

Acrilamida

$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2$

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

La sustitución de los agentes cancerígenos, mutágenos o reprotoxicos 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° 9. Acrilamida, 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.

ÍNDICE

Principales características y efectos en la salud

Referencias normativas

Usos frecuentes

Fuentes y sectores principales de exposición

Algunas alternativas de sustitución

Referencias bibliográficas

Principales características y efectos en la salud

La acrilamida es una amida insaturada que se presenta como una sustancia cristalina, blanca e inodora a temperatura ambiente, y es fácilmente soluble en agua. Es estable en condiciones normales, pero puede descomponerse o polimerizarse cuando se calienta o se expone a la luz ultravioleta.

La acrilamida está clasificada en la Unión Europea (UE) como cancerígeno 1B, según la clasificación armonizada del Reglamento (CE) n° 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.





Además, se encuentra clasificada según dicha normativa como mutágeno 1B, por ser una sustancia que se considera que induce mutaciones hereditarias en las células germinales humanas. Asimismo, está clasificada en la categoría 2 de toxicidad para la reproducción humana, al ser una sustancia de la que se sospecha que perjudica a la fertilidad.

La acrilamida se encuentra también clasificada según dicha normativa como sensibilizante cutáneo de categoría 1, ya que, por penetración cutánea, puede ocasionar una reacción de hipersensibilidad de forma que una exposición posterior a la misma dé lugar a efectos negativos característicos.

Asimismo, está clasificada como tóxico e irritante según se indica en la Tabla 1:

Tabla 1. Clasificación armonizada de la acrilamida como tóxico e irritante según Reglamento CLP	
Códigos de clase y categoría de peligro	Códigos de indicaciones de peligro
Toxicidad aguda: Tox.ag.3 Tox.ag.4 Tox.ag.4	H301: Tóxico en caso de ingestión H332: Nocivo en caso de inhalación H312: Nocivo en contacto con la piel
Toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas): STOT repe. 1	H372: Provoca daños en los órganos
Irritación ocular: Irrit. oc. 2	H319: Provoca irritación ocular grave
Irritación cutánea: Irrit.cut.2	H315: Provoca irritación cutánea

En el ámbito laboral, las vías de entrada más importantes de la acrilamida al organismo son las vías inhalatoria y dérmica.

La aportación por la vía cutánea puede resultar significativa para el contenido corporal total de la persona trabajadora, si no se adoptan medidas para prevenir la absorción.



Referencias normativas

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

Además, la acrilamida se encuentra regulada en el ámbito de la UE por diferentes legislaciones específicas, como las señaladas a continuación a modo de listado no exhaustivo:



- El Reglamento (CE) nº 1907/2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (en adelante, Reglamento REACH), incluyéndose en la Lista de sustancias candidatas extremadamente preocupantes. Asimismo, dicha legislación en su anexo XVII 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 para las aplicaciones de revestimiento.
- El Reglamento (UE) nº 2017/2158 de la Comisión, de 20 de noviembre de 2017, el cual establece medidas de mitigación y niveles de referencia para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos.
- El Reglamento (UE) nº 10/2011 de la Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos, que prohíbe la acrilamida en materiales plásticos y artículos destinados a entrar en contacto con alimentos.
- El Reglamento (CE) nº 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, sobre los productos cosméticos, que prohíbe el uso de la acrilamida según lo establecido en su Anexo II.
- La Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, que establece un límite para la concentración de acrilamida en agua destinada al consumo humano de 0,10 µg/l. Este valor está referido a la concentración monomérica residual en el agua, calculada con arreglo a las características de la migración máxima del polímero correspondiente en contacto con el agua.



Tabla 2. Otros ámbitos en los que está regulada la acrilamida en la UE

Ámbito	Legislación
Sustancias y mezclas químicas	<ul style="list-style-type: none"> • Reglamento (CE) nº1907/2006 (Reglamento REACH) • Reglamento (CE) nº1272/2008 (Reglamento CLP)
Calidad de las aguas	Directiva 98/83/CE
Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Reglamento (UE) 2017/2158 • Reglamento (UE) nº10/2011
Cosméticos	Reglamento (CE) nº1223/2009



Usos frecuentes

La acrilamida se utiliza principalmente como sustancia intermedia en la industria química para la producción de poliacrilamidas o copolímeros, los cuales son polímeros de alto peso molecular que se utilizan principalmente como agentes aglutinantes, espesantes o floculantes.

Uno de los principales usos de las poliacrilamidas se sitúa en el tratamiento de aguas potables y residuales, y de minerales, como coagulantes y ayudantes de floculación. Las poliacrilamidas se utilizan como agentes reforzadores en los procesos de fabricación de papel en la industria papelera. También se utilizan en una amplia gama de otras aplicaciones para la fabricación de adhesivos, así como en el procesamiento textil. Son también utilizados en la industria del petróleo para mejorar la producción de petróleo de los pozos.

Se utilizan también para la preparación de geles en el sector sanitario y laboratorios de investigación, en el tratamiento del suelo en la agricultura y en otras aplicaciones civiles y militares.

Otros usos de la acrilamida se centran en la fabricación de colorantes y en la fabricación de otros monómeros.

La acrilamida se fabrica y se importa en la UE, en una cantidad de entre 100.000 y 1.000.000 de toneladas al año (ECHA, 2023).

Esta sustancia es producida en la UE como una solución acuosa del 30 al 50% mediante la hidratación catalítica de acrilonitrilo utilizando un proceso enzimático a baja temperatura o un catalizador de cobre a 100 a 150 °C.

El período de latencia entre la exposición a la acrilamida y la detección del cáncer relacionado con la misma puede oscilar entre 4 a 16 años [6].





Fuentes y sectores principales de exposición

Se estima que alrededor de 54.000 personas trabajadoras en la UE podrían estar potencialmente expuestos a la acrilamida [6].

Los sectores donde puede haber exposición potencial a la acrilamida incluyen a la industria del papel, la construcción, la industria del metal, el tratamiento de aguas, la industria textil, el sector de extracción de crudo de petróleo, la industria química, la agricultura, en laboratorios, etc.

La exposición a los polímeros y copolímeros de acrilamida puede llevar a la exposición a esta, ya que el polímero puede contener pequeñas cantidades de monómero.

Además de sus usos comerciales, también se ha identificado que la acrilamida se forma involuntariamente durante las actividades de cocina cotidianas, en ciertos alimentos ricos en carbohidratos durante la cocción a altas temperaturas ($> 120^{\circ}\text{C}$) en condiciones de baja humedad, como el horneado, la fritura o el asado.

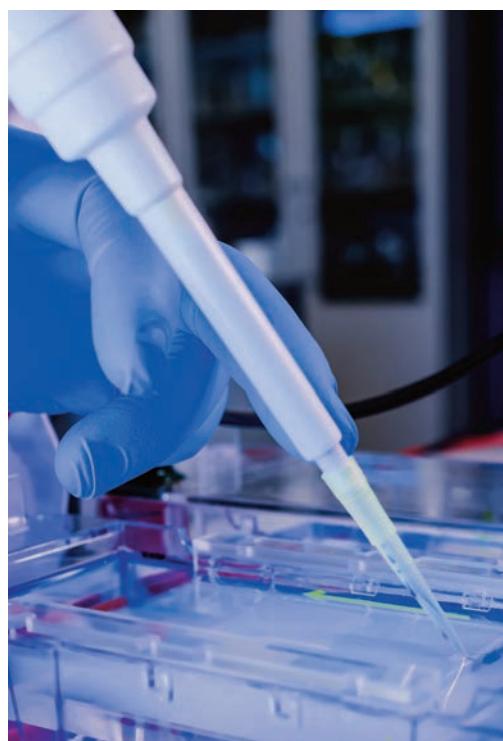
Además de los productos alimenticios, la acrilamida está presente en el humo del tabaco. La exposición total a la acrilamida en fumadores es un 50 % mayor que en no fumadores [7].

Algunas alternativas de sustitución

Si bien el uso de la acrilamida 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 de la acrilamida para distintos sectores de actividad.





• Tratamiento de aguas residuales y potables (CNAE¹ 36; 37)

La acrilamida se ha utilizado en la fabricación de polímeros para el tratamiento de aguas residuales y potables, como parte de los procesos de coagulación y floculación. La acción de las poliacrilamidas (PAM) o los copolímeros de la acrilamida con otros monómeros facilita la unión de las partículas suspendidas en el agua residual, la formación de flóculos de mayor tamaño y su correspondiente sedimentación y separación del agua tratada. Dichos polímeros pueden descomponerse de nuevo a acrilamida mediante distintos mecanismos, especialmente de origen mecánico y químico o por biodegradación [8].

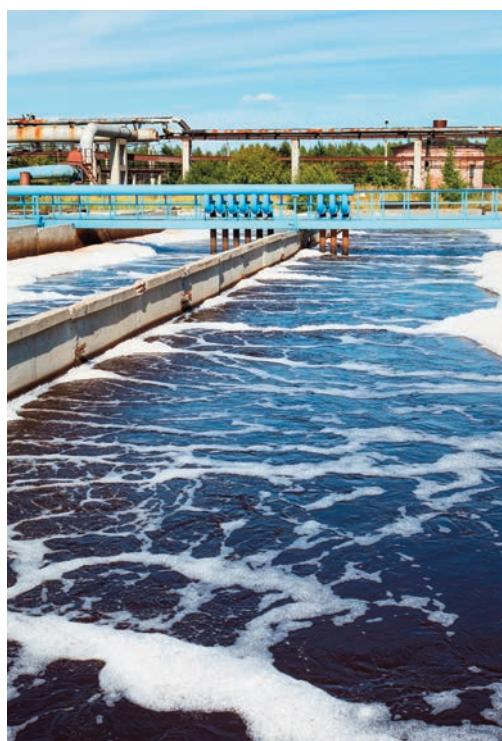
Asimismo, una pequeña fracción del polímero poliacrilamida, conocida como acrilamida residual, no pasa a formar parte del flóculo, es muy soluble en agua y permanece disuelto en ella. Por ello, para la fabricación de estos polímeros se establecen limitaciones reglamentarias en el contenido de acrilamida libre.

Existe una continua evolución en la búsqueda de alternativas que permitan identificar nuevos coagulantes y floculantes que representen un menor riesgo para la salud.

Dentro de dicha concepción, se disponen los biofloculantes de origen natural, extraídos de sustancias vegetales o animales [9], [10]. La aplicación de extractos de semillas, hojas y corteza de algunas plantas como floculantes naturales ha sido estudiada y reportada, siendo el caso de las semillas de moringa, jatrofa, cactus, aloe vera, etc.

Asimismo, se ha encontrado que ciertos biopolímeros, como los derivados de almidón, celulosa, alginato, quitosano (producto derivado del exoesqueleto de crustáceos), etc., pueden tener gran potencial de desarrollo para su aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

Existen, además, otras alternativas prometedoras para la aplicación de ciertos procesos físicos en lugar de químicos, para la estabilización de los lodos secundarios utilizados en los tratamientos biológicos de aguas residuales. A modo de referencia, tal es el caso reportado en el portal de sustitución SUBSPORTplus (2021) con la implementación de diversos procesos físicos consecutivos, reduciendo así la necesidad de los productos químicos habitualmente utilizados para tal fin. En el caso reportado, el cambio tecnológico derivó no sólo en ahorro de costes asociados a la reducción de materias primas, sino también en la optimización de costes energéticos y disminución del espacio total necesario de la instalación tras las modificaciones del proceso.



¹ Real Decreto 475/2007, de 13 de abril, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2009 (CNAE-2009).



• Industria del papel (CNAE 17)

La poliacrilamida y sus derivados, tales como la poliacrilamida gioxilada (GPAM, por sus siglas en inglés), han sido unos de los más importantes aditivos de origen sintético usados en el proceso de producción de papel. Su presencia refuerza los enlaces entre las fibras del papel, mejorando su estabilidad dimensional, resistencia y durabilidad, no sólo cuando se humedece, sino también en seco.

Se constata un importante esfuerzo en el desarrollo de alternativas [11] de menor peligrosidad para la salud, como es el caso de ciertos aditivos de origen natural, los cuales establecen enlaces con las fibras de celulosa, incrementando la resistencia en húmedo y en seco del papel. A modo de ejemplo:

- Almidón: derivado de fuentes naturales como maíz, trigo y patatas. El almidón también presenta buenas propiedades formadoras de película, lo que ayuda a recubrir y unir las fibras, mejorando la resistencia en húmedo del papel.
- Quitosano, el cual, a modo de aditivo para la celulosa, puede, además, mejorar ciertas propiedades superficiales del papel como barrera frente a grasas, vapor de agua y oxígeno; propiedades antibacterianas y antiestáticas, etc. [12]
- Proteínas de soja, las cuales mejoran especialmente la resistencia en seco del papel, pudiendo además ser utilizadas en combinación con otros aditivos.
- Aplicación de procesos biotecnológicos enzimáticos en la fabricación del papel. Enzimas como las celulasas, hemicelulasas, peroxidases, lipasas y amilasas se han investigado con el objetivo de potenciar los mecanismos de cohesión de las fibras e incrementar la resistencia del papel.

Los copolímeros de acrilamida tienen asimismo buenas propiedades adhesivas, por lo que también se han utilizado en la fabricación de adhesivos sintéticos aplicados en diversos sectores, entre ellos, el sector del papel, fundamentalmente como resinas acrílicas. Los adhesivos sintéticos pueden implicar exposición de las personas trabajadoras a acrilamida debido a la posible presencia de trazas residuales de monómeros en su formulación.

Es considerable el esfuerzo realizado en el desarrollo de otras opciones de menor impacto para la salud, tales como los bioadhesivos constituidos por polímeros de origen biológico que presentan también propiedades de adhesión y cohesión bajo ciertas condiciones [13]; habiéndose explorado distintos materiales como la lignina, almidón, celulosa, proteínas de origen vegetal (por ejemplo: la proteína de soja y la caseína), aceites vegetales, caucho natural, etc.





Figura 1. Materias primas alternativas para adhesivos de origen biológico. Figura extraída y traducida de referencia [14]

Asimismo, en los adhesivos 100% sólidos que están formulados para no contener disolventes líquidos volátiles, como es el caso de los termofusibles y los termosellables, se reduce considerablemente la posibilidad de liberación de monómeros, ya que estos no se evaporan durante el proceso de aplicación y curado.

• Industria textil (CNAE C 13)

Son diversas las aplicaciones que tradicionalmente ha tenido la poliacrilamida en la industria textil; así, por ejemplo:

- Apresto de textiles, confiriendo mejoras a las propiedades del tejido, como suavidad y resistencia a las arrugas.
- Agente para el encolado de textiles, para proporcionar al hilado las características mecánicas necesarias que se requieren durante el tejido.
- Mejora de la eficacia en el proceso de teñido, optimizando los tiempos de producción e incrementando la capacidad del tejido para absorber el colorante, así como la estabilidad y uniformidad del color.
- Agente antiestático, reduciendo la acumulación de electricidad estática en los materiales textiles durante su fabricación y uso.
- Coagulante y floculante para los tratamientos de las aguas residuales textiles.





No obstante, se han realizado avances para el desarrollo de otras opciones en ciertas aplicaciones, que puedan implicar un menor riesgo para la salud como, por ejemplo:

- Aplicación de biotecnología mediante el uso de procesos enzimáticos, con la consiguiente reducción en la utilización de agentes químicos peligrosos y menor severidad en las condiciones del proceso. Así, por ejemplo, se está progresando en el estudio de enzimas que mejoran la absorción del colorante y su difusión hacia el interior de las fibras.

Además, las enzimas tienen una notable capacidad de biodegradar compuestos recalcitrantes, incluyendo diversos colorantes utilizados en la industria textil, por lo que resultan una vía prometedora dentro de los distintos procesos de aguas residuales en el sector.

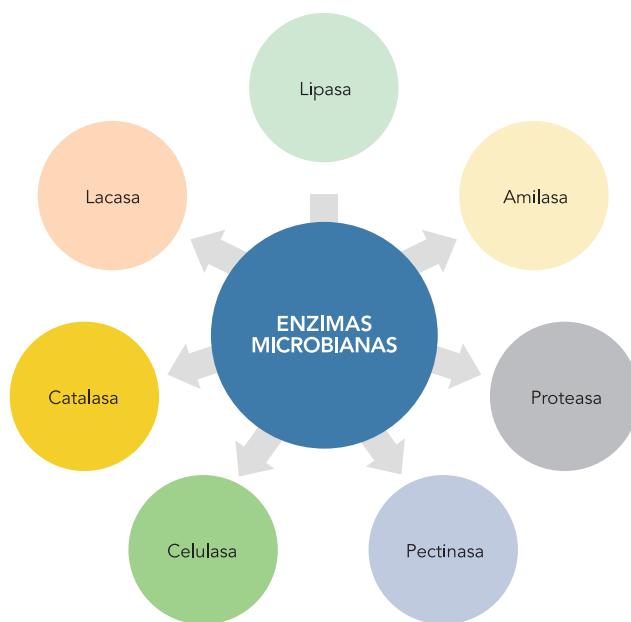


Figura 2. Enzimas microbianas de interés en distintos procesos de la industria textil.

Figura extraída y traducida de referencia [15]



La Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo, elaborada por el INSST, en sus comentarios al artículo 5.4 del Real Decreto 665/1997, señala que los valores límite de exposición profesional deben considerarse como una referencia máxima para el control del ambiente en el puesto de trabajo; hallarse por debajo del valor límite establecido para dichos agentes no significa que no se requieran acciones adicionales destinadas a reducir la exposición a un nivel tan bajo como sea técnicamente posible.



- Sustancias de origen natural para su aplicación como agentes de encolado y aditivos, como polímeros de quitosano, derivados de almidón, alginatos, etc.
- Otros compuestos químicos de menor peligrosidad para la salud, que puedan aportar ciertas propiedades, por ejemplo, el polietilenglicol que puede actuar como aditivo suavizante y antiestático.

• Extracción de minerales (CNAE B 07)

Los polímeros o copolímeros de la acrilamida tienen aplicaciones en los procesos de separación y recuperación de minerales, como floculantes para facilitar la separación sólido-líquido en las etapas de sedimentación y filtración. Asimismo, mejoran las etapas de recuperación de aguas reduciendo de este modo el consumo de agua fresca e incrementando la eficacia del proceso.

En este sector, uno de los copolímeros más utilizados es el de acrilamida y acrilato, pudiéndose obtener floculantes con carga aniónica, catiónica o no iónica en función de la proporción entre ambos monómeros. La presencia de dichas cargas aniónicas o catiónicas en el copolímero le permite interactuar de manera efectiva con las partículas en suspensión, facilitando su aglomeración y sedimentación.

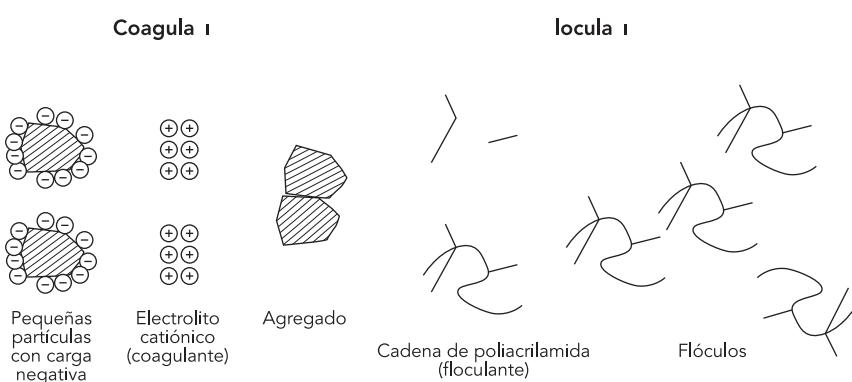
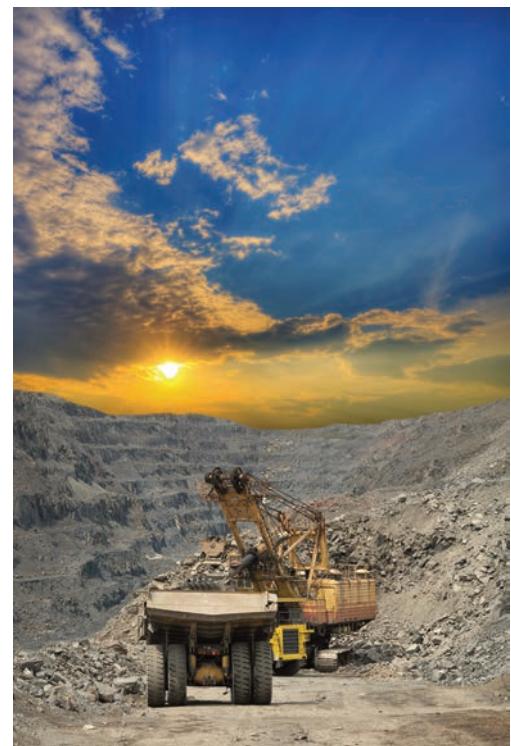


Figura 3. Mecanismo de coagulación y floculación en presencia de poliacrilamida.

Figura extraída y traducida de referencia [18]



De cualquier modo, es posible continuar progresando en la identificación de vías de sustitución más seguras para la salud como, por ejemplo:

- Floculantes de origen natural. Entre ellos, se encuentra el almidón, el cual posee un marcado carácter hidrofílico, lo que resulta en una capacidad significativa de retención de agua, pudiendo, además, ser utilizado como floculante y depresor de la flotación durante los procesos de separación de minerales [16]. En ocasiones, a través de procesos químicos o enzimáticos, pueden mejorarse sus propiedades, por ejemplo, confiriéndole carácter catiónico.

Otros polisacáridos parcialmente hidrolizados derivados del almidón, como por ejemplo la dextrina, también disponen de potencial para actuar como depresores de flotación [17]. Existen, además, otras opciones prometedoras a partir de biomasa para el tratamiento de relaves (materiales finos y líquidos resultantes del procesamiento de minerales en este sector), como, por ejemplo, la celulosa, proteínas o el alginato extraído de algas marinas.

- Polisacáridos modificados, como los derivados de semillas de plantas (por ejemplo, la goma guar modificada), los cuales pueden utilizarse también como alternativas en algunos procesos de extracción mineral.
- Floculantes inorgánicos, como el silicato de sodio, han mostrado también viabilidad para su uso en algunas aplicaciones mineras para la floculación de partículas en suspensión.

• **Extracción de crudo de petróleo y gas natural (CNAE B 06)**

En este sector se ha utilizado la poliacrilamida, o la poliacrilamida parcialmente hidrolizada (HPAM, por sus siglas en inglés), para mejorar la eficiencia en la recuperación de petróleo y gas natural. Su uso se ha centrado en la tercera etapa de producción de petróleo, como parte de las técnicas de recuperación mejorada (EOR, por sus siglas en inglés).

La aplicación de estos polímeros como aditivo en los pozos de petróleo tiene como objetivo principal incrementar la viscosidad del agua inyectada durante la extracción, facilitando la movilidad del petróleo incrustado en las rocas para su posterior recuperación. Asimismo, puede reducir la permeabilidad en ciertas zonas del yacimiento, lo que evita el flujo prematuro de agua, y contribuye a la prevención de problemas operativos. Además, se utiliza también como reductor de fricción en el transporte por tubería, mejorando el flujo de petróleo crudo y gas natural.





Existe una notable progresión en la identificación de posibles alternativas, como las que se describen a continuación [19]:

- Polisacáridos de origen natural, entre los que se encuentran, por ejemplo:
 - Goma xantana, la cual es obtenida a partir de procesos de fermentación bacteriana y que dispone de buenas propiedades de viscosidad, necesarias para dichas aplicaciones.
 - Celulosa, obtenida a partir de fuentes vegetales como el bambú, algodón, madera, o a partir de fuentes de origen bacteriano. Se han aplicado ciertos derivados de la celulosa, como la hidroxietilcelulosa o la carboximetilcelulosa, si bien, en ocasiones, son sometidos a modificaciones superficiales para mejorar sus propiedades.
 - Goma guar, obtenida a partir de semillas de ciertas plantas leguminosas, o goma Welan, procedente de fermentación bacteriana y que presenta mejor tolerancia al ambiente salino y a la temperatura que la anterior.
- Otras técnicas alternativas de recuperación mejorada de petróleo, siendo algunos ejemplos:
 - Técnica realizada con microorganismos (MEOR, por sus siglas en inglés). Esta técnica consiste en la inyección de microorganismos dentro de un reservorio, o bien en la estimulación de los ya existentes dentro de él, los cuales deben ser capaces de producir moléculas que modifiquen las propiedades del petróleo (principalmente la fracción pesada), así como las características de la roca. Dichos microorganismos mejoran la recuperación de petróleo por varios medios: mediante la liberación de gases y el incremento de la presión del yacimiento; por la descomposición de moléculas más pesadas en componentes de cadenas más pequeñas, dando como resultado la reducción de la viscosidad del petróleo; y mediante la producción de tensioactivos naturales que pueden mejorar el flujo de petróleo alterando las propiedades del sistema que comprende el petróleo crudo, la salmuera y las rocas.



La Comisión Europea (CE) lanzó en el año 2020 la "Estrategia de sostenibilidad para las sustancias químicas", la cual se centra en el concepto de la seguridad y sostenibilidad en el diseño de las sustancias químicas y de los materiales, de forma que estos sean seguros para la salud humana y el medio ambiente y sostenibles desde su origen. [26]



- Técnicas a partir de proteínas /enzimas, fundamentadas esencialmente en su potencial para la modificación de la mojabilidad de la roca; reducción de la viscosidad del petróleo y eliminación de compuestos pesados [20].

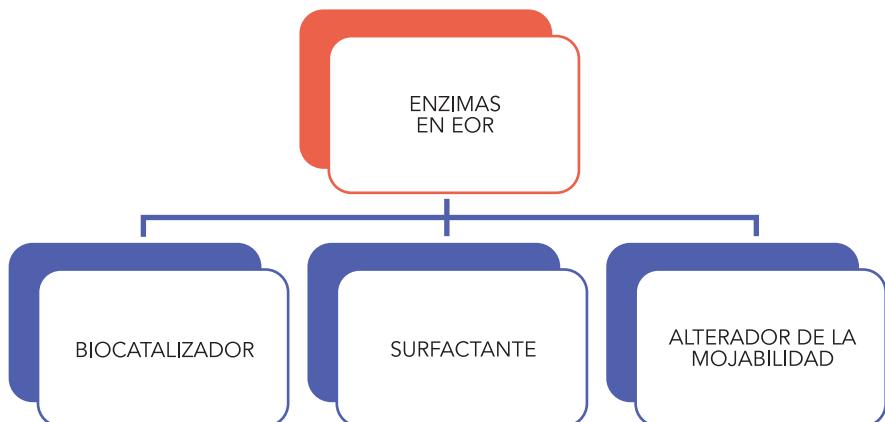


Figura 4. Función de las enzimas en las técnicas de recuperación mejorada del petróleo (EOR) [20]

• Investigación y desarrollo; Actividades sanitarias (CNAE M 72; Q 86)

El monómero de la acrilamida es empleado en la preparación de geles de poliacrilamida para electroforesis en hospitales, universidades y laboratorios de investigación. Mediante la técnica de electroforesis se pueden separar moléculas de ADN, ARN o proteínas en función de su tamaño y carga eléctrica. Esta técnica se basa en el diferente movimiento de las moléculas cargadas eléctricamente a través de la superficie hidratada de un medio sólido, de modo que, al hacer pasar una corriente sobre este, las moléculas con una carga negativa y positiva se ven atraídas hacia el ánodo y cátodo respectivamente. Además, para un mismo tamaño de poro del medio sólido poroso, a mayor tamaño de la molécula, más difícilmente migrará hacia el cátodo o el ánodo, lo que permite además separarlas en función de su tamaño.

Para el medio sólido poroso, además de los geles de poliacrilamida, pueden analizarse otras posibles opciones de menor peligrosidad para la salud, por ejemplo:

- Gel de agarosa, que es un polisacárido gelificante que se extrae principalmente de ciertas especies de algas. El gel de agarosa tiene un gran tamaño de poro y una buena resistencia de gel, lo que lo hace adecuado como medio para la electroforesis de ácidos nucleicos.





Al igual que en la poliacrilamida, el tamaño del poro viene definido por la concentración a la que se hace el gel, de forma que, a mayor concentración, aumenta la resistencia al paso de las moléculas a través del gel (a mayor concentración, menor tamaño de poro, y viceversa) y mayor será su selectividad.

- Gel de almidón: se puede emplear en la electroforesis en disposición horizontal, estando especialmente indicado para proteínas y ácidos nucleicos.

Por otro lado, en el sector sanitario es común el uso de hidrogeles, compuestos principalmente por polímeros hidrofílicos los cuales son capaces de absorber y retener agua, teniendo abundantes aplicaciones, como sistemas de liberación de fármacos, apóstitos para heridas, regeneración de tejidos, reparación de huesos y cartílagos, productos de higiene superabsorbentes, etc.

Existen avances prometedores para otras alternativas distintas a los geles de poliacrilamida en estas aplicaciones, como los derivados de celulosa (por ejemplo, carboximetilcelulosa), almidón, quitosano, alginato, carragenina, colágeno, etc.

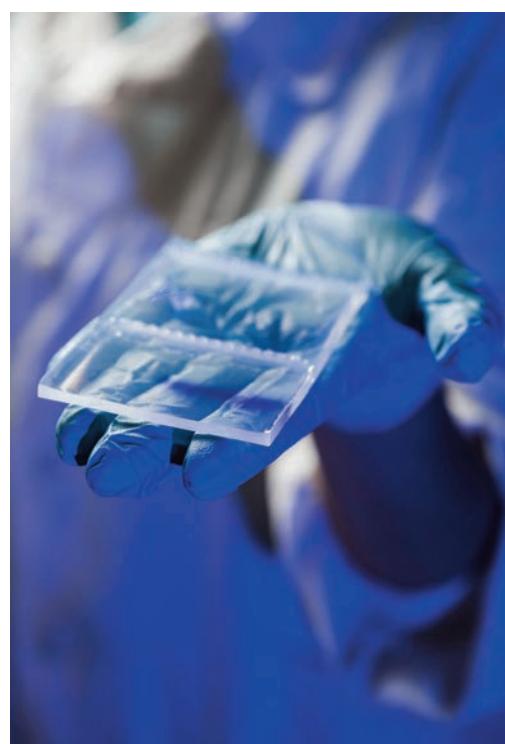
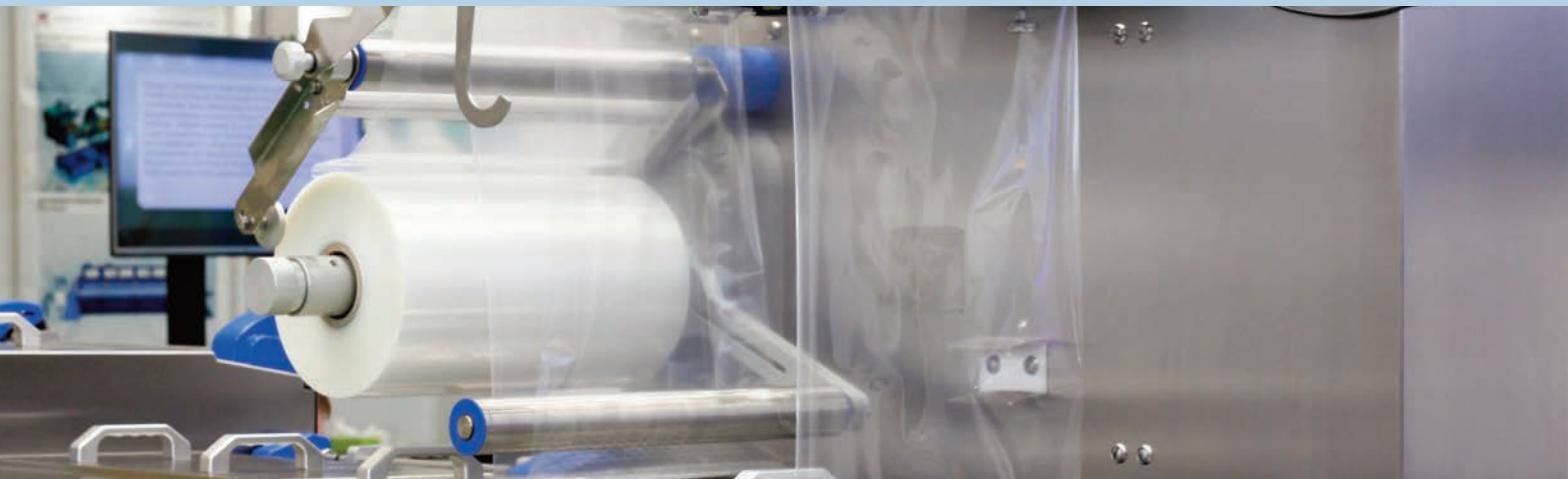


Figura 5. Aplicaciones biomédicas de los hidrogeles. Figura extraída y traducida de referencia [21]



• Agricultura (CNAE A 01)

En el sector de la agricultura, se ha empleado la poliacrilamida para formación de agregados del suelo, provocando la sedimentación e impidiendo que las partículas del suelo sean arrastradas por el agua, previniendo así la erosión y mejorando la infiltración del agua. Ayuda por tanto a estabilizar el suelo y mejora la retención de agua, así como de pesticidas o fertilizantes. Además, ayuda a la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

Sin embargo, la poliacrilamida puede descomponerse en el medio ambiente en su monómero (acrilamida), siendo potenciada dicha descomposición por la presencia de ciertos fertilizantes o pesticidas.

Como alternativa a los hidrogeles sintéticos de poliacrilamida utilizados para estas aplicaciones, hay avances significativos en el estudio de hidrogeles de origen natural, consistentes en polisacáridos con capacidad de absorción y retención de agua, los cuales se combinan en ocasiones con los de origen sintético para la mejora de sus propiedades.

Los hidrogeles basados en polímeros de base biológica (por ejemplo, almidón, celulosa, agar, goma arábiga, quitosano, etc.) pueden ser utilizados como alternativas [23], como el caso reportado en el portal de sustitución SUBSPORTplus (2021) con almidón, si bien se indicó que disponen de vida útil algo más reducida en relación con los de base de poliacrilamida.

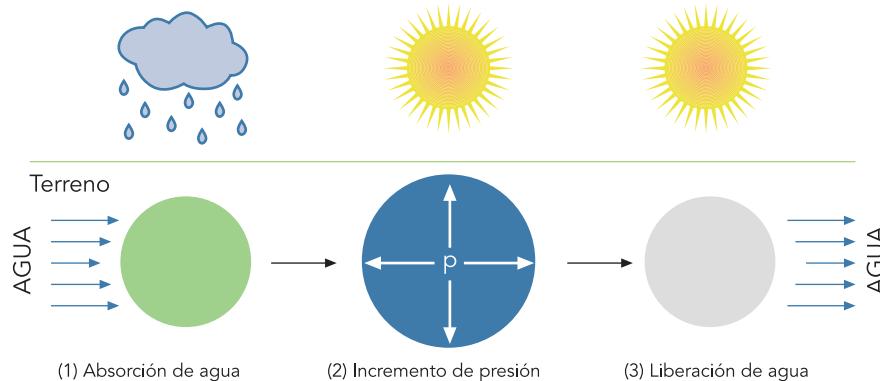
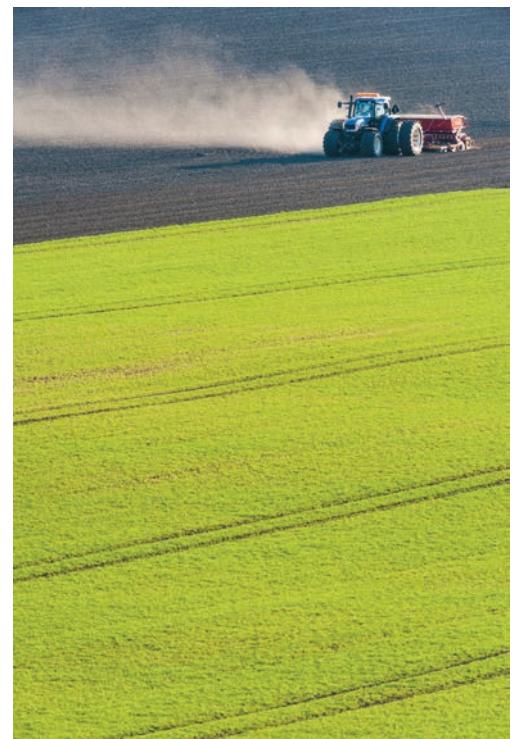


Figura 6. Mecanismo de absorción de agua en los hidrogeles. Figura extraída y traducida de referencia [23]



• Ingeniería Civil (CNAE F 42)

La poliacrilamida se ha utilizado en la industria de la construcción como aglutinante y estabilizador en la producción de hormigón y mortero. Sin embargo, es posible optar por otras alternativas de menor peligrosidad para la salud, tales como los derivados de celulosa, polivinilalcohol, alginato de sodio, caseína, etc.

La poliacrilamida se ha utilizado también en diversos proyectos de construcción civil en excavaciones, túneles, diques, etc., para estabilizar y controlar la erosión ayudando a mantener la integridad y estabilidad del suelo. Además, se han empleado en productos de impermeabilización, proporcionando propiedades de sellado y resistencia al agua. Es notable la progresión realizada en la búsqueda de alternativas más seguras para la salud, como los biopolímeros (por ejemplo, derivados de celulosa, lignina, polisacáridos, goma xantana, etc.) y otros polímeros orgánicos sintéticos de menor peligrosidad, como el polivinilalcohol, etc. [24]

Cabe mencionar, además, el uso de la poliacrilamida en aplicaciones civiles o militares, para mejorar la estabilidad del terreno o prevenir emisiones de polvo evitando problemas asociados como la contaminación del aire, visibilidad reducida o abrasión de los equipos debido a presencia de partículas en el aire. Para estas aplicaciones, es posible también el reemplazo por otras alternativas de menor peligrosidad para la salud, como es el caso descrito en el portal de sustitución SUBSPORTplus (2010) mediante un biopolímero obtenido a partir de la bacteria simbiótica *Rhizobium tropici*.

• Industria química (CNAE C 20)

Por último, en el sector de la industria química, donde la exposición a la acrilamida se produce durante los procesos de síntesis de acrilamida, fabricación de polímeros y copolímeros de acrilamida, así como en la manufactura de sus productos derivados, es posible encontrar alternativas de sustitución a partir del reemplazo de estos para las diferentes aplicaciones, según lo mencionado en los anteriores apartados.

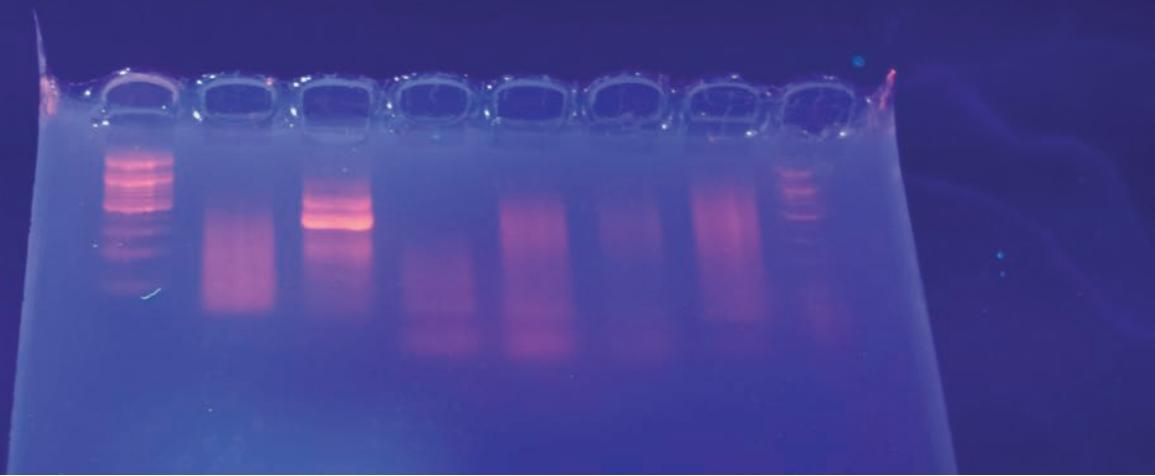




Referencias bibliográficas

- [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 reprotoxicos 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) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre Clasificación, Etiquetado y Envase de sustancias y mezclas (Reglamento CLP).
- [4] Reglamento (CE) nº 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] Comisión Europea (2012). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Acrylamide.
- [6] Roadmap on carcinogens. (<https://roadmaponcarcinogens.eu/>).
- [7] HBM4EU (2022). Substance report. Acrylamide.
- [8] Xiong, B., et al. (2018). Polyacrylamide degradation and its implications in environmental systems. *NPJ Clean Water*, 1(1), 17.
- [9] Russo, T., Fucile, P., Giacometti, R., & Sannino, F. (2021). Sustainable removal of contaminants by biopolymers: a novel approach for wastewater treatment. Current state and future perspectives. *Processes*, 9(4), 719.
- [10] Diver, D., Nhapi, I., & Ruziwa, W. R. (2023). The Potential and Constraints of Replacing Conventional Chemical Coagulants with Natural Plant Extracts in Water and Wastewater Treatment. *Environmental Advances*, 100421.
- [11] Francolini, I., Galantini, L., Rea, F., Di Cosimo, C., & Di Cosimo, P. (2023). Polymeric Wet-Strength Agents in the Paper Industry: An Overview of Mechanisms and Current Challenges. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), 9268.





- [12] Song, Z., Li, G., Guan, F., & Liu, W. (2018). Application of chitin/chitosan and their derivatives in the papermaking industry. *Polymers*, 10(4), 389.
- [13] Gadhav, R. V. I., & Gadhav, C. R. (2022). Adhesives for the Paper Packaging Industry: An Overview. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 12(02), 55-79.
- [14] Arias A., et al. Recent developments in bio-based adhesives from renewable natural resources. *J Clean Prod* 2021.
- [15] Gautam, R. L., Bharadwaj, A. K., Kumar, S., & Naraian, R. (2023). Microbial enzymes for the variable applications of textile industry processing. In *Valorization of Biomass to Bioproducts* (pp. 297-321). Elsevier.
- [16] Leite, A. D. M. C., & Reis, É. L. (2020). Cationic starches as flocculants of iron ore tailing slime. *Minerals Engineering*, 148, 106195.
- [17] Castro, S., & Laskowski, J. S. (2015). Depressing effect of flocculants on molybdenite flotation. *Minerals Engineering*, 74, 13-19.
- [18] Peng, Y., Jin, D., Li, J., & Wang, C. (2020, September). Flocculation of mineral processing wastewater with Polyacrylamide. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 565, No. 1, p. 012101). IOP Publishing.
- [19] Gbadamosi, A., et al. (2022). Application of polymers for chemical enhanced oil recovery: a review. *Polymers*, 14(7), 1433.
- [20] El-Hoshyoudy, A. N. (2019). Application of proteins in enhanced oil recovery- A review. *Petroleum & Coal*, 61(6).
- [21] Ahmad, Z., et al. (2022). Versatility of hydrogels: from synthetic strategies, classification, and properties to biomedical applications. *Gels*, 8(3), 167.





- [22] 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.
- [23] Skrzypczak, D., et al. (2020). Biodegradable hydrogel materials for water storage in agriculture-review of recent research. *Desalination and Water Treatment*, 194, 324-332.
- [24] Huang, J., Kogbara, R. B., Hariharan, N., Masad, E. A., & Little, D. N. (2021). A state-of-the-art review of polymers used in soil stabilization. *Construction and Building Materials*, 305, 124685.
- [25] [SUBSPORTplus](#). Portal web de sustitución.
- [26] Sánchez Jiménez, A. (2024). La seguridad y sostenibilidad en el diseño aplicado a las sustancias químicas. *Seguridad y Salud en el Trabajo*, 118, 24-30.

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 aquél 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>



NIPO (en línea): 118-24-031-3