

Benceno

BENZENE

C_6H_6

FICHAS DE AYUDA PARA LA SUSTITUCIÓN: La sustitución como medida más efectiva

La sustitución de los agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos es la medida preventiva prioritaria y más efectiva frente a los riesgos derivados de la exposición a dichos agentes en el trabajo. En la Ficha n° 00. Aspectos generales, de esta colección técnica, puede consultarse información general, procedimientos y herramientas de ayuda para la sustitución.

Asimismo, en la Ficha n° 05 Benceno, de la colección "Agentes Cancerígenos en el Trabajo: Conocer para prevenir", se facilita información general sobre el agente y dónde se puede encontrar; los principales efectos para la salud; profesiones o sectores industriales donde puede haber exposición y niveles medios de exposición cuando existen estudios sobre ello; información sobre evaluación y control de la exposición, vigilancia de la salud, así como otras medidas preventivas.

En la presente colección se resume aquella información relativa a los aspectos anteriores, con carácter no exhaustivo, y que pueda tener mayor impacto en la sustitución del agente, aportándose referencias de opciones y buenas prácticas para su sustitución en aquellos sectores identificados con mayor exposición.

Principales características y efectos en la salud

El benceno es un hidrocarburo aromático líquido, incoloro, volátil, de olor dulce y altamente inflamable. Su densidad es menor que la del agua y es ligeramente soluble en ella.

Además de la vía inhalatoria, la absorción por vía dérmica del benceno puede suponer una aportación significativa al contenido corporal total.

ÍNDICE

Principales características
y efectos en la salud

Referencias normativas

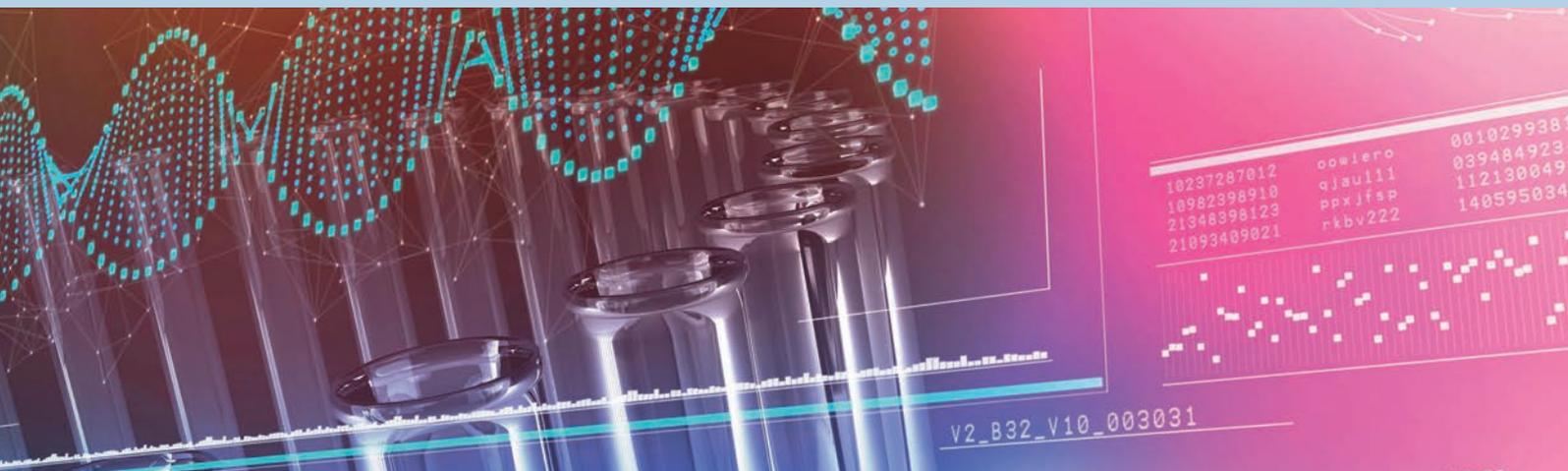
Usos frecuentes

Fuentes y sectores
principales de exposición

Algunas alternativas de
sustitución

Referencias bibliográficas





Se sabe que el benceno es un agente cancerígeno para las personas “en base a la existencia de pruebas en humanos” [3], siendo, por tanto, clasificado como cancerígeno de categoría 1A según la clasificación armonizada del *Reglamento (CE) n° 1272/2008*, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (en adelante, Reglamento CLP). A este respecto, el efecto más destacado derivado de la exposición a este es la leucemia mieloide aguda, habiéndose observado también otros efectos cancerígenos en el sistema hematopoyético (por ejemplo, alteración de la médula ósea).

Además, se encuentra clasificado según dicha normativa como mutágeno de categoría 1B, por ser una sustancia que, se considera, induce mutaciones hereditarias en las células germinales humanas.

Asimismo, se han descrito efectos perjudiciales para el sistema inmunológico y el sistema reproductor.

Ante exposiciones agudas, puede producir diversos efectos, tales como irritación, somnolencia, mareo, aceleración de la frecuencia cardiaca, dolor de cabeza, temblores, confusión y pérdida del conocimiento, e incluso la muerte ante altos niveles de exposición [5], [14].

Referencias normativas

Son de aplicación los valores límite de exposición profesional establecidos en el Anexo III del Real Decreto 665/1997, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos durante el trabajo.



La base de datos INFOCARQUIM (INFORMación sobre CARcinógenos QUÍMICos), del INSST, es una herramienta que ofrece información sobre las sustancias clasificadas como cancerígenas, mutágenas o reprotóxicas de categoría 1A o 1B con clasificación armonizada según el Reglamento CLP. Además, para cada sustancia también se puede encontrar información relacionada con los efectos para la salud y posibles diagnósticos, sus usos y aplicaciones, si está sujeta a autorización o tiene restricciones a la fabricación, la comercialización y el uso, así como las actividades laborales y ocupaciones con riesgo de exposición. Por otro lado, también contempla los procedimientos, así como las sustancias o mezclas que se produzcan durante los mismos, mencionados en el anexo I del Real Decreto 665/1997, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos durante el trabajo. (Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/herramientas-de-prl/bases-de-datos/infocarquim-2023>)



En el ámbito europeo, el *Reglamento (CE) n° 1907/2006*, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (en adelante, Reglamento REACH), impone ciertas restricciones para su comercialización o uso como sustancia, o como componente de otras sustancias o mezclas, limitando su concentración en valor igual o superior al 0,1% en peso, salvo en los siguientes casos:

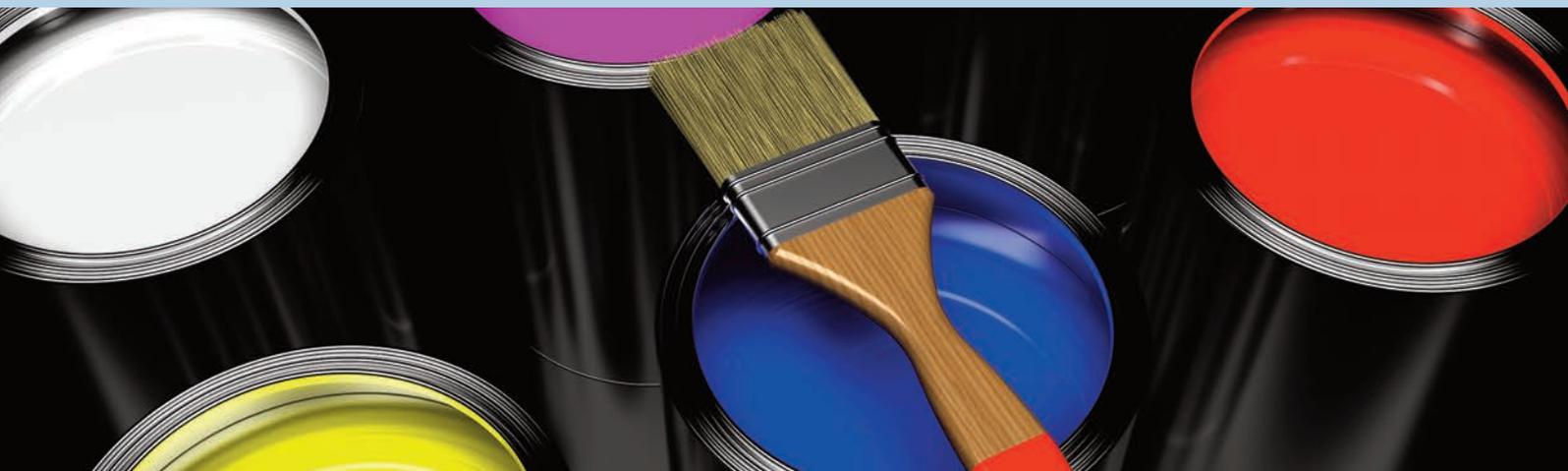
- Combustibles objeto de la *Directiva 98/70/CE*, por la cual se establecen las especificaciones técnicas para los combustibles destinados para motores, situando un valor límite para el benceno en la gasolina de 1% volumen/volumen.
- Sustancias y mezclas destinadas a ser utilizadas en procesos industriales que no permitan la emisión de benceno en cantidades superiores a las prescritas por la legislación vigente.
- Gas natural comercializado para ser utilizado por los consumidores, siempre y cuando la concentración de benceno se mantenga por debajo del 0,1% volumen/volumen.

En lo que respecta a su exportación e importación en el ámbito de la Unión Europea, el benceno está considerado como sustancia "rigurosamente restringida" sujeta al procedimiento de notificación de la exportación establecido en el *Reglamento (UE) N° 649/2012*, relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos (Reglamento PIC).

Por otra parte, el benceno está incluido en la "Lista de sustancias prohibidas en productos cosméticos", según el *Reglamento (CE) N° 1223/2009*, sobre los productos cosméticos, y excluido de los materiales en contacto con alimentos, con base en su carácter cancerígeno y mutagénico, según el *Reglamento (CE) 450/2009*, sobre materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con alimentos.



El Reglamento REACH, que tiene como uno de sus objetivos mejorar el nivel de protección de la salud humana y del medio ambiente, impone requisitos para la comercialización de las sustancias más peligrosas, como las cancerígenas, mutágenas o tóxicas para la reproducción, previendo un proceso de autorización de determinados usos de estas, que obliga, entre otras cuestiones, a la búsqueda y estudio de alternativas.



Asimismo, el benceno es un compuesto orgánico volátil (COV), considerándose, dentro de la clasificación de estos compuestos, como "extremadamente peligroso para la salud". Estando la presencia de los COV influenciada en gran medida por actividades en las que se empleen disolventes orgánicos, es prescriptiva la aplicación del *Real Decreto 117/2003*, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. Con base en este, las sustancias o mezclas que, debido a su contenido en COV, estén clasificadas como carcinógenas, mutágenas o tóxicas para la reproducción, deberán ser sustituidas, en la medida de lo posible, por sustancias y mezclas menos perjudiciales.

Además, el *Real Decreto 227/2006*, limita las emisiones de COV en determinadas pinturas y barnices y en productos de renovación del acabado de vehículos.

En lo que respecta a las emisiones de COV de las gasolinas, se deben considerar el *Real Decreto 2102/1996*, sobre el control de emisiones de COV resultantes del almacenamiento y distribución de gasolinas desde las terminales a las estaciones de servicio; el *Real Decreto 1437/2002*, por el que se adecuan las cisternas de gasolina al anterior; y el *Real Decreto 455/2012*, por el que se establecen las medidas destinadas a reducir la cantidad de vapores de gasolina emitidos a la atmósfera durante el repostaje de los vehículos en las estaciones de servicio. Este último establece para las estaciones de servicio que superen los caudales mínimos establecidos, la necesidad de instalar sistemas de recuperación de vapores de gasolina de la fase II por los cuales sean transferidos a un depósito de almacenamiento o devueltos al surtidor o dispensador de gasolina.

En el apéndice 2 (Sustitución de agentes cancerígenos o mutágenos) de la Guía Técnica del INSST para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo, se recogen herramientas útiles para la búsqueda de alternativas viables o estudios de casos de éxito, y para comparar dichas alternativas con respecto a su influencia en los riesgos para la salud y seguridad de las personas trabajadoras.

Puede consultarse en su página web www.insst.es en el apartado de "Documentación > Material normativo > Guías técnicas > Específicas".

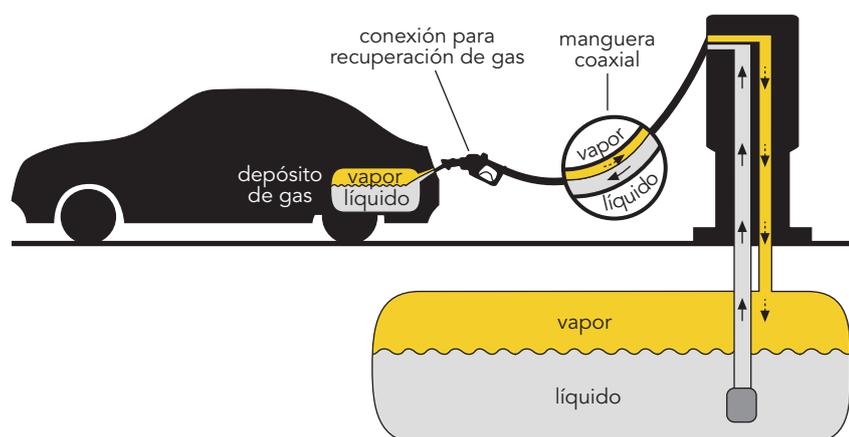


Figura 1. Sistema de recuperación de vapores de la fase II. Diagrama extraído y traducido de referencia [12]



Por otra parte, el *Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre*, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación, contempla en su "Lista de sustancias contaminantes" a los compuestos orgánicos volátiles, así como a las "sustancias y mezclas respecto de los cuales se haya demostrado que poseen propiedades cancerígenas, mutágenas o puedan afectar a la reproducción a través del aire", y a las "sustancias y mezclas cuyas propiedades cancerígenas, mutágenas o que puedan afectar a la reproducción en o por vía del medio acuático estén demostradas".

Asimismo, el *Real Decreto 102/2011*, relativo a la mejora de la calidad del aire, traspuso al ámbito nacional la *Directiva Europea 2008/50/CE*, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, estableciéndose objetivos de calidad con respecto a concentraciones de distintos contaminantes, entre ellos, el benceno.

Con relación a las aguas superficiales, el *Real Decreto 817/2015*, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, incluye al benceno en la lista de sustancias prioritarias. En lo que respecta a la calidad de las aguas para uso humano, se contempla al benceno como uno de los parámetros regulados en el *Real Decreto 3/2023*, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro.



Según se establece en el *Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre*, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación, se entiende como Mejores Técnicas Disponibles (MTD): "la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir la base de los valores límite de emisión y otras condiciones del permiso destinadas a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente y la salud de las personas".



Usos frecuentes

Las aplicaciones del benceno son variadas:

- Como materia prima en la síntesis de un gran número de productos petroquímicos, destacándose los siguientes:
 - Etilbenceno: representa casi la mitad del consumo de benceno en la producción de productos químicos. Se usa principalmente para la síntesis de estireno, del que se producen diversos productos, tales como poliestireno, copolímeros ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) y SAN (estireno-acrilonitrilo), caucho sintético estireno-butadieno, látex de estireno-butadieno y resinas de poliéster insaturado (UPR). Dichos productos tienen diversas aplicaciones en componentes de automoción, ordenadores, electrodomésticos, construcción, fabricación de neumáticos, etc.
 - Cumeno: se utiliza mayoritariamente para la fabricación de fenol (aplicación en manufactura de resinas y nylon) y acetona.
 - Ciclohexano: utilizado para la fabricación de nylon y, en menor proporción, como disolvente.
 - Nitrobenceno: aplicado para la producción de anilina y sus derivados, usados principalmente como colorantes en la industria farmacéutica y en la producción de espumas de poliuretano.
 - Alquilbenceno: utilizado principalmente en la síntesis de surfactantes y detergentes.
 - Anhídrido maleico: se aplica, especialmente, en la fabricación de resinas.
 - Clorobenceno: utilizado principalmente como disolvente y como intermedio para la producción de otros productos químicos.
 - Ácido adípico: su aplicación principal es la producción de nylon.
 - Fabricación de otros productos tales como: lubricantes, tintes, plaguicidas, medicamentos, reguladores de pH, etc.





- Aditivo de la gasolina para aumentar su octanaje, limitado por las concentraciones máximas establecidas en la legislación.
- Su uso como disolvente o desengrasante de metales en diferentes sectores se ha visto sustancialmente reducido mediante la sustitución por otros agentes de menor toxicidad, si bien aún puede darse presencia residual en las actuales formulaciones.

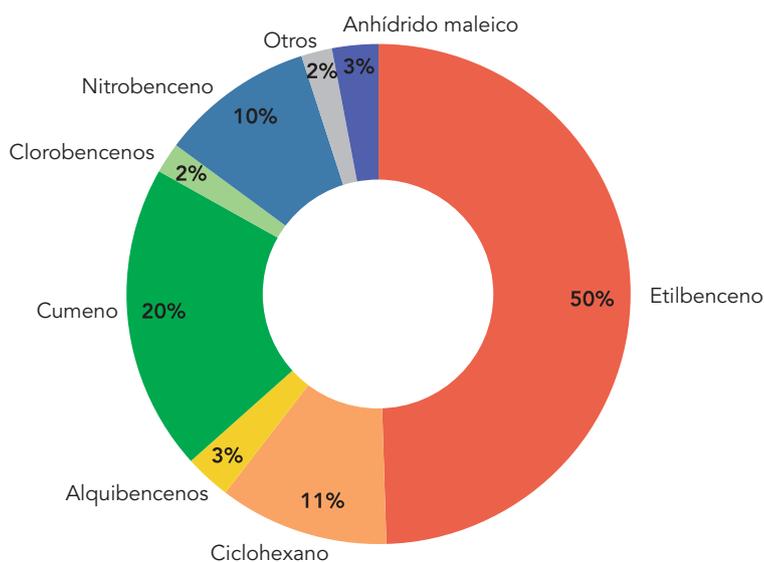


Figura 2. Distribución aproximada de los derivados del benceno. Diagrama extraído y traducido de referencia [9]



Fuentes y sectores principales de exposición

El benceno puede estar presente de forma natural en el medio ambiente como producto de incendios forestales y volcanes, aunque la mayor parte se debe a fuentes antropogénicas.

Entre estas últimas, pueden señalarse como más relevantes: los procesos de obtención de benceno; presencia en la gasolina; humos de combustión de carbón, petróleo y vehículos de motor; humo del tabaco, así como contaminación ambiental y de aguas.



En relación con los procesos de obtención de benceno, es obtenido a nivel industrial mediante procesos de destilación de petróleo y plantas químicas. También se puede recuperar durante la producción de derivados del carbón, principalmente a partir de subproductos de los hornos de coque.

En el ámbito de la Unión Europea, el volumen de producción y/o importación de benceno oscila entre 1 y 10 millones de toneladas anuales [10], con un volumen de producción en torno a 8 millones de toneladas anuales [33]. El volumen de exportaciones e importaciones de benceno supuso durante el año 2021 en torno a un 24% y un 57% respectivamente, con respecto a las exportaciones e importaciones totales de los productos químicos bajo el Reglamento PIC [8].

El Reglamento del consentimiento fundamentado previo (PIC, Reglamento (UE) n° 649/2012) regula la importación y exportación de determinadas sustancias químicas peligrosas que están prohibidas o rigurosamente restringidas en la Unión Europea. Impone obligaciones a las empresas que desean exportarlas a países terceros, o importarlas a la Unión Europea.

Tiene por finalidad promover la responsabilidad compartida y la cooperación en el comercio internacional de sustancias químicas peligrosas y de proteger la salud humana y el medio ambiente, facilitando a los países importadores información sobre el almacenamiento, transporte, uso y eliminación de sustancias químicas peligrosas en condiciones de seguridad.

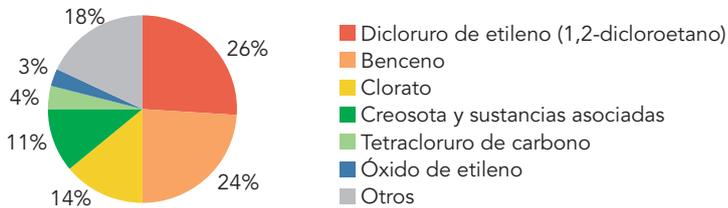


Figura 3. Principales productos químicos exportados de la UE bajo el Reglamento PIC. Diagrama extraído y traducido de referencia [8]

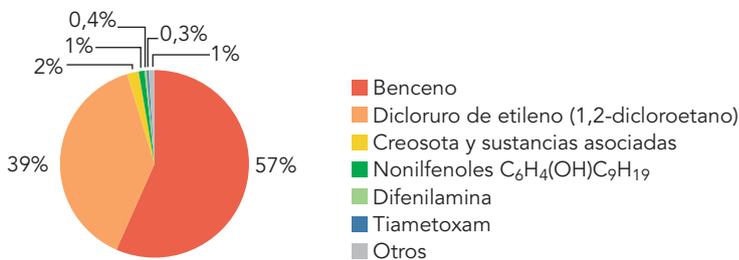


Figura 4. Principales productos químicos importados de la UE bajo el Reglamento PIC. Diagrama extraído y traducido de referencia [8]



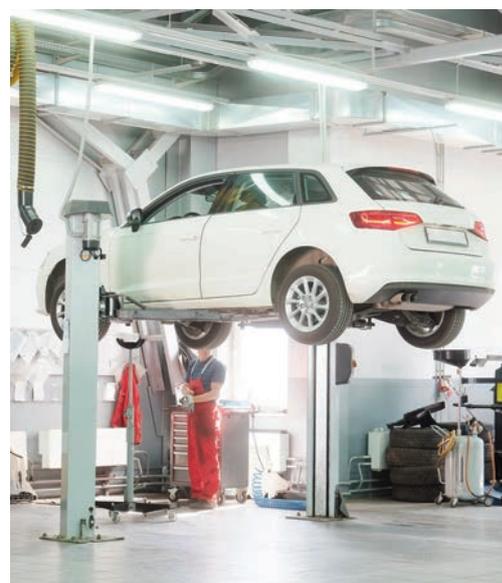


En cuanto a la exposición en el ámbito laboral, se estima que alrededor de 1.000.000 trabajadores en la Unión Europea [33] están expuestos al benceno en diferentes sectores, tales como la industria petrolera, producción de coque, industria petroquímica, distribución de gasolina, venta al por menor y estaciones de servicio de gasolina, mantenimiento y reparación de vehículos, fundiciones, laboratorios y otros sectores como pintura, adhesivos, tráfico, extinción de incendios, etc.

Además, las ocupaciones que podrían estar expuestas incluyen población trabajadora del sector del metal, imprentas, personal técnico de laboratorio y trabajadores en plantas termosolares.

Tabla 1.
Referencias de niveles de exposición y estimación de número de trabajadores expuestos al benceno en la Unión Europa para algunos sectores profesionales [33]

| Actividad Económica | Concentración media de exposición ponderada para 8 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹ | Número de trabajadores expuestos |
|---|--|----------------------------------|
| Extracción de crudo de petróleo y gas natural | 1.040 | 24.000 |
| Refino de petróleo | 510 | 45.000 |
| Coquerías | 1.030 | 6.250 |
| Industria petroquímica | 420 | 7.592 |
| Distribución | 680 | 75.200 |
| Comercio al por menor de combustible y estaciones de servicio | 180 | 21.600 |
| Mantenimiento y reparación de vehículos de motor | 170 | 785.000 |
| Fundición de metales | 1.220 | 49.000 |
| Laboratorios | 250 | 500 |



¹ Calculado a partir de las distribuciones logarítmicas normales ajustadas en función de la mediana y percentil 95.



El benceno puede encontrarse, además, en productos derivados del petróleo que contengan benceno como impureza o como disolvente, por ejemplo, barnices, tintas, etc., utilizados en diferentes sectores tales como la industria de artes gráficas, industria del calzado, sector servicios, industria del caucho, industria del cuero, etc.

Además, en la industria de refino del petróleo y petroquímica, puede ser utilizado en pequeñas cantidades como reactivo de laboratorio o estar presente en disolventes de hidrocarburos para el análisis de muestras de corrientes de proceso con contenido en benceno.

En las fundiciones, la espuma de poliestireno expandido es utilizada en ocasiones como modelo para piezas, descomponiéndose térmicamente cuando el metal fundido se vierte en el molde, pudiendo generar emisiones de benceno.

Según la Encuesta sobre la exposición de las personas trabajadoras a factores de riesgo de cáncer en Europa, 2023 [32], la exposición profesional a benceno es identificada como la tercera de mayor frecuencia dentro de los veinticuatro factores de riesgo de cáncer considerados en dicha encuesta. Según esta, se estimó que el 13% de las personas trabajadoras están expuestas al benceno.

Asimismo, se determinó que un número elevado de trabajadores de gasolineras (98%), trabajadores de la construcción y el mantenimiento de carreteras (68%) y bomberos (51%) están probablemente expuestos a este factor de riesgo de cáncer.

Las principales circunstancias que dan lugar a una exposición probable al benceno son el repostaje de vehículos con gasolina, y la realización de trabajos de mantenimiento en vehículos que utilizan gasolina (como puestas a punto, trabajos en los tubos de escape o revisiones del motor, y/o vaciado de los depósitos de combustible o cambio de los filtros de combustible), así como los trabajos cerca de vehículos de gasolina con los motores en marcha.



La Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA) ha realizado una amplia encuesta entre personas trabajadoras, la Encuesta sobre la exposición de las personas trabajadoras a factores de riesgo de cáncer en Europa (WES, por sus siglas en inglés), en seis Estados miembros de la Unión Europea: Alemania, Irlanda, España, Francia, Hungría y Finlandia.



Algunas alternativas de sustitución

Si bien el uso del benceno se ha reducido considerablemente en los últimos años, especialmente como disolvente y desengrasante de metales, en la actualidad aún se puede seguir progresando en su reemplazo por otros agentes de menor peligrosidad para la salud. En cualquier caso, la sustitución deberá contemplar la valoración global previa de los riesgos de toda índole, incluidos los derivados de cambios en el proceso.

• Sectores con exposición a gasolina y humos de combustión de motores

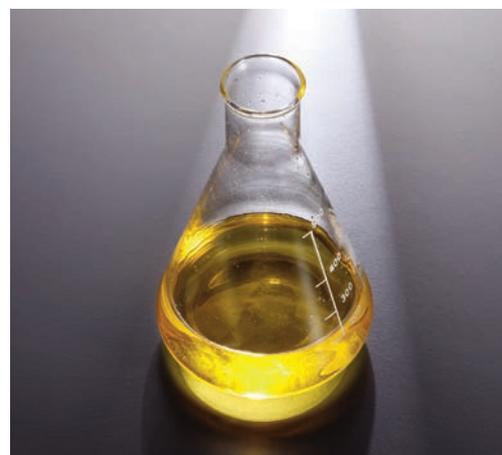
Adicionalmente al progreso que se está llevando a cabo en los procesos de refinación para la reducción de compuestos aromáticos en los combustibles, existen avances para la sustitución de los aditivos de combustibles (añadidos para la mejora de sus propiedades y rendimiento del motor), basados en BTX (benceno- tolueno- xileno), por otros de menor riesgo para la salud; por ejemplo:

- Derivados de glicerol, el cual constituye un subproducto importante en los procesos de obtención de biodiésel [31]. Entre otros:
 - Éteres de glicerol, como el gliceril-tert-butil-éter (GTBE), cuya aplicación como aditivo ha sido estudiada para distintos tipos de combustible, como gasolina, diésel o biodiésel, pudiendo mejorar algunas de sus propiedades, tales como el índice de octano, la reducción en la emisión de partículas, o la mejora del comportamiento en frío. Asimismo, hay importantes avances en el desarrollo de otros posibles aditivos procedentes de la obtención de éteres a partir de diferentes alcoholes y glicerol.
 - Acetatos de glicerol tales como la triacetina, la cual puede ser usada como aditivo antidetonante para gasolina y para mejorar ciertas propiedades del biodiésel (reducción de la viscosidad, disminución de sus puntos de enturbiamiento y fluidez, etc.).

La sustitución puede llevarse a cabo mediante el cambio de un agente por otro, cambios de organización y tecnológicos o, incluso, mediante el cambio completo del propio proceso para conseguir un resultado equivalente al obtenido en el proceso original pero que implique un menor riesgo para la seguridad y la salud de las personas trabajadoras, así como para el medio ambiente.

Así pues, se pueden considerar distintas formas de actuación:

- Cambio de un agente por otro sin afectar al proceso, y mínimamente a los procedimientos de trabajo.
- Eliminación o modificación del proceso de forma que se evite el uso del agente químico.





- Otras fuentes de biomasa, donde existen avances prometedores para el desarrollo de nuevos aditivos [34]; por ejemplo:
 - Los procedentes de residuos lignocelulósicos, como por ejemplo el ácido levulínico y sus derivados.
 - Derivados del gas de síntesis generado en procesos de gasificación de biomasa, tales como los éteres de oximetileno.
 - Extractos de plantas que, por sus características antioxidantes y estabilizadoras, pueden mejorar las propiedades de las mezclas de biodiésel.

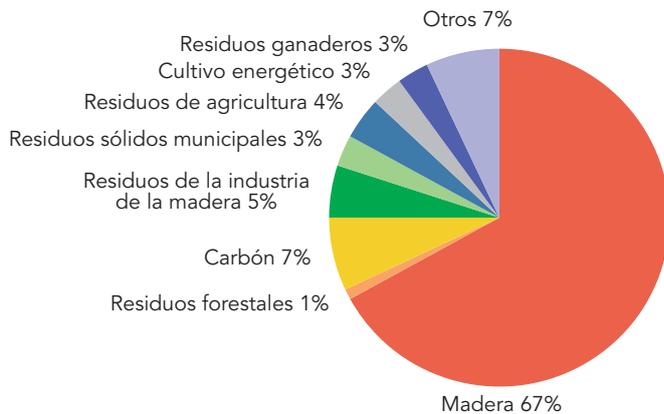


Figura 5. Porcentaje de fuentes de biomasa en combinación de bioenergía. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022; Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, 2022

Asimismo, son de gran relevancia los progresos realizados en el desarrollo de fuentes de energía y combustibles alternativos a los tradicionales como, por ejemplo: la electrificación, el hidrógeno, los biocombustibles (obtenidos a partir de fuentes orgánicas como biomasa o residuos orgánicos), e-combustibles (combustibles sintéticos producidos a partir de fuentes de energía renovables), aplicación de los anteriores en el sector de la aviación (combustibles sostenibles de aviación -SAF, por sus siglas en inglés-), etc. Además, la gasolina de alquilatos, aplicable especialmente en pequeños motores, procede de corrientes de vapores o gases generados en el proceso de refinado de petróleo y ofrece un combustible con un contenido sustancialmente más reducido de benceno y otros compuestos aromáticos. Como referencia, se puede citar el caso reportado en el portal de sustitución SUBSPORTplus (Suecia, 2021) con la implementación de dicha gasolina para motores de embarcaciones de recreo.





• Sectores con uso de disolventes

Pueden identificarse diversas acciones de sustitución en los diferentes sectores de aplicación de disolventes, bien sea por reemplazo de las propias sustancias por otras de menor riesgo para la salud, o bien mediante la modificación o sustitución del proceso que evite el uso del agente o reduzca el riesgo.



| Tabla 2. Referencias de sustituciones en algunos sectores con aplicación de disolventes | |
|--|---|
| Actividad Económica. CNAE 2009 ² | Referencias de sustituciones |
| Fabricación de calzado. CNAE 152 | <ul style="list-style-type: none"> Sustitución de los adhesivos con base disolvente por: <ul style="list-style-type: none"> - Adhesivos con base agua. Según el polímero base, pueden existir diversos tipos, tales como: látex natural o sintético; policloropeno en dispersión acuosa; poliuretano en dispersión acuosa; acetato de vinilo; acrílicos, etc. - Adhesivos termofusibles, los cuales están compuestos por materiales termoplásticos, sólidos a temperatura ambiente. Su aplicación se realiza con calentamiento previo del polímero por encima de su punto de fusión hasta conseguir una viscosidad de trabajo adecuada. Una vez fundido el adhesivo, se aplica sobre las superficies a unir y, a continuación, mediante el enfriamiento, se consigue su solidificación y la consolidación de la unión adhesiva. Procesos alternativos, tales como: cinta adhesiva de doble cara para uniones de adornos y refuerzos; unión mecánica (por ejemplo, el hidroentrelazado, punzonado mediante aguja, etc.); fusión por calor, a partir de las propiedades termoplásticas de ciertos materiales; ... Referencias bibliográficas: [27], [36], [37] |
| Impresión. CNAE 18 | <ul style="list-style-type: none"> Sustancias alternativas: <ul style="list-style-type: none"> - Tintas de origen natural, con base vegetal, algas, etc. - Tintas al agua. - Uso de productos de limpieza basados en: aceites vegetales, emulsiones de base acuosa (por ejemplo, disoluciones de carbonato de sodio), agentes de limpieza con punto de inflamación elevado para evitar la vaporización, etc. Procesos alternativos donde se reduce el uso de disolventes, tales como: <ul style="list-style-type: none"> - Curado por radiación ultravioleta (UV). - Curado con haces de electrones. - Limpieza automática. Referencias bibliográficas: [27], [28], [37] |

² Real Decreto 475/2007, de 13 de abril, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2009 (CNAE-2009).

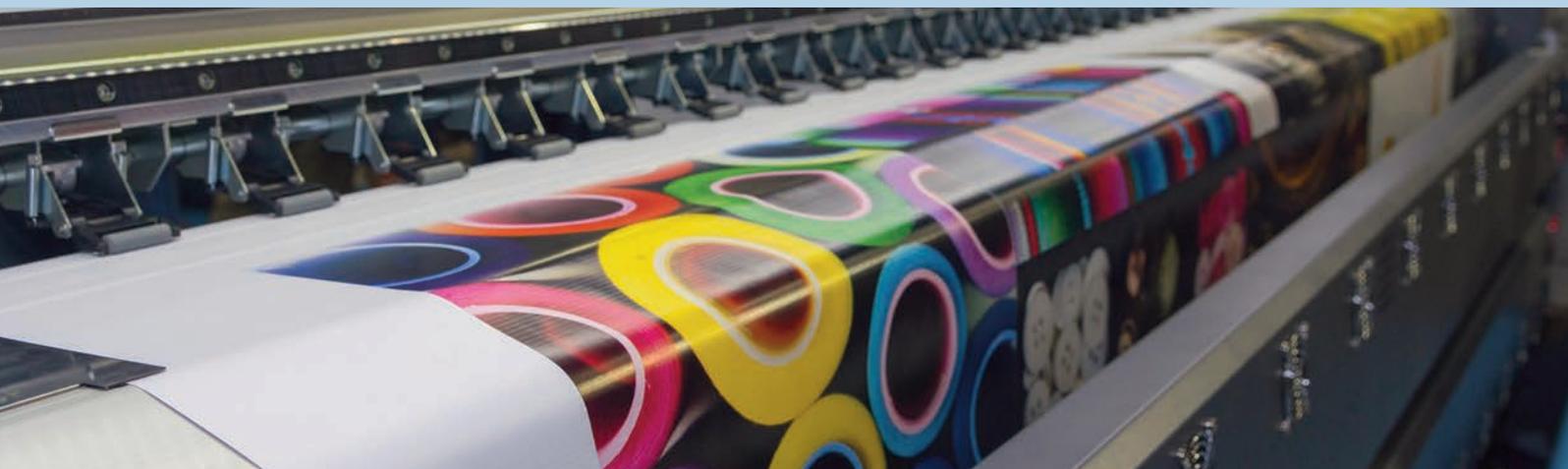


Tabla 2.
Referencias de sustituciones en algunos sectores con aplicación de disolventes

| Actividad Económica. CNAE 2009 | Referencias de sustituciones |
|--|--|
| Fabricación de recubrimientos, barnices y adhesivos. CNAE 20 | <ul style="list-style-type: none"> • Pinturas con base acuosa o de alto contenido en sólidos, las cuales tienen un bajo contenido en disolventes volátiles. • Pinturas de curación por radiación cuyo proceso no es dependiente de la evaporación de disolventes. • Adhesivos con alto contenido en sólidos, los cuales poseen un contenido en disolventes sustancialmente inferior que los adhesivos basados en disolventes. • Sustitución de los disolventes orgánicos por fluidos supercríticos (por ejemplo, CO₂ en condiciones supercríticas). Referencias bibliográficas: [27], [37] |
| Fabricación de productos farmacéuticos. CNAE 21 | Hay avances prometedores en el desarrollo de alternativas a los disolventes tradicionales, tales como: <ul style="list-style-type: none"> • Fluidos supercríticos, tales como el CO₂ en condiciones supercríticas, que pueden ser usados tanto para la extracción como para la formulación de principios activos. • Disolventes eutécticos, los cuales se obtienen a partir de la mezcla de dos compuestos sólidos, teniendo el producto resultante propiedades distintas a las de sus componentes individuales. Suelen tener baja volatilidad y toxicidad. Referencias bibliográficas: [27], [37] |
| Fabricación de vehículos de motor. Pintura para acabado de edificios. CNAE 29; CNAE 4334 | <ul style="list-style-type: none"> • Sustancias alternativas: <ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de pinturas y barnices con base acuosa o de alto contenido en sólidos. A modo de referencia, tal es el caso reportado en una fábrica de túneles de lavado de vehículos (Valencia. España. 2009) por sustitución de pintura con base nafta por pintura electrostática con base agua y carente de disolventes orgánicos. - Aplicación de pintura de curación por radiación. • Procesos alternativos, tales como sistemas de spray con atomizado electrostático para aplicación de pinturas en polvo que no requieren disolvente. Referencias bibliográficas: [27], [28], SUBSPORT plus. |
| Industria de la madera; Fabricación de muebles. CNAE 16; CNAE 31 | <ul style="list-style-type: none"> • Sustancias alternativas: <ul style="list-style-type: none"> - Recubrimientos de base acuosa o naturales (por ejemplo, capa de cera en lugar de barniz; recubrimiento en polvo; pinturas de curado UV). - Conservantes de base acuosa (ej: sales de cobre en agua). - Adhesivos curados por radiación. - Adhesivos termofundentes. • Procesos alternativos, tales como secado de alta frecuencia o con microondas; recubrimiento en cámara al vacío o por inmersión. Referencias bibliográficas: [27], [37]. |





Tabla 2.
Referencias de sustituciones en algunos sectores con aplicación de disolventes

| Actividad Económica. CNAE 2009 | Referencias de sustituciones |
|---|--|
| Limpieza | <ul style="list-style-type: none"> Sustancias alternativas, tales como limpiadores neutros en la limpieza intermedia y final de superficies; productos alcalinos para conseguir superficies limpias antes de comenzar procesos de fosfatado, recubrimiento o ennoblecimiento de superficies; limpiadores con base acuosa (ácidas y alcalinas) para la limpieza de metales; ésteres de ácidos grasos para la limpieza de superficies metálicas; terpenos (por ejemplo, d-limoneno); polvos de limpieza hidrosolubles; agua caliente a presión y/o jabón; detergentes y jabones biodegradables. Procesos alternativos, tales como abrasión con bolas de CO₂; nieve de CO₂; limpieza por inmersión; vapor; pulverización a alta o baja presión; plasma (para el desengrase, por ejemplo); fluidos supercríticos; UV/ozono; limpieza ultrasónica; soldadura en atmósfera inerte, para evitar la posterior limpieza de las manchas de soldadura; procesos biológicos de limpieza. Referencias bibliográficas: [27], [37]. |
| Ensayos y análisis técnicos; Investigación y Desarrollo CNAE 712; CNAE 72 | Además de las alternativas con nuevos disolventes identificados en los sectores anteriores, se reportan algunos casos de sustitución, tales como, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> Extracción de los humos de asfalto de los medios de captación de muestras: estudio de sustitución de benceno por n-hexano y n-heptano. Análisis de madera: estudio de sustitución de benceno por mezclas de tolueno con alcoholes. Referencias bibliográficas: [29], [30]. |



• Plantas termosolares (CNAE 3519)

El fluido caloportador (HTF, por sus siglas en inglés) utilizado mayoritariamente en las plantas termosolares CCP (concentradores cilíndrico-parabólicos) es un aceite sintético, consistente en una mezcla de bifenilo al 27% y óxido de difenilo al 73%. El propósito de su uso es captar la energía solar en el campo solar y transferirla mediante intercambiadores a un circuito de vapor. Como consecuencia de la degradación térmica de dicha mezcla puede producirse benceno.

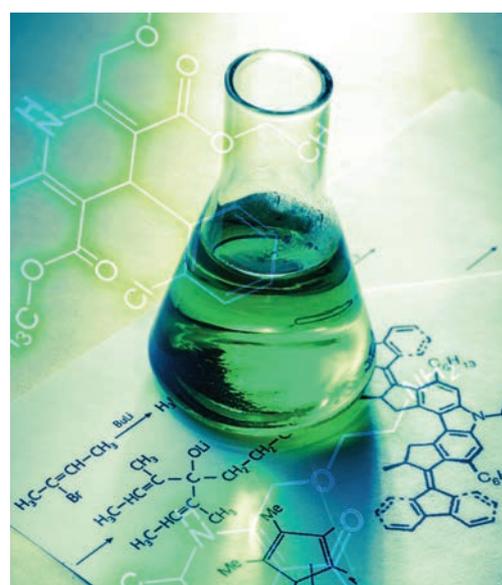
Se han identificado alternativas a los fluidos tradicionales, que presentan notables propiedades de capacidad calorífica y conductividad térmica, las cuales permiten el almacenamiento y transferencia de calor, así como amplios rangos de temperaturas de operación. Tal es el caso de las sales fundidas (principalmente, mezcla de sales inorgánicas de nitrato sódico y nitrato potásico) o metales líquidos (por ejemplo, el sodio líquido).



• Industria Química (CNAE 20)

Se han reportado estudios para explorar posibles procesos alternativos relativos a la síntesis de los productos químicos tradicionalmente derivados del benceno, a partir de reactivos distintos de este con menor riesgo para la salud.

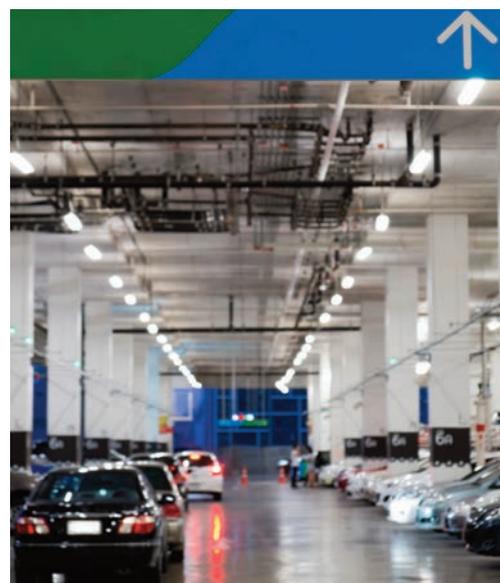
| Tabla 3. Algunas referencias de estudios que exploran posibles alternativas para la síntesis de productos químicos tradicionalmente derivados del benceno | |
|--|---|
| Producto | Referencias de estudios de procesos alternativos. [Referencias bibliográficas] |
| Estireno | <ul style="list-style-type: none"> Alquilación de tolueno con metanol. [15]. Biosíntesis a partir de Escherichia Coli modificada para producción de L-fenilalanina como intermedio. [16]. |
| Fenol | <ul style="list-style-type: none"> Síntesis a partir de biomasa. [17]. Biosíntesis a partir de Escherichia Coli modificada para producción de ácido shikímico como intermedio. [18] |
| Acetona | <ul style="list-style-type: none"> Fermentación de CO₂ y gas de síntesis. [19] Deshidrogenación de alcohol isopropílico. |
| Ciclohexano | Degradación catalítica de lignina a partir de biomasa. [20] |
| Anilina | <ul style="list-style-type: none"> Aminación de fenol con amoníaco en presencia de hidrógeno. [21] Fermentación bacteriana en presencia de amoníaco. [22] |
| Alquibenceno | Síntesis a partir de materias primas renovables. |
| Anhídrido maleico | Fermentación de materias primas renovables. [23] |
| Hidroquinona | Fermentación bacteriana con producción de ácido quínico como intermedio. [24] |
| Ácido adípico | Biosíntesis a partir de Escherichia Coli modificada. [25] |
| Otros derivados polifenólicos | Síntesis a partir de inositol. [26] |





Referencias bibliográficas

- [1] Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos durante el trabajo.
- [2] Directiva (UE) 2022/431 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2022 por la que se modifica la Directiva 2004/37/CE, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo.
- [3] Reglamento (CE) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado de sustancias y mezclas (Reglamento CLP)
- [4] Reglamento (CE) n° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (REACH).
- [5] IARC. 2018. Benzene. In IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans.
- [6] ATSDR. 2016. ToxFAQs™. Benceno.
- [7] Agencia Europea de Sustancias y Mezclas (ECHA). (<https://echa.europa.eu/es/>)
- [8] ECHA. 2022. Report on exports and imports in 2021 of chemicals listed in Annex I to the Prior Informed Consent (PIC) Regulation.
- [9] J. S. Plotkin. American Chemical Society. 2015. Benzene's Unusual Supply-Demand Dilemma.
- [10] Proposal by the European Chemical Agency (ECHA) in support of occupational exposure limit values for benzene in the workplace. 2017.
- [11] Kogevinas M, van der Haar R, Fernández F, Kauppinen T. 2006. CAREX-Esp: Sistema de información sobre exposición ocupacional a cancerígenos en España en el año 2004.
- [12] Zane Potter, JLARC Staff. 2015. Gas Vapor Regulations: The Legislature's Decentralized Approach Neither Requires nor Produces Consistency, and Current Regulations May Be Requiring Outdated Technology (Final Report 14-4).





[13] ECHA. 2017. Proposal by The European Chemical Agency (ECHA) in support of occupational exposure limit values for benzene in the workplace.

[14] ECHA. 2018. Annex 1. Background document in support of the Committee for Risk Assessment (RAC) evaluation of limit values for benzene in the workplace.

[15] Han, Q., Li, P., Yuan, Y., Zhang, X., Guo, H., & Xu, L. 2020. Efficient synthesis of styrene from toluene with MeOH: Via a ternary composite catalyst. *Applied Catalysis A: General*, 605, 117807.

[16] Liang, L., Liu, R., Foster, K. E., Cook, S., Cameron, J. C., Srubar III, W. V., & Gill, R. T. 2020. Genome engineering of *E. coli* for improved styrene production. *Metabolic engineering*, 57, 74-84.

[17] Kim, J. S., & Park, K. B. (2020). Production of phenols by lignocellulosic biomass pyrolysis. *Production of Biofuels and Chemicals with Pyrolysis*, 289-319.

[18] Gibson, J. M. et al. 2001. Benzene-free synthesis of phenol. *Angewandte Chemie International Edition*, 40(10), 1945-1948.

[19] Liew, et al. 2022. Carbon-negative production of acetone and isopropanol by gas fermentation at industrial pilot scale. *Nature biotechnology*, 40(3), 335-344.

[20] Zhang, Xinghua, et al. 2013. "Production of cyclohexane from lignin degradation compounds over Ni/ZrO₂-SiO₂ catalysts." *Applied energy* 112: 533-538.

[21] Ono, Y., & Ishida, H. 1981. Amination of phenols with ammonia over palladium supported on alumina. *Journal of catalysis*, 72(1), 121-128.

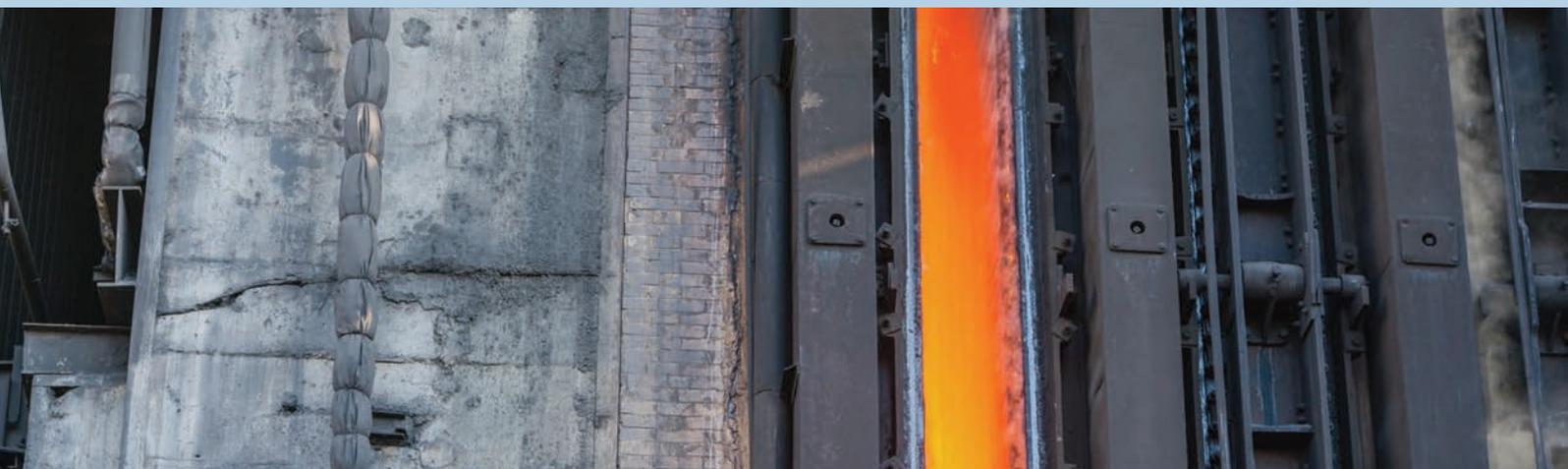
[22] Winter, B., Meys, R., & Bardow, A. 2021. Towards aromatics from biomass: Prospective Life Cycle Assessment of bio-based aniline. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125818.

[23] Dubois, Jean-Luc. 2013. Manufacture of maleic anhydride from renewable materials, maleic anhydride obtained, and uses thereof. U.S. Patent No 8,394,973.

[24] Ran, N., Knop, D. R., Draths, K. M., & Frost, J. W. 2001. Benzene-free synthesis of hydroquinone. *Journal of the American Chemical Society*, 123(44), 10927-10934.

[25] Zhao, M., Huang, D., Zhang, X., Koffas, M. A., Zhou, J., & Deng, Y. 2018. Metabolic engineering of *Escherichia coli* for producing adipic acid through the reverse adipate-degradation pathway. *Metabolic Engineering*, 47, 254-262.





- [26] Gurale, B. P., Shashidhar, M. S., Sardesai, R. S., & Gonnade, R. G. 2018) Inositol to aromatics–benzene free synthesis of poly oxygenated aromatics. *Carbohydrate research*, 461, 38-44.
- [27] Secretaría de Salud Laboral de CCOO de Madrid. 2007. *Guía de utilización de disolventes*.
- [28] *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea en el Tratamiento de superficies mediante disolventes orgánicos. Documento BREF*. 2013.
- [29] Sutter, B., Ravera, C., Hussard, C., & Langlois, E. 2016. Alternatives for benzene in the extraction of bitumen fume from exposure sample media. *Annals of Occupational Hygiene*, 60(1), 101-112.
- [30] Antczak, et al. 2006. Benzene substitution in wood analysis. *Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology*, 58, 15-19.
- [31] Olson, A. L., Tunér, M., & Verhelst, S. 2023. A concise review of glycerol derivatives for use as fuel additives. *Heliyon*.
- [32] Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo. 2023. *Factores de riesgo de cáncer en el ámbito laboral en Europa – primeras conclusiones de la Encuesta sobre la exposición de las personas trabajadoras*.
- [33] *Commission Staff Working Document Impact Assessment. Accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2004/37/EC on the protection of workers from the risks related to exposure to carcinogens or mutagens at work*. 2020.
- [34] Kaushal, J., Arya, S. K., & Khatri, M. 2023. Biomass-derived additives as blends in fuels. In *Nanotechnology for Advanced Biofuels* (pp. 85-96). Elsevier.
- [35] Vignarooban, K., Xu, X., Arvay, A., Hsu, K., & Kannan, A. M. 2015. Heat transfer fluids for concentrating solar power systems—a review. *Applied Energy*, 146, 383-396.
- [36] INSST. 2019. *BASEQUIM 028. Utilización de adhesivos en la industria del calzado: exposición a vapores orgánicos*.
- [37] Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. 2007. *Sustitución de sustancias disolventes peligrosas*.

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

Hipervínculos:

El INSST no es responsable ni garantiza la exactitud de la información en los sitios web que no son de su propiedad. Asimismo la inclusión de un hipervínculo no implica aprobación por parte del INSST del sitio web, del propietario del mismo o de cualquier contenido específico al que aquel redirija.



Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://cpage.mpr.gob.es>

Catálogo de publicaciones del INSST :

<http://www.insst.es/catalogo-de-publicaciones>



FAS . 5 . 1 . 24

NIPO (en línea): 118-24-031-3