HAPs.

Los HAPs pueden encontrarse casi en todas partes, en el aire, en la tierra y en el agua, procedentes de fuentes naturales o antropogénicas. La contribución de las fuentes naturales, como los incendios forestales y los volcanes, es mínima si la comparamos con las emisiones causadas por el ser humano. La combustión de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de HAPs. Otras emisiones proceden de la combustión de residuos y madera, así como de los vertidos de petróleo crudo o refinado que en sí mismo contiene HAPs. Los HAPs están también

presentes en el humo del tabaco y en los alimentos a la parrilla, ahumados y fritos.

La principal fuente de HAP en el aire de las atmósferas de trabajo es el alquitrán de hulla, que se forma por pirólisis de la hulla en fábricas de gas y coque, donde se producen emisiones de humos procedentes de la brea calentada. Los trabajadores que permanecen cerca de los hornos están altamente expuestos a estos HAPs. La mayoría de las investigaciones de HAPs en los lugares de trabajo se han llevado a cabo en fábricas de gas y coque. En la mayoría de los casos sólo se ha analizado el benzo(a)pireno, aunque también se han realizado algunas investigaciones sobre otros HAPs. Generalmente, el contenido de benzo(a)pireno es máximo en el aire situado en la parte superior de los hornos. El aire situado en la parte superior de los canales de humos y del precipitador de alquitrán es extremadamente rico en benzo(a)pireno, habiéndose medido concentraciones de hasta 500 mg/m<sup>3</sup>. Mediante técnicas de muestreo personal, se ha podido comprobar que la mayor exposición la sufren los conductores de camiones, los trabajadores encargados de asegurar y zafar las amarras de los buques, los trabajadores que realizan operaciones de deshollinado y los trabajadores del alquitrán. El naftaleno, el fenantreno, el fluoranteno, el pireno y el antraceno predominan entre los HAPs aislados de las muestras de aire tomadas. Es evidente que algunos de los trabajadores de la industria del gas y del coque están expuestos a altos niveles de HAPs, incluso en las instalaciones modernas. En estas industrias no es raro que muchos trabajadores hayan estado expuestos a estas sustancias durante años. Las investigaciones clínicas han demostrado que estos trabajadores tienen un alto riesgo de desarrollar cáncer de pulmón. El alquitrán de hulla se utiliza en otros procesos industriales, donde se calienta y libera HAPs al aire ambiente.

Los hidrocarburos poliarilos se utilizan principalmente en la fabricación de colorantes y en síntesis químicas. El antraceno se utiliza en la producción de antraquinona, una importante materia prima para la fabricación de colorantes rápidos. Se emplea también como diluyente para conservantes de la madera y en la producción de fibras sintéticas, plásticos y monocristales. El fenantreno se emplea en la fabricación de colorantes y explosivos, en la investigación clínica y en la síntesis de fármacos.

El benzofurano se utiliza en la fabricación de resinas de cumarona-indeno. El fluoranteno es un componente del asfalto derivado del alquitrán y del petróleo que se utiliza como material de revestimiento para proteger el interior de las tuberías de agua potable de acero y hierro dúctil y los tanques de almacenamiento.

El aluminio se produce mediante un proceso electrolítico a temperaturas de unos 970 °C. Existen dos tipos de ánodos: el ánodo de Söderberg y el de grafito ("precocido"). El primero de ellos, que es el más utilizado, es la principal causa de exposición a HAP en la industria del aluminio. Este ánodo está formado por una mezcla de coque y alquitrán de hulla. Durante la electrolisis se grafito ("cuece") en su parte inferior, más caliente, y finalmente se consume por oxidación electrolítica para formar óxidos de carbono. Desde arriba se va añadiendo pasta fresca de ánodo, a modo de electrodo continuo. Los HAPs se liberan del alquitrán cuando éste alcanza temperaturas elevadas, escapando a la atmósfera de trabajo a pesar de los mecanismos de ventilación. En muchos trabajos diferentes de las fundiciones de aluminio, tales como el desembornado, el izado de rejillas, y la adición de pasta de ánodo, las exposiciones pueden ser considerables. También el apisonado de los cátodos es causa de exposición a HAPs, puesto que se utiliza alquitrán en el apisonado con varilla y en las ranuras.

Los electrodos de grafito se utilizan en las plantas de reducción de aluminio, en los hornos eléctricos de acero y en otros procesos

metalúrgicos. La materia prima para la fabricación de estos electrodos suele ser coque de petróleo mezclado con alquitrán como ligante. El cocido de los mismos se realiza calentando esta mezcla en hornos, a temperaturas superiores a 1.000 °C. En una segunda fase de calentamiento en la que se alcanzan hasta 2.700 °C se produce el grafitado. Durante el proceso de cocido se liberan grandes cantidades de HAPs de la masa de los electrodos. La segunda fase conlleva una liberación de HAPs más bien baja, puesto que los componentes volátiles ya se han liberado durante el primer calentamiento.

En los trabajos siderometalúrgicos y en las fundiciones se produce exposición a HAPs liberados por los productos de alquitrán al entrar en contacto con el metal fundido. Los preparados de brea se utilizan en hornos, canales de colada y lingoteras.

El asfalto que se utiliza para pavimentar las calles y las carreteras procede principalmente de los residuos de destilación del petróleo crudo. El asfalto de petróleo contiene pocos HAPs superiores. No obstante, en algunos casos este asfalto se mezcla con alquitrán de hulla, lo que aumenta el riesgo de exposición a HAPs cuando se trabaja con el asfalto caliente. En otros trabajos en los que se utiliza alquitrán derretido y se rocía sobre una gran superficie, los trabajadores pueden sufrir una intensa exposición a HAPs. Tales operaciones incluyen los trabajos de recubrimiento de oleoductos, el aislamiento de paredes y el calafateado de tejados.

### Riesgos

En 1775, un médico inglés, Sir Percival Pott, describió por primera vez un cáncer de origen profesional. Asoció el cáncer de escroto de los deshollinadores con su prolongada exposición a alquitrán y hollín, en condiciones deficientes de higiene personal. Cien años más tarde se describió el cáncer de piel en los trabajadores expuestos a alquitrán o aceites bituminosos. En el decenio de 1930 se describió el cáncer de pulmón en los trabajadores de la industria del acero y en la del coque. A finales del decenio de 1910 se describió el desarrollo experimental de cáncer de pulmón en animales de laboratorio tras la aplicación repetida de alquitrán de hulla. En 1933 se demostró que un hidrocarburo aromático cíclico aislado del alquitrán de hulla era cancerígeno. El compuesto aislado resultó ser benzo(a)pireno. Desde entonces se han descrito cientos de HAPs cancerígenos. Los estudios epidemiológicos indican una mayor frecuencia de cáncer de pulmón en los trabajadores de las industrias de coque, aluminio y acero. Aproximadamente un siglo después se han regulado algunos de los HAPs como cancerígenos laborales.

El largo período de latencia entre la primera exposición y la aparición de los síntomas, junto con muchos otros factores, han hecho que el establecimiento de valores límite umbral para los HAPs en la atmósfera del lugar de trabajo sea una tarea ardua y difícil. También existe un largo período de latencia para la formulación de normas. Hasta 1967, prácticamente no existían Valores Límite Umbral (TLVs) para los HAPs, año en el que la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) adoptó un TLV de 0,2 mg/m<sup>3</sup> para los alquitranes de hulla volátiles, definiéndose como el peso de una fracción soluble en benceno de las partículas recogidas en un filtro. En el decenio de 1970, la URSS estableció una concentración máxima admisible (MAC) para el benzo(a)pireno basándose en estudios de laboratorio realizados con animales. En 1978 se estableció en Suecia un TLV de 10 g/m<sup>3</sup> para el BaP. En 1997, la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) de Estados Unidos estableció un límite de exposición permisible (PEL) para el BaP de 0,2 mg/m<sup>3</sup>. La ACGIH no ha establecido una concentración media ponderada en el tiempo (TWA), puesto que el BaP es un carcinógeno humano sospechado. El límite de

exposición recomendado (REL) por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) de Estados Unidos es de 0,1 mg/m<sup>3</sup> (fracción extraíble en ciclohexano).

Las fuentes de HAPs en el trabajo, además del alquitrán de hulla y el asfalto, son el negro de humo, la creosota, los aceites minerales, los humos y hollines procedentes de diversas combustiones y los gases de escape de los vehículos. Los aceites minerales contienen cantidades muy pequeñas de HAPs, pero muchos de sus usos aumentan considerablemente su contenido de HAPs. Algunos ejemplos son los aceites lubricantes para motores, los aceites de corte y los aceites que se utilizan en máquinas de descarga eléctrica. No obstante, puesto que los HAPs permanecen en los aceites, el riesgo de exposición se limita al contacto con la piel. Los gases de escape de los vehículos contienen proporciones muy bajas de HAPs en comparación con los humos de alquitrán mineral y asfalto. En la siguiente lista se han utilizado las mediciones de benzo(a)pireno en distintos tipos de lugares de trabajo para clasificarlos según el grado de exposición:

- exposición muy alta a benzo(a)pireno (más de 10 mg/m<sup>3</sup>)—trabajos en fábricas de gas y coque; plantas de aluminio; fábricas de electrodos de grafito; manipulación de alquitranes y breas calentados
- exposición moderada (0,1 a 10 g/m<sup>3</sup>)—trabajos en fábricas de gas y coque; acerías; fábricas de electrodos de grafito; plantas de aluminio; fundiciones
- exposición baja (menos de 0,1 g/m<sup>3</sup>)—fundiciones; producción de asfaltos; plantas de producción de aluminio con electrodos precocidos; talleres de reparación de automóviles y garajes; minas de hierro y construcción de túneles.

### Riesgos asociados a algunos HAPs

El *antraceno* es un hidrocarburo aromático polinuclear con anillos condensados que forma antraquinona cuando se oxida y 9,10-dihidroantraceno cuando se reduce. Los efectos tóxicos del antraceno son similares a los del alquitrán de hulla y sus productos de destilación, y dependen de la proporción de fracciones pesadas que contenga. El antraceno es fotosensibilizante. Produce dermatitis aguda y crónica con síntomas de quemazón, picor y edema, que son más pronunciados en las regiones de la piel expuesta. Las lesiones cutáneas se asocian a irritación de la conjuntiva y de las vías aéreas superiores. Otros síntomas son lagrimeo, fotofobia, edema de los párpados e hiperemia conjuntival. Los síntomas agudos desaparecen varios días después de cesar el contacto. La exposición prolongada causa pigmentación de las zonas de piel expuesta, con cornificación de las capas superficiales y telangiectasis. El efecto fotodinámico del antraceno industrial es más pronunciado que el del antraceno puro, lo que evidentemente se debe al uso de mezclas de acridina, carbazol, fenantreno y otros hidrocarburos pesados. Los efectos sistémicos se manifiestan en cefalea, náuseas, inapetencia, reacciones lentas y adinamia. Las exposiciones prolongadas pueden causar inflamación del tracto gastrointestinal.

No se ha demostrado que el antraceno puro sea cancerígeno, pero algunos de sus derivados y el antraceno industrial (que contiene impurezas) sí lo son. El *1,2-benzantraceno* y algunos de sus derivados monometilados y dimetilados son también cancerígenos. Los derivados *dimetilados* y *trimetilados* del 1,2-benzantraceno son cancerígenos más potentes que los monometilados, especialmente el *9,10-dimetil-1,2-benzantraceno*, que produce cáncer de piel en ratones en menos de 43 días. Los derivados *5,9-* y *5,10-dimetilados* son también muy cancerígenos. La carcinogenicidad de los derivados *5,9,10-* y *6,9,10-trimetilados* es menos pronunciada. El *20-metilcolantreno*, que tiene una estructura similar a la del 5,6,10-trimetil-1,2-benzantraceno, es un cancerígeno muy

potente. Ninguno de los derivados dimetilados con grupos metilos sustituidos en el anillo adicional de benceno (en las posiciones 1, 2, 3, 4) lo son. Se ha observado que la carcinogenicidad de algunos grupos de derivados alquilados de 1,2-benzantraceno disminuye a medida que aumenta la longitud de sus cadenas de carbonos.

El *benz(a)antraceno* está presente en el alquitrán de hulla en una concentración de hasta 12,5 g/kg; en la madera y el humo del tabaco en una concentración de entre 12 y 140 ng en el humo de un cigarrillo; en aceites minerales; en el aire exterior, en una concentración de 0,6 a 361 ng/m<sup>3</sup> y en las fábricas de gas en una concentración de 0,7 a 14 mg/m<sup>3</sup>. El *benz(a)antraceno* es un cancerígeno débil, pero algunos de sus derivados lo son mucho más, como los *6-, 7-, 8- y 12-metilbenz(a)antracenos* y algunos de sus derivados dimetilados, como el *7,12-dimetilbenz(a)antraceno*. La introducción de un anillo de cinco miembros entre las posiciones 7 y 8 del *benz(a)antraceno* forma colantreno ((*benz(j)*)aceantrileno), que conjuntamente con su derivado 3-metilado, es un cancerígeno extremadamente potente. El *dibenz(a,h)antraceno* fue el primer HAP puro cuya actividad carcinogénica quedó demostrada.

El *criseno* aparece en el alquitrán de hulla en concentraciones de hasta 10 g/kg. Se han medido concentraciones de entre 1,8 y 361 ng/m<sup>3</sup> en el aire y de entre 3 y 17 mg/m<sup>3</sup> en los gases de escape de los motores diesel. El humo de un cigarrillo puede contener hasta 60 ng de criseno. El *dibenzo(b,d,e,f)-criseno* y el *dibenzo(d,e,f,p)-criseno* son cancerígenos. El criseno exhibe una débil actividad carcinogénica.

*Difenilos*. Se dispone de poca información sobre los efectos tóxicos del difenilo y sus derivados, con la excepción de los bifenilos policlorados (PCBs). Debido a su baja presión de vapor y a su olor, la exposición por inhalación a temperatura ambiente no suele entrañar un riesgo grave. Sin embargo, en un estudio de observación de trabajadores que realizaban la impregnación de papel de envolver con un polvo fungicida fabricado con difenilo, se detectaron brotes de tos, náuseas y vómitos. La exposición repetida a una solución de difenilo en aceite de parafina a 90 °C y concentraciones ambiente muy superiores a 1 mg/m<sup>3</sup>, provocó la muerte de un trabajador por atrofia aguda del hígado y ocho trabajadores sufrieron lesiones de los sistemas nerviosos central y periférico y lesiones hepáticas. Estos trabajadores se quejaron de cefalea, trastornos gastrointestinales, síntomas poli-neuríticos y fatiga general.

El difenilo fundido puede causar quemaduras graves. La absorción a través de la piel conlleva también un riesgo moderado. El contacto con los ojos produce irritación leve o moderada. El procesamiento y manipulación del éter de difenilo representa un pequeño riesgo para la salud. Su olor es desagradable y la exposición excesiva produce irritación de los ojos y la garganta.

El contacto con esta sustancia puede causar dermatitis.

La mezcla de éter de difenilo y difenilo a concentraciones de entre 7 y 10 ppm no afecta seriamente a los animales de experimentación sometidos a exposición repetida. Sin embargo, en el ser humano puede causar irritación de los ojos y la vías aéreas, así como náuseas. La ingestión accidental de este compuesto produce graves lesiones en el hígado y los riñones.

El *fluoranteno* está presente en el alquitrán de hulla, el humo del tabaco y los HAPs atmosféricos. No es una sustancia cancerígena, pero sus isómeros *benzo(b)-*, *benzo(j)-* y *benzo(k)-* isómeros sí lo son.

El *naftaceno* está presente en el humo del tabaco y el alquitrán de hulla. Pigmenta algunas sustancias incoloras aisladas del alquitrán de hulla, como el antraceno.

El *naftaleno* arde fácilmente y, bien en partículas o vapores, forma mezclas explosivas con el aire. Su acción tóxica se ha observado principalmente en casos de intoxicación

gastrointestinal en niños que confundieron las bolas de naftalina con caramelos y se manifiesta por anemia hemolítica aguda con lesiones hepáticas y renales y congestión vesical.

Se han publicado informes sobre casos de intoxicación grave en trabajadores que habían inhalado vapores de naftaleno; los síntomas más comunes fueron anemia hemolítica con cuerpos de Heinz, trastornos hepáticos y renales y neuritis óptica. La absorción prolongada de naftaleno puede ocasionar también pequeñas opacidades puntiformes en la periferia del cristalino, sin deterioro funcional. El contacto de los ojos con vapores y microcristales condensados puede causar queratitis puntiforme e incluso coriorretinitis.

Se ha observado que el contacto con la piel produce dermatitis eritematosa exudativa, si bien estos casos se han atribuido al contacto con naftaleno crudo que todavía contenía fenol, siendo éste el agente causal de la dermatitis en los pies observada en los trabajadores que descargaban bandejas de naftaleno cristalizado.

El *fenantreno* se obtiene a partir del alquitrán de hulla y puede sintetizarse haciendo pasar difeniletileno a través de un tubo calentado al rojo. Está presente en el humo del tabaco y se encuentra entre los HAPs presentes en el aire. No parece exhibir actividad cancerígena, al contrario que algunos de los derivados alquilados del benzo(c)fenantreno. El fenantreno es una excepción recomendada al sistema de numeración; 1 y 2 se indican en la fórmula.

El *pireno* está presente en el alquitrán mineral, el humo del tabaco y los HAPs atmosféricos. También está presente en los productos derivados del petróleo en una concentración de 0,1 a 12 mg/ml. El pireno no tiene actividad cancerígena, pero sus derivados benzo(a) y dibenzo son cancerígenos muy potentes. En el aire exterior se han medido concentraciones de *benzo(a)pireno* (BaP) de 0,1 ng/m<sup>3</sup> o menores en zonas no contaminadas y valores hasta varios miles de veces superiores en atmósferas urbanas contaminadas. El BaP se encuentra en asfaltos, alquitrán de hulla, alquitrán de madera, gases de escape de los automóviles, humo del tabaco, aceites minerales, aceites de motor usados y aceites usados de equipos eléctricos. El BaP y muchos de sus derivados alquilados son carcinógenos muy potentes.

Los vapores de *terfenilo* producen irritación de la conjuntiva y algunos efectos sistémicos. En animales de experimentación, el *p*-terfenilo se absorbe mal por vía oral y parece tener sólo un ligero efecto tóxico; los *meta*- y especialmente los *orto*-terfenilos son

peligrosos para los riñones y éste último puede también deteriorar las funciones hepáticas. Se han descrito alteraciones morfológicas de las mitocondrias (pequeñas estructuras celulares que realizan funciones respiratorias y otras funciones enzimáticas esenciales para la síntesis biológica) en ratas expuestas a 50 mg/m<sup>3</sup>. Los agentes de intercambio de calor fabricados con terfenilos hidrogenados, mezclas de terfenilo e isopropil-*meta*-terfenilo, producen cambios funcionales del sistema nervioso, los riñones y la sangre en los animales de experimentación, con algunas lesiones orgánicas. Se ha demostrado la existencia de riesgo carcinogénico en ratones expuestos al refrigerante irradiado, si bien la mezcla no irradiada parece ser segura.

### Medidas de salud y seguridad

Los HAPs se encuentran principalmente como contaminantes atmosféricos en una gran diversidad de lugares de trabajo. Los análisis demuestran siempre el mayor contenido de HAPs en las muestras de aire tomadas en lugares donde existen humos o vapores visibles. Un método general para evitar la exposición es reducir dichas emisiones. En la industria del coque, esto se logra evitando las fugas mediante sistemas herméticos, aumentando la ventilación o utilizando cabinas con filtros de aire. En la industria del aluminio se tienen que adoptar medidas similares. En algunos casos tienen que instalarse sistemas de evacuación de humos y vapores. El uso de electrodos precocidos elimina casi por completo las emisiones de HAPs. En las fundiciones y acerías, las emisiones de HAPs pueden reducirse evitando los preparados que contienen alquitrán. No es necesario adoptar medidas especiales para eliminar los HAPs de garajes, minas, etc. donde se emiten gases de escape de los automóviles; los sistemas de ventilación necesarios para eliminar otras sustancias más tóxicas reducen al mismo tiempo la exposición a HAPs. El contacto de la piel con aceites usados que contienen HAPs puede evitarse utilizando guantes y cambiándose de ropa cuando ésta se contamine.

Deben aplicarse las mismas medidas relativas a controles técnicos, equipos de protección individual, formación e instalaciones sanitarias que se describen en otros artículos de esta *Enciclopedia*. Puesto que muchos miembros de esta familia son cancerígenos demostrados o sospechados, debe tenerse un cuidado especial en adoptar todas las precauciones recomendadas para una manipulación segura de las sustancias cancerígenas.

TABLAS DE LOS HIDROCARBUROS

Tabla 104.113 • Identificación química.

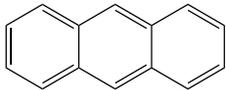
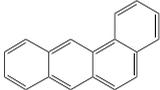
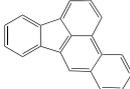
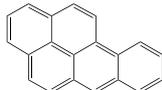
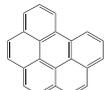
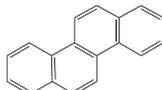
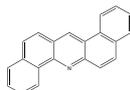
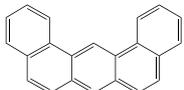
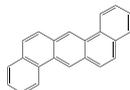
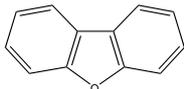
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
ANTRACENO	Antracina; compuestos volátiles de brea de alquitrán; antraceno; aceite verde; paranaftaleno; Tetra olive N2G	120-12-7	
BENZO(a)ANTRACENO	Benzantraceno; 1,2-benzantraceno; 1,2-benz(a)antraceno; benzantreno; 1,2-benzantreno; benzoantraceno; benzo(a)fenantreno; 2,3-benzofenantreno; 2,3-benzfenantreno; naftantraceno	56-55-3	
BENZO(b)FLUORANTENO	Benz(e)acefenantrileno; 3,4-benz(e)acefenantrileno; 2,3-benzfluoranteno; 205-99-2 3,4-benzfluoranteno; benz(b)fluoranteno; benzo(e)fluoranteno; 2,3-benzofluoranteno; 3,4-benzofluoranteno	205-99-2	
BENZO(g,h,i)FLUORANTENO	2,13-Benzofluoranteno; 7,10-benzofluoranteno	203-12-3	
BENZO(k)FLUORANTENO	8,9-Benzofluoranteno; 11,12-benzofluoranteno; 11,12-benzo(k)fluoranteno; 2,3,1',8'-binaftileno; dibenzo(b,jk)fluoreno	207-08-9	
BENZO(a)PIRENO	Benzo(d,e,f)criseno; 3,4-benzopireno; 6,7-benzopireno; benz(a)pireno; 3,4-benzpireno; 3,4-benz(a)pireno	50-32-8	
BENZO(g,h,i)PERILENO	1,12-Benzoperileno; 1,12-benzperileno	191-24-2	
CRISENO	1,2-Benzofenantreno; benzo(a)fenantreno; 1,2-benzfenantreno; benz(a)fenantreno; 1,2,5,6-dibenzonaftaleno	218-01-9	
DIBENZ(a,h)ACRIDINA	7-Azadibenz(a,h)antraceno; dibenz(a,d)acridina; 1,2,5,6-dibenzacridina; 1,2,5,6-dibenzoacridina; 1,2,5,6-dinaftacridina	226-36-8	
DIBENZ(a,j)ACRIDINA	7-Azadibenz(a,j)antraceno; Db(a,j)ac; dibenz(a,f)acridina; 1,2,7,8-dibenzacridina; 3,4,5,6-dibenzacridina; dibenzo(a,j)acridina; 3,4,6,7-dinaftacridina	224-42-0	
DIBENZ(a,h)ANTRACENO	1,2,5,6-Benzantraceno; DBA; 1,2,5,6-DBA; 1,2,5,6-dibenzantraceno; 1,2,5,6-dibenz(a)antraceno; dibenzo(a,h)antraceno; 1,2,5,6-dibenzoantraceno	53-70-3	
DIBENZOFURANO	Oxido de 2,2'-bifenileno; óxido de 2,2'-bifenilileno; dibenzo(b,d)furano; óxido de difenileno	132-64-9	
DIBENZO(a,e)PIRENO	DB(a,e)p; 1,2,4,5-dibenzopireno; nafto(1,2,3,4-def)criseno	192-65-4	

Tabla 104.113 • Identificación química.

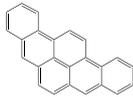
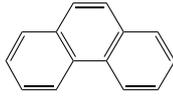
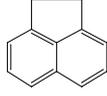
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
DIBENZO(a,h)PIRENO	DB(a,h)p; dibenzo(b,d,e,f)criseno; 1,2,6,7-dibenzopireno; 3,4,8,9-dibenzopireno	189-64-0	
DIBENZO(a,i)PIRENO	Benzo(rst)pentafeno; dibenzo(b,h)pireno; 1,2,7,8-dibenzopireno; 3,4,9,10-dibenzopireno; dibenz(a,i)pireno; 1,2,7,8-dibenzopireno; 3,4,9,10-dibenzopireno	189-55-9	
FENANTRENO	Compuestos volátiles de brea de alquitrán: fenantreno; fenantrino	85-01-8	
FLUORANTENO	1,2-Benzacenafteno; benceno, 1,2-(1,8-naftileno)-; benzo(jk)fluoreno; 1,2-(1,8-naftalenodil)benzeno; 1,2-(1,8-naftileno)benceno	206-44-0	
NAFTACENO	Acenaftileno, 1,2-dihidro-1,8-etileno-naftaleno; naftilenetileno; perietileno-naftaleno	83-32-9	
PERILENO	Dibenz(de,kl)antraceno; peri-dinaftaleno; perileno	198-55-0	
PIRENO	Benzo(def)fenantreno; compuestos volátiles de brea de alquitrán: pireno	129-00-0	

Tabla 104.114 • 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
ANTRACENO 120-12-7	ojos; piel; tract resp; tract GI	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Dolor abdominal		
BENZO(a)ANTRACENO 56-55-3			Piel	Puede absorberse		
BENZO(b)FLUORANTENO 205-99-2			Piel	Puede absorberse		
BENZO(g,h,i)FLUORANTENO 203-12-3			Piel	Puede absorberse		
BENZO(k)FLUORANTENO 207-08-9			Piel	Puede absorberse		
BENZO(g,h,i)PERILENO 191-24-2			Piel	Puede absorberse		

Tabla 104.114 • 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
BENZO(a)PIRENO 50-32-8		defectos genéticos y congénitos				
DIBENZO(a,h)ANTRACENO 53-70-3	ojos; piel; tract resp	piel		Piel Ojos	Fotosensibilización Enrojecimiento, dolor	

Tabla 104.115 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
ANTRACENO 120-12-7	Posibilidad de ignición a distancia cuando se encuentra en forma de polvo o granular y se mezcla con el aire	Se descompone al calentarse, por contacto con la luz solar y por influencia de oxidantes fuertes, produciendo humos tóxicos acres, con peligro de incendio y explosión	3
BENZO(b)FLUORANTENO 205-99-2		Al calentarse, se forman humos tóxicos	
BENZO(g,h,i)FLUORANTENO 203-12-3		Al calentarse, se forman humos tóxicos	
BENZO(k)FLUORANTENO 207-08-9		Al calentarse, se forman humos tóxicos	Reacciona con oxidantes fuertes
BENZO(g,h,i)PERILENO 191-24-2		Al calentarse, se forman humos tóxicos nitrosos	Reacciona con NO y NO <sub>2</sub> para formar derivados
DIBENZO(a,h)ANTRACENO 53-70-3		Reacciona con oxidantes fuertes	4.1

Tabla 104.116 • 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)
ANTRACENO 120-12-7	placas monoclinicas por recristalización en alcohol: en estado puro es incoloro, con fluorescencia violeta; cuando se cristaliza en benceno, se forman placas incoloras brillantes con fluorescencia azul; cristales amarillos con fluorescencia amarilla	342	218	178,22	insol	1,283 @ 25 °C	6,15	1 mm Hg @ 145 °C	0,6 li ? ls	121 cc	540
BENZO(a)ANTRACENO 56-55-3	placas incoloras recristalizadas en ácido acético glacial o alcohol	400	162	228,3	0,014 mg/l @ 25 °C			5x10 <sup>-9</sup> torr			
BENZO(b)FLUORANTENO 205-99-2	agujas (recristalizadas en benceno), agujas incoloras (recristalizadas en tolueno o ácido acético glacial)		168	252,3	insol			<10 Pa			
BENZO(g,h,i)FLUORANTENO 203-12-3	cristales		149		insol			< 10 Pa			
BENZO(k)FLUORANTENO 207-08-9	agujas de color amarillo claro en benceno	480	217	252,3	insol			9,59x10 <sup>-11</sup> torr			
BENZO(g,h,i)PERILENO 191-24-2	placas grandes de color amarillo verdusco claro (recristalizadas en xileno)	550	277	276,3	insol			1,0x10 <sup>-10</sup> mm Hg @ 25 °C			
BENZO(a)PIRENO 50-32-8	agujas monoclinicas de color amarillo claro en benceno y metanol; los cristales pueden ser monoclinico y ortorrómbicos; placas amarillentas (en benceno y ligroína)	> 360	179– 179,3	252,30	insol	1,351	8,7	> 1 mm Hg			
CRISENO 218-01-9	placas rómbicas rojas con fluorescencia roja o azul en benceno y ácido acético; placas bipiramidales ortorrómbicas en benceno; láminas incoloras con fluorescencia azul	448	255–256	228,28	insol	1,274		6,3x10 <sup>-7</sup> mm Hg			
DIBENZ(a,h)ACRIDINA 226-36-8	cristales amarillos		228	279,35							

Tabla 104.116 • 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)
DIBENZ(a,j)ACRIDINA 224-42-0	agujas o prismas de color amarillo		216	279,35							
DIBENZ(a,h)ANTRACENO 53-70-3	placas o laminillas incoloras recristalizadas en ácido acético; la solución en ácido sulfúrico concentrado es roja; los cristales pueden ser monoclinicos u ortorrómbicos	524	266	278,33	insol	1,282		1x10 <sup>-10</sup> mm Hg			
DIBENZOFURANO 132-64-9	láminas o agujas en alcohol; cristales blancos; sólido cristalino	287		168,19	10 ppm @ 25 °C	1,0886 @ 99 °C/4 °C	5,8	0,0044 mm Hg @ 25 °C			
DIBENZO(a,e)PIRENO 192-65-4	agujas de color amarillo claro en xileno; de color amarillo-rojo en solución de ácido sulfúrico concentrado		234	302,4							
DIBENZO(a,h)PIRENO 189-64-0	placas amarillas doradas en xileno o triclorobenceno; en solución de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> tiene color rojo, cambiando después a violeta o azul		308	302,38							
DIBENZO(a,i)PIRENO 189-55-9	agujas, prismas o lamelas de color amarillo verdusco	275 @ 0,05 mm Hg	281	302,4				2,39x10 <sup>-14</sup> mm Hg			
FENANTRENO 85-01-8	placas monoclinicas en alcohol; cristales brillantes incolores; laminillas	340	101	178,22	insol	0,9800 @ 4 °C	6,15	1 mm Hg @ 118,2 °C		171 ca	
FLUORANTENO 206-44-0	agujas coloreadas; agujas o placas de color amarillo claro en alcohol	375	111	202,2	insol	1,252 @ 0 °C/4 °C		0,01 mm Hg			
NAFTACENO 83-32-9	agujas blancas; agujas bipiramidales ortorrómbicas en alcohol	279	95	154,21	insol	1,0242 a 90 °C/4 °C	5,32	10 mm Hg a 131,2 °C			

Tabla 104.116 • 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)
PIRENO 129-00-0	crisales tabulares prismáticos monoclinicos en alcohol o por sublimación; el pireno puro es incoloro; placas de color amarillo claro (cuando se recristalizan en tolueno); sólido incoloro (las impurezas de tetraceno dan color amarillo)	393	156	202,2	insol	1,271 @ 23 °C		6,85x10 <sup>-7</sup> torr @ 20 °C			

## ISOCIANATOS

Los isocianatos, más comúnmente conocidos por poliuretanos, entran en la composición de la mayoría de los productos industriales denominados de esta forma. Constituyen un grupo de derivados neutros de las aminas primarias con la fórmula general  $R-N=C=O$ . Entre los isocianatos más utilizados en la actualidad se encuentran el tolueno-2,4-diisocianato (TDI), el tolueno-2,6-diisocianato y el difenilmetano-4,4'-diisocianato. El hexametileno-diisocianato y el 1,5-naftileno-diisocianato se utilizan menos.

Los isocianatos reaccionan espontáneamente con compuestos que contienen átomos de hidrógeno activos, los cuales emigran al nitrógeno. Los compuestos que contienen grupos hidroxilo forman espontáneamente ésteres de dióxido de carbono sustituido o uretanos.

### Usos

Uno de los principales usos de los isocianatos es la síntesis de poliuretanos en productos industriales. La durabilidad y resistencia del metileno-bis(4-fenil-isocianato) y el tolueno-2,4-diisocianato (TDI) los hacen adecuados para la fabricación de revestimientos de aviones, camiones cisterna y remolques. El metileno-bis(4-fenil-isocianato) se utiliza para adherir caucho a rayon y nylon y para fabricar revestimientos lacados de poliuretano que se aplican a ciertos componentes de los automóviles y al charol. El tolueno-2,4-diisocianato se emplea en revestimientos de poliuretano para sellados y acabados de suelos y madera, pinturas y sellados de hormigón. Se utiliza también en la fabricación de espumas de poliuretano y elastómeros de poliuretano para impermeabilización de tejidos y sellados de tuberías de arcilla. El hexametileno-diisocianato es un agente reticulante en la preparación de materiales dentales, lentes de contacto y adsorbentes médicos. Se utiliza también como ingrediente de pinturas para coches.

### Riesgos

Los isocianatos irritan la piel y las mucosas, produciendo afecciones cutáneas que van desde una irritación localizada hasta un eczema más o menos extendido. Las afecciones oculares son menos frecuentes y, aunque los isocianatos suelen causar lagrimeo, rara vez producen conjuntivitis. Los problemas más comunes y graves son los que afectan al sistema respiratorio. La gran mayoría de los autores mencionan formas de rinitis o rinofaringitis y se han descrito también afecciones pulmonares, principalmente manifestaciones asmáticas que varían desde una ligera dificultad para respirar hasta ataques agudos de asma, en ocasiones acompañados de pérdida súbita de la consciencia. Las personas que desarrollan sensibilidad a este tipo de compuestos pueden reaccionar con síntomas graves de asma tras su exposición a concentraciones muy bajas de isocianatos (incluso inferiores a 0,02 ppm). Además, las personas sensibilizadas pueden reaccionar a estímulos medioambientales como el ejercicio y el aire frío. El asma por sensibilización está generalmente mediada por la IgE (sólo cuando se trata de sustancias de alto peso molecular, puesto que para las sustancias de bajo peso molecular no se conoce todavía bien el mecanismo). Por el contrario, el asma inducida por sustancias irritantes es típicamente secundaria a la inflamación de las vías respiratorias y a efectos tóxicos locales directos con hiperrespuestas inespecíficas, aunque todavía no se conoce bien el mecanismo que la desencadena. Las respuestas

alérgicas se describen con más detalle en otros artículos de esta *Enciclopedia*.

Muchos isocianatos son volátiles y sus vapores pueden ser detectados por el olfato a una concentración de 0,1 ppm, si bien este nivel tan bajo es ya peligroso para algunas personas.

*Tolueno-2,4-diisocianato (TDI)*. Esta es la sustancia que más se utiliza en la industria y la responsable del mayor número de manifestaciones patológicas, porque es extremadamente volátil y porque, a menudo, se utiliza en altas concentraciones. La sintomatología correspondiente a las alteraciones producidas por la inhalación de esta sustancia es típica. Al final de un periodo, que puede ir desde unos pocos días hasta 2 meses, se presentan los siguientes síntomas: irritación de la conjuntiva, lagrimeo e irritación de la faringe. Más adelante aparecen problemas respiratorios, con una desagradable tos seca por la noche, dolor torácico, sobre todo retroesternal, dificultad para respirar y malestar. Estos síntomas empeoran por la noche y desaparecen por la mañana, con una ligera expectoración mucosa. Después de varios días de reposo, el estado del paciente mejora, pero el regreso a la actividad laboral suele acompañarse de la reaparición de las mismas alteraciones, es decir, tos, dolor torácico, disnea con roncus y sibilancias y malestar. Los estudios radiológicos y humorales suelen dar resultados negativos.

Las afecciones respiratorias que se sabe que están causadas por el TDI son bronquitis, asma de origen profesional y deterioro de la función respiratoria, tanto en el trabajo como con carácter crónico. En otros casos se producen catarros recurrentes o un eczema particularmente pruriginoso que aparece en muchas zonas diferentes de la piel. Algunos pacientes sufren al mismo tiempo problemas cutáneos y respiratorios.

Además de estas consecuencias típicas de la intoxicación, existen otros efectos, si bien raros, derivados de la exposición a concentraciones muy bajas de isocianatos durante largos periodos de tiempo, incluso años. Entre estas alteraciones podemos señalar casos de asma típicos, combinados con bradipnea espiratoria y eosinofilia en el esputo.

La fisiopatología de la intoxicación aún no se conoce perfectamente. Algunos autores creen que se produce una irritación primaria; otros piensan que se trata de un mecanismo inmunitario y lo cierto es que en algunos casos se ha demostrado la presencia de anticuerpos. La sensibilización puede demostrarse con pruebas de provocación, pero éstas deben siempre ser realizadas por un médico con experiencia y con gran precaución para evitar una sensibilización todavía mayor del paciente. No obstante, muchas de las pruebas alergológicas (con acetilcolina o los alérgenos habituales, por ejemplo) suelen dar resultados negativos. Con respecto a las pruebas de la función pulmonar, el índice VEF/CVF parece ser el que mejor refleja los problemas respiratorios. Sin embargo, los exámenes funcionales rutinarios, que se realizan lejos de una zona de exposición al riesgo, dan resultados normales.

*Difenilmetano-4,4'-diisocianato (MDI)*. Esta sustancia es menos volátil y sus vapores son peligrosos sólo cuando la temperatura alcanza los 75 °C, aunque se han descrito casos de intoxicación similares, la mayoría de ellos relacionados con aerosoles, puesto que el MDI puede utilizarse en forma líquida para atomizadores.

*Hexametileno-diisocianato*. Esta sustancia se utiliza menos, pero es altamente irritante para la piel y los ojos. El problema más común atribuido a ella es la blefarconjuntivitis. Se cree que el metilisocianato es el compuesto químico responsable del desastre de Bhopal.

*1,5-Naftileno-diisocianato.* Este isocianato se utiliza poco en la industria. Se han descrito algunos casos de intoxicación después de la exposición a vapores calentados a más de 100 °C.

### **Medidas de salud y seguridad**

La ventilación, el uso de equipos protectores y la formación de los trabajadores en materia de salud y seguridad, según se describe en otros artículos de esta *Enciclopedia*, son aspectos todos ellos necesarios cuando se trabaja con isocianatos. Es imprescindible que existan instalaciones adecuadas para extraer los vapores

de isocianato. El mecanismo de extracción debe estar colocado lo más cerca posible de la fuente donde se generan los vapores. Siempre que se diseñe un proceso industrial, deberá tenerse en cuenta la posible descomposición y liberación de isocianatos a partir de espumas y colas de poliuretano.

*Prevención médica.* El reconocimiento médico previo al empleo debe incluir un cuestionario y una exploración clínica completa para prevenir la exposición de personas con antecedentes de alergia cutánea o respiratoria a los isocianatos. Los trabajadores expuestos deben mantenerse en observación y, entre otras instalaciones sanitarias, deben disponer de duchas.

TABLAS DE ISOCIANATOS

Tabla 104.117 • Identificación química.

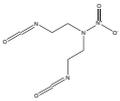
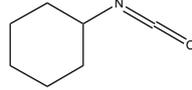
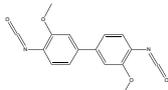
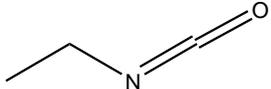
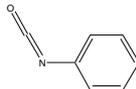
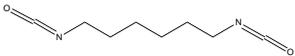
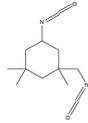
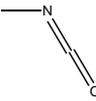
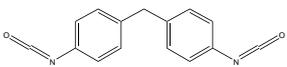
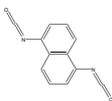
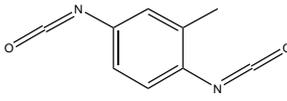
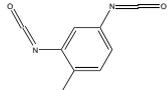
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
ACIDO ISOCIANICO, NITROIMINODIETILENDI-	3-Nitro-3-azapentano-1,5-diisocianato; ácido nitroiminodietilendiisocianico	7046-61-9	
CICLOHEXIL ISOCIANATO	Ester ciclohexilico del ácido isocianico; isocianato de ciclohexano; isocianatociclohexano UN2488	3173-53-3	
DIANISIDINA DIISOCIANATO	1,1'-Bifenilo, 4,4'-diisocianato-3,3'-dimetoxi-; 4,4'-diisocianato-3,3'-dimetoxi-1,1'-bifenilo; 3,3'-dimetoxibencidina-4,4'-diisocianato; éster 3,3'-dimetoxi-4,4'-bifenilico del ácido isocianico	91-93-0	
ETIL ISOCIANATO	Ester etilico del ácido isocianico; isocianatoetano UN2481	109-90-0	
FENIL ISOCIANATO	Isocianato de benceno; Mondur P; fenilcarbimida; fenilcarbonimida UN2487	103-71-9	
HEXAMETILENO-DIISOCIANATO	Desmodur H; Desmodur N; diisocianato de hexametileno; hexameten-1,6-diisocianato; 1,6-hexametileno-diisocianato; 1,6-hexanodiol-diisocianato; HMDI; TI 78 UN2281	822-06-0	
ISOFORONA DIISOCIANATO	5-Isocianato-1-(isocianatometil)-1,3,3-trimetilciclohexano; IPDI; 3-isocianatometil-3,5,5-trimetil ciclohexil isocianato; éster metileno(3,5,5-trimetil-3,1-ciclohexilénico) del ácido isocianico; isoforona diamina diisocianato UN2906 UN2290	4098-71-9	
METIL ISOCIANATO	Ester metilico del ácido isocianico; isocianatometano; MIC UN2480	624-83-9	
METILENBISFENIL ISOCIANATO	Ester metilendi-p-fenilénico del ácido isocianico; bis(p-isocianatofenil)metano; Caradate 30; Desmodur 44; difenilmetano 4,4'-diisocianato; difenilmetano diisocianato; Hylene M 50; isonato; isonato 125M; 4,4'-metilénbis(fenil isocianato) UN2489	101-68-8	
1,5-NAFTALENO-DIISOCIANATO	1,5-Diisocianato-naftaleno; éster 1,5-naftilénico del ácido isocianico; 1,5-naftaleno-diisocianato; 1,5-diisocianato-de naftaleno	3173-72-6	
TOLUENO-DIISOCIANATO	1,3-Diisociano metilbenceno; Desmodur T100; diisocianato metilbenceno; diisocianato-tolueno; Hylene-T; éster metilfenilénico del ácido isocianico; Mondur-TD; Nacconate-100; Niax isocianato TDI UN2078	26471-62-5	
TOLUENO-2,4-DIISOCIANATO	Cresorcinol diisocianato; Desmodur T80; diisociano-tolueno; 2,4-diisocianato-1-metilbenceno (9 CI); 2,4-diisocianato-tolueno; Hylene T; Mondur TD; Rubinate TDI 80;20; TDI; 2,4-TDI; TDI-80; TDI	584-84-9	

Tabla 104.117 • Identificación química.

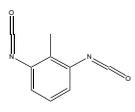
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
TOLUENO-2,6-DIISOCIANATO	2,6-Diisocianato-1-metilbenceno; 2,6-diisocianato-tolueno; Hylene TCPA; éster 2-metil- <i>m</i> -fenilénico del ácido isocianico; 2-metil- <i>m</i> -fenileno-diisocianato; 2-metil- <i>m</i> -fenileno-isocianato; Niax TDI; Niax TDI-p; 2,6-TDI	91-08-7	

Tabla 104.118 • 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
CICLOHEXIL ISOCIANATO 3173-53-3	ojos; piel; tract resp piel		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, disnea; véase ingestión Enrojecimiento Lagrimo, enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, diarrea, vómitos		
HEXAMETILENO-DIISOCIANATO 822-06-0	ojos; piel; tract resp piel		Inhalación Piel Ojos	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, disnea, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, quemaduras en la piel, ampollas Enrojecimiento, dolor, hinchazón de párpados	Ojos; piel; sis resp Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; tos, dis, bron, resp sib, edema pulm, asma; lesión córn, ampollas en la piel
ISOFORONA DIISOCIANATO 4098-71-9	ojos; piel; tract resp piel; pulmones		Inhalación Piel Ojos	Tos, dolor de garganta, los síntomas pueden tardar en aparecer Enrojecimiento Enrojecimiento	Ojos; piel; sis resp Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; opr torácica, dis, tos, dolor de garganta; bron, resp sib, edema pulm; posible sens resp; asma
METIL ISOCIANATO 624-83-9	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel; pulmones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, mareo, dificultad respiratoria, disnea, dolor de garganta, inconsciencia, vómitos Puede absorberse, quemaduras en la piel, dolor Dolor, pérdida de visión, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, dolor de garganta, vómitos	Sis resp; ojos; piel Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; sens resp, tos, secreciones pulm, dolor torácico, dis; asma; lesiones en ojos y piel; en animales: edema pulm
METILEN BISFENIL ISOCIANATO 101-68-8	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel	Inhalación Piel Ojos	Cefalea, náuseas, disnea, dolor de garganta Enrojecimiento Dolor, posibles lesiones de la córnea	Sis resp; ojos Inh; ing; con	Irrit ojos, nariz, garganta; sens resp, tos, secreciones pulm, dolor torácico, dis; asma
1,5-NAFTILENO-DIISOCIANATO 3173-72-6	ojos; piel; tract resp piel; pulmones		Inhalación Piel Ojos	Tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor	Ojos, sis resp Inh; ing; con	Irrit ojos, nariz, garganta; sens resp, tos, secreciones pulm, dolor torácico, dis; asma
TOLUENO-2,4-DIISOCIANATO 584-84-9	ojos; piel; tract resp; nariz	piel; pulmones			Ojos; sis resp; piel Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; ahogo, tos paroxísmica; dolor torácico, dolor retroest; náu, vómit, dolor abdom; broncoespasmo, edema pulm; dis, asma; conj, lag; derm, sens cutánea; [carc]

Tabla 104.119 • Riesgos físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
CICLOHEXIL ISOCIANATO 3173-53-3125	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Puede polimerizarse al calentarse o por influencia de materiales incompatibles. Se descompone al arder liberando humos tóxicos (óxidos de nitrógeno). Reacciona con oxidantes y bases fuertes, agua, alcohol, ácidos y aminas.	6.1
ETIL ISOCIANATO 109-90-0			3/ 6.1
FENIL ISOCIANATO 103-71-9			6.1
HEXAMETILENO-DIISOCIANATO 822-06-0		Se polimeriza por influencia de temperaturas superiores a 93 °C. En su combustión libera humos tóxicos y corrosivos, entre ellos óxidos de nitrógeno y cianuro de hidrógeno. Se descompone en contacto con el agua para formar aminas y poliureas. Reacciona violentamente con ácidos, alcoholes, aminas, bases y oxidantes, con peligro de incendio y explosión. Ataca el cobre.	6.1
ISOFORONA DIISOCIANATO 4098-71-9		Se descompone al calentarse liberando humos tóxicos (óxidos de nitrógeno). Reacciona con oxidantes, ácidos, alcoholes, aminas, amidas, mercaptanos. Ataca muchos metales, plásticos y caucho.	6.1
METIL ISOCIANATO 624-83-9	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia. El vapor se mezcla bien con el aire y se forman fácilmente mezclas explosivas.	Puede polimerizarse al calentarse o por influencia de agua y catalizadores. Se descompone al calentarse liberando gases tóxicos (cianuro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono). Reacciona con oxidantes fuertes. Reacciona violentamente con agua, ácidos, alcoholes, aminas, hierro, acero, zinc, estaño, cobre (o aleaciones de estos metales), con peligro de incendio y explosión. Ataca ciertos tipos de plásticos, caucho y revestimientos.	6.1/ 3
METILEN BISFENIL ISOCIANATO 101-68-8		Puede polimerizarse cuando se calienta por encima de 204 °C o por influencia de temperaturas superiores a 204 °C. En su combustión libera humos tóxicos y corrosivos, entre ellos óxidos de nitrógeno y cianuro de hidrógeno. Reacciona fácilmente con agua para formar poliureas insolubles. Reacciona violentamente con ácidos, alcoholes, aminas, bases y oxidantes, con peligro de incendio y explosión.	6.1
1,5-NAFTILENO-DIISOCIANATO 3173-72-6		Se descompone con el calor produciendo humos tóxicos (óxidos de nitrógeno).	
TOLUENO-DIISOCIANATO 26471-62-5			6.1
TOLUENO-2,4-DIISOCIANATO 584-84-9			6.1
TOLUENO-2,6-DIISOCIANATO 91-08-7			6.1

Tabla 104.120 • 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.i. (°C)	p.aut ig. (°C)
CICLOHEXIL ISOCIANATO 3173-53-3	líquido	168		125,16	reacciona	0,98	4,3				48 cc
DIANISIDINA DIISOCIANATO 91-93-0	polvo gris a marrón		112	296,30							
ETIL ISOCIANATO 109-90-0		60		71,1	insol	0,9031					
FENIL ISOCIANATO 103-71-9	líquido	158–168	-30	119,12		1,0956 @ 19,6 °C/4 °C					
HEXAMETILENO-DIISOCIANATO 822-06-0	líquido	255	-67	168,2	reacciona	1,0528	5,81	7 Pa @ 25 °C	0,9 li 9,5 ls	140 ca	454
ISOFORONA DIISOCIANATO 4098-71-9	líquido incoloro o ligeramente amarillo	158 @ 10 torr	-60	222,32	reacciona	1,062 g/ml		0,04 Pa		155– 161	430
METIL ISOCIANATO 624-83-9	líquido incoloro	39,5	-45	57,1	muy sol	0,9599	1,42	46,4	5,3 li 26 ls	-7 cc	534
METILEN BISFENIL ISOCIANATO 101-68-8	sólido condensado de color amarillo claro; cristales	196 @ 5 mm Hg	37	250,27	0,2 g/100 ml	1,197 @ 70 °C	8,6			196 cc	240
1,5-NAFTILENO-DIISOCIANATO 3173-72-6	cristales		130	210,19							
TOLUENO-DIISOCIANATO 26471-62-5	líquido transparente incoloro a amarillo claro.	251	11–14			1,22 g/ml @ 25 °C		0,01 torr			
TOLUENO-2,4-DIISOCIANATO 584-84-9	líquido incoloro que se vuelve amarillento con el tiempo; líquido o cristales transparentes o ligeramente amarillos; sólido o líquido incoloro o amarillo claro	251	20,5	174,15	reacciona	1,2244	6,0	1,3 Pa	0,9 li 9,5 ls	132 cc	620
TOLUENO-2,6-DIISOCIANATO 91-08-7		129–133 @ 18 mm Hg									

## CETONAS

La estructura química de las cetonas se caracteriza por la presencia de un grupo carbonilo ( $\text{-C=O}$ ) unido a dos átomos de carbono. Las cetonas están representadas por la fórmula general  $\text{R-CO-R'}$ , donde R y R' son habitualmente grupos alquilos o arilos. Los diferentes métodos utilizados para obtener estos compuestos son muy parecidos, al igual que lo son sus propiedades biológicas y químicas.

### Usos

Las cetonas se obtienen mediante deshidrogenación catalítica u oxidación de alcoholes secundarios. En la industria petroquímica suelen obtenerse mediante hidratación de olefinas. Se utilizan principalmente como disolventes industriales de colorantes, resinas, gomas, breas, lacas, ceras y grasas. Actúan también como productos intermedios en síntesis químicas y como disolventes en la extracción de aceites lubricantes. Las cetonas se utilizan como disolventes en la producción de plásticos, seda artificial, explosivos, cosméticos, perfumes y productos farmacéuticos.

El disolvente *acetona* se utiliza en la producción de pinturas, lacas y barnices, caucho, plásticos, colorantes y explosivos, así como en la industria fotográfica. Se emplea también en la producción de aceites lubricantes y en la fabricación de seda artificial y cuero sintético. En la industria química, la acetona es un producto químico intermedio en la producción de numerosas sustancias químicas, como las cetonas, anhídrido acético, metil-n-butilcetona, isoforona, cloroformo, yodoformo y vitamina C.

El principal uso de la *metilacetona* (MEK) es en la aplicación de adhesivos y revestimientos protectores, lo que refleja sus excelentes características como disolvente. Se utiliza también como disolvente en la producción de cintas magnéticas, el desparafinado de aceites lubricantes y el procesamiento de alimentos. Es un componente habitual de barnices y colas, así como de muchas mezclas de disolventes orgánicos.

El *óxido de mesitilo*, la *metilbutilcetona* (MBK) y la *metilisobutilcetona* (MIBK) se utilizan como disolventes en la producción de pinturas, barnices y lacas. La *4-metil-3-penten-2-ona* es un componente de los decapantes de pinturas y barnices y un disolvente de lacas, tintas y esmaltes. Se utiliza también como repelente de insectos, disolvente de resinas y gomas de nitrocelulosa-vinilo, producto químico intermedio en la preparación de metilisobutilcetona y un agente aromatizante. La metilbutilcetona es un disolvente evaporador del medio para los revestimientos de acrilatos y alquilos de nitrocelulosa. La metilisobutilcetona es un desnaturalizante del alcohol etílico y un disolvente de nitrocelulosa, lacas y barnices y revestimientos protectores. Se utiliza en la fabricación del alcohol metilamilo, en la extracción de uranio a partir de productos de fisión y en el desparafinado de aceites minerales.

Las cetonas halogenadas se utilizan en gases lacrimógenos. La cloroacetona, obtenida por cloración de la acetona, se emplea también como pesticida y en acopladores para la fotografía en color. La bromoacetona, obtenida por tratamiento de la acetona acuosa con bromo y clorato sódico a una temperatura de entre 30 y 40 °C, se utiliza en síntesis orgánica. Las cetonas alicíclicas como la *ciclohexanona* y la *isoforona* sirven como disolventes para diversos compuestos, entre ellos resinas y nitrocelulosa. Además, la ciclohexanona es un producto químico intermedio en la fabricación de ácido adípico para nylon. Las cetonas aromáticas como la *acetofenona* y la *benzoquinona* son disolventes y productos

químicos intermedios. La acetofenona se utiliza como fragancia en perfumes, jabones y cremas, y como agente aromatizante en alimentos, bebidas no alcohólicas y tabaco. La benzoquinona sirve como acelerante del caucho, agente de curtido en la industria del cuero y agente oxidante en la industria fotográfica.

### Riesgos

Las cetonas son sustancias inflamables y las más volátiles de ellas pueden liberar vapores en cantidad suficiente, a temperatura ambiente, como para formar mezclas explosivas con el aire. Aunque la principal vía de absorción durante las exposiciones profesionales es la vía respiratoria, algunas cetonas se absorben fácilmente a través de la piel intacta. Por regla general, las cetonas se excretan con rapidez, en su mayor parte con el aire espirado. Su metabolismo suele realizarse mediante hidroxilación oxidativa, seguida de reducción a alcohol secundario. Las cetonas poseen propiedades narcóticas cuando se inhalan en grandes concentraciones. A concentraciones más bajas pueden provocar náuseas y vómitos y son irritantes para los ojos y el sistema respiratorio. Los umbrales de percepción son incluso más bajos. Estos efectos fisiológicos tienden a potenciarse en las cetonas insaturadas y en las más altas de la serie.

Además de deprimir el sistema nervioso central (SNC), la exposición excesiva a cetonas puede también producir efectos en el sistema nervioso periférico, tanto sensoriales como motores. Causa asimismo una irritación moderada de la piel, siendo probablemente la metil-n-amil cetona la más irritante de todas.

*Acetona*. Es muy volátil y puede inhalarse en grandes cantidades cuando se encuentra en altas concentraciones. Pasa a la sangre a través de los pulmones y se difunde por todo el organismo. También se pueden absorber pequeñas cantidades a través de la piel.

Los síntomas típicos que aparecen después de la exposición a acetona consisten en narcosis, ligera irritación de la piel e irritación más pronunciada de las mucosas. La exposición a altas concentraciones produce una sensación de malestar, seguida de colapso progresivo acompañado de estupor, respiración irregular y, finalmente, coma. También pueden aparecer náuseas y vómitos, seguidos en ocasiones por hematemesis. En algunos casos, la presencia de albúmina, hematíes y leucocitos en la orina indica la posibilidad de lesiones renales. Cuando se encuentran niveles altos de urobilina y aparición precoz de bilirrubina, debe pensarse en la posibilidad de alteraciones hepáticas. Cuanto más larga es la exposición, más disminuye la frecuencia respiratoria y el pulso. Estos cambios son más o menos proporcionales a la concentración de acetona. Los casos de intoxicación crónica producidos por la exposición prolongada a pequeñas concentraciones de acetona son poco frecuentes; no obstante, en algunos casos de exposición repetida a pequeñas concentraciones, los individuos se quejaron de cefalea, sopor, vértigo, irritación de garganta y tos.

*1-Bromo-2-propanona* (bromoacetona). Es tóxica y muy irritante para la piel y las mucosas. Debe almacenarse en una zona ventilada y, siempre que sea posible, manipularse en sistemas cerrados. Los recipientes deben mantenerse cerrados y debidamente etiquetados. Los trabajadores potencialmente expuestos a sus vapores deben utilizar gafas de seguridad química herméticas a los gases y equipos de protección respiratoria. En algunos países, esta sustancia se clasifica como un residuo peligroso, exigiendo por tanto unos requisitos especiales para su manipulación.

*2-Cloroacetofenona*. Es muy irritante para los ojos y provoca lagrimeo. La exposición aguda puede producir lesiones permanentes en la córnea. La irritación parece ser el principal efecto de este compuesto químico. Al calentarse se descompone liberando humos tóxicos.

*Ciclohexanona*. La exposición de animales de experimentación a altas dosis de ciclohexanona produjo cambios degenerativos en el hígado, los riñones y el músculo cardíaco; la aplicación repetida sobre la piel produjo cataratas. La ciclohexanona resultó ser también embriotóxica para los huevos de pollo. No obstante, en las personas expuestas a concentraciones mucho menores, su principal efecto parece ser una irritación moderada.

*1-Cloro-2-propanona* (cloroacetona). Es un líquido cuyo vapor produce un intenso lagrimeo, así como irritación de la piel y el tracto respiratorio. Sus efectos como irritante ocular y lacrimógeno son tan intensos que se ha utilizado como gas bélico. Una concentración de 0,018 mg/l es suficiente para producir lagrimeo y una concentración de 0,11 mg/l no puede, en general, soportarse durante más de 1 min. En su manipulación y almacenamiento deben tomarse las mismas precauciones que con el cloro.

*Diacetona*. Tiene propiedades irritantes para los ojos y las vías aéreas superiores; a concentraciones mayores produce excitación y somnolencia. La exposición prolongada puede causar lesiones renales y hepáticas, así como cambios hematológicos.

*Hexafluoroacetona* [CAS 684-16-2]. Es un gas muy irritante, especialmente para los ojos. La exposición a concentraciones relativamente altas causa trastornos respiratorios y hemorragia en la conjuntiva. Una serie de estudios experimentales han demostrado sus efectos adversos en el sistema reproductor masculino, entre ellos una alteración de la espermatogénesis. Se han observado también cambios en el hígado, los riñones y el sistema linfopoyético. Las propiedades irritantes de esta sustancia exigen la adopción de precauciones especiales durante su manipulación.

*Isoforona*. Además de producir una intensa irritación de los ojos, la nariz y las mucosas, este compuesto químico puede afectar al sistema nervioso central y hacer que la persona expuesta sufra una sensación de ahogo. Los otros síntomas de su efecto en el SNC son mareo, fatiga y embriaguez. La exposición reiterada en animales de experimentación produjo efectos tóxicos en los pulmones y los riñones; una exposición única a altas dosis causó narcosis y parálisis del centro respiratorio.

*Oxido de mesitilo*. Es un potente irritante, tanto por contacto con el líquido como con sus vapores y puede causar necrosis de la córnea. Las exposiciones cortas producen efectos narcóticos, mientras que las exposiciones prolongadas o repetidas pueden causar lesiones en el hígado, los riñones y los pulmones. Se absorbe fácilmente a través de la piel intacta.

*Metilamilcetona*. Es irritante para la piel y produce narcosis a altas concentraciones, pero no parece ser neurotóxica.

*Metilbutilcetona* (MBK). En una fábrica de tejidos estampados, varios casos de neuropatía periférica fueron atribuidos a la exposición a este disolvente, donde se había sustituido la metil-*n*-butilcetona por metilisobutilcetona en las máquinas de estampado antes de detectarse problemas neurológicos. Esta cetona tiene dos metabolitos (5-hidroxi-2-hexanona y 2,5-hexanediona) en común con el *n*-hexano, que también se considera un agente causante de neuropatías periféricas y que se describe en otros artículos de esta *Enciclopedia*. Los síntomas de neuropatía periférica consisten en debilidad muscular y hallazgos electromiográficos anormales. Los primeros síntomas de intoxicación pueden ser hormigueo, entumecimiento y debilidad en los pies.

*2-Metilciclohexanona*. El contacto con esta sustancia produce una intensa irritación de los ojos y la piel; su inhalación irrita las vías aéreas superiores. La exposición reiterada puede causar lesiones en los riñones, el hígado y los pulmones. La metilciclohexanona reacciona violentamente con el ácido nítrico.

*Metililcetona* (MEK). La exposición breve de los trabajadores a una concentración atmosférica de 500 ppm de MEK provocó náuseas y vómitos; a concentraciones algo menores, los trabajadores experimentaron irritación de la garganta y dolor de cabeza. A concentraciones altas se han descrito casos de afección neurológica, con neuropatía simétrica e indolora, predominio de lesiones sensoriales y posible afectación de los miembros superiores o inferiores. En algunos casos se han visto afectados los dedos de la mano por inmersión de la mano desnuda en el líquido. Se han descrito también casos de dermatitis, tanto por inmersión en el líquido como por exposición a vapores concentrados.

*Metilisobutilcetona* (MIBK). Esta sustancia comparte los efectos irritantes y los efectos en el SNC de muchas otras cetonas. La exposición a altas concentraciones produce vértigo, cefalea y fatiga.

### Medidas de salud y seguridad

Deben adoptarse las medidas recomendadas para las sustancias inflamables. Los métodos de trabajo y las técnicas de higiene industrial pueden reducir la volatilización de las cetonas en la atmósfera del lugar de trabajo de manera que no se sobrepasen los límites de exposición.

Además, en la medida de lo posible, se sustituirán las cetonas con propiedades neurotóxicas (como la metililcetona y la metil-*n*-butilcetona) por productos menos tóxicos. Se recomienda realizar un reconocimiento médico previo al empleo, así como exámenes periódicos a partir de entonces, con especial atención al SNC y al sistema nervioso periférico, el sistema respiratorio, los ojos, los riñones y la función hepática. La exploración electrodiagnóstica mediante electromiografía y determinación de la velocidad de conducción nerviosa está especialmente indicada en los trabajadores expuestos a metil-*n*-butilcetona.

TABLAS DE CETONAS

Tabla 104.121 • Identificación química.

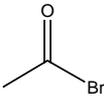
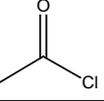
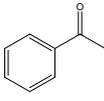
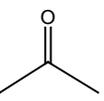
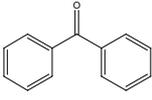
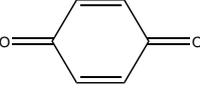
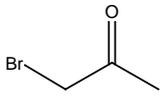
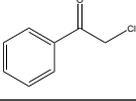
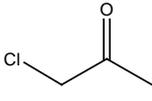
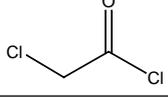
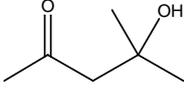
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
ACETILBROMURO	Acido acético, bromuro; etanoilbromuro UN1716	506-96-7	
ACETILCLORURO	Acido acético, cloruro; cloruro acético; etanoilcloruro UN1717	75-36-5	
ACETOFENONA	Acetilbenceno; benzoil metilo; Dymex; etanona, hipnona; Hipnona; metilfenilcetona; 1-feniletanona; fenilmetilcetona	98-86-2	
ACETONA	Dimetilformaldehido; dimetilcetona; cetona propano; metilcetona; propanona; 2-propanona UN1090; UN1091	67-64-1	
BENZOFENONA	Benzoilbenceno; difenilcetona; difenilmetanona; cetona, difenil; $\alpha$ -oxodifenilmetano; $\alpha$ -oxoditiano; fenilcetona	119-61-9	
p-BENZOQUINONA	1,4-Benzoquinona; benzoquinona; ciclohexadiendiona; 1,4-ciclohexadiendiona; 2,5-ciclohexadieno-1,4-diona; dióxido de 1,4-ciclohexadieno; 1,4-dioxibenceno UN2587	106-51-4	
1-BROMO-2-PROPANONA	Acetonilbromuro; acetilmetilbromuro; bromometilmetilcetona; bromo-2-propanona; bromoacetona UN1569	598-31-2	
CETENA	Carbometeno; etenona; cetoetileno	463-51-4	C = O
CICLOHEXANONA	Ciclohexilcetona; Hytrol O; cetohehexametileno; Nadone UN1915	108-94-1	
CICLOPENTANONA	Cetona adipica; Dumasín; cetociclo-pentano; cetopentametileno UN2245	120-92-3	
2-CLOROACETOFENONA	$\alpha$ -Cloroacetofenona; 1-cloroacetofenona; clorometilfenilcetona UN1679	532-27-4	
1-CLORO-2-PROPANONA	Acetonilcloruro; cloroacetona; 1-cloro-2-cetopropano; 1-cloro-2-oxopropano; cloropropanona; monocloroacetona UN1695	78-95-5	
CLORURO CLOROACETICO	Cloruro del ácido cloroacético; monocloroacetilcloruro UN1752	79-04-9	
DIACETONA	Alcohol de diacetona; alcohol de dicetona; 4-hidroxi-4-metil-2-pentanona UN1148	123-42-2	

Tabla 104.121 • Identificación química.

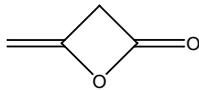
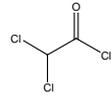
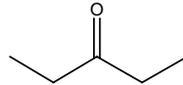
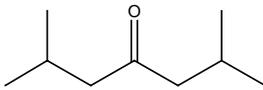
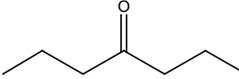
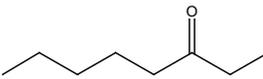
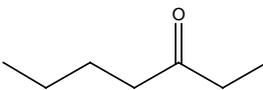
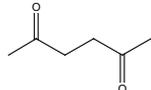
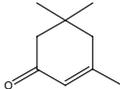
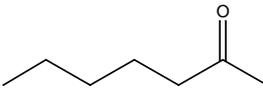
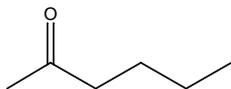
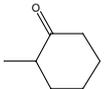
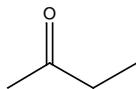
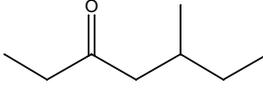
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
DICETENA	3-Buteno-beta-lactona; dicetena, dímero; 4-metilen-2-oxetanona; 4-metilen-2-oxetanona; 4-metileno; 4-metoxi-4-metil-2-pentanona UN2521	674-82-8	
DICLOROACETILCLORURO	$\alpha, \alpha$ -Dicloroacetilcloruro; 2,2-dicloroacetilcloruro; dicloroetanoilcloruro UN1765	79-36-7	
DIETILCETONA	DEK; 3-pentanona; dimetilacetona; metacetona; propiona UN1156	96-22-0	
2,6-DIMETIL-4-HEPTANONA	Diisobutilcetona; sim-diisopropilacetona; isobutil cetona; isovalerona; valerona UN1157	108-83-8	
DIPROPILCETONA	Butirona; GBL; 4-heptanona; heptan-4-ona; propilcetona UN2710	123-19-3	
ETILAMILCETONA	3-Octanona; amililcetona; EAK UN2271	106-68-3	
ETILBUTILCETONA	<i>n</i> -Etilbutilcetona, 3-heptanona	106-35-4	
2,5-HEXANODIONA	Acetona, acetoniil; acetoniilacetona; diacetoniil; $\alpha, \beta$ -diacetiletano; 1,2-diacetiletano; 2,5-dicetoheptano	110-13-4	
ISOFORONA	Isoacetoforona; 1,1,3-trimetil-3-ciclohexen-5-ona; 3,5,5-trimetil-2-ciclohexen-1-ona; 3,3,5-trimetil-5-ciclohexen-1-ona	78-59-1	
METILAMILCETONA	Amililcetona; 2-heptanona; <i>n</i> -amililcetona; metilpentilcetona UN1110	110-43-0	
METILBUTILCETONA	2-Hexanona; butililcetona, 2-oxohexano; MBK	591-78-6	
2-METILCICLOHEXANONA	<i>o</i> -Metilciclohexanona	583-60-8	
METIL ETIL CETONA	2-Butanona; butanona; 3-butanona; MEK; metilacetona; etililcetona UN1193	78-93-3	
5-METIL-3-HEPTANONA	Etil- <i>sec</i> -amilcetona; etilamilcetona; 3-metil-5-heptanona	541-85-5	

Tabla 104.121 • Identificación química.

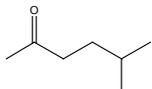
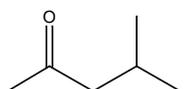
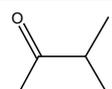
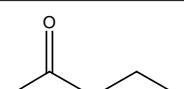
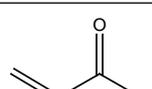
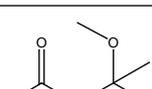
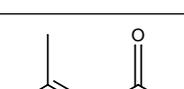
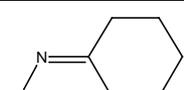
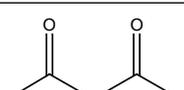
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
5-METIL-2-HEXANONA	Isoamilmetilcetona; isopentilmetilcetona; 2-metil-5-hexanona; metilisoamilcetona; MIAK UN2302	110-12-3	
METILISOBUTILCETONA	Hexona; isopropilacetona; 2-pentanona, 4-metil-; 2-metil-4-pentanona; 4-metil-2-pentanona; MIBK; MIK UN1245	108-10-1	
METILISOPROPILCETONA	2-Acetilpropano; 3-metil-2-butanona; metilisopropilcetona; MIPK UN2397	563-80-4	
METILPROPILCETONA	Etilacetona; metil-N-propilcetona; 2-pentanona	107-87-9	
METILVINILCETONA	Acetona, metileno; acetiletileno; 3-buten-2-ona; butenona; metilvinilcetona UN1251	78-94-4	
4-METOXI-4-METIL-2-PENTANONA	UN2293	107-70-0	
OXIDO DE MESITILO	Acetona, isopropilideno; isobutenilmetilcetona; isopropiliden acetona; 4-metil-3-penten-2-ona UN1229	141-79-7	
OXIMOCICLOHEXANONA	(Hidroximino)ciclohexano	100-64-1	
2,4-PENTANODIONA	Acetoacetona; acetilacetona; acetil-2-propanona; diacetilmetano; pentanodiona UN2310	123-54-6	

Tabla 104.122 • 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
ACETILBROMURO 506-96-7	tract resp; piel		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, dolor de garganta, dificultad respiratoria, disnea, síntomas de efectos diferidos Enrojecimiento, dolor, quemaduras en la piel Dolor, enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras profundas graves Sensación de quemazón, espasmos abdominales, vómitos		
ACETONA 67-64-1	ojos; tract resp; SNC; hígado; riñones; estómago	piel; SNC; células sanguíneas	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Salivación, confusión, tos, mareo, sopor, cefalea, cabeza congestionada, dolor de garganta, inconsciencia Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, posibles lesiones en la córnea Náuseas, vómitos	Sis resp; piel; ojos; SNC Inh; ing; con	Irrit ojos, nariz, garganta; cef, mar, depres SNC; dermat
BENZOFENONA 119-61-9	ojos; piel; tract resp; SNC		Inhalación Piel Ojos	Dolor de garganta Enrojecimiento Enrojecimiento		
p-BENZOQUINONA 106-51-4	ojos; piel; tract resp; SNC; hígado; riñones	piel; tract resp; hígado; riñones	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, hemorragias nasales, dificultad respiratoria, disnea, dolor de garganta Puede absorberse; enrojecimiento, dolor, manchas marrones, ampollas Enrojecimiento, dolor, pérdida de visión, manchas marrones Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, muerte	Ojos; piel Inh; ing; con	Irrit ojos; conj; quera; irrit piel
CETENA 463-51-4			Inhalación Piel Ojos	Tos, disnea Enrojecimiento Enrojecimiento	Ojos, piel, sis resp Inh; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta, sis resp; edema pulm
CICLOHEXANONA 108-94-1	ojos; tract resp; piel		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, mareo, sopor, embotamiento, dolor de garganta, inconsciencia Puede absorberse, sequedad de piel, enrojecimiento Lagrimo, enrojecimiento, dolor, opacidad de la córnea Dolor abdominal, sensación de quemazón, sopor, embotamiento, inconsciencia	Ojos; piel; sis resp; SNC; hígado; riñones	Irrit ojos; piel; muc; cef; narco; coma; dermat; en animales: lesiones hepáticas y renales
CICLOPENTANONA 120-92-3	ojos; piel; tract resp	piel	Inhalación Piel Ojos	Tos, dolor de garganta Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor		
2-CLOROACETOFENONA 532-27-4	ojos; piel; tract resp; SNC	piel	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón en el pecho, tos, cefalea, dificultad respiratoria, disnea, vómitos, respiración sibilante Enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, pérdida parcial permanente de visión Inconsciencia, pérdida de reflejos	Sis resp; piel; ojos Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, sis resp; edema pulm
1-CLORO-2-PROPANONA 78-95-5	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel	Inhalación Piel Ojos	Tos, sensación de quemazón, dificultad respiratoria, dolor de garganta Puede absorberse, enrojecimiento, quemaduras en la piel, sensación de quemazón, dolor, efectos diferidos: ampollas Enrojecimiento, dolor, visión borrosa		

Tabla 104.122 • 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
DIACETONA 123-42-2					Ojos; piel; sis resp; SNC; hígado Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; lesiones cón; en animales: narco, lesiones hepáticas
DICETENA 674-82-8			Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, cefalea, disnea, mareo, embotamiento Sequedad de piel, enrojecimiento, dolor Enrojecimiento, dolor Espasmos abdominales, mareo, embotamiento, cefalea		
DICLOROACETILCLORURO 79-36-7	ojos; piel; tract resp superior		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria Enrojecimiento, dolor, ampollas Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves Espasmos abdominales, sensación de quemazón, debilidad		
DIETILCETONA 96-22-0	ojos; piel; tract resp; pulmones	pulmones	Inhalación Piel Ojos	Tos, disnea Enrojecimiento Enrojecimiento	Sis resp; ojos; piel Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, muc, sis resp; tos, estornudos
2,6-DIMETIL-4-HEPTANONA 108-83-8	ojos; tract resp; pulmones	piel; hígado; riñones	Inhalación Piel Ojos	Cefalea, mareo, náuseas, vómitos, dolor de garganta Enrojecimiento, embotamiento Enrojecimiento	Ojos; piel; sis resp; SNC; hígado; riñones Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz, garganta; cef, mar, derm; lesiones hepáticas y renales
ETILBUTILCETONA 106-35-4	ojos; piel; tract resp	piel; hígado; riñones	Inhalación Piel Ojos	Cefalea, mareo, dolor de garganta, inconsciencia Enrojecimiento Enrojecimiento, dolor	Sis resp; ojos; piel; SNC Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, muc; cef, narco, coma; derm
ISOFORONA 78-59-1	ojos; piel	piel			Ojos; piel; sis resp; SNC; hígado; riñones Inh; ing; con	Irrit ojos, nariz, garganta; cef, náu, mar, fte, mal, narco; derm; en animales: lesiones renales y hepáticas
METILAMILCETONA 110-43-0			Inhalación Ojos	Cefalea, mareo, visión borrosa, inconsciencia Enrojecimiento	Ojos; piel; sis resp; SNC; SNP Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, muc; cef, narco, coma; derm
METILBUTILCETONA 591-78-6	ojos; piel; tract resp		Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, sopor, cefalea, inconsciencia Puede absorberse, sequedad de piel, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor, visión borrosa Dolor abdominal, diarrea, náuseas, dolor de garganta		
2-METILCICLOHEXANONA 583-60-8	ojos; piel; tract resp; SNC	piel; SNC			SNC; piel; sis resp; hígado; riñones Inh; abs; ing; con	En animales: irrit ojos, muc; narco; derm
METILETILCETONA 78-93-3					Ojos; piel; sis resp; SNC Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, nariz; cef, mar; vómit; derm
5-METIL-3-HEPTANONA 541-85-5	ojos; piel; tract resp; pulmones	piel			Ojos; piel; sis resp; SNC	Irrit ojos, piel, muc; cef, narco, coma; derm

Tabla 104.122 • 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
5-METIL-2-HEXANONA 110-12-3	ojos; piel; tract resp	piel; ojos	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Cefalea, mareo, sopor Enrojecimiento Enrojecimiento Náuseas, vómitos	Ojos; piel; sis resp; SNC; hígado; riñones Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, muc; cef, narco, coma; derm; en animales: lesiones hepáticas y renales
METILISOBUTILCETONA 108-10-1	ojos; piel; tract resp; SNC	piel; timo; pulmones; cerebro; conducto nasal	Inhalación  Piel Ojos	Sensación de quemazón, diarrea, cefalea, náuseas, dolor de garganta, inconsciencia, vómitos, debilidad Sequedad de piel, sensación de quemazón Enrojecimiento, dolor	Ojos; piel; sis resp; SNC; PNS Inh; abs; ing; con	Irrit ojos, nariz; neur peri; deb, pares; derm; cef, sop
METILISOPROPILCETONA 563-80-4			Inhalación Piel Ojos Ingestión	Tos, cefalea, dolor de garganta, debilidad Puede absorberse Enrojecimiento Náuseas, vómitos	Ojos; piel; sis resp Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, muc, sis resp; tos
METILPROPILCETONA 107-87-9	ojos; piel; tract resp; SNC	piel; hígado; riñones; sangre	Inhalación Piel Ojos Ingestión	Embotamiento, sopor Sequedad de piel, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Náuseas, vómitos	Ojos; piel; sis resp; SNC Inh; ing; con	Irrit ojos, piel, muc; cef; derm; narco, coma
2,4-PENTANODIONA 123-54-6	ojos; piel; tract resp	piel	Inhalación  Piel Ojos Ingestión	Mareo, sopor, cefalea, dificultad respiratoria, náuseas, vómitos, ataxia y temblores Puede absorberse, enrojecimiento Enrojecimiento, dolor Diarrea, náuseas, vómitos, debilidad, ataxia	Sis resp; ojos; piel; SNC	

Tabla 104.123 • Peligros físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
ACETILBROMURO 506-96-7		Se descompone al calentarse liberando humos tóxicos y corrosivos con agua y alcoholes, con peligro de incendio y explosión	Reacciona violentamente
ACETILCLORURO 75-36-5			3
ACETONA 67-64-1	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Puede formar peróxidos explosivos en contacto con oxidantes fuertes	Ataca muchos plásticos 3
BENZOFENONA 119-61-9		Reacciona con oxidantes fuertes	
p-BENZOQUINONA 106-51-4	Posibilidad de explosión pulverulenta cuando se encuentra en forma de polvo o granular y se mezcla con el aire. En seco puede cargarse electrostáticamente como consecuencia de turbulencias, transporte neumático, vertidos, etc.	Reacciona con oxidantes fuertes con peligro de incendio y explosión con bases fuertes. Por encima de 60 °C en ambientes húmedos se autocalienta y descompone liberando gases tóxicos (monóxido de carbono)	Reacciona violentamente 6.1

Tabla 104.123 • Peligros físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios
CETENA 463-51-4	El gas es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Se polimeriza fácilmente Reacciona violentamente con muchos compuestos orgánicos Reacciona con agua para formar ácido acético Se descompone en alcohol y amoníaco	
CICLOHEXANONA 108-94-1	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	En su combustión libera monóxido de carbono peligro de incendio y explosión	3
CICLOPENTANONA 120-92-3	El vapor es más pesado que el aire	Se polimeriza fácilmente por influencia de ácidos (óxidos de carbono) Reacciona con ácidos	3
2-CLOROACETOFENONA 532-27-4		En su combustión libera vapores tóxicos y corrosivos produciendo gases corrosivos (cloruro de hidrógeno)	3
1-CLORO-2-PROPANONA 78-95-5		Se polimeriza lentamente por influencia de la luz En su combustión libera gases tóxicos y corrosivos (óxidos de carbono, cloruro de hidrógeno, fosgeno) Reacciona con oxidantes fuertes	3
DIACETONA 123-42-2			3
DICETENA 674-82-8			3
DICLORACETILCLORURO 79-36-7		Se descompone al calentarse en contacto con humedad, metales alcalinos, metales alcalino-térreos, polvo metálicos, produciendo cloruro de hidrógeno y fosgeno, con peligro de incendio y explosión Reacciona con oxidantes fuertes, alcoholes y agua Ataca muchos metales formando un gas combustible	
DIETILCETONA 96-22-0	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia El vapor se mezcla bien con el aire; se forman fácilmente mezclas explosivas	Reacciona violentamente con oxidantes, con peligro de incendio y explosión	Ataca muchos plásticos 3
2,6-DIMETIL-4-HEPTANONA 108-83-8		Reacciona con oxidantes	Ataca algunos tipos de plásticos 3
DIPROPILCETONA 123-19-3			3
ETILAMILCETONA 106-68-3			3
METILAMILCETONA 110-43-0		Reacciona con materiales oxidantes	Ataca algunos tipos de plásticos 3
METILBUTILCETONA 591-78-6		Reacciona violentamente con oxidantes y puede formar peróxidos inestables	Ataca los plásticos 3
METILETILCETONA 78-93-3			3
5-METIL-2-HEXANONA 110-12-3			3

Tabla 104.123 • Peligros físicos y químicos.

Denominación química Número CAS	Físicos	Químicos	Clase o división UN/Riesgos subsidiarios	
METILISOBUTILCETONA 108-10-1	El vapor es más pesado que el aire y puede desplazarse a ras del suelo; posibilidad de ignición a distancia	Puede formar peróxidos explosivos	En su combustión libera monóxido de carbono	3
METILISOPROPILCETONA 563-80-4	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 acres y vapores tóxicos	Reacciona violentamente con oxidantes fuertes	3
METILPROPILCETONA 107-87-9	El vapor se mezcla bien con el aire; se forman fácilmente mezclas explosivas	Puede reaccionar violentamente con agentes oxidantes		3
4-METOXI-4-METIL-2-PENTANONA 107-70-0				3
OXIDO DE MESITILO 141-79-7		Puede formar peróxidos explosivos muchos plásticos	Reacciona violentamente con oxidantes fuertes	Ataca 3
2,4-PENTANODIONA 123-54-6	El vapor es más pesado que el aire	Se polimeriza por influencia de la luz	En su combustión libera óxidos de carbono tóxicos	Reacciona con oxidantes fuertes, bases y agentes reductores

Tabla 104.124 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)
ACETILBROMURO 506-96-7	líquido incoloro	76	-96	122,96	sol	1,52 @ 9 °C		14,3 @ 21			
ACETOFENONA 98-86-2	láminas o prismas monoclinicos; líquido ligeramente aceitoso; líquido incoloro; el líquido forma cristales laminares a baja temperatura	202	20,5	120,16	insol	1,033 @ 15(°C)/ 15 °C	4,14	0,059 @ 25 °C		82 ca	570
ACETONA 67-64-1	líquido incoloro	56,2	-95,35	58,08	misc	0,7899		2,0	2,15 li 13,0 ls	-20	465
BENZOFENONA 119-61-9	cristales blancos	305	49	182,2	insol	1,1					
p-BENZOQUINONA 106-51-4	primas monoclinicos amarillos en agua o éter de petróleo; sólido de color verduzco- amarillento		115,7	108,09	lig sol	1,318 @ 20 °C/4 °C	3,7	0,013 @ 25 °C		38-9 3 cc	560
1-BROMO-2-PROPANONA 598-31-2	líquido incoloro; se torna rápidamente violeta incluso en ausencia de aire	137	-36,5	136,99	lig sol	1,634 @ 23 °C	4,75	1,20			

Tabla 104.124 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)
CETENA 463-51-4	gas incoloro	-56	-150	42,0	reacciona		1,4				Gas infla- mable
CICLOHEXANONA 108-94-1	liquido aceitoso; liquido de color blanco-agua o amarillo claro	155,6	16,4	98,14	sol	0,9421 @ 25 °C; 0,9478	3,4	0,67 @ 26,4 ° C	1,1 li 9,4 ls	63 cc	420
CICLOPENTANONA 120-92-3	liquido móvil de color blanco-agua	130,6	-51,3	84,12	insol	0,948	2,3	1,51 @ 25 °C		31cc	
CLOROACETILCLORURO 75-36-5	liquido incoloro o ligeramente amarillo	106	21,77	112,95		1,4202		2,35			
2-CLOROACETOFENONA 532-27-4	crisales incoloros o grisáceos	247	56,5	154,6	insol	1,324 @ 15 °C	5,3	< 10 Pa		118	
1-CLORO-2-PROPANONA 78-95-5	liquido incoloro	119,7	-44,5	92,53	sol	1,123 @ 25 °C				40 ca	
DIACETONA 123-42-2	liquido incoloro	167,9	-44	116,16	misc	0,9306 @ 25 °C	4,0	0,13	1,8 li 6,9 sl	66 ca	sin ace- tona 603 comer- cial 643
DICETENA 674-82-8	liquido transparente incoloro cuando es puro	127,4	-6,5	84,08	sol	1,0897	2,9			34 ca	
DICLOROACETILCLORURO 79-36-7	liquido fumante incoloro o amarillo	107-108		147,4	se descompone	1,53	5,09	3,06	11,9 li ? ls	66	585
DIETILCETONA 96-22-0	liquido móvil incoloro	101,7	-39,8	86,13	muy sol	0,814	3,0	4,72 @ 25 °C	1,6.	13 ca	452
2,6-DIMETIL-4-HEPTANONA 108-83-8	liquido incoloro	168	-42	142,2	insol	0,805	4,9	0,23	0,8 li 6,2 @ 93 °C ls	49 cc	396
DIPROPILCETONA 123-19-3		144	-33	114,18	insol	1,407					
ETILAMILCETONA 106-68-3		167,5		128,21	insol	0,882 @ 25 °C					
ETILBUTILCETONA 106-35-4	liquido transparente	147 @ 765 mm Hg	-39	114,21	insol	0,8183		0,19 @ 25 °C		46 ca	
2,5-HEXANODIONA 110-13-4		194	-5,5	114,4	muy sol	0,737					
ISOFORONA 78-59-1	liquido transparente como el agua	214 @ 754 mm Hg	-8,1	138,2	lig sol	0,9229	4,77	0,059 @ 25 °C	0,8 li 3,8 ls	84 cc	460
METILAMILCETONA 110-43-0	liquido transparente como el agua	151,5	-35,5	114,18	muy sol	0,8197 @ 15 °C; 0,8068 @ 30 °C	3,9	0,21 @ 25 °C	1,1 @ 66 °C li 7,9 @ 121 ° C ls	39 cc	393

Tabla 104.124 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)
METILBUTILCETONA 591-78-6	líquido incoloro	128	-57	100,16	lig sol	0,8113	3,5	1,6 @ 25 °C	1,3 li 8,0 ls	25 cc	423
2-METILCICLOHEXANONA 583-60-8				112,19							
METILETILCETONA 78-93-3	líquido incoloro	79,6	-86,3	72,10	muy sol	0,805	2,41	10,33	1,4 li 11,4 @ 93 °C ls	-9 cc	404
5-METIL-3-HEPTANONA 541-85-5	líquido incoloro	157-162		128,24	insol en agua	0,820-0,824 @ 20 °C		25 °C @ 0,27		59	
5-METIL-2-HEXANONA 110-12-3	líquido incoloro	144	73,9	114,21	lig sol	0,888 @ 20 °C	3,9	0,60	1,0 li 8,2 @ 93 °C ls	36 cc	191
METILISOBUTILCETONA 108-10-1	líquido incoloro	116,8	-84,7	100,16	lig sol	0,7978	3,5	2,09	1,4 li 7,5 @ 93 °C ls	24 ca	460
METILISOPROPILCETONA 563-80-4	líquido incoloro	94	-92	86,1	lig sol	0,8	3,46	5 @ 29,6 ° C	1,2 li 8,2 ls	3	456
METILPROPILCETONA 107-87-9	líquido incoloro	101,7	-77,8	86,13	lig sol	0,805	3,0	2,13 @ 25 °C	1,5 li 8,2 ls	70 cc	505
METILVINILCETONA 78-94-4	líquido incoloro	81,4	-7	70,09	sol	0,8636; 0,8407 @ 25 °C	2,41	11,18 @ 25 °C	2,1 li 15,6 ls	-7 cc	491
4-METOXI-4-METIL-2-PENTANONA 107-70-0	líquido transparente como el agua	147-163		130,21	muy sol			0,42 @ 25 °C			
OXIDO DE MESITILO 141-79-7	líquido aceitoso incoloro	130	-52,9	98,14	sol	0,8592 @ 15 °C	3,4	1,16	1,4 li 7,2 ls	31 cc	344
OXIMOCICLOHEXANONA 100-64-1	primas hexagonales en éter de petróleo	206-210	89-90	113,18	sol						
2,4-PENTANODIONA 123-54-6	líquido incoloro o ligeramente amarillo	139 @ 746 mm Hg	-23	100,12	muy sol	0,9721 @ 25 °C	3,5	0,39	2,4 li 11,6 ls	34 cc	335

Continua ...