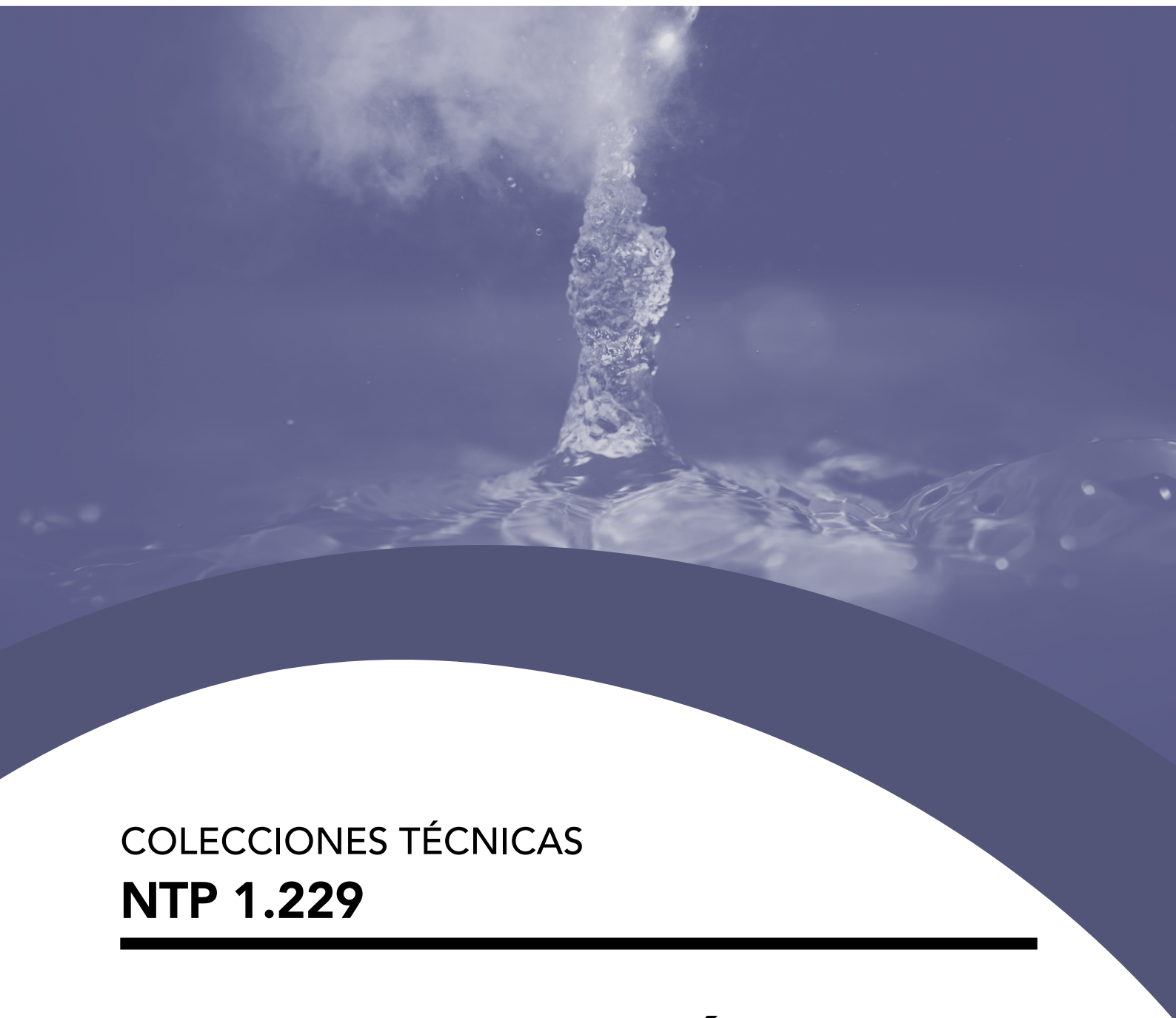




COLECCIONES TÉCNICAS
NTP 1.229

REACCIONES QUÍMICAS PELIGROSAS CON EL AGUA

HAZARDOUS REACTIONS WITH WATER
RÉACTIONS DANGEREUSES AVEC L'EAU



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ECONOMÍA SOCIAL



Título: Notas técnicas de prevención. Serie 39ª

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

Elaborado por:

Diego de Miguel Herrero

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo (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. Trabajo del Camino, 24010 León

mic@editorialmic.com

Edición: Madrid, abril 2026

NIPO (en línea): 118-20-027-6

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>

REACCIONES QUÍMICAS PELIGROSAS CON EL AGUA

HAZARDOUS REACTIONS WITH WATER
RÉACTIONS DANGEREUSES AVEC L'EAU

01	Introducción.	04
02	Termodinámica de las reacciones.	05
03	Peligros derivados de las reacciones químicas con el agua.	06
04	Gestión de los riesgos derivados de las reacciones químicas peligrosas con el agua.	12
05	Bibliografía.	17



Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Esta nota técnica de prevención (NTP), que actualiza la número 237, ofrece recomendaciones para la identificación de los agentes químicos que puedan reaccionar peligrosamente con el agua. Asimismo, contiene indicaciones para la evaluación de los riesgos derivados de estas reacciones y una serie no exhaustiva de medidas preventivas.

01 INTRODUCCIÓN

El agua está presente en un gran número de lugares de trabajo debido a su utilización en infinidad de procesos y aplicaciones (síntesis de sustancias químicas, refrigeración, limpieza, extinción de incendios, etc.). Los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo pueden reaccionar con el agua generando una serie de peligros, siendo los más habituales las proyecciones, las quemaduras, las explosiones o la liberación de gases corrosivos u otros productos tóxicos que tienen la capacidad de causar daños a las personas, a los bienes y al medio ambiente, por lo que hacen necesaria la adopción de una serie de medidas preventivas que contemplen tanto las situaciones habituales de operación como las situaciones no habituales que puedan surgir.

La principal normativa aplicable a los agentes químicos en materia de prevención de riesgos laborales es el Real Decreto 374/2001, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. El concepto de agente químico peligroso en el citado real decreto se define como “agente químico que puede representar un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores debido a sus propiedades fisicoquímicas, químicas o toxicológicas y a la forma en que se utiliza o se halla presente en el lugar de trabajo”. Además, existen otras disposiciones normativas relacionadas con los agentes químicos como el Reglamento (CE) n.º 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (CLP) y el Reglamento (CE) n.º 1907/2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (REACH).

En este documento, se describen algunos conceptos y formas de identificar los peligros asociados a las reacciones químicas con el agua, se aportan pautas para una evaluación de los riesgos derivados de dichas reacciones y se indican, de forma no exhaustiva, algunas medidas preventivas que pueden implementarse.

02 TERMODINÁMICA DE LAS REACCIONES

Las reacciones químicas implican la rotura de los enlaces de unas sustancias químicas (reactivos) y su reorganización dando lugar a otras nuevas (productos). La reactividad química puede entenderse como la capacidad de una sustancia química para reaccionar con otras sustancias en unas condiciones ambientales determinadas. Esta reactividad puede verse condicionada por varios factores:

- Fortaleza de los enlaces químicos (se necesitará mayor cantidad de energía para su ruptura cuanto más estables sean).
- Energía de activación (cantidad mínima de energía capaz de iniciar una reacción).
- Catalizadores (aumentan la velocidad de reacción).
- Inhibidores (disminuyen la velocidad de la reacción o evitan la reacción).
- Cantidad o concentración de los reactivos.

Además, otros factores como la temperatura, la radiación electromagnética, la energía eléctrica (dinámica y estática) y la energía mecánica (choques, golpes, etc.) también pueden aportar la energía de activación necesaria para iniciar una reacción.

A continuación, se describen algunos conceptos termodinámicos útiles para evaluar la peligrosidad de una reacción, como son:

- La velocidad de reacción, dependiente de una constante que, a su vez, está influenciada por la energía de activación y por la temperatura.
- La variación de la entalpía de reacción (ΔH), si es negativa, la reacción desprenderá energía en forma de calor.

Velocidad de reacción.

La velocidad de una reacción química es el cambio en la cantidad de un reactivo o de un producto por unidad de tiempo y puede expresarse en función de una constante relacionada con ella denominada "constante de velocidad". La expresión general de la ecuación de la velocidad de una reacción química, donde dos reactivos A y B se combinan para dar uno o varios productos, puede expresarse como:

$$v = k [A]^m \cdot [B]^n$$

Donde:

"[A]" y "[B]" son las concentraciones de los reactivos ($\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$).

"v" es la velocidad de reacción ($\text{mol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$).

"k" es la constante de velocidad (sus unidades dependen del orden de reacción).

Los superíndices "m" y "n" son los órdenes de reacción, que normalmente son números enteros positivos, aunque pueden ser también negativos, fraccionarios o cero y son determinados experimentalmente.

Energía libre de Gibbs, entalpía y entropía.

El concepto de "Energía de Gibbs o Energía libre de Gibbs (G)", definido por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) como "la entalpía (H) menos el producto de la temperatura termodinámica (T) y la entropía (S)" es especialmente útil para ver si un proceso es o no es espontáneo en unas condiciones ambientales determinadas de presión y de temperatura. Un proceso espontáneo (variación de G con signo negativo) puede definirse como aquel que se produce de forma natural en determinadas condiciones. Del mismo modo, un proceso no espontáneo (variación de G con signo positivo), no tendrá lugar a no ser que haya una fuente exterior de energía que permita su desarrollo. Además, se debe tener en cuenta otro factor importante que es la cinética del proceso debido a que este puede ser espontáneo termodinámicamente pero cinéticamente ser muy lento (proceso estable).

La entalpía (H) es una magnitud termodinámica que relaciona la energía interna (U), la presión (P) y el volumen (V) de un sistema termodinámico (porción de materia objeto de estudio). Se mide su variación en los procesos físicos o químicos de forma que la expresión que se aplica para los procesos a presión constante (que suelen ser frecuentes en las condiciones habituales de reacción) es:

$$\Delta H = \Delta U + P \cdot \Delta V$$

Donde:

"H" es la entalpía del proceso (J).

"U" es la energía interna (J).

"P" es la presión a la que se produce el proceso (Pa).

"V" es el volumen (m³ o l).

03 PELIGROS DERIVADOS DE LAS REACCIONES QUÍMICAS CON EL AGUA

Los agentes químicos que pueden experimentar una reacción con el agua presentan peligros derivados de la liberación de energía en forma de calor que se produce cuando la energía necesaria para romper los enlaces de las moléculas de los reactivos es inferior a la energía liberada cuando se forman los productos de la reacción. En este caso, la reacción se denomina "reacción exotérmica". Por ejemplo, la preparación de diluciones de ácidos o de bases y las reacciones de neutralización en medio acuoso son reacciones de este tipo. En estos casos se calientan los productos obtenidos y el recipiente, en mayor o menor medida, en función de la reacción. Este tipo de reacción puede implicar la liberación de una gran cantidad de energía y la generación de un incendio si la sustancia es inflamable o combustible en función, entre otros factores, de la cantidad de calor desprendido, del punto de inflamación de las sustancias, de la concentración del combustible y del comburente (oxígeno del aire) así como de los valores de la presión y de la temperatura en el entorno de la reacción.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que, en ocasiones, las reacciones también pueden producirse por la humedad ambiental o por la presente en el cuerpo humano, dando lugar a los mismos peligros que cuando la reacción es en medio acuoso. Un ejemplo de esta situación es el carburo de calcio (CaC₂), del que su ficha de datos de seguridad (en adelante, FDS) especifica en varios apartados que debe protegerse de la humedad y conservar en gas inerte, y algunos reactivos organometálicos como el bromuro de etilmagnesio (CH₃-CH₂MgBr), agente muy sensible a la humedad, que suele

comercializarse en forma de disolución con un disolvente orgánico y que se recomienda manipular en atmósfera inerte. Los productos de reacción en estos dos casos incluyen los gases acetileno, en el primer caso, y etano, en el segundo, que pueden formar mezclas explosivas con el aire al ser ambos muy inflamables. Por último, se debería considerar que algunos agentes químicos pueden reaccionar también con el sudor de la piel generando un peligro para el ser humano en forma de sustancias corrosivas o tóxicas, por ejemplo, el tetracloruro de titanio (TiCl_4) que genera ácido clorhídrico que puede dar lugar a quemaduras graves en la piel.

Teniendo en cuenta lo anterior, se pueden citar los principales peligros asociados a la reactividad con el agua:

- *Incendio*: puede definirse como una reacción química de combustión que necesita varios factores para su generación como son un combustible, un comburente (normalmente es el oxígeno del aire) y una fuente de ignición que permita alcanzar la energía de activación necesaria para su desarrollo.
- *Explosión*: cuando la reacción transcurre de forma muy rápida y la liberación de energía es muy grande, se puede generar una explosión si se produce un aumento repentino de la presión que se propaga con rapidez. Es un término general que puede estar asociado a un incendio o a otro tipo de reacción química como, por ejemplo, la descomposición con el agua del terc-butillitio utilizado en laboratorios de química orgánica que se descompone en isobutano e hidróxido de litio, suponiendo el primero un elevado riesgo de explosión. Si la velocidad de propagación del frente de llama es subsónica (inferior o igual a 1235 km/h en el aire a 20° C) se denominará deflagración y, si es supersónica y lleva asociada una onda de choque, se denominará detonación.
- *Liberación de gases*: los gases derivados de la reacción con el agua pueden ser de diversa naturaleza y tener distintos efectos tóxicos o corrosivos. Estos gases tienden a expandirse dentro del recipiente en el que se produce la reacción, siendo fuentes potenciales de daño en los materiales, en los equipos o en las instalaciones, por ejemplo, las roturas por fatiga debidas a sobrepresiones que pueden dar lugar a la liberación de agentes químicos al ambiente. Además, pueden formar una atmósfera explosiva con el aire.
- *Generación de agentes químicos peligrosos*: los productos de reacción con el agua, además de gases, pueden ser líquidos o sólidos que sean agentes químicos peligrosos para la salud humana, o que sean inestables y que puedan descomponerse, dando lugar a una liberación de energía peligrosa. Un ejemplo es el de los metales alcalinos como el sodio y el potasio en su reacción con el agua que, además de generar el hidrógeno, generan en disolución una gran cantidad de iones hidroxilo que aumentan el pH de la disolución al ser la sosa (NaOH) o la potasa (KOH) bases fuertes y muy corrosivas.

Además, cabe destacar que las sustancias reactivas con el agua pueden presentar distintos peligros. Por ejemplo, el peróxido de sodio (Na_2O_2) en contacto con el agua produce suficiente calor para inflamar cualquier material combustible y se descompone, a su vez, liberando oxígeno que favorece la reacción de combustión y aumenta su velocidad. La solución resultante de esta reacción contiene hidróxido de sodio (NaOH) y es fuertemente corrosiva, capaz de producir necrosis en los tejidos humanos.

En la tabla 1 se indican los distintos peligros derivados de las reacciones con el agua para distintas sustancias químicas, tomando como referencia los criterios de la base de datos CAMEO Chemicals de la NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los EE. UU.). Se han definido unos grupos reactivos que incluyen varias sustancias químicas con base en sus propiedades físicas o químicas (según su grupo funcional, clasificación en la tabla periódica, etc.) o en su capacidad de acción sobre otras (oxidantes, reductoras, etc.). Se incluyen además algunos ejemplos representativos de cada grupo de sustancias. Estos criterios pueden complementar a los datos de las FDS o los de las etiquetas suministradas por la empresa proveedora del correspondiente agente químico, siendo estos últimos la principal referencia que debe tomarse para llevar a cabo la evaluación de riesgos.

Grupos reactivos	Ejemplos	Reacción exotérmica	Gas (sobrepresión)	Agentes corrosivos	Reacción violenta/explosiva	Agentes tóxicos ¹	Productos de reacción peligrosos que pueden formarse
Sustancias fuertemente ácidas no oxidantes	Cloruro férrico; ácido fluorosulfónico; ácido yodhídrico; ácido clorhídrico; pentacloruro de fósforo	X	X	X			Vapores ácidos
Sustancias fuertemente ácidas oxidantes	Ácido nítrico; ácido sulfúrico; ácido perclórico; agua regia (mezcla de HCl y HNO ₃); ácido bencenosulfónico	X	X	X		X	Vapores ácidos, óxidos de nitrógeno
Ácidos débiles (incluye varios tipos de sustancias, no solo ácidos)	Ácido fosfórico; ácido bórico; ácido fluorhídrico; pentóxido de arsénico; acetazolamida	X		X			
Haluros de acilo, haluros de sulfonilo y cloroformatos	Cloruro de acetilo; cloruro de bencenosulfonilo; cloruro de metacrililo; cloruro de sulfurilo; cloroformiato de butilo	X	X	X	X	X	Vapores ácidos, CO ₂ , H ₂ S, H ₂ SO ₄ , HCl, HF, HI, haluros de hidrógeno, SO ₂
Amidas e imidas	Urea; acrilamida; dimetilformamida; cicloheximida; N-fenilmaleimida		X				Amoniac (NH ₃)
Aminas aromáticas	Anilina; toluidina; 4-aminobenceno; 2-fenilanilina; 4-metoxianilina (p-anisidina)	X					
Aminas, fosfinas y piridinas	Metilamina; piridina; 1-etilpiperidina; 1,3,5-triazina; trifenilfosfina			X			
Anhídridos orgánicos e inorgánicos	Anhídrido acético; anhídrido maleico; anhídrido ftálico; trióxido de cromo	X			X		
Azocompuestos, diazocompuestos, azidas orgánicas, hidracinas y azidas inorgánicas	Azobenceno; dacarbacina (carboxamida imidazólica); diazometano; difenilhidracina; bencenosulfonilhidrazida; azida de sodio	X	X				Nitrógeno (N ₂)
Bases fuertes	Hidróxido sódico (sosa cáustica); hidróxido potásico (potasa); óxido de calcio (cal viva); óxido de bario; hidroxilamina; nitruro de litio; naftaleno	X	X	X		X	Vapores básicos
Bases débiles	Hidróxido de amonio (NH ₄ OH); trietilamina; hidróxido de calcio (cal apagada); 1,2-dietilhidracina; cianuro de níquel; N-hidroxi-2-acetilaminofluoreno	X					
Carbamatos	Carbamato de amonio; uretano; benomilo; carbofurano		X				Dióxido de carbono (CO ₂) y amoniac
Carbonatos	Bicarbonato amónico (NH ₄ HCO ₃); carbonato de calcio; carbonato de sodio; bicarbonato de sodio; carbonato de zinc		X				CO ₂

¹ A efectos de la base de datos CAMEO se entiende por toxicidad la capacidad de una sustancia que entra en contacto con un organismo vivo de producir alteraciones funcionales o provocar la muerte.

Grupos reactivos	Ejemplos	Reacción exotérmica	Gas (sobrepresión)	Agentes corrosivos	Reacción violenta/explosiva	Agentes tóxicos ²	Productos de reacción peligrosos que pueden formarse
Clorosilanos	Tetracloruro de silicio; butiltriclorosilano; viniltriclorosilano; metildiclorosilano	X	X	X		X	Vapores ácidos, hidrógeno (H ₂), HCl, hidrocarburos (metano, etano, etc.)
Cianuros inorgánicos	Cianuro de calcio; cianuro de cobre; cianuro de plomo; bromuro de cianógeno; cloruro de cianógeno (Cl-C≡N)		X			X	Cianuro de hidrógeno (H-C≡N)
Sales de diazonio	Tetraclorozincato de 4-[bencilmetilamino]-3-etoxibencenodiazonio (1:2); triclorzincato de 3-cloro-4-(dietilamino)bencenodiazonio	X	X		X		
Epóxidos	Óxido de etileno (oxirano); epiclorhidrina (1-Cloro-2,3-epoxipropano); óxido de estireno (feniloxirano); cresilglicidiléter (2-[(4-metilfenoximetil)] oxirano)	X	X		X		
Ésteres, ésteres de sulfato, ésteres de fosfato, ésteres de tiofosfato y ésteres de borato	Ácido acetilsalicílico; éster butílico del ácido fosfórico (dihidrogenofosfato de butilo); éster pentílico del ácido fosfórico (dihidrogenofosfato de pentilo); acetato de bencilo; Clorpirifós (organotiofosfato); éster etílico del ácido bórico		X	X			Vapores ácidos, sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)
Sales solubles en agua del ion fluoruro (incluye algunos ácidos)	Bifluoruro de amonio (NH ₄ HF ₂); trifluoruro de antimonio (SbF ₃); ácido difluorofosfórico (HPO ₂ F ₂); fluoruro potásico (KF); bifluoruro sódico (NaHF ₂); tetrafluoruro de silicio (tetrafluorosilano); hexafluoruro de uranio	X	X	X		X	Vapores ácidos, fluoruro de hidrógeno (HF)
Compuestos orgánicos halogenados	Cloruro de vinilo; cloroformo (CHCl ₃); ácido yodoacético; cloruro de bencilo; 2,2-bis (bromometil)-1,3-propanodiol; 1-bromobutan-2-ona; acrilato de 2-bromoetilo		X	X			Vapores ácidos, haluros de hidrógeno
Agentes halogenantes	Cloruro de aluminio (AlCl ₃); hexafluorosilicato de amonio (NH ₄) ₂ SiF ₆ ; triclouro de antimonio (SbCl ₃); tribromuro de boro (BBr ₃); bromo (Br ₂); cloro (Cl ₂); dióxido de cloro (ClO ₂); cloruro de cromilo (CrO ₂ Cl ₂ , cromo [VI])	X	X	X	X	X	Vapores ácidos, cloro (Cl ₂), ClO ₂ , H ₂ S, HBr, HCN, HCl, HF, oxígeno (O ₂), SO ₂ , haluros de hidrógeno
Isocianatos e isotiocianatos	Isocianato de metilo (CH ₃ -N=C=O); isocianato de n-butilo; éter de 4,4'-diisocianato difenilo (1-isocianato-4-[4-isocianatofenoxi] benceno); tiocianato de etilo (CH ₃ -CH ₂ -SCN); 2,4-diisocianato de 1-metilbenceno (tolueno) (2,4-TDI); 2,6-diisocianato de tolueno (2,6-TDI)	X	X	X		X	CO ₂ , sulfuro de carbonilo (O=C=S), HCN, NH ₃

² A efectos de la base de datos CAMEO se entiende por toxicidad la capacidad de una sustancia que entra en contacto con un organismo vivo de producir alteraciones funcionales o provocar la muerte.

Grupos reactivos	Ejemplos	Reacción exotérmica	Gas (sobrepresión)	Agentes corrosivos	Reacción violenta/explosiva	Agentes tóxicos ³	Productos de reacción peligrosos que pueden formarse
Hidruros metálicos, alquilos metálicos, ariilos metálicos (organometálicos derivados de anillos aromáticos) y silanos	Borohidruro de aluminio $\text{Al}(\text{BH}_4)_3$; diborano (B_2H_6); hidruro de aluminio y litio (LiAlH_4); trimetilsilano ($(\text{CH}_3)_3\text{SiH}$); n-butil-litio ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{Li}$); pentaborano (etoxi-[4-nitrofenoxi]-fenil-sulfaniliden- λ^5 -fosfano)	X	X	X	X	X	Vapores básicos, hidrógeno (H_2), hidrocarburos, óxido de aluminio (Al_2O_3 , alúmina)
Metales alcalinos, muy activos (incluye aleaciones y amalgamas, no incluye el francio)	Litio; sodio; potasio; rubidio; cesio; amalgamas de metales alcalinos (aleaciones con mercurio); aleación litio-silicio; aleaciones sodio-potasio	X	X	X	X		Desprenden hidrógeno (H_2) que puede inflamarse
Metales, elementales y en polvo, activos (incluye aleaciones)	Magnesio; estroncio; calcio; aluminio en polvo; aluminio fundido; bario; aleaciones de bario; polvo de berilio; cobalto; cromo; hierro; aleación de hierro y silicio; indio; magnesio; polvo de magnesio; níquel; polvo de selenio; polvo de titanio; vanadio (humos o polvo); itrio; polvo de circonio; polvo de zinc	X	X			X	Desprenden hidrógeno (H_2) que puede inflamarse
Nitruros, fosfuros, carburos y siliciuros	Carburo de aluminio (Al_4C_3); fosfuro de calcio (Ca_3P_2); carburo de calcio (acetiluro de calcio, CaC_2); arseniuro de galio (GaAs); nitruro de litio (Li_3N); siliciuro de magnesio (Mg_2Si); carburo de wolframio (WC); fosfuro de estaño (SnP)	X	X	X		X	Hidrógeno (H_2), hidrocarburos, NH_3 (amoniaco), PH_3 (fosfina), silanos (derivados del SiH_4)
Nitrilos (Derivados orgánicos del ion cianuro)	Acetonitrilo; 2-amino-2-metilbutanonitrilo; benzonitrilo; butironitrilo; acrilonitrilo		X			X	HCN , NH_3
Organometálicos	Bis(ciclopentadienil) cromo; óxido de bis-(tributil) estaño (hexabutildiestannoxano); hexacarbonilo de cromo ($\text{Cr}[\text{CO}]_6$); cobaltoceno (Bis[η^5 -ciclopentadienil] cobalto); dilaurato de dibutilestaño (dodecanoato de dibutil [dodecanoiloxi] estannilo)	X			X		Vapores ácidos, vapores básicos, hidrógeno (H_2), hidrocarburos
Oximas	Dimetilglioxima (N-[(3E)-3-hidroxiiminobutan-2-iliden]hidroxilamina); Aldicarboxima (N-[2-metil-2-metilsulfanil] propilidenhidroxilamina); butiraldoxima; metiletilcetoxima (N-butan-2-ilidenhidroxilamina)		X				
Agentes oxidantes fuertes	Cromato de amonio ($[\text{NH}_4]_2\text{CrO}_4$); bromato de bario ($\text{Ba}[\text{BrO}_3]_2$); peróxido de bario (BaO_2); cloruro de bromo (BrCl); permanganato de calcio ($\text{Ca}[\text{MnO}_4]_2$)	X	X	X		X	Vapores ácidos, cloro (Cl_2), haluros de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, oxígeno (O_2)

³ A efectos de la base de datos CAMEO se entiende por toxicidad la capacidad de una sustancia que entra en contacto con un organismo vivo de producir alteraciones funcionales o provocar la muerte.

Grupos reactivos	Ejemplos	Reacción exotérmica	Gas (sobrepresión)	Agentes corrosivos	Reacción violenta/explosiva	Agentes tóxicos ⁴	Productos de reacción peligrosos que pueden formarse
Compuestos polimerizables	Estireno; ácido acrílico; divinilbenceno; óxido de propileno (1,2-epoxipropano); acetaldehído; acrilamida		X				
Agentes reductores fuertes	Arsina (AsH ₃); Bis (2-cloroetil) tiometano; cloruro cromoso (Cloruro de cromo [II], CrCl ₂); decaborano (B ₁₀ H ₁₄); 1,2-difenilhidracina; sulfato ferroso (FeSO ₄); hidroxilamina; ácido hipofosforoso (ácido fosfínico, H ₃ PO ₂); tiocianato de mercurio (Hg [SCN] ₂); óxido de estaño (SnO); trifenilfosfina	X	X	X		X	Vapores ácidos, hidrógeno (H ₂), haluros de hidrógeno
Nitrilos (Derivados orgánicos del ion cianuro)	Acetonitrilo; 2-amino-2-metilbutanonitrilo; benzonitrilo; butironitrilo; acrilonitrilo		X			X	HCN, NH ₃
Organometálicos	Bis(ciclopentadienil) cromo; óxido de bis-(tributil) estaño (hexabutildiestannoxano); hexacarbonilo de cromo (Cr [CO] ₆); cobaltoceno (Bis[η ⁵ -ciclopentadienil] cobalto); dilaurato de dibutilestaño (dodecanoato de dibutil[dodecanoiloxi]estannilo)	X			X		Vapores ácidos, vapores básicos, hidrógeno (H ₂), hidrocarburos
Oximas	Dimetilglioxima (N-[(3E)-3-hidroxiiminobutan-2-iliden]hidroxilamina); Aldicarboxima (N-[2-metil-2-metilsulfanil] propilidenhidroxilamina); butiraldoxima; metiletilcetoxima (N-butan-2-ilidenhidroxilamina)		X				
Agentes oxidantes fuertes	Cromato de amonio ([NH ₄] ₂ CrO ₄); bromato de bario (Ba [BrO ₃] ₂); peróxido de bario (BaO ₂); cloruro de bromo (BrCl); permanganato de calcio (Ca [MnO ₄] ₂)	X	X	X		X	Vapores ácidos, cloro (Cl ₂), haluros de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, oxígeno (O ₂)
Compuestos polimerizables	Estireno; ácido acrílico; divinilbenceno; óxido de propileno (1,2-epoxipropano); acetaldehído; acrilamida		X				
Agentes reductores fuertes	Arsina (AsH ₃); bis(2-cloroetil) tiometano; cloruro cromoso (Cloruro de cromo [II], CrCl ₂); decaborano (B ₁₀ H ₁₄); 1,2-difenilhidracina; sulfato ferroso (FeSO ₄); hidroxilamina; ácido hipofosforoso (ácido fosfínico, H ₃ PO ₂); tiocianato de mercurio (Hg [SCN] ₂); óxido de estaño (SnO); trifenilfosfina	X	X	X		X	Vapores ácidos, hidrógeno (H ₂), haluros de hidrógeno

⁴ A efectos de la base de datos CAMEO se entiende por toxicidad la capacidad de una sustancia que entra en contacto con un organismo vivo de producir alteraciones funcionales o provocar la muerte.

Grupos reactivos	Ejemplos	Reacción exotérmica	Gas (sobrepresión)	Agentes corrosivos	Reacción violenta/explosiva	Agentes tóxicos ⁵	Productos de reacción peligrosos que pueden formarse
Sales ácidas	Sulfato férrico; sulfato de aluminio; benzoato de amonio; nitrato de amonio; hidrocloruro de anilina; fluoruro de berilio; tetrafluoroborato de cadmio (Cd [BF ₄] ₂)	X	X	X			Vapores ácidos, haluros de hidrógeno
Sales básicas	Acetato de sodio; fluoruro de aluminio; sulfato de bario; 2-anilino-5-(2,4-dinitroanilino) bencenosulfonato de sodio (colorante Acid Orange 3); diestearato de cadmio (dioctadecanoato de cadmio); clorato de calcio	X	X		X		
Sulfuros inorgánicos	Disulfuro de arsénico; disulfuro de carbono; sulfuro de plomo; sulfuro de mercurio (II); sulfuro de potasio; hidrogenosulfuro sódico; sulfuro de zinc	X	X	X		X	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)
Sulfuros orgánicos	Butanotiol (n-butilmercaptano); tert-butiltiol (2-metilpropano-2-tiol); 4-metoxi-1,3-benzotiazol-2-amina; 2-amino-4-metoxibenzotiazol; mercaptano de n-amilo (1-pentanotiol)		X			X	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)
Ésteres y sales del ácido tiocarbámico / Ésteres y sales del ácido ditiocarbámico	Ditiocarbamato de etilo; Bis(ditiocarbamato) de etileno; Carbosulfán (carbamato de (2,2-dimetil-3H-1-benzofuran-7-il) N-(dibutilamino)sulfanil-N-metilo); Cicloato (N-etilcarbamatioato de S-etil N-ciclohexilo)		X			X	Disulfuro de carbono (CS ₂), sulfuro de hidrógeno (H ₂ S), isotiocianato de metilo (CH ₃ -N=C=S)

Tabla 1. Grupos reactivos de agentes químicos y peligros derivados de su interacción con el agua. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la base de datos Cameo Chemicals).

04

GESTIÓN DE LOS RIESGOS DERIVADOS DE LAS REACCIONES QUÍMICAS PELIGROSAS CON EL AGUA

La gestión de los riesgos derivados de las reacciones químicas peligrosas con el agua debe seguir un esquema similar al utilizado para otros riesgos laborales. En primer lugar, se deberá identificar si existen agentes químicos que puedan dar lugar a este tipo de reacciones y sus peligros derivados. Es importante considerar que los agentes químicos pueden presentarse en múltiples formas en los lugares de trabajo, tales como materias primas, reactivos, intermedios de reacción, subproductos, productos de reacción y residuos del proceso principal o de otras actividades como la limpieza o el mantenimiento. Una vez identificados los agentes reactivos con el agua se procederá a evitar los riesgos a través de la sustitución de los agentes químicos implicados, siempre que sea posible. Si no es posible la sustitución deberán evaluarse de forma que los resultados de esta evaluación permitan decidir sobre la necesidad y el tipo de medidas preventivas a adoptar.

En la figura 1 se recoge un diagrama del proceso de gestión de los riesgos derivados de las reacciones químicas peligrosas con el agua.

⁵ A efectos de la base de datos CAMEO se entiende por toxicidad la capacidad de una sustancia que entra en contacto con un organismo vivo de producir alteraciones funcionales o provocar la muerte.

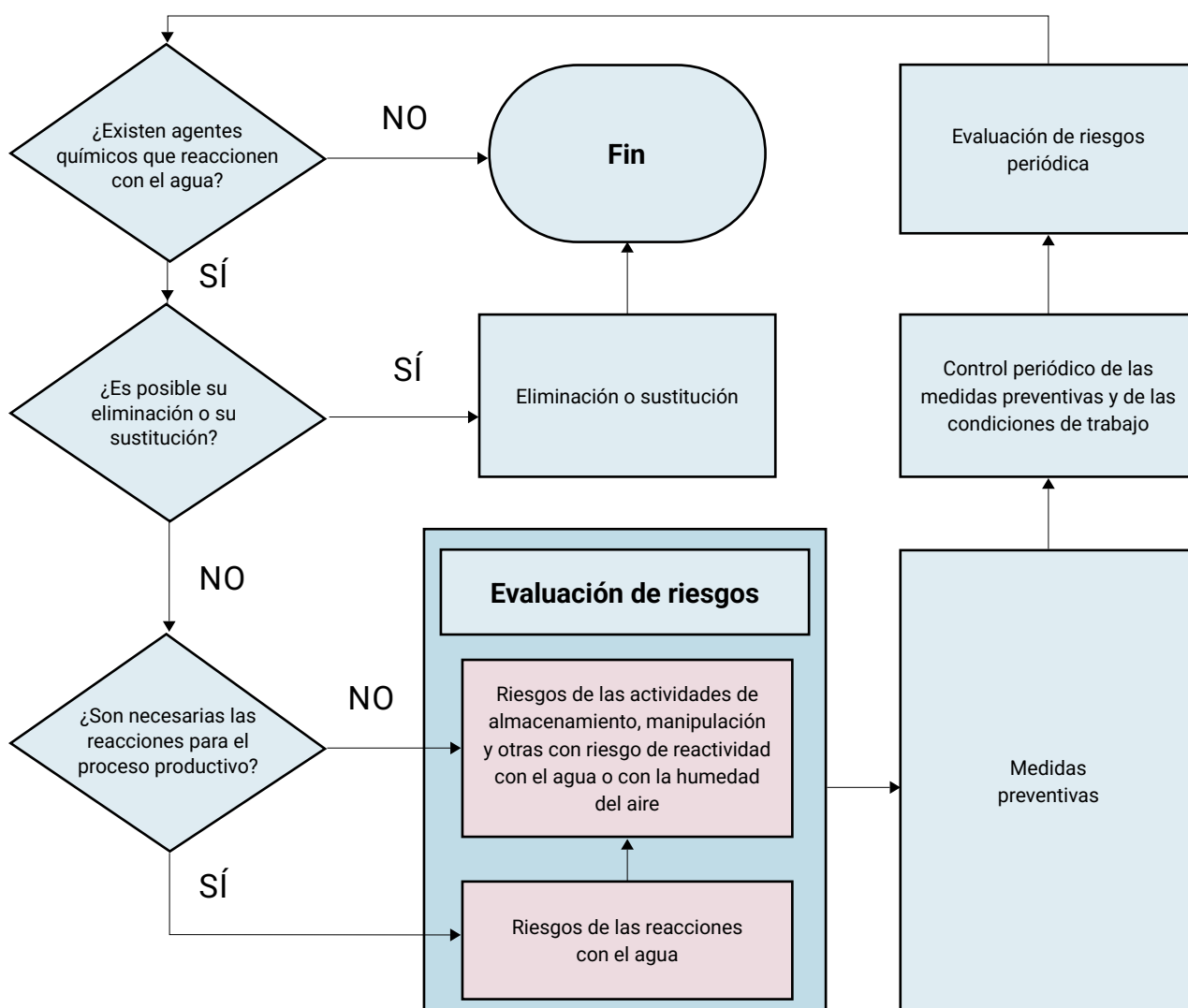


Figura 1. Diagrama de flujo de la gestión de los riesgos derivados de las reacciones químicas peligrosas con el agua en los lugares de trabajo.

Identificación de los agentes químicos peligrosos.

La primera etapa en la gestión de estos riesgos consiste en la identificación de agentes químicos peligrosos reactivos con el agua en el lugar de trabajo. Esta información puede encontrarse en la etiqueta y en la FDS que facilita la empresa proveedora de las sustancias o de las mezclas químicas (art. 3. 1 del Real Decreto 374/2001) o en otras fuentes de información de reconocido prestigio, por ejemplo, bases de datos como las de la página web de la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA) u otras alternativas como CAMEO Chemicals, Pubchem, GESTIS, etc.

Por otra parte, el Reglamento (CE) n.º 1272/2008, armoniza los criterios para la clasificación de sustancias y mezclas y las normas de etiquetado y envasado para las sustancias y las mezclas peligrosas, estableciendo la clasificación y las indicaciones de peligro asociadas a ellas. En el anexo I de este reglamento se contemplan, en forma de varias indicaciones de peligro específicas, algunos riesgos derivados de la reactividad con él. Estas indicaciones se pueden encontrar tanto en la etiqueta del agente químico correspondiente como en la sección 2 de la FDS.

En la tabla 2 se muestran las indicaciones de peligro específicas y una descripción de las categorías de peligro y de los criterios de clasificación de dichas indicaciones.

Indicación de peligro	Descripción	Categoría	Criterios	Pictograma	Ejemplos representativos
H260	En contacto con el agua desprende gases inflamables que pueden inflamarse espontáneamente	1	Toda sustancia o mezcla que, a temperatura ambiente, reacciona con gran intensidad en contacto con el agua y desprende gases que, por lo general, tienden a inflamarse espontáneamente, o que a la temperatura ambiente reacciona rápidamente en contacto con el agua de tal forma que el régimen de emanación de gas inflamable es igual o superior a 10 l por kg de sustancia en el espacio de 1 min		Isobutillitio, hidruro sódico, sodio, hidruro de calcio, litio, carburo de calcio
H261	En contacto con el agua desprende gases inflamables	2	Toda sustancia o mezcla que, a temperatura ambiente, reacciona rápidamente en contacto con el agua de modo que el régimen máximo de emanación de gas inflamable es igual o superior a 20 litros por kilogramo de sustancia por hora, y no cumple los criterios de la categoría 1		Calcio, aluminio (polvo)
H261	En contacto con el agua desprende gases inflamables	3	Toda sustancia o mezcla que, a temperatura ambiente, reacciona lentamente en contacto con el agua de modo que el régimen máximo de emanación de gas inflamable es superior a 1 litro por kilogramo de sustancia por hora, y no cumple los criterios de las categorías 1 y 2		-
EUH014	Reacciona violentamente con el agua	-	Para sustancias y mezclas que reaccionan violentamente con el agua.	-	Cloruro de acetilo, tetracloruro de titanio
EUH029	En contacto con agua libera gases tóxicos	-	Para sustancias y mezclas que, en contacto con el agua o con aire húmedo, desprenden gases clasificados en las clases de toxicidad aguda de categorías 1, 2 o 3, en cantidades potencialmente peligrosas	-	Fosfuro de aluminio, pentasulfuro de difósforo

Tabla 2. Identificación de las sustancias que reaccionan peligrosamente con el agua según el Reglamento (CE) n.º 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (Reglamento CLP).

Por último, también pueden encontrarse en la FDS varias informaciones útiles para la identificación de la posible reactividad del agente químico:

- **Medidas de lucha contra incendios (sección 5):** cuando existe el riesgo de reacción con el agua indica qué agentes extintores son los más adecuados.
- **Manipulación y almacenamiento (sección 7):** indica si el agente es sensible a la humedad y cómo debe manipularse y almacenarse para evitar su interacción con ella y las posibles incompatibilidades con otros agentes.
- **Reactividad y estabilidad (sección 10):** en esta sección se muestra si el agente presenta reactividad

y las posibles reacciones peligrosas (en el punto 10.3) por lo que si existe reactividad con el agua deberá reflejarse en este apartado.

Las FDS también incluyen, en determinadas ocasiones, escenarios de exposición anexos sobre los usos previstos de los agentes químicos bajo determinadas condiciones de trabajo que pueden ser de utilidad a la hora de evaluar los riesgos y determinar las medidas preventivas.

Evaluación de riesgos.

A la hora de llevar a cabo la evaluación hay que tener en cuenta que pueden tener lugar dos situaciones:

- *Situación donde el agua es parte del proceso:* cuando la reacción con el agua se necesita para la actividad laboral, por ejemplo, la dilución de un ácido o de una base en un laboratorio de química o el proceso para la obtención de hidrógeno a escala industrial denominado “reformado con vapor”, donde el vapor de agua a alta temperatura y presión reacciona, en el primer paso de este proceso, con el metano del gas natural para producir un gas de síntesis de hidrógeno y monóxido de carbono.
- *Situación donde el agua podría entrar en contacto con un agente químico de forma accidental:* cuando la reacción con el agua no se necesita para la actividad laboral, pero puede reaccionar con un agente químico de manera accidental. Esta situación puede surgir en los lugares de almacenamiento o en los laboratorios de síntesis orgánica cuando se llevan a cabo reacciones en medio no acuoso, entre otros ejemplos. Además, es necesario tener presente la posible presencia de agua procedente de otras fuentes (fugas en el suministro de agua o agua de los equipos de emergencia).

Cuando el agua forma parte del proceso se deberían contemplar varios factores que influyen en el riesgo tales como, la cantidad de agente químico utilizado para el proceso, la naturaleza de la reacción, los sistemas de control y de refrigeración o el grado de división de la sustancia. Este último factor se debe a que cuanto más dividida esté la sustancia, mayor superficie de contacto tendrá con el agua y mayor frecuencia del número de colisiones entre las moléculas de agua y los átomos o moléculas de las sustancias que reaccionan con ella, aumentando por lo tanto la velocidad de la reacción.

Por otra parte, en las situaciones donde se pretende evitar el contacto accidental, se debería prestar atención a factores como las cantidades de los agentes químicos almacenados y sus condiciones de almacenamiento (estado de los recipientes, estado de las conducciones, humedad relativa, etc.) o si los procedimientos de trabajo son seguros en actividades con mayor riesgo como, por ejemplo, cuando se llevan a cabo trasvases.

Medidas preventivas.

En primer lugar, se debería tener presente que la gestión de los riesgos debe fundamentarse en el diseño de un proceso químico seguro y en un almacenamiento adecuado en el que se haya tenido en cuenta la incompatibilidad y la reactividad. Por lo tanto, a la hora de determinar las medidas preventivas, se debería tener en cuenta la situación que pueda surgir en el caso de que se produzca una reacción no deseada, o bien, deseada con el agua, tal y como se ha señalado anteriormente. De este modo, las medidas en el primer caso, irán orientadas a evitar que los agentes químicos entren en contacto con el agua de todas las formas posibles (envases adecuados, correcto almacenamiento, definición de procedimientos de trabajo, etc.) mientras que, en el segundo caso, estas medidas irán encaminadas a controlar la generación y la propagación de las condiciones peligrosas de la reacción (aumento de temperatura, proyecciones, explosiones, incendios, generación de agentes tóxicos o corrosivos, etc.) mediante el control del proceso (por ejemplo, la adición automática de reactivos) y de los parámetros de la reacción.

Por otra parte, además de todo lo anteriormente señalado, es necesario indicar que dentro de las posibles reacciones con el agua existe un caso particular, que es el de las sustancias que pueden dar lugar a gases inflamables al entrar en contacto con ella. El Reglamento CLP recoge en su anexo I una serie de consejos de prudencia (P) asociados a las indicaciones de peligro H260 y H261. En la tabla 3 se recogen estos consejos de prudencia divididos en cuatro tipos: prevención, respuesta, almacenamiento y eliminación (gestión de residuos).

Tipo de consejo	Código	Significado
Prevención	P223	Evitar el contacto con el agua
	P231	Manipular y almacenar el contenido en un medio de gas inerte/...
	P232	Proteger de la humedad
	P280	Llevar guantes/ropa de protección/equipo de protección para los ojos/la cara/los oídos/...
Respuesta	P302	EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL:
	P334	Sumergir en agua fría (o envolver en vendas húmedas)
	P335	Sacudir las partículas que se hayan depositado en la piel
	P370	En caso de incendio:
	P378	Utilizar [...] para la extinción
Almacenamiento	P402	Almacenar en un lugar seco
	P404	Almacenar en un recipiente cerrado
Eliminación	P501	Eliminar el contenido o el recipiente en [...]

Tabla 3. Consejos de prudencia para sustancias que al entrar en contacto con el agua desprenden gases inflamables reflejadas en el Reglamento (CE) n.º 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (Reglamento CLP).

Por último, en la tabla 4 se recogen, de manera no exhaustiva, una serie de medidas de índole técnica y organizativa para la adecuada gestión de los riesgos derivados de la reactividad con el agua.

Tipo de medida	Descripción
Técnica	Diseño y dimensionamiento adecuados de las instalaciones, de los procesos productivos y de los lugares de trabajo
	Instalación y utilización de equipos de trabajo y de envases adecuados a la naturaleza de las sustancias que están presentes en el lugar de trabajo o de las que se puedan generar y a las condiciones de operación tanto normales como excepcionales (presiones, temperaturas, caudales, etc.)
	Delimitación y señalización de las zonas donde exista el riesgo de reacción peligrosa con el agua
	Control de la humedad relativa del aire en los lugares de trabajo
	Diseño de un almacenamiento seguro, no permitiendo que los agentes envasados en recipientes móviles etiquetados con las indicaciones de peligro H260 y H261 se encuentren en almacenes abiertos. Se deben almacenar en zonas sectorizadas de uso exclusivo según el artículo 24 de la ITC 10 (Real Decreto 656/2017, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10)

Tipo de medida	Descripción
Técnica	Disposición de sistemas de extinción de incendios adecuados al tipo de fuego previsible
	Disposición de sistemas de ventilación adecuados
	Disposición de sistemas de control de la electricidad estática en los lugares de trabajo
	Automatización y robotización de la adición de reactivos
	Regulación y control adecuados del sistema de agitación en reactores u otros recipientes
Organizativa	Instalación de sistemas de refrigeración y control
	Implantación de procedimientos de trabajo seguros en todas las actividades, tanto principales como auxiliares (mantenimiento, reparación, limpieza, etc.)
	Implantación de un programa adecuado de revisión, de posibles reparaciones y de mantenimiento de las instalaciones y de los equipos del lugar de trabajo
	Implantación de un programa adecuado de gestión de los residuos que puedan contener sustancias reactivas con el agua
	Implantación de procedimientos adecuados en el ámbito de la prevención de la protección contra incendios
	En instalaciones donde el riesgo sea elevado, establecimiento de protocolos y de procedimientos de actuación ante incidentes, accidentes o emergencias que incluyan la coordinación interna y con servicios externos, sistemas de aviso y comunicación, etc.
	Información y formación
	Utilización de equipos de protección individual (EPI)

Tabla 4. Medidas preventivas derivadas del proceso de evaluación de riesgos asociados a la reactividad de las sustancias químicas con el agua.

05 BIBLIOGRAFÍA

- Reglamento (CE) n.º 1272/2008 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.º 1907/2006. Diario Oficial de la UE L353/1 de 31.12.2008. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj>.
- Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los EE. UU. (NOAA). Base de datos CA-MEO Chemicals. Disponible en: <https://cameochemicals.noaa.gov/react/100>.
- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. BOE, n.º 104, de 01/05/2001. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-8436>.
- Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10. BOE, n.º 176, de 25/07/2017. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2017-8755>.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Riesgo químico. 2007. 4ª Edición. ISBN: 978-84-7425-727-4.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Seguridad en el Trabajo. 2011, pp. 405-408. ISBN: 978-84-7425-790-8.

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Medidas de prevención y protección contra incendios. Documento divulgativo. Madrid, junio 2015. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/material-tecnico/documentos-tecnicos/medidas-prevencion-y-proteccion-contra-incendios-2015>.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Directrices básicas para la evaluación de riesgos laborales. Documento técnico. Madrid, enero 2022. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/2927460/Directrices+evaluaci%C3%B3n+de+riesgos.pdf/61c4ce0a-f418-669c-48e0-2e26ae360d9e?t=1644225294396>.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo. Madrid, agosto 2022. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/guia-tecnica-para-la-evaluacion-y-prevencion-de-los-riesgos-relacionados-con-agentes-quimicos-ano-2022>.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Buenas prácticas para el almacenamiento de productos químicos peligrosos. Documento divulgativo. Madrid, abril 2023. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/material-tecnico/documentos-tecnicos/buenas-practicas-almacenamiento-productos-quimicos-peligrosos-2023>.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). NTP 1198. Ficha de datos de seguridad: utilización en la empresa. 2024. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/37-serie-ntp-numeros-1191-a-1214-ano-2024/ntp-1198-ficha-de-datos-de-seguridad-utilizacion-en-la-empresa-2024#>.
- Flowers, P., Theopold, K., Langley, R., Robinson, W. R. (2022). Química. Houston, Rice University. Versión digital. ISBN-13 978-1-951693-57-2. Disponible en: <https://openstax.org/details/books/química-2ed>.
- Leleu, J., Triolet, J. (2003). Réactions chimiques dangereuses. París, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). [Reimpresión 2004]. ISBN: 2-85599-778-X.

