

	Organización [Nombre] Departamento [Nombre]
--	---

Metodología de evaluación de riesgos en los planes de gestión del riesgo de agua regenerada para uso industrial

Autor del Documento:	<Autor del Documento>
Organización:	<Propietario del Proyecto >
Versión del Documento:	<Versión>
Fecha:	<Fecha>

Historial

Revisión	Fecha	Creada por	Breve descripción de los cambios

Índice

1	Antecedentes.....	3
2	Gestión del Riesgo	3
3	Criterios de diseño.....	5
4	Identificación.....	5
5	Análisis	7
5.1	Probabilidad	8
5.1.1	Probabilidad de ocurrencia del suceso (P_{oc}).....	9
5.1.2	Probabilidad de exposición al agente peligroso (P_{exp}).....	9
5.1.3	Factor de detectabilidad (F_{dect}).....	11
5.2	Gravedad	13
5.2.1	Gravedad asociada al agente peligroso (G_{ap}).....	14
5.2.2	Factor de la gravedad asociado a la vía de exposición (F_{int}).....	17
6	Evaluación	19
7	Medidas de respuesta al riesgo	19
8	Referencias	20

1 Antecedentes

La creciente escasez de recursos hídricos a nivel global, intensificada por el cambio climático y el aumento de la demanda debido al crecimiento poblacional y económico, ha llevado a la búsqueda de soluciones sostenibles para garantizar el suministro de agua. En este contexto, el agua regenerada—obtenida mediante el tratamiento avanzado de aguas residuales urbanas—emerge como una alternativa viable para complementar las fuentes tradicionales de agua.

Sin embargo, el uso de agua regenerada implica potenciales riesgos para la salud pública y el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente los posibles contaminantes presentes. Por esta razón, es fundamental establecer controles rigurosos y procedimientos de gestión que garanticen la calidad y seguridad del agua reutilizada.

La Unión Europea, reconociendo la importancia de esta práctica y la necesidad de salvaguardar la salud y el medio ambiente, ha establecido un marco normativo específico. El Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua, establece estándares de calidad, monitoreo y gestión del riesgo para el uso seguro del agua regenerada en la agricultura.

Este reglamento exige la implementación de un Plan de Gestión del Riesgo que identifique y mitigue los posibles peligros asociados con la reutilización del agua.

En España, la problemática del agua es aún más crítica debido a factores como la sequía y la sobreexplotación de los recursos hídricos. Por ello, se busca ampliar el alcance del uso del agua regenerada a otros sectores, como el industrial. Con este objetivo, se ha aprobado el Reglamento de reutilización del agua, mediante el Real Decreto 1085/2024 de 22 de octubre de 2024, que establece el marco legal para estos nuevos usos y nuevamente exige la elaboración de un Plan de Gestión del Riesgo.

2 Gestión del Riesgo

La elaboración de un Plan de Gestión del Riesgo requiere un proceso exhaustivo que incluye la identificación, evaluación, análisis y respuesta a los riesgos asociados al sistema de reutilización del agua. Esto implica examinar cada etapa del proceso, desde la captación y tratamiento del agua residual hasta su distribución y uso final, para detectar posibles peligros y establecer medidas de mitigación adecuadas. Por lo tanto, es esencial contar con una metodología que apoye en su elaboración, proporcionando un enfoque estructurado y sistemático para gestionar los riesgos de manera eficaz. Además, dicha metodología debe considerar la legalidad vigente para asegurar el cumplimiento de todos los requisitos estipulados.

Los usos del agua regenerada son diversos y difieren significativamente entre sí, lo que hace necesario desarrollar metodologías de apoyo específicas para cada tipo de uso. Estas metodologías deben hacer hincapié en las diferencias particulares de cada aplicación, abordando los riesgos e implicaciones únicos asociados. Por ejemplo, en los usos industriales, es crucial considerar la peligrosidad de los riesgos indirectos, como la posible contaminación de procesos productivos, la afectación de la calidad de los productos finales o el fallo de equipamiento e infraestructura crítica afectada por las aguas regeneradas.

Al adaptar las metodologías a cada contexto, se mejora la eficacia del plan de gestión de riesgos y se asegura una reutilización del agua más segura y eficiente en todos los sectores implicados.

La metodología desarrollada en este documento, específicamente aplicable a sistemas de reutilización de agua para uso industrial, se divide en varias fases como se puede observar en la Figura 1. El primer paso es la identificación de los principales sucesos peligrosos para, a continuación, poder realizar su análisis y evaluación.

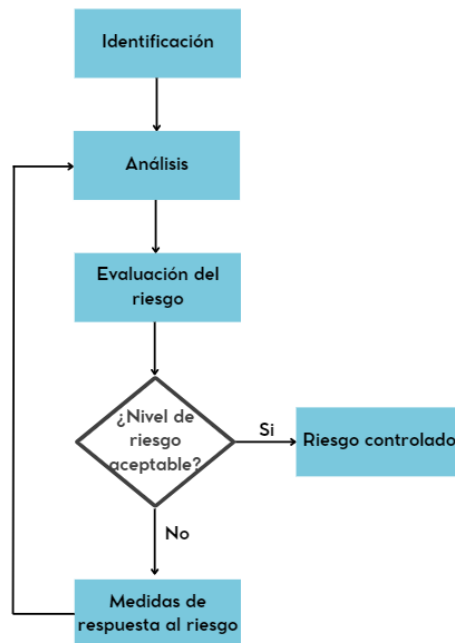


Figura 1. Fases de la valoración y gestión del riesgo (basado en ISO 31000).

Como fruto de esta evaluación se generará un nivel de riesgo (riesgo previo) frente al que se podrán adoptar varias respuestas. Si el nivel es aceptable, el riesgo se asume o se considera controlado. En caso contrario, deberá proponerse otro tipo de respuesta, como la implantación de medidas preventivas y correctoras encaminadas a reducir el nivel de riesgo, para proceder de nuevo a su análisis y evaluación y comprobar así que el nivel de riesgo (riesgo residual) ha disminuido y puede considerarse controlado.

Para la elaboración de esta propuesta se han revisado diferentes recomendaciones y aproximaciones:

Igualmente, se consideran los siguientes documentos técnicos de referencia:

- ISO 20426:2018 Directrices sobre evaluación y gestión del riesgo para la salud derivados de la reutilización de agua no potable.
- Directrices para apoyar la aplicación del Reglamento 2020/741 relativo a los requisitos para la reutilización del agua. (2022/C 298/01) Comisión europea, 2022.
- Propuesta de contenido para el Plan de gestión del riesgo de aguas regeneradas elaborado por la Confederación Hidrográfica del Segura.
- Metodología para la evaluación de riesgos para la salud en los planes de gestión del riesgo del agua regenerada – CEDEX (2024).

- Guidelines for Water Reuse – EPA, EEUU (2012).
- Australian guidelines for water recycling: Managing Health and Environmental Risks (2006).
- Planificación de la seguridad del saneamiento: manual para el uso y la disposición seguros de aguas residuales, aguas grises y excretas – OMS (2016).

A continuación, se recorren las etapas anteriormente citadas para la gestión del riesgo de los proyectos de agua regenerada de uso industrial.

3 Criterios de diseño

En el diseño de esta metodología se han aplicado una serie de restricciones que limitan su desarrollo con el fin de aumentar su aplicabilidad. Los principales criterios son:

- Búsqueda de la máxima compatibilidad con las metodologías ya existentes, de modo que las organizaciones que tienen que desarrollar planes de riesgos de aguas regeneradas para otros usos no encuentren diferencias radicales cuando realizan este tipo de proyectos. Esta uniformización facilitará la adopción de la metodología, su comprensión y su utilización tanto por la organización solicitante como por el órgano sustantivo que deba evaluar la propuesta.
- Adaptación a las especificidades del uso industrial. A pesar de buscar la máxima compatibilidad no se deben olvidar los aspectos específicos del uso industrial como sus necesidades específicas, más allá de agentes biológicos, el uso de materiales y maquinaria compleja y peligrosa o la existencia de mecanismos y características concretas de salida del agua, generalmente puntual, monitorizada y aprobada en algún tipo de autorización ambiental.
- Normalización de los documentos, partiendo de una plantilla reutilizable que determine de forma clara e inequívoca los aspectos a declarar sin que se acuda a la discrecionalidad de cada promotor de un proyecto de reutilización.
- Automatización de la evaluación, generando una herramienta sencilla, accesible y de uso universal que incorpore todos los pasos de una evaluación de riesgos.

4 Identificación

El principal objetivo de esta fase es identificar las actividades y procesos más vulnerables y los riesgos específicos a los que está expuesto todo el sistema de reutilización de aguas. El resultado final consiste en un registro o inventario de procesos y acciones que puedan ocasionar algún riesgo, tanto para el medio ambiente como para la salud humana y sanidad animal.

En este punto, se considera recomendable partir de una identificación de **sucesos peligrosos**. Según el Reglamento de reutilización del agua aprobado por el RD 1085/2024, de 22 de octubre 2024, un suceso peligroso es “un acontecimiento en el que las personas o el medio ambiente se ven expuestas a un agente peligroso dentro del sistema. Puede tratarse de un incidente o una situación que introduzca o libere el agente peligroso en el medio ambiente en el que viven o trabajan las personas, amplifique la concentración de un agente peligroso o no logre eliminarlo del medio ambiente humano”.

Identificar correctamente los sucesos peligrosos es una pieza esencial para poder realizar adecuadamente el análisis de riesgos posterior. Dicha identificación se recomienda asociarla con cada etapa de la cadena de reutilización de agua regenerada (Figura 2).

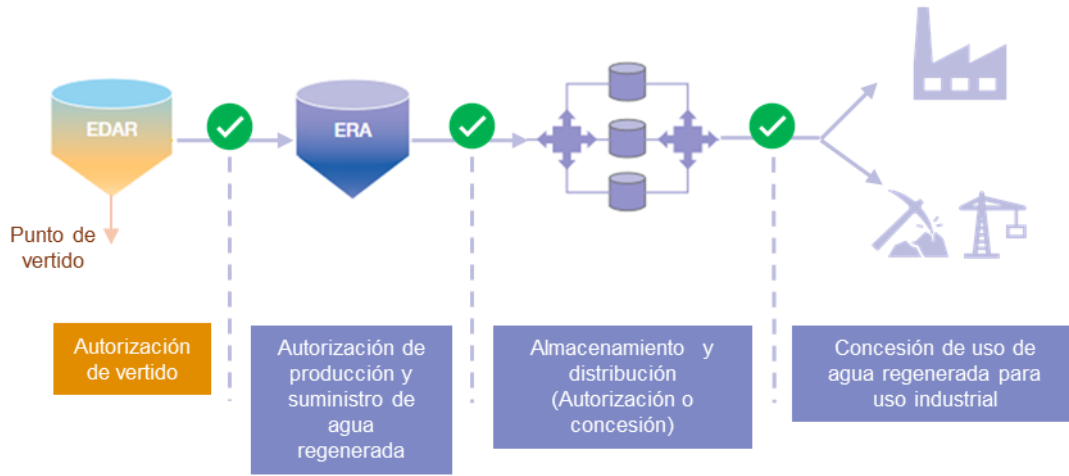


Figura 2. Ejemplo de etapas del sistema de reutilización de aguas para uso industrial.

Existen diferentes métodos y herramientas para la identificación de estos sucesos peligrosos, como técnicas de *brainstorming*, Delphi y juicios de expertos o *mind mapping*. Sin embargo, una de las más recomendable y extendida en todas las metodologías de gestión de riesgos es el diagrama de Ishikawa, puesto que no solo permite identificar los sucesos sino también conocer la causa de los mismos.

Este esquema, también conocido como diagrama de pez, se basa en la premisa de que todo peligro o riesgo tiene una causa y, por tanto, es necesario identificar de dónde surgen las acciones que están conformando ese riesgo. El método consiste en colocar en la cabeza de la espina del pez el proceso o proyecto para, a continuación, desglosar en cada una de las espinas los sucesos o riesgos identificados (Figura 3). Al hacer esto, se puede desarrollar una mejor comprensión del problema, lo que ayuda a preparar medidas para abordar, no solo los síntomas del riesgo, sino también la raíz.

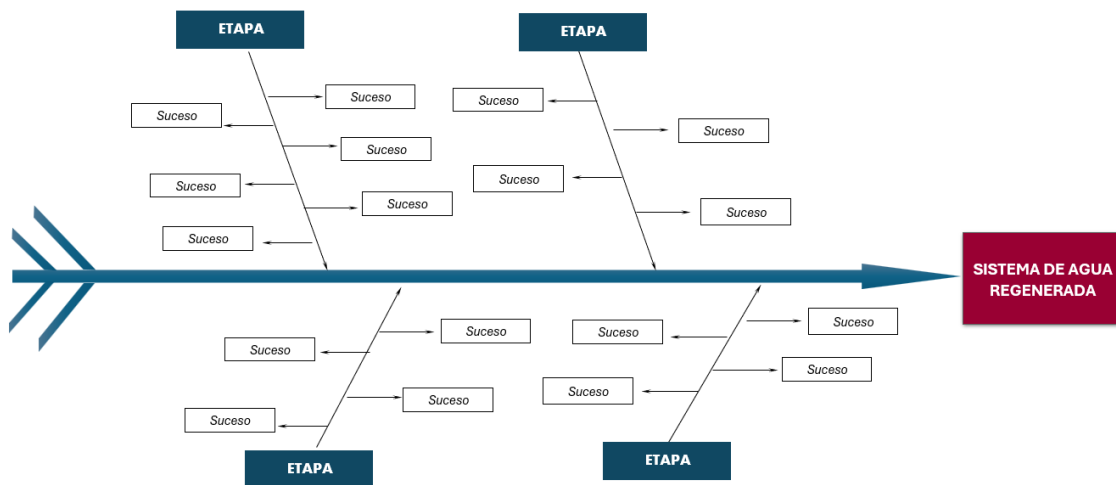


Figura 3. Esquema de espina de pez o Ishikawa.

En el caso de la documentación asociada a esta metodología, una herramienta similar se puede encontrar en la hoja Excel “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.a.Ishikawa”.A continuación, se proporcionan algunos ejemplos de sucesos o eventos peligrosos a considerar:

- Asociados a la operación normal del sistema, por ej.: infraestructura defectuosa, sobrecarga del sistema, falta de mantenimiento, comportamientos inseguros.
- Ocasionados por un fallo en el sistema o accidente, como fallo parcial o total en el tratamiento, cortes de energía, avería del equipo, error del operador.
- Relacionados con factores estacionales o climáticos como condiciones de inundación o sequía o cambios en el comportamiento estacional de las aguas de entrada a la EDAR.
- Sucesos peligrosos indirectos que podrían afectar a grupos o entornos que no están directamente involucradas en el sistema de agua regenerada.

Cada uno de los sucesos peligrosos identificados para cada etapa del proceso, en el caso de utilizar la documentación asociada, debe trasladarse a la pestaña “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.b. Probabilidad”.

Para asegurar que esta fase se realice de una forma estructurada y se facilite la consecución de las siguientes, se recomienda que a cada uno de los sucesos se le asigne un **identificador único (ID)** compuesto, por ejemplo, por una letra que se corresponda con la letra inicial de la etapa en la que se ha identificado el suceso peligroso y un número natural asociado a cada uno de ellos. Así, D-3 sería el suceso peligroso número 3 identificado en la etapa de distribución.

Es imprescindible que el suceso esté descrito de manera clara y precisa y su redacción no dé lugar a ambigüedades o confusiones con la causa o factores generadores del mismo.

Además, cada uno de los sucesos deben relacionarse con el **agente peligroso** correspondiente, entendido como “un agente biológico, químico, físico o radiológico que tiene el potencial de causar daños a las personas, los animales, los cultivos o las plantas, la biota terrestre, la biota acuática, los suelos o al medio ambiente en general” según el Reglamento de reutilización del agua.

Por último, es necesario identificar los grupos y entornos expuestos, así como las rutas de exposición a los posibles agentes peligrosos identificados. Cada suceso deberá categorizarse según el grupo de exposición y agente peligroso relacionado, en función de su afección a la salud humana y animal o al medio ambiente. Los riesgos para la salud recogen cualquier riesgo para la salud humana y animal, mientras que los riesgos medioambientales tienen por objeto determinar si los contaminantes identificados en las aguas regeneradas afectan al estado de calidad de las matrices medioambientales.

5 Análisis

Según el Reglamento de reutilización del agua aprobado por el RD 1085/2024, de 22 de octubre 2024, el riesgo se define como “la probabilidad de que agentes peligrosos detectados causen daño en un plazo determinado, incluida la gravedad de las consecuencias”, por lo tanto, su evaluación será el resultado de analizar y combinar la

probabilidad de que un suceso peligroso tenga lugar y la gravedad de los efectos que generen dicho suceso.

$$Riesgo = Probabilidad * Gravedad$$

La valoración de los riesgos podrá efectuarse mediante métodos cuantitativos o semicuantitativos. Se sugiere que el método semicuantitativo es la metodología más adecuada y económicamente viable, mientras que una valoración cuantitativa podría utilizarse para proyectos de alto riesgo y cuando se disponga de datos de apoyo suficientes para su ejecución. La presente metodología, al objeto de ser ampliamente utilizable, persigue una evaluación semicuantitativa.

5.1 Probabilidad

La probabilidad indica, en un plazo determinado, la posibilidad de que se produzca un suceso peligroso con efectos nocivos. En un sistema de reutilización del agua, esta probabilidad podría derivarse de una combinación de la **probabilidad de ocurrencia** del suceso peligroso propiamente dicho (por ejemplo, un vertido accidental), y de la **probabilidad de exposición** de un grupo al agente peligroso si ocurre dicho suceso (por ejemplo, ingestión directa, contacto, etc.).

En el ámbito industrial, es habitual el uso de procedimientos de análisis modal de fallos y efectos (AMFE) que, entre otras cosas introduce un nuevo factor que resulta muy relevante, denominado detectabilidad u observabilidad. La detectabilidad representa la inmediatez a la hora de determinar que el suceso se ha producido, habitualmente limitada por los procesos y procedimientos de control. El grado de detectabilidad de un suceso peligroso afecta directamente a su probabilidad, ya que, ante una detección precoz, se podrían aplicar medidas preventivas o barreras que eviten o reduzcan la probabilidad de exposición al agente peligroso.

Siguiendo una metodología semicuantitativa, se otorgarán valores a estos tres criterios de probabilidad: ocurrencia, exposición y detectabilidad. Se utilizarán criterios basados en datos históricos cuando sea posible, utilizando tablas semicuantitativas cuando no lo sea. De tal forma, el cálculo de la probabilidad resultado será:

$$P_r = \sqrt{P_{oc} \cdot P_{exp}} + F_{dect}$$

Donde:

- P_r : Probabilidad resultado
- P_{oc} : Probabilidad de ocurrencia del suceso (Tabla 1)
- P_{exp} : Probabilidad de exposición al agente (Tablas 2,3 y 4)
- F_{dect} : Factor de detectabilidad del suceso (Tabla 5)

Es preciso mencionar que esta fórmula no responde a un procedimiento estadístico de combinación de probabilidades, sino a una propuesta de indicador semicuantitativo del concepto de la probabilidad de un suceso peligroso que represente, de la forma más simple pero más realista posible, la verdadera probabilidad combinada de un suceso.

Para determinar la probabilidad, se recomienda utilizar la herramienta Excel "Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.b.Probabilidad". En dicha pestaña, se recogen los datos de los sucesos y la plantilla preparada para calcular sus probabilidades.

A continuación, se explican y determinan más en profundidad los criterios necesarios para obtener la probabilidad en el ámbito de esta metodología aplicable al PGRARI.

5.1.1 Probabilidad de ocurrencia del suceso (P_{oc})

En la Tabla 1 se recoge una valoración para la probabilidad de suceso (P_{oc}) basada en metodologías recogidas en las Directrices 2022/C 298/01, la Norma ISO 20426 y la Herramienta 3.3 del Manual de la OMS (2016). Si se dispone de registros, la valoración será inmediata a través la revisión de los datos históricos disponibles, mientras que, si no se dispone de ellos, quedará sujeta al criterio experto del evaluador.

Como norma general, en el ámbito industrial se han estimado los plazos recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Determinación de la Probabilidad de ocurrencia del suceso (P_{oc}).

Denominación	Descripción	Puntuación	Observaciones
Muy improbable	No ha ocurrido en el pasado y es altamente improbable que suceda menos de una vez cada 2 años (u otro periodo razonable).	1	
Improbable	No ha ocurrido en el pasado, pero puede ocurrir en circunstancias excepcionales menos de una vez al año (u otro periodo razonable).	2	
Posible	Puede haber ocurrido en el pasado y/o puede ocurrir en circunstancias normales al menos una vez al año (u otro periodo razonable).	3	Criterio de experto
Probable	Ha sido observado en el pasado y/o es probable que ocurra bajo circunstancias regulares entre 2 y 4 veces al año (u otro período razonable).	4	
Casi seguro	Se ha observado con frecuencia en el pasado y/o es casi seguro que ocurrirá en la mayoría de las circunstancias más de 4 veces al año (u otro período razonable).	5	

Sin embargo, la pestaña “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.b.Probabilidad” de la herramienta Excel, está preparada para poder cambiar estos rangos en función de cada suceso en particular (Columnas AB-AF) para aquellos casos en los que el evaluador lo estime oportuno.

5.1.2 Probabilidad de exposición al agente peligroso (P_{exp})

La probabilidad de exposición al agente peligroso (P_{exp}) depende de las circunstancias específicas en las que ocurre el contacto entre las aguas que contienen el agente y el

grupo de exposición. Se definen a su vez dos probabilidades que conforman la probabilidad de exposición al agente peligroso:

$$P_{exp} = \sqrt{P_{exp-a} \cdot P_{pres}}$$

- Probabilidad de exposición al agente peligroso (P_{exp}).
- Probabilidad de exposición al agua regenerada (P_{exp-a}).
- Probabilidad de presencia del agente peligroso en el agua regenerada (P_{pres}).

Dónde P_{exp-a} representa la probabilidad de que el agua regenerada llegue a entrar en contacto con los grupos de exposición, mientras que P_{pres} representa la probabilidad con la que esa agua regenerada que entra en contacto con los grupos de exposición esté lo suficientemente contaminada como para inducir a un suceso peligroso.

La probabilidad de exposición al agua regenerada (P_{exp-a}) depende de la facilidad con la que el agua regenerada pueda entrar en contacto con los grupos de exposición, considerando las posibles barreras existentes tales como protecciones, formación o procesos de prevención. En la Tabla 2 se representan situaciones con probabilidades asociadas a la exposición al agua regenerada de muy improbable (1), improbable (2), posible (3), probable (4) y casi seguro (5) según el criterio de expertos.

Tabla 2. Determinación Probabilidad de exposición al agua regenerada (P_{exp-a}).

Denominación	Descripción	Puntuación	Observaciones
Muy improbable	Es mínima la posibilidad de exposición.	1	
Improbable	Es baja la posibilidad de exposición.	2	
Posible	Puede que exista exposición.	3	Criterio de experto
Probable	Es alta la posibilidad de exposición.	4	
Casi seguro	Es casi seguro que existe exposición.	5	

Para ayudar a la comprensión y evaluación de esta probabilidad, se recomienda también consultar como referencia las condiciones de contorno definidas en la Tabla 3 en función del grupo de exposición evaluado.

Tabla 3. Ejemplos de situaciones extremas de exposición de trabajadores.

Grupo Exposición	Es mínima la posibilidad de exposición (1)	Es casi segura que exista exposición (5)
Trabajadores ERA	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajador con formación • Plan de explotación • Etapa afectada tapada o aislada 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajadores sin formación • Inexistencia plan de explotación • Condiciones de la etapa afectada por el evento que facilitan la exposición

Grupo Exposición	Es mínima la posibilidad de exposición (1)	Es casi segura que exista exposición (5)
Trabajadores Almacenamiento/ Distribución	<ul style="list-style-type: none"> · Trabajador con formación · Conocimiento de la procedencia del agua regenerada · Plan de explotación · Distribución/almacenamiento aislado 	<ul style="list-style-type: none"> · Trabajadore sin formación · Desconocimiento de la procedencia del agua regenerada · Inexistencia de plan de explotación · Condicionantes que facilitan la exposición
Trabajadores Industria	<ul style="list-style-type: none"> · Trabajadores con formación · Conocimiento de la procedencia del agua regenerada · Plan de emergencia · Proceso industrial protegido 	<ul style="list-style-type: none"> · Trabajador sin formación · Inexistencia de plan de emergencia · Condiciones del proceso industrial que facilitan la exposición · Equipamiento crítico expuesto con afección al trabajador

La probabilidad de presencia del agente peligroso en el agua regenerada (P_{pres}) se propone determinarla mediante los registros de incidencias en las analíticas de control de calidad del agua regenerada. Análogamente al criterio utilizado en la normativa de aguas de consumo (RD 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro), se estipulan los rangos de probabilidad en función de la frecuencia de los episodios en los que el valor obtenido en las analíticas supera al valor máximo admisible (VMA), estipulado por el RD 1085/2024, durante los últimos 5 años. Estos rangos vienen definidos a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Determinación de la Probabilidad de presencia del agente peligroso en el agua regenerada (P_{pres}).

Denominación	Episodios en los que se desvía del VMA	Puntuación
Muy improbable	Ha ocurrido una vez en los últimos 5 años.	1
Improbable	Ha ocurrido una vez en los últimos 2 años.	2
Posible	Ocurre una vez/año.	3
Probable	Ocurre entre 2 y 4 veces/año.	4
Casi seguro	Ocurre más de 4 veces/año.	5

Para facilitar esta clasificación, en la pestaña “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 2.3.HistoricoCont” de la herramienta Excel, se encuentra una plantilla automatizada para los evaluadores, en la que, introduciendo los episodios registrados para cada agente peligroso, se obtiene automáticamente el rango de probabilidad correspondiente.

Como este análisis y evaluación se realiza sobre agentes peligrosos, pero el análisis y evaluación de riesgos se realiza sobre sucesos peligrosos, en la evaluación de la probabilidad (“Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.b.Probabilidad”), este cálculo de probabilidad se deberá considerar en todos los sucesos peligrosos en los que aparezca

como agente peligroso el parámetro estudiado. Ante la combinación de varios agentes peligrosos en un mismo suceso, se recomienda escoger el agente con probabilidades más penalizantes.

Este cálculo se puede realizar directamente para cada suceso peligroso en la herramienta Excel, en la pestaña “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.b.Probabilidad”. La columna “P” corresponde a $P_{\text{exp-a}}$, y la columna “Q” corresponde a P_{pres} .

En el caso de sucesos peligrosos que no disponen de datos para poder calcular P_{pres} , se deberá introducir en la columna “Q” el valor de “NA” como representación de datos no disponibles. De esta forma, se considerará como valor global de la probabilidad de exposición al agente peligroso el valor de la probabilidad de exposición al agua regenerada ($P_{\text{exp}} = P_{\text{exp-a}}$).

Para el cálculo de probabilidades residuales, tras la aplicación de medidas preventivas y correctoras, se recomienda evaluar directamente la probabilidad de exposición al agente peligroso residual ($P_{\text{exp}'}$ en la columna “W”) utilizando las Tablas 2 y 3, considerando que sea equivalente únicamente a la probabilidad de exposición al agua regenerada ($P_{\text{exp-a}'}$), ya que no se pueden disponer de datos históricos a futuro, tras la aplicación de las medidas.

5.1.3 Factor de detectabilidad (F_{dect})

La detectabilidad evalúa la probabilidad de identificar la ocurrencia de un suceso, comúnmente limitada por los procesos y procedimientos de control vigentes. El nivel de detectabilidad de un evento peligroso afecta directamente a su probabilidad ya que, sin cambiar la ocurrencia, una detección temprana permite implementar medidas preventivas o establecer barreras en un periodo más breve de tiempo, lo que evita o disminuye la probabilidad de exposición al agente peligroso.

En esta metodología, se implementa una corrección del valor de la probabilidad para tener en cuenta este factor de detectabilidad. Para ello, se aumenta o disminuye un rango dicha probabilidad global en función de la facilidad o tiempo máximo de detección de la ocurrencia/presencia del riesgo. De esta forma, una probabilidad Posible pasaría a ser Improbable, si se dispone de un control continuo del agente o evento relacionado con el riesgo.

En la Tabla 5 se recogen los valores predeterminados para este factor. Sin embargo, la pestaña “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.b.Probabilidad” de la herramienta Excel, está preparada para poder cambiar estos rangos en función de cada suceso en particular (Columnas AG-AI) para aquellos casos en los que el evaluador lo estime oportuno.

Tabla 5. Factor de detectabilidad (F_{dect}) asociado a la facilidad o tiempo máximo de detección de la ocurrencia/presencia del riesgo.

Valor	Descripción
-1	Control continuo y/o automático del agente y/o evento que provoca el riesgo
0	Control semanal (o tiempo razonable establecido en el plan de vigilancia) del agente y/o evento que provoca el riesgo

Valor	Descripción
1	No existe ningún mecanismo, proceso o parámetro de control del agente y/o evento que provoca el riesgo

5.2 Gravedad

La gravedad se asocia con el potencial efecto adverso que un agente peligroso puede tener sobre las personas en relación con un suceso peligroso. Este efecto depende de la dosis y de la forma en que el grupo de exposición entra en contacto con el agente, es decir, de la vía de exposición. La dosis está determinada por la concentración del agente peligroso y el tiempo de exposición.

La evaluación de la gravedad se puede expresar matemáticamente basándose en la presencia o concentración del agente, y puede minimizarse o mantenerse mediante un factor relacionado con la gravedad asociada a la vía de exposición. Cuando no existan valores numéricos sobre los que analizar la gravedad, se deberán realizar valoraciones cualitativas que contemplen las consecuencias de los sucesos peligrosos, categorizando su peligrosidad.

Cabe destacar que la casuística del ámbito industrial genera situaciones especialmente sensibles a las vías o rutas de exposición. La enorme diversidad de ámbitos que involucra el término industria, al incluir sectores tan diversos como el procesamiento de madera, la industria química, alimentación o la siderometalurgia, implica que el propio uso del agua regenerada se destine a procesos muy distintos, como refrigeración o lavado. Por ello, además de la exposición directa de los grupos propiamente expuestos y analizados, existen equipamientos e infraestructuras especialmente sensibles o peligrosas que, en contacto con el agua regenerada, pueden dar lugar a sucesos peligrosos “indirectos” incluso más peligrosos que una exposición directa a las propias aguas. Explosiones, contaminaciones, roturas, emisiones, electrocuciones, etc., son ejemplos de estos posibles sucesos peligrosos “indirectos” derivados de la utilización de un agua regenerada inadecuada que deteriora, de forma silenciosa, el equipamiento afectado.

Para poder considerar esta casuística, se propone en esta metodología añadir un factor de intensidad del suceso peligroso relacionado con las posibles consecuencias sobre el equipamiento industrial, que puedan derivar en esos denominados peligros indirectos.

Con todo ello, se propone una fórmula de cálculo de la gravedad semicuantitativa que tiene en cuenta un factor de intensidad relacionado con la vía de exposición:

$$G_r = G_{ap} * \frac{F_{int}}{\alpha}$$

Donde:

- G_r : Gravedad final
- G_{ap} : Gravedad asociada al agente peligroso (Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8)
- F_{int} : Factor de intensidad de la gravedad asociado a la vía de exposición (Tabla 9, Tabla 10)
- α : Coeficiente de intensidad, relacionado con F_{int} (Tabla 9, Tabla 10)

Para determinar la gravedad asociada a un suceso peligroso, se recomienda utilizar, dentro de la herramienta Excel, la pestaña “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.c.Gravedad”, en la que se recogen los datos de los sucesos y la plantilla preparada para calcular sus gravedades.

A continuación, se explican y determinan más en profundidad los criterios necesarios para obtener la gravedad en el ámbito de esta metodología aplicable al PGRARI.

5.2.1 Gravedad asociada al agente peligroso (G_{ap})

La escala de gravedad puede determinarse considerando la presencia en el agua regenerada del agente peligroso, un indicador o sus potenciales efectos. Una escala semicuantitativa de sus potenciales efectos se recoge en la Tabla 6, siendo una adaptación del cuadro 3.3 de las Directrices de la CE 2022/C 298/01 que, a su vez, se basa en las normas ISO 20426:2018 y la OMS 2016.

Tabla 6. Gravedad asociada al agente peligroso (G_{ap}).

Gravedad (G_{ap})	Descripción	Puntuación
Catastrófica	Agente peligroso que podría dar lugar a una enfermedad o lesión graves ⁽⁵⁾ o incluso a la pérdida de vidas humanas.	16
	Suceso peligroso que causa un impacto inaceptable en el medio ambiente, con una pérdida permanente de la calidad y sin posibilidad de recuperación.	
	Suceso peligroso que puede causar el fallo inmediato e inesperado del equipamiento afectado dando lugar a un evento catastrófico para la salud y/o el medioambiente.	
Grave	Agente peligroso que podría causar enfermedades o lesiones ⁽⁴⁾ .	8
	Suceso peligroso que causa un impacto severo en el medio ambiente, y que, por lo tanto, para recuperar el medio, es necesario llevar a cabo una serie de medidas preventivas o correctoras y se requiere además un periodo de tiempo dilatado.	
	Suceso peligroso que produce un fallo a corto plazo del equipamiento afectado dando lugar a un evento grave para la salud y/o el medioambiente.	
Moderada	Agente peligroso que puede tener efectos autolimitados para la salud o causar enfermedades de poca importancia ⁽³⁾ .	4
	Suceso peligroso que causa un impacto moderado en el medio ambiente, es decir, se produce la recuperación del medio transcurrido un cierto tiempo, sin necesidad de implantar medidas preventivas ni correctoras.	
	Suceso peligroso que produce un fallo a medio plazo (similar al período de mantenimiento) del equipamiento afectado dando lugar a un evento moderado para la salud y/o el medioambiente.	
Leve	Agente peligroso que podría tener efectos secundarios leves para la salud ⁽²⁾ .	2
	Suceso peligroso que causa un impacto compatible en el medio ambiente, es decir, se produce una recuperación inmediata tras el cese del suceso y no precisa medidas preventivas ni correctoras.	
	Suceso peligroso que produce un fallo a largo plazo (superior al período de mantenimiento) del equipamiento afectado dando lugar a un evento leve para salud y/o medioambiente.	
Insignificante	Agente peligroso que produce efectos nulos o insignificantes para la salud ⁽¹⁾ en comparación con los niveles de fondo.	1
	Suceso peligroso que no causa impactos significativos en el medio ambiente. Estos impactos son mínimos o no adversos.	
	Suceso peligroso que no produce un fallo del equipamiento afectado, sino un desgaste o bajada de rendimiento a largo plazo.	

Se diferencian tres descripciones en cada nivel, siendo la primera aplicable a riesgos sobre la salud humana y sanidad animal, la segunda sobre riesgos referentes al medio ambiente, y la tercera, a sucesos peligrosos sobre el equipamiento o infraestructura industrial que pueden conllevar otros sucesos peligrosos indirectos.

En el caso de que un mismo suceso pueda conllevar consecuencias diferentes, correspondientes a más de un tipo de descripción, se recomienda: o bien dividir el suceso en varios en función del grupo de exposición, o bien seleccionar el caso más grave, a criterio justificado del evaluador.

Las descripciones más detalladas de los efectos en la salud humana relatados en la clasificación anterior son las siguientes:

- (1) **Efectos nulos o insignificantes para la salud:** no se observan efectos sobre la salud.
- (2) **Efectos secundarios leves para la salud:** por ejemplo, síntomas temporales como irritación, náuseas y dolor de cabeza.
- (3) **Efectos autolimitados para la salud o enfermedades de poca importancia:** por ejemplo, diarrea aguda, vómitos, infección de las vías respiratorias superiores, traumatismo leve. ⁽³⁾
- (4) **Enfermedad o lesión:** por ejemplo, malaria, esquistosomiasis, trematodiasis de transmisión alimentaria, diarrea crónica, problemas respiratorios crónicos, trastornos neurológicos o fractura ósea.
- (5) **Enfermedad o lesión graves:** por ejemplo, intoxicación grave, pérdida de extremidades, quemaduras graves, ahogamiento o muerte repentina.

Se ha optado por utilizar como referencia las fichas de los planes sanitarios del agua en el ámbito de las aguas potables, donde se asigna una determinada gravedad para cada parámetro microbiológico, por sus características intrínsecas y, por tanto, su potencial efecto sobre la salud humana y sanidad animal.

Cuando se utilice el *E. coli* como indicador, dado que existe una amplia experiencia respecto a sus efectos en función de su concentración, se puede utilizar de manera orientativa la escala de gravedad recogida en la Tabla 7.

Tabla 7. Gravedad (G_{ap}) asociada a *E. coli*.

Gravedad	Concentración prevista <i>E.coli</i>	Puntuación
Insignificante	≤ 100 UFC/100 ml	1
Leves	> 100 y ≤ 900 UFC/100 ml	2
Moderadas	> 900 y $\leq 10^5$ UFC/100 ml	4
Graves	$> 10^5$ UFC/100 ml	8
Catastrófico	-	16

Estos valores de gravedad en función de los sucesos asociados a *E.coli* son los considerados en la metodología del CEDEX para aguas regeneradas para uso agrícola, teniendo que ser aún validadas por la autoridad sanitaria. Para la proposición de estos valores se tuvo en cuenta:

- Nota de la Comisión sobre la Guía para combatir los riesgos microbiológicos en frutas y hortalizas frescas en la producción primaria mediante una buena higiene (2017/C 163/01): Establece en 100 UFC/100ml de *E.coli* el límite de indicador de contaminación fecal para frutas y hortalizas frescas que se consumen sin cocinar en la que la parte comestible ha tenido contacto directo con el agua de riego.
- Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro: En su anexo I.C, Parámetros indicadores de calidad, exige 0 UFC o NMP / 100 ml para bacterias coliformes. Sin embargo, anota “Si supera este valor, significará que no ha habido

- una buena desinfección o que ha existido una recontaminación, por lo que se deberán poner medidas correctoras. El valor de no aptitud será 100 UFC/100 ml³.
- Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño. Las aguas de baño continentales se consideran aptas con 900 UFC/100 ml de *E. coli*.
 - Además, en la valoración se ha considerado que no se trataría de una ingesta permanente sino puntual, al tener lugar sólo durante la ocurrencia del suceso peligroso en su caso.

De manera similar, en la Tabla 8 se recoge la escala de gravedad orientativa para sucesos asociados a *Legionella spp* de acuerdo con el Real Decreto 614/2024, del 2 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 487/2022, del 21 de junio, por el que se establecen los requisitos sanitarios para la prevención y el control de legionelosis.

Tabla 8. Gravedad (G_{ap}) asociada a *Legionella spp*.

Gravedad	Concentración prevista <i>Legionella spp</i> .*	Puntuación
Insignificante	≤ 100 UFC/L	1
Leves	>100 y ≤ 1.000 UFC/L	2
Moderadas	>1.000 y ≤ 10.000 UFC/L	4
Graves	>10.000 UFC/L	8
Catastrófico	-	16

*Estos valores tendrían que ser validados por la autoridad sanitaria

Considerando los patógenos habituales del agua residual, de manera general y si la autoridad sanitaria no manifestara lo contrario, en la escala de gravedad de las Tablas 7 y 8 no sería de aplicación la categoría catastrófica a los sistemas de reutilización de agua.

El incumplimiento de los parámetros sanitarios impuestos por el Reglamento de reutilización de aguas (RD 1085/2024) para *E.coli* y *Legionella spp*. se considerará grave (8), y en el caso de Turbidez in situ y Sólidos en suspensión se considerará moderada (4), en la escala definida.

Para facilitar estas clasificaciones, en la pestaña “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 2.3.HistoricoCont” de la herramienta Excel, se encuentra una plantilla automatizada para la obtención de la G_{ap} asociada a los principales agentes peligrosos. De manera conservadora, se estipula la gravedad potencial del agente peligroso mediante la comparación del valor máximo registrado en las analíticas de control de los últimos 5 años con las Tabla 7 y Tabla 8.

Como este análisis y evaluación se realiza sobre agentes peligrosos, pero el análisis y evaluación de riesgos se realiza sobre sucesos peligrosos, en la evaluación de la gravedad (“Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.c.Gravedad”), este cálculo de G_{ap} se deberá considerar en todos los sucesos peligrosos en los que aparezca como agente peligroso el parámetro estudiado. Ante la combinación de varios agentes peligrosos en un mismo suceso, se recomienda escoger el agente con gravedades más penalizantes.

5.2.2 Factor de la gravedad asociado a la vía de exposición (F_{int})

El factor de la gravedad asociado a la vía de exposición pretende cuantificar la posible intensidad de la exposición de los grupos al suceso peligroso y sus consecuencias. En esta metodología, se distinguen dos tipologías de este factor:

- **Humana:** En aquellos sucesos peligrosos sobre la salud humana que las consecuencias sean devenidas por el contacto de personas con las aguas regeneradas y los posibles agentes peligrosos contenidas en ellas. Esta tipología se referencia de la metodología del CEDEX para riego agrícola.
- **Equipos:** Para aquellos sucesos peligrosos en los que se evalúan las posibles consecuencias causadas por la exposición de equipamiento o infraestructura industrial a las aguas regeneradas, que, pueden dar lugar a otros sucesos peligrosos “indirectos” sobre la salud humana o el medio ambiente.

El evaluador deberá seleccionar cuál de las tipologías anteriores del factor concierne al suceso peligroso en estudio (seleccionando la opción correspondiente en las Columnas “J” y “P” de la pestaña en la herramienta Excel “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.c.Gravedad”). Una vez escogida la tipología, se evaluará el valor correspondiente y se escogerá el coeficiente α correspondiente según la Tabla 9 y la Tabla 10.

Tabla 9. Factor asociado a la gravedad en función de la intensidad de exposición al agente peligroso (F_{int}) - Salud humana/animal.

F_{int}	Vía de Exposición – Humana
1	Contacto dérmico
3	Inhalación cuando existe aerosolización
3	Ingestión
Coeficiente $\alpha = 3$	

Tabla 10. Factor asociado a la gravedad en función de la intensidad (F_{int}) de las consecuencias sobre el equipamiento (explosiones, fugas, desprendimientos, etc.).

F_{int}	Vía de Exposición – Equipos
1	El equipamiento está protegido del fallo mediante una barrera, pudiendo incluso no conllevar contaminaciones o lesiones.
2	El fallo ocurre sobre equipamiento no crítico que puede conllevar contaminaciones o lesiones moderadas o leves.
3	El fallo ocurre directamente sobre equipamiento crítico que puede conllevar contaminaciones o lesiones graves o catastróficas.
Coeficiente $\alpha = 2$	

6 Evaluación

Una vez analizada la probabilidad y gravedad del suceso, el nivel de riesgo se determina mediante una matriz de evaluación como el producto de ambos factores. Como matriz de evaluación se ha adoptado la matriz semicuantitativa recogida en las Directrices de la CE 2022/C 298/01, Cuadro 3.2, procedente del Manual de Planificación de la Seguridad del Saneamiento (OMS, 2016) (Figura 4). En caso de utilizar la documentación asociada, se debe acudir a la pestaña “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.d.Evaluación”.

Figura 4. Matriz semicuantitativa de evaluación de los riesgos. (Cuadro 3.2 de la Comunicación 2022/C 298/01 de la Comisión Europea (CE, 2022)).

PROBABILIDAD (P _r)		GRAVEDAD (G _r)				
		Insignificante (1)	Leve (2)	Moderado (4)	Grave (8)	Muy grave (16)
Muy improbable	(1)	1	2	4	8	16
Improbable	(2)	2	4	8	16	32
Posible	(3)	3	6	12	24	48
Probable	(4)	4	8	16	32	64
Casi seguro	(5)	5	10	20	40	80

Riesgo	≤6	6-12	13-32	>32
Nivel de riesgo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto

Según el valor de riesgo obtenido, se diferencian cuatro niveles de riesgo:

- **Bajo**: riesgo menor o igual que 6.
- **Moderado**: riesgo entre 7 y 12.
- **Alto**: riesgo entre 13 y 32.
- **Muy alto**: riesgo mayor que 32.

Se observa que la matriz es asimétrica marcando, como suele ser habitual, un efecto más pernicioso en función de la gravedad frente a las consecuencias.

Dado que algunos de los factores producirán valores de gravedad no enteros, la valoración semicuantitativa se apoyará en los niveles de riesgo de la matriz inferior.

7 Medidas de respuesta al riesgo

En función del nivel de riesgo, se deberán elegir entre las siguientes estrategias de respuesta:

- *Evitar*: evitar el riesgo, trabajar en torno a aquellas condiciones o actividades que introducen el riesgo.
- *Reducir*: reducción de la probabilidad o gravedad del riesgo hasta un nivel aceptable mediante la implementación proactiva de determinadas acciones.
- *Transferir/Compartir*: transferir un riesgo a otras entidades o compartir un riesgo con ellas, por ejemplo, a través de seguros, subcontratación, asociación, etc., sin eliminarlo.

- *Aceptar*: aceptación del riesgo (el impacto/pérdida se acepta si se produce el riesgo).

La respuesta o estrategia seleccionada debe señalarse específicamente en la pestaña de la hoja Excel “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 7.d.Evaluación”.

Sólo serán aceptables los riesgos “bajos” y “moderados”. En aquellos casos en los que el nivel de riesgo sea “alto” o “muy alto” se considerará un riesgo inaceptable para el sistema y deberá aplicarse otro tipo de respuesta. En este caso, será necesario repetir el proceso de análisis y evaluación del riesgo hasta obtener un nivel aceptable (Riesgo residual). Igualmente, los riesgos moderados deberían ser mínimos o desaparecer.

En concreto, la implementación proactiva de acciones encaminadas a reducir el riesgo como estrategia de respuesta se pueden dividir en los siguientes tipos: medidas preventivas y medidas correctoras. En la pestaña del Excel “Datos_PGAR_Industrial.xlsx → 4.2.CatálogoMedidas” se encuentran disponible un listado orientativo con diferentes medidas preventivas y correctores.

8 Referencias

ASME, Consensus on Operating Practices for the Sampling and Monitoring of Feedwater and Boiler Water Chemistry In Modern Industrial Boilers. New York, NY, 2006.

Comunicación de la Comisión Directrices para apoyar la aplicación del Reglamento 2020/741 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua 2022/C 298/01.

ISO 31000:2018. Gestión del riesgo. Directrices. Organización Internacional de Normalización, Ginebra, Suiza.

ISO 20670:2018. Reutilización del agua — Vocabulario, Organización Internacional de Normalización, Ginebra, Suiza, Disponible para consulta.

J. E. McKee y H. W. Wolf, Water Quality Criteria, 2nd ed. The Resources Agency of California, State Water Resources Control Board, 1974.

N. Manivasakam, Industrial Water Quality Requirements. United States of America: Chemical Publishing Company, 2005.

NRMMC–EPHC–AHMC, 2006, Australian guidelines for water recycling: managing health and environmental risks (phase 1) [«Directrices australianas para el reciclado del agua: gestión de riesgos para la salud y el medio ambiente (fase 1)», documento en inglés], National Water Quality Management Strategy, Natural Resource Management Ministerial Council, Environment Protection and Heritage Council, Australian Health Ministers’ Conference, Camberra, Australia.

OMS, 2016a, Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management [«Evaluación cuantitativa del riesgo microbiológico: aplicación para la gestión de la seguridad del agua», documento en inglés], Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.

OMS, 2016b, Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta [«Planificación de la seguridad del

saneamiento: manual para un uso y eliminación seguros de las aguas residuales, las aguas grises y los excrementos», documento en inglés], Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.

O. US EPA, «Summary of Florida's Water Reuse Guideline or Regulation for Industry». Disponible en: <https://www.epa.gov/waterreuse/summary-floridas-water-reuse-guideline-or-regulation-industry>

Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua.

U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, y U.S. Agency for International Development, «Guidelines for Water Reuse», Washington, D.C., EPA/600/R-12/618, 2012.