

COLECCIONES TÉCNICAS

FICHAS DE AYUDA PARA LA SUSTITUCIÓN: LA SUSTITUCIÓN COMO MEDIDA MÁS EFECTIVA

FICHA Nº13

ACRILONITRILO

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL
insst Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo
FAS

Título: Fichas de ayuda para la sustitución: la sustitución como medida más efectiva.

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

Elaborado por:
Centro Nacional de Nuevas Tecnologías (CNNT) del INSST.

Edita:
Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.
C/ Torrelaguna, 73 - 28027 Madrid
Tel. 91 363 41 00 - Fax 91 363 43 27
www.insst.es

Maquetación:
EDITORIAL MIC
C/ Artesiano, S/N Polígono Ind. Trobajo del Camino, 24010 León
mic@editorialmic.com

Edición: Madrid, octubre 2026.

NIPO (en línea): 118-26-017-1

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

datos abiertos

ACRILONITRILO

01 INTRODUCCIÓN. 04

02 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS EN LA SALUD. 04

03 REFERENCIAS NORMATIVAS. 05

04 USOS FRECUENTES. 06

05 FUENTES Y SECTORES PRINCIPALES DE EXPOSICIÓN. 07

06 ALGUNAS ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN. 08

07 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 14

01 INTRODUCCIÓN.

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.º 00 (Aspectos generales) de esta colección técnica, puede consultarse información general, procedimientos y herramientas de ayuda para la sustitución.

Asimismo, en la Ficha n.º 13 Acrilonitrilo, 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; la evaluación y el control de la exposición; y la 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.

02 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS EN LA SALUD.

El acrilonitrilo o cianuro de vinilo es un compuesto químico orgánico, líquido a temperatura ambiente, volátil e inflamable y con un olor penetrante. Es una sustancia altamente reactiva, por lo que tiene especial interés en procesos de polimerización y producción de copolímeros.

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

El acrilonitrilo está clasificado en la Unión Europea (UE) como cancerígeno de categoría 1B, según la clasificación armonizada del Reglamento (CE) n.º 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (en adelante, Reglamento CLP), por lo que se supone que es un carcinógeno para el ser humano, "en base a la existencia de pruebas en animales" [1].



Está clasificado también, según dicha normativa, como sensibilizante cutáneo de categoría 1, por ser una sustancia que, por penetración cutánea, puede ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior a la misma puede dar lugar a efectos negativos característicos.

Asimismo, es tóxico en caso de inhalación, en contacto con la piel y en caso de ingestión, pudiendo además producir lesiones oculares graves, irritación cutánea y de las vías respiratorias.

03 REFERENCIAS NORMATIVAS.

El 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 [2], es de aplicación y establece valores límite de exposición profesional para el acrilonitrilo en su anexo III.

Dada su clasificación como cancerígeno de categoría 1B, el acrilonitrilo queda sujeto a las restricciones generales aplicables a carcinógenos de categoría 1A o 1B establecidas en el anexo XVII del Reglamento (CE) n.º 1907/2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas [3] (en adelante, Reglamento REACH). Dichas restricciones establecen que no podrá comercializarse ni utilizarse como sustancia, como componente de otras sustancias o en mezclas, para su venta al público en general cuando la concentración individual en la sustancia o la mezcla sea superior o igual a 0,1%, salvo en ciertos usos especificados.

Además, el acrilonitrilo está incluido en la “Lista de sustancias prohibidas en productos cosméticos” según el Reglamento (CE) n.º 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, sobre los productos cosméticos.

Por otro lado, el acrilonitrilo está incluido en la lista de sustancias del Reglamento (UE) n.º 10/2011 de la Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos, donde se establecen restricciones de uso y límites de migración.

04 USOS FRECUENTES.

El acrilonitrilo se fabrica en la Unión Europea, en cantidades que oscilan entre 720.000 y 750.000 toneladas al año [4]. En la actualidad, la síntesis comercial del acrilonitrilo se realiza fundamentalmente mediante la amoxidación catalítica del propileno con amoníaco y aire.

El acrilonitrilo se utiliza como materia prima en la producción de fibras textiles, como las acrílicas y las modacrílicas. Las fibras acrílicas son, a su vez, precursoras en la producción de fibra de carbono, que posee importantes aplicaciones en diversos sectores, como el aeroespacial o en la fabricación de palas para aerogeneradores.

Otros usos importantes del acrilonitrilo incluyen la fabricación de copolímeros, como estireno-acrilonitrilo (SAN, por sus siglas en inglés) y el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS, por sus siglas en inglés), con amplias aplicaciones en componentes electrónicos, de automóvil, tuberías, electrodomésticos, ordenadores, muebles y componentes de la construcción.

También es utilizado para la síntesis de caucho de nitrilo-butadieno (NBR, por sus siglas en inglés) usado en la industria aeronáutica; en la fabricación de piezas moldeadas para la industria del automóvil; en la industria del calzado para la fabricación de adhesivos, sellantes y materiales esponjosos, así como en el ámbito industrial para juntas de estanqueidad o dilatación.

Asimismo, actúa como intermedio para la producción de otros productos químicos, (acrilamida, adiponitrilo, entre otros) los cuales tienen extensas aplicaciones en la fabricación de agentes coagulantes y floculantes, geles, espesantes, colorantes o nailon.

Otros usos incluyen la producción de polioles poliméricos, con aplicaciones en espumas de poliuretano; la síntesis de aminas (usos en pesticidas, desinfectantes, detergentes o productos de cuidado personal); la fabricación de resinas de intercambio iónico para el tratamiento de aguas; su empleo como reactivo en laboratorio; la producción de revestimientos utilizados en construcción; así como adhesivos para pegar plásticos y caucho [4].



Tabla 1. Principales usos del acrilonitrilo [4].

Uso	Porcentaje de consumo de acrilonitrilo (%)
Fibras textiles acrílicas y modacríclicas.	42%
Resinas ABS y SAN.	24%
Acrilamida.	18%
Caucho de nitrilo.	7%
Otros usos.	9%

05 FUENTES Y SECTORES PRINCIPALES DE EXPOSICIÓN.

El acrilonitrilo no se genera de forma natural en el medio ambiente, debiéndose su presencia a fuentes antropogénicas, como consecuencia de su fabricación y uso. En la población general, la exposición puede producirse a través del humo del tabaco.

En el ámbito laboral, se estima que entre 10.000 y 33.000 personas trabajadoras [4,5] en la Unión Europea están potencialmente expuestas al acrilonitrilo (no habiéndose encontrado datos segregados por sexo).

Los sectores ocupacionales donde se identifica mayor riesgo de exposición a acrilonitrilo [6] son aquellos en los que se utiliza como intermedio para la síntesis de fibras, resinas y otros productos químicos, particularmente en los procesos que no son llevados a cabo en sistemas cerrados.

En el ámbito industrial, la exposición también puede producirse durante las operaciones de carga, descarga y trasvase de acrilonitrilo.

Otras actividades incluyen la toma de muestras, la manipulación de estas para su análisis o la utilización de acrilonitrilo como reactivo en laboratorios, con fines analíticos o de investigación.

Asimismo, en la valorización de residuos de productos plásticos obtenidos a partir de acrilonitrilo, existe riesgo de exposición al agente, especialmente en las operaciones de extrusión, donde el material se calienta por encima de su temperatura de fusión.

También puede encontrarse en otros sectores, como la construcción o la industria del calzado, por la utilización de adhesivos, recubrimientos o sellantes.

Tabla 2. Lista no exhaustiva de sectores o actividades con riesgo de exposición a acrilonitrilo.

Sectores o actividades con riesgo de exposición a acrilonitrilo.	
Producción de acrilonitrilo.	Fabricación de fibras acrílicas y modacrílicas.
Producción de resinas sintéticas.	Fabricación de caucho nitrilo.
Fabricación de productos plásticos.	Fabricación aditiva.
Construcción.	Industria del automóvil.
Laboratorios.	Industria química.
Industria del calzado.	Tratamiento y valorización de residuos.



06 ALGUNAS ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN.

Si bien el uso de acrilonitrilo para ciertas aplicaciones se ha visto reducido significativamente, en la actualidad aún se puede seguir progresando en su reemplazo por otros agentes de menor peligrosidad para la salud, o bien en la sustitución o modificación de los procesos que eviten su uso o reduzcan el riesgo. 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. Se han reportado algunos ejemplos de casos aplicados y estudios de las diferentes opciones de sustitución del acrilonitrilo para distintos sectores de actividad.

Fabricación de fibras acrílicas y modacrílicas (CNAE 2060[1]).

Una proporción importante de la producción de acrilonitrilo se destina a la fabricación de fibras acrílicas y modacrílicas, que son copolímeros sintéticos de cadena larga sintetizados a partir de acrilonitrilo y otros monómeros.

Las fibras acrílicas contienen una proporción en peso de acrilonitrilo superior al 85%, con extensas aplicaciones en prendas de vestir, artículos del hogar como mantas, alfombras, tapicería o cortinas, e industriales como filtros, lonas o materiales de construcción.

El proceso de fabricación de fibras acrílicas consta esencialmente de tres etapas: la polimerización de los monómeros para producir una solución polimérica, el hilado para formar las fibras y, finalmente, los tratamientos y procesos de acabado, que mejoran ciertas propiedades.

Por su parte, las fibras modacrílicas se obtienen mediante la copolimerización del acrilonitrilo, en proporciones entre el 35% y el 85%, con cloruro de vinilo (sustancia extremadamente inflamable y cancerígena de categoría 1A) u otros comonómeros, confiriendo propiedades que las acrílicas no tienen, como retardante de fuego, la autoextinción o una mayor durabilidad. Se utilizan en aplicaciones diversas como ropa de protección, interior de vehículos, alfombras, tapizados, cortinas, cubiertas para rodillos de pintura, fabricación de pelucas y pieles sintéticas.

Se constata una continua evolución en la búsqueda de alternativas, como las que se citan a continuación:

- Utilización de fibras naturales de origen vegetal o animal.

  Las fibras vegetales, de composición fundamentalmente celulósica, pueden proceder de tallos, hojas, semillas o frutos. Entre ellas se encuentran el algodón, lino, cáñamo, esparto o bambú [8]. Estas fibras tienen aplicaciones en el sector textil y en materiales compuestos, donde se emplean como refuerzo de matrices poliméricas (véase la figura 1), con diversos usos, como la fabricación de piezas interiores de automóviles [9]. Por su parte, entre las fibras de origen animal empleadas en la industria textil se encuentran la seda, la lana, la alpaca, la angora o la cachemira.

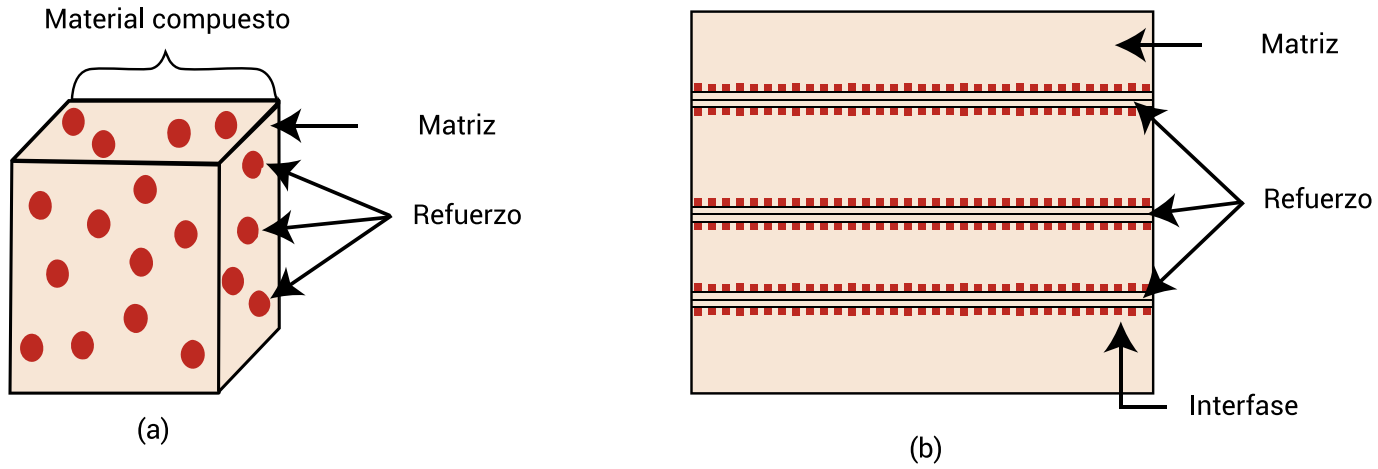


Figura 1. Material compuesto. Figura extraída y traducida de referencia [12].

[1] Real Decreto 10/2025, de 14 de enero, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2025 (CNAE-2025).

A pesar de las limitaciones inherentes a las fibras naturales, existe un progresivo avance en el desarrollo de tratamientos físicos o enzimáticos para la mejora de determinadas propiedades, como la compatibilidad con matrices poliméricas o la reducción de su sensibilidad a la humedad [10]. En el caso particular de aplicaciones que requieran resistencia al fuego o estabilidad térmica [12], existen progresos en el desarrollo de materiales compuestos basados en fibras naturales y matrices poliméricas modificadas mediante aditivos retardantes de llama de base biológica, como la lignina, el ácido fítico o el quitosano.

Por otro lado, la utilización tradicional de poliacrilonitrilo como polímero precursor de la fibra de carbono está encontrando otras alternativas prometedoras, como biopolímeros naturales de origen vegetal, entre los que destaca la lignina [13].

- *Fabricación de fibras a partir de biopolímeros.*

Se observa un creciente esfuerzo en el desarrollo de polímeros de origen biológico susceptibles de procesarse en forma de fibras mediante técnicas de hilado o extrusión. Estos polímeros suelen obtenerse a partir de biomasa vegetal, animal o de origen microbiano.

Entre ellos, destacan los polihidroxialcanoatos (PHA, por sus siglas en inglés), una familia de poliésteres naturales producidos por microorganismos, entre la que se encuentra el polihidroxibutirato sintetizado por bacterias. Asimismo, se encuentra el ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés) [14], un poliéster alifático termoplástico obtenido por polimerización del ácido láctico, generalmente producido mediante fermentación de azúcares procedentes de biomasa (véase la figura 2).

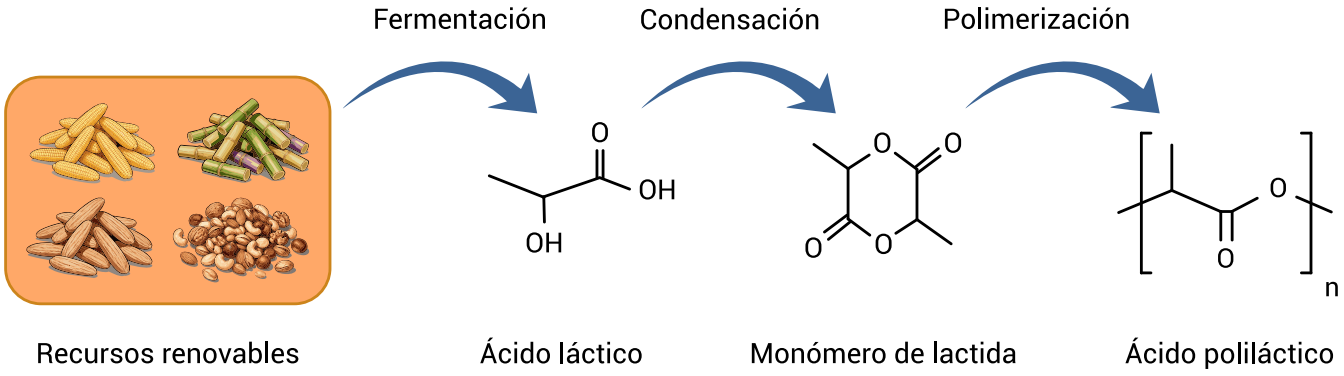


Figura 2. Síntesis de ácido poliláctico (PLA). Figura adaptada y traducida de referencia [15].

Fabricación, transformación y valorización de residuos de resinas sintéticas (p. ej.: CNAE 2016; 293; 22; 1812; 382).

Las resinas de estireno-acrilonitrilo (SAN) y de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) constituyen dos de los termoplásticos de mayor relevancia industrial. Las resinas SAN han encontrado sus principales aplicaciones en la fabricación de envases, utensilios domésticos y pequeños electrodomésticos, en equipos médicos y de laboratorio, así como en componentes electrónicos y de automoción. Por su parte, en las resinas ABS, la fase elastomérica de butadieno (sustancia cancerígena de categoría 1A y mutágena de categoría 1B) incorporada en su estructura le confiere una mayor resistencia al impacto, lo que ha motivado su amplio uso en la fabricación de piezas de la industria del automóvil, carcasas de equipos electrónicos, electrodomésticos y materiales de construcción.

Las resinas SAN se obtienen industrialmente mediante la copolimerización de monómeros de estireno y acrilonitrilo; para las resinas ABS este mismo proceso se lleva a cabo en presencia adicional de polibutadieno. Debido a la utilización de acrilonitrilo como materia prima y a la posible presencia de monómero

residual no reaccionado, existe riesgo de exposición a dicho agente durante el proceso de fabricación.

Por otro lado, en los procesos de conformado térmico de dichas resinas, como extrusión, moldeo por inyección, termoconformado o fabricación aditiva (o impresión 3D), el material se somete a temperaturas elevadas que pueden favorecer la liberación de trazas de monómero residual o productos de degradación térmica.

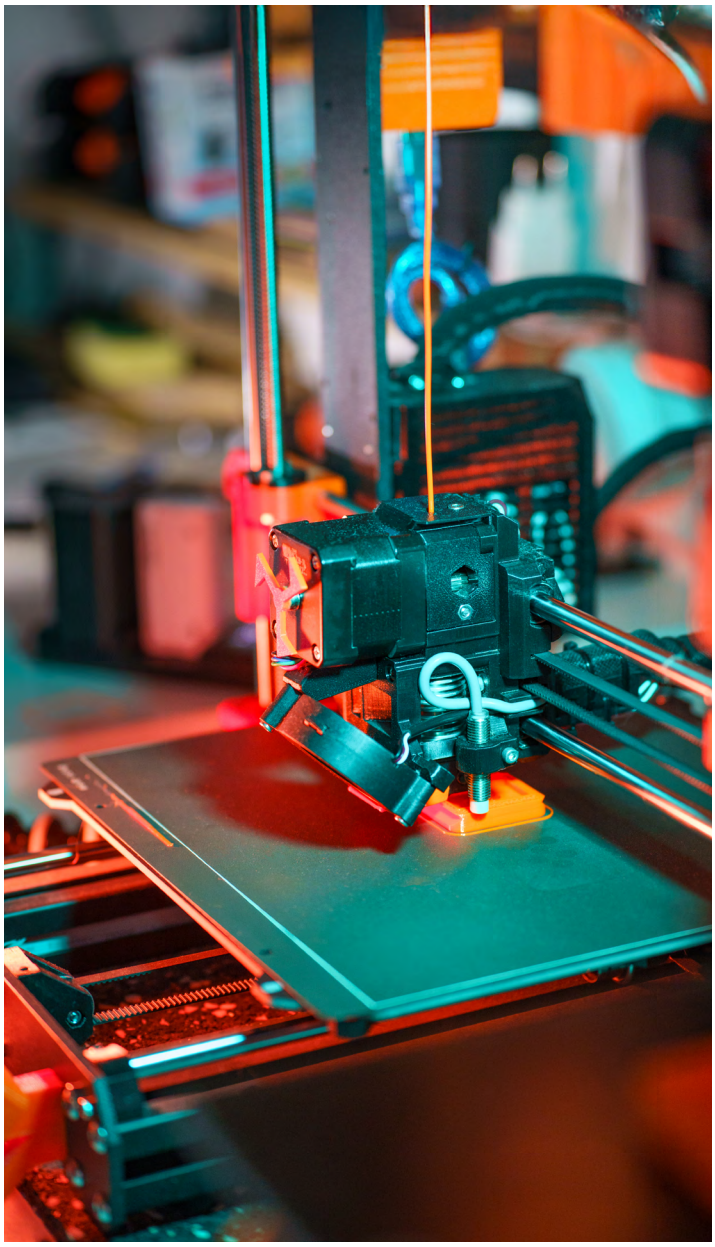
Asimismo, los residuos que contienen resinas ABS o SAN pueden valorizarse mediante tratamientos térmicos, como la pirólisis, durante los cuales pueden generarse productos de descomposición térmica.

Existen avances notables en el estudio de alternativas a las resinas de acrilonitrilo con menor peligrosidad para la salud. A continuación, se presentan algunos ejemplos, a modo de listado no exhaustivo:

- *Utilización del ácido poliláctico (PLA)*, que ha alcanzado un importante desarrollo en diversas actividades como la fabricación aditiva [15], en la que se utiliza especialmente en el proceso de extrusión de material (FDM, por sus siglas en inglés) [16]. Estos procesos permiten la obtención de prototipos y modelos para amplios sectores como el de la automoción, el industrial, el aeroespacial o el sanitario, entre otros. Asimismo, existen avances para identificar estrategias de modificación del PLA destinadas a mejorar sus prestaciones mecánicas, térmicas y procesabilidad [15].

  El PLA también se aplica en procesos de moldeo por inyección para la fabricación de productos de consumo, como artículos domésticos o carcasas de dispositivos electrónicos con exigencias térmicas y mecánicas moderadas.

  Otros usos incluyen la fabricación de envases o artículos alimentarios de un solo uso, generalmente obtenidos mediante termoconformado de láminas poliméricas [17].



Por otro lado, los materiales basados en PLA reforzado, por ejemplo, con fibras naturales, constituyen una alternativa prometedora en el sector del automóvil, especialmente en componentes interiores no estructurales.

- *Otros polímeros termoplásticos*. Entre los que se incluyen, a modo de ejemplo, los siguientes:

  - Succinato de polibutileno, polímero susceptible de biodegradación bajo condiciones específicas, que presenta propiedades mecánicas y estabilidad térmica de interés, y que ha sido empleado en aplicaciones como embalajes, envases, cubertería o cápsulas de café, entre otros [18].
  - Polipropileno, con importantes usos como envases, recubrimientos, utensilios o piezas flexibles, siendo especialmente destacada su resistencia a productos químicos. Asimismo, existen notables avances para incrementar algunas de sus propiedades mecánicas mediante la incorporación de fibras naturales, cargas minerales como el carbonato cálcico o la copolimerización con etileno.

Fabricación de productos químicos (CNAE 20).

La elevada reactividad del acrilonitrilo ha favorecido tradicionalmente su empleo como precursor en la síntesis de una amplia variedad de productos químicos de interés industrial; no obstante, existe un importante progreso para identificar alternativas con menor riesgo para la salud, algunas de las cuales se indican a continuación con carácter no exhaustivo:

- *Acrilamida*, sintetizada a partir de acrilonitrilo. Es utilizada principalmente como sustancia intermedia para la producción de poliacrilamidas o copolímeros, con diferentes usos, como el tratamiento de aguas y minerales, la fabricación de papel, el procesamiento textil o la preparación de geles.

  La Ficha n.º 9. Acrilamida, de la presente colección, proporciona información sobre posibles alternativas para su sustitución.

- *Caucho de nitrilo-butadieno (NBR)*, obtenido a partir de la copolimerización de acrilonitrilo y 1,3-butadieno, y con frecuente aplicación en elementos de sellado, juntas, conducciones flexibles o guantes de protección contra productos químicos.

  Existen otros materiales elastoméricos que pueden emplearse para el sellado, como la silicona o el caucho de etileno-propileno-dieno monómero (EPDM), verificándose en cada caso su adecuación al servicio (compatibilidad química, temperatura, presión, etc.).

- *Adiponitrilo,* producido a partir de la dimerización del acrilonitrilo y usado como intermedio en la síntesis de poliamidas como el nailon.

  Cabe destacar el avance en el desarrollo de alternativas, como la poliamida 11, obtenida a partir de biomasa vegetal, en particular del aceite de ricino. Esta presenta aplicaciones en la industria del automóvil y aeroespacial (conductos y componentes ligeros), productos sanitarios (catéteres y otros dispositivos médicos), en la fabricación aditiva o en el sector textil [19].

- *Polioles poliméricos,* en los que el acrilonitrilo (habitualmente junto con estireno) participa en la formación de una fase polimérica dispersa en el poliol, siendo la fabricación de espumas de poliuretano una de sus principales aplicaciones.

  Es notable el esfuerzo realizado para el desarrollo de otras opciones, como la utilización de sustancias derivadas de aceites vegetales (entre ellos el aceite de ricino, véase la figura 3), o los residuos de biomasa lignocelulósica [20,21].

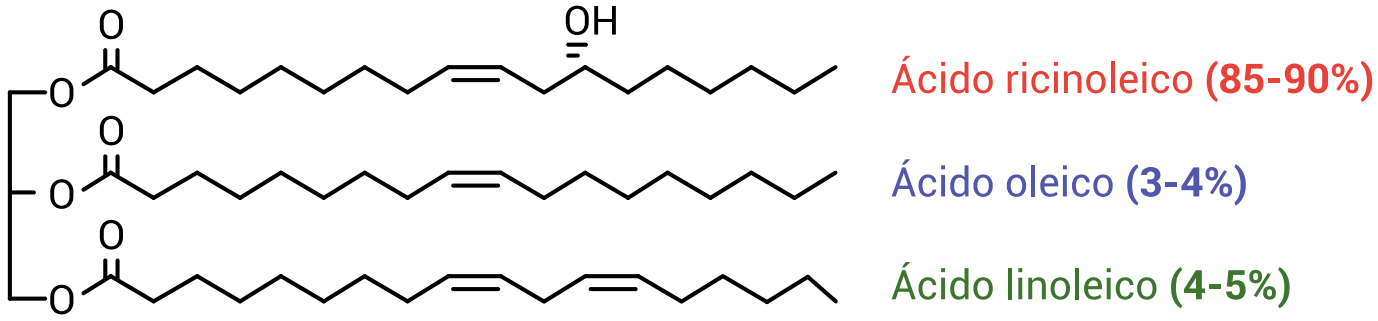


Figura 3. Principales ácidos grasos presentes en el aceite de ricino. Figura extraída y traducida de referencia [21].

Construcción (CNAE 41,42,43).

Los derivados del acrilonitrilo han sido ampliamente utilizados en el sector de la construcción; no obstante, se han identificado avances en el desarrollo de otras opciones más seguras. Entre otros, pueden citarse los siguientes ejemplos:

- *Sellado y absorción de vibraciones.*

  Destaca el esfuerzo realizado en la identificación de materiales de base biológica, como el caucho natural derivado del látex. Gracias a su elevada elasticidad y resistencia a la fatiga, ha encontrado amplias aplicaciones en el aislamiento sísmico y de vibraciones en estructuras.

  Asimismo, se presentan otras alternativas destinadas a aplicaciones de sellado en el apartado "Fabricación de productos químicos" del presente documento.

- *Recubrimientos.*

  Ciertos derivados del acrilonitrilo han sido utilizados como recubrimientos, principalmente como barrera protectora frente a productos químicos corrosivos.

  Como alternativas a los anteriores, se encuentran el polietileno y el polipropileno (este último con mayor resistencia a la temperatura que el primero), evaluándose su resistencia química en función de cada sustancia y de las condiciones de operación.

Tratamiento de aguas residuales y potables (CNAE 36,37).

El poliacrilonitrilo ha sido ampliamente utilizado en la producción de resinas de intercambio iónico para el tratamiento y depuración de aguas, destacando las resinas quelantes empleadas en la extracción selectiva de metales pesados.

Se han investigado diversas alternativas basadas en distintos materiales [22], como arcillas, zeolitas, alúmina y biopolímeros, entre los que destacan el quitosano, la celulosa y el alginato. No obstante, pueden presentar ciertas limitaciones en relación con las resinas sintéticas, lo que ha motivado el desarrollo de estrategias de modificación con el objetivo de mejorar su eficiencia de adsorción.



Industria del calzado (CNAE 15).

En la industria del calzado, los derivados del acrilonitrilo, como el NBR o ABS, se han empleado habitualmente como componentes para la fabricación de suelas, tacones y adhesivos.

Algunas alternativas incluyen los adhesivos sintetizados a partir de caucho natural. Existen también avances prometedores en el estudio de adhesivos de poliuretano de base biológica sin isocianatos [23].

07 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Reglamento (CE) n.º1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) n.º1907/2006.

[2] 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.

[3] Reglamento (CE) n.º 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), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) n.º 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) n.º 1488/94 de la Comisión, así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión.

[4] European Commission, 2020. 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.

[5] Roadmap on carcinogens. The facts on Acrylonitrile. Portal web.

[6] European Chemicals Agency (ECHA), 2018. ANNEX 1. Background document in support of the Committee for Risk Assessment (RAC) evaluation of limit values for acrylonitrile in the workplace. ECHA/RAC/O-0000001412-86-188/F.

[7] European Commission, 2004. European Union Risk Assessment Report. Acrylonitrile.

[8] Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., & Garnier, C. (2023). A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. Results in engineering, 19, 101271.

[9] Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., & Leite, M. (2018). Natural fibre composites and their applications: a review. Journal of composites science, 2(4), 66.

[10] Kumar, S., Gupta, D., Sharma, V., Chaudhary, A. K., & Meena, M. L. (2023). Recent development in natural fiber composites, testing and fabrication methods: a review. Materials Today: Proceedings.

[11] Sayam, S. (2026). Natural fibers in sustainable materials: extraction technologies, fiber modification, and performance–sustainability relationships. RSC advances, 16(12), 10495-10537.

[12] Hiremath, V. S., Reddy, D. M., Mutra, R. R., Sanjeev, A., & Dhilipkumar, T. (2024). Thermal degradation and fire retardant behaviour of natural fibre reinforced polymeric composites-A comprehensive review. Journal of Materials Research and Technology, 30, 4053-4063.

[13] Vaughan, M., Beaucamp, A., & Collins, M. N. (2025). Development of high stiffness carbon fibres from lignin. Composites Part B: Engineering, 292, 112024.

[14] Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. Advanced drug delivery reviews, 107, 367-392.

[15] Mekonnen, K. T., Fanta, G. M., Tilinti, B. Z., & Regasa, M. B. (2024). Polylactic acid based biocomposite for 3D printing: A review. Composite Materials, 8(2), 57-71.

[16] Ligon, S. C., Liska, R., Stampfl, J., Gurr, M., & Mülhaupt, R. (2017). Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing. Chemical reviews, 117(15), 10212-10290.

[17] Jamshidian, M., Tehrany, E. A., Imran, M., Jacquot, M., & Desobry, S. (2010). Poly-lactic acid: production, applications, nanocomposites, and release studies. Comprehensive reviews in food science and food safety, 9(5), 552-571.

[18] Rafiqah, S. A., Khalina, A., Harmaen, A. S., Tawakkal, I. A., Zaman, K., Asim, M., ... & Lee, C. H. (2021). A review on properties and application of bio-based poly (butylene succinate). Polymers, 13(9), 1436.

[19] Jariyavidyanont, K., Focke, W., & Androsch, R. (2019). Thermal properties of biobased polyamide 11. Thermal Properties of Bio-Based Polymers, 143-187.

[20] Gama, N. V., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane foams: Past, present, and future. Materials, 11(10), 1841.

[21] Campana, F., Brufani, G., Mauriello, F., Luque, R., & Vaccaro, L. (2024). Green polyurethanes from bio-based building blocks: Recent advances and applications. Green Synthesis and Catalysis.

[22] Satyam, S., & Patra, S. (2024). Innovations and challenges in adsorption-based wastewater remediation: A comprehensive review. Heliyon, 10(9).

[23] Orgilés-Calpena, E., Arán-Aís, F., Torró-Palau, A. M., & Sánchez, M. A. M. (2020). Adhesives in the footwear industry: a critical review. *Progress in Adhesion and Adhesives*, vol. 5, 69.

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL
insst
Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo

NIPO (en línea): 118-26-017-1

FAS.13.1.26