



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE ESTADO  
DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD  
Y EVALUACIÓN AMBIENTAL Y MEDIO NATURAL

## GUÍA METODOLÓGICA

**Sector: Determinadas actividades de gestión de residuos  
peligrosos y no peligrosos**

COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS  
MEDIOAMBIENTALES

***Este documento forma parte de los trabajos realizados por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, con el fin de apoyar a los distintos sectores industriales en la elaboración de sus análisis de riesgos sectoriales.***

***La metodología expuesta se ha desarrollado para determinadas actividades de gestión de residuos peligrosos y no peligrosos. Por ello, para el resto de actividades y sectores industriales, se debe entender como una orientación y, en ningún caso, debe asumirse que implica obligación alguna de que sea adoptada por los diferentes sectores profesionales sujetos al régimen de responsabilidad medioambiental.***

**Índice**

<b>I. OBJETO Y ALCANCE .....</b>	<b>7</b>
<b>II. EQUIPO RESPONSABLE DEL ESTUDIO .....</b>	<b>9</b>
<b>III. JUSTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO SECTORIAL SELECCIONADO.....</b>	<b>10</b>
<b>IV. DESCRIPCIÓN GENERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>IV.1. Diversidad de actividades e instalaciones, líneas de proceso, unidades o partes del sector objeto de estudio .....</b>	<b>14</b>
<b>IV.1.1. Centros de transferencia de residuos peligrosos (CTR).....</b>	<b>14</b>
<b>IV.1.2. Tratamientos físico-químicos .....</b>	<b>15</b>
<b>IV.1.3. Regeneración de aceites.....</b>	<b>16</b>
<b>IV.1.4. Destilación de disolventes.....</b>	<b>21</b>
<b>IV.1.5. Tratamiento de residuos con policlorobifenilos (PCB) .....</b>	<b>22</b>
<b>IV.1.6. Tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).....</b>	<b>26</b>
<b>IV.1.7. Vertederos .....</b>	<b>29</b>
<b>IV.1.8. Tratamientos mecánicos de valorización.....</b>	<b>31</b>
<b>IV.2. Variabilidad de agentes causantes de daño y de medios receptores que, en su caso, pudieran verse afectados .....</b>	<b>32</b>
<b>IV.2.1. Agentes de tipo químico y medios receptores .....</b>	<b>33</b>
<b>IV.2.2. Agentes de tipo incendio y medios receptores .....</b>	<b>33</b>
<b>V. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y DE LOS FACTORES DETERMINANTES DEL RIESGO.....</b>	<b>34</b>
<b>V.1. Identificación de fuentes de peligro .....</b>	<b>35</b>
<b>V.2. Identificación de causas de accidente .....</b>	<b>39</b>
<b>V.3. Identificación de sucesos iniciadores.....</b>	<b>42</b>
<b>V.4. Identificación de factores condicionantes.....</b>	<b>45</b>
<b>VI. DIRECTRICES A SEGUIR PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL SEGÚN LAS ACTIVIDADES E INSTALACIONES DEL SECTOR EN RELACIÓN CON EL MEDIO RECEPTOR AFECTADO Y PARA EL CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA .....</b>	<b>49</b>

<b>VI.1. Descripción de los principales métodos para la asignación de probabilidades de ocurrencia dentro de los análisis de riesgos medioambientales .....</b>	<b>50</b>
<b>VI.1.1. Método de asignación de probabilidades empleando escalas semicuantitativas....</b>	<b>51</b>
VI.1.1.1. Referencias para su aplicación .....	51
VI.1.1.2. Ejemplo ilustrativo .....	52
<b>VI.1.2. Método de asignación de probabilidades empleando valores cuantitativos .....</b>	<b>55</b>
VI.1.2.1. Referencias para su aplicación .....	56
VI.1.2.2. Ejemplo ilustrativo .....	66
<b>VI.1.3. Comparación de ambos métodos .....</b>	<b>67</b>
<b>VI.1.4. Métodos de determinación de la probabilidad recomendados en el presente análisis de riesgos sectorial.....</b>	<b>68</b>
<b>VI.1.5. Catálogo de indicadores de probabilidad de ocurrencia .....</b>	<b>69</b>
<b>VI.2. Pautas para la determinación del daño medioambiental .....</b>	<b>70</b>
<b>VI.2.1. Estimación de la magnitud de los daños previstos en los análisis de riesgos medioambientales empleando el IDM .....</b>	<b>71</b>
VI.2.1.1. Pautas para la selección de la combinación agente causante de daño-recurso natural afectado .....	73
VI.2.1.2. Pautas para la estimación del coeficiente Ecf.....	76
VI.2.1.3. Pautas para la estimación del coeficiente A .....	76
VI.2.1.4. Pautas para la estimación del coeficiente Ecu.....	77
VI.2.1.5. Pautas para la estimación del coeficiente B .....	77
VI.2.1.6. Pautas para la estimación del coeficiente $\alpha$ .....	79
VI.2.1.7. Pautas para la estimación del coeficiente Ec.....	81
VI.2.1.8. Pautas para la estimación del coeficiente p.....	81
VI.2.1.9. Pautas para la estimación del coeficiente Macc .....	81
VI.2.1.10. Pautas para la estimación del coeficiente q.....	81
VI.2.1.11. Pautas para la estimación del coeficiente C .....	81
VI.2.1.12. Pautas para la estimación del coeficiente Ecr .....	82
VI.2.1.13. Pautas para la estimación del coeficiente Ecc.....	82

VI.2.1.14. Pautas para la estimación del coeficiente $\beta$ .....	82
VI.2.1.15. Pautas para la estimación del coeficiente Eca .....	82
VI.2.1.16. Pautas para la estimación de varias combinaciones agente-recurso.....	82
<b>VI.2.2. Cuantificación del daño medioambiental y su implicación en la selección del escenario de referencia .....</b>	<b>82</b>
<b>VI.2.3. Cálculo de la extensión, intensidad y escala temporal .....</b>	<b>84</b>
VI.2.3.1. Extensión de los daños .....	85
VI.2.3.2. Intensidad del daño .....	94
VI.2.3.3. Escala temporal del daño.....	97
VI.2.3.4. Evaluación de la significatividad de los daños .....	98
<b>VI.3. Descripción de las medidas de reparación y de los criterios de equivalencia previstos en la Ley de Responsabilidad Medioambiental .....</b>	<b>99</b>
VI.3.1. Medidas de prevención, de evitación y de reparación .....	99
VI.3.2. Los criterios de equivalencia para la reparación del daño .....	102
<b>VI.4. Valoración del daño medioambiental y cálculo de la garantía financiera obligatoria por responsabilidad medioambiental .....</b>	<b>104</b>
VI.4.1. Valoración económica del daño medioambiental .....	104
VI.4.2. El Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA) .....	104
VI.4.3. Cálculo de la garantía financiera obligatoria .....	107
<b>VI.5. Procedimiento propuesto para la elaboración de un análisis de riesgos individual .....</b>	<b>110</b>
<b>VII. ORIENTACIONES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL .....</b>	<b>116</b>
VII.1. Evaluación de los escenarios de cara a la gestión del riesgo.....	116
VII.2. Medidas y actuaciones ante los riesgos medioambientales .....	117
VII.2.1. Eliminación del riesgo.....	118
VII.2.2. Reducción y control del riesgo .....	118
VII.2.3. Retención y transferencia del riesgo.....	120
<b>VIII. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE .....</b>	<b>122</b>
<b>IX. PLAN DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA .....</b>	<b>124</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>126</b>



## **Anejos**

ANEJO I. Elementos del modelo

ANEJO II. Indicadores de probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores

ANEJO III. Indicadores de probabilidad de ocurrencia de los factores condicionantes

ANEJO IV. Modelo de cuantificación de daños al suelo

## **Apéndice**

Aplicación a un caso hipotético

## I. OBJETO Y ALCANCE

El presente trabajo tiene por objeto desarrollar un análisis de riesgos medioambientales sectorial dirigido a determinadas actividades de gestión y tratamiento de residuos que se detallan a continuación.

Esta herramienta sectorial de análisis de riesgos medioambientales se realiza en el marco de la colaboración entre el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y la Confederación Española de Organizaciones Empresariales – CEOE. Para ello han participado las asociaciones representativas de las actividades de gestión: Asociación Nacional de Gestores de Residuos de Automoción – ANGEREA, Asociación de Empresas Gestoras de Residuos y Recursos Especiales - ASEGRE y Federación Española de la Recuperación y el Reciclaje - FER.

En este análisis sectorial se han realizado visitas a instalaciones miembro de ASEGRE, y además ANGEREA y FER han colaborado en el desarrollo de esta herramienta de análisis de riesgos ambientales en tipos específicos de instalaciones. En el ámbito del presente análisis de riesgos sectorial se han considerado los siguientes tipos de instalaciones:

- a) Centros de transferencia de residuos peligrosos (CTR)
- b) Instalaciones de tratamiento físico-químico
- c) Instalaciones de regeneración de aceites
- d) Instalaciones de destilación de disolventes
- e) Instalaciones de tratamiento de residuos con policlorobifenilos (PCB)
- f) Instalaciones de tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) —aplicable cuando tratan RAEE considerados peligrosos y no peligrosos en la misma instalación—. En adelante instalaciones de tratamiento de RAEE.
- g) Vertederos de residuos peligrosos y de residuos industriales no peligrosos
- h) Tratamientos mecánicos de valorización (envases y preparación de combustibles)

La descripción detallada de cada uno de estos tipos de instalaciones —proceso productivo, actividades realizadas, etc.—, se expone de forma específica en el apartado “Descripción General”, dentro del presente informe.

Este documento describe de forma orientativa las operaciones de gestión de residuos dentro del alcance de la guía metodológica para facilitar la realización de los análisis de gestión ambiental, no trata en ningún caso de realizar interpretaciones de la legislación de residuos.



En cuanto a las fases de actividad estudiadas, indicar que el análisis de riesgos se ha centrado en la fase de explotación de las instalaciones enumeradas anteriormente, por lo que quedan excluidas etapas como la construcción y el desmantelamiento de las plantas.

## II. EQUIPO RESPONSABLE DEL ESTUDIO

Este trabajo se ha desarrollado por el Grupo de Valoración Ambiental de la Gerencia de Desarrollo Rural Sostenible y Política Forestal de Tragsatec S. A., en colaboración con los técnicos y operadores económicos de ASEGRE. También han participado en su desarrollo, técnicos de las asociaciones ANGERSA y FER.

En concreto, el desarrollo de los trabajos ha contado con la participación de perfiles profesionales de ingenieros o licenciados con más de 7 años de experiencia profesional. En la siguiente tabla se detalla la composición del equipo consultor:

<b>Cargo</b>	<b>Formación académica</b>	<b>Experiencia profesional</b>
Jefa de grupo	Licenciada en Biología	13 años
Responsable de proyecto	Ingeniero de Montes	8 años
Técnico de proyecto	Licenciado en Ciencias Ambientales	12 años
Técnico de proyecto	Ingeniera de Montes	10 años
Técnico de proyecto	Licenciada en Ciencias Ambientales	7 años

**Tabla 1.** Perfiles profesionales de los consultores que han participado en el desarrollo del presente estudio.

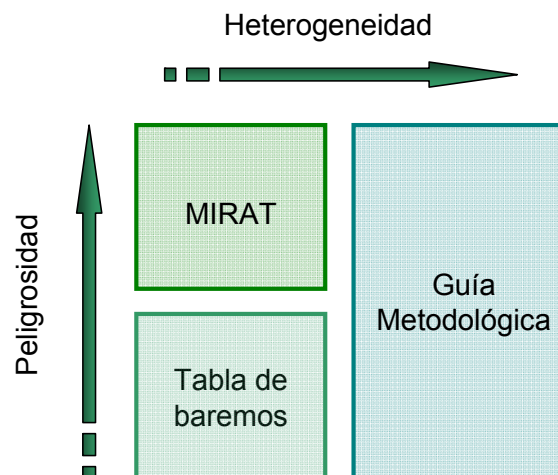
Fuente: Elaboración propia.

### III. JUSTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO SECTORIAL SELECCIONADO

La selección del tipo de instrumento sectorial de entre las opciones permitidas en la normativa —Tabla de Baremos, Modelo de Informe de Riesgos Ambientales Tipo (MIRAT) y Guía Metodológica— corresponde a los operadores del sector al cual se dirige la herramienta. No obstante, conforme se indica en el documento “Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental”, elaborado por la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales (CTPRDM), esta decisión debe encontrarse adecuadamente justificada.

El citado documento identifica dos criterios en base a los cuales seleccionar el tipo de análisis de riesgos sectorial: por un lado, se hace referencia a la peligrosidad potencial del sector en cuestión y, por otro, a la heterogeneidad desde el punto de vista de la variabilidad del comportamiento de las actividades de un mismo sector con respecto a las variables que describen el riesgo ambiental. Entre las variables de las que depende el riesgo, el documento destaca las siguientes: el tipo y la complejidad del proceso productivo, la capacidad de tratamiento y de producción, la tipología y la cantidad de emisiones a las aguas, al suelo y/o al aire, el tipo y la cantidad de residuos generados, el contexto territorial donde se ubique la actividad y la sensibilidad y vulnerabilidad del receptor potencialmente afectado, y la gestión que haga el operador de su riesgo medioambiental.

Atendiendo a los criterios anteriores, los modelos MIRAT y las Tablas de Baremos se deben aplicar a sectores cuyas instalaciones tengan una elevada homogeneidad. Mientras, las Guías Metodológicas se encuentran indicadas para los sectores de mayor heterogeneidad. En este sentido, el esquema de referencia es el recogido en la siguiente Figura.



**Figura 1.** Criterios para la selección de los análisis de riesgos medioambientales sectoriales. Fuente: Elaboración propia a partir de “Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental”, Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales (CTPRDM).

Dada la heterogeneidad existente entre las actividades consideradas, el presente análisis de riesgos sectorial se ha concebido como una Guía Metodológica. Dicha heterogeneidad se manifiesta principalmente en la variabilidad y la complejidad del proceso productivo realizado en cada tipo de instalación. A modo de ejemplo, el proceso seguido en un vertedero difiere del realizado en una planta de regeneración de aceites, igual que ocurre entre una planta de tratamiento de RAEE y una de tratamiento de PCB. En el capítulo del presente informe correspondiente a la descripción de las instalaciones —denominado “Descripción General”— pueden apreciarse las citadas diferencias.

La elaboración de la presente Guía Metodológica —en adelante GM— ha tomado como referencias bibliográficas básicas los siguientes documentos:

- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental (LRM)
- Ley 11/2014, de 3 de julio, por la que se modifica la ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental (RD 2090/2008)
- Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Reglamento de Desarrollo Parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre
- Norma UNE 150008 de Análisis y Evaluación del Riesgo Ambiental

#### IV. DESCRIPCIÓN GENERAL

Como se ha indicado en los apartados anteriores, en la presente GM se han distinguido los siguientes tipos de actividades productivas:

- a) Centros de transferencia de residuos peligrosos (CTR)
- b) Instalaciones de tratamiento físico-químico
- c) Instalaciones de regeneración de aceites
- d) Instalaciones de destilación de disolventes
- e) Instalaciones de tratamiento de residuos con policlorobifenilos (PCB)
- f) Instalaciones de tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)
- g) Vertederos de residuos peligrosos y de residuos industriales no peligrosos
- h) Tratamientos mecánicos de valorización (envases y preparación de combustibles)

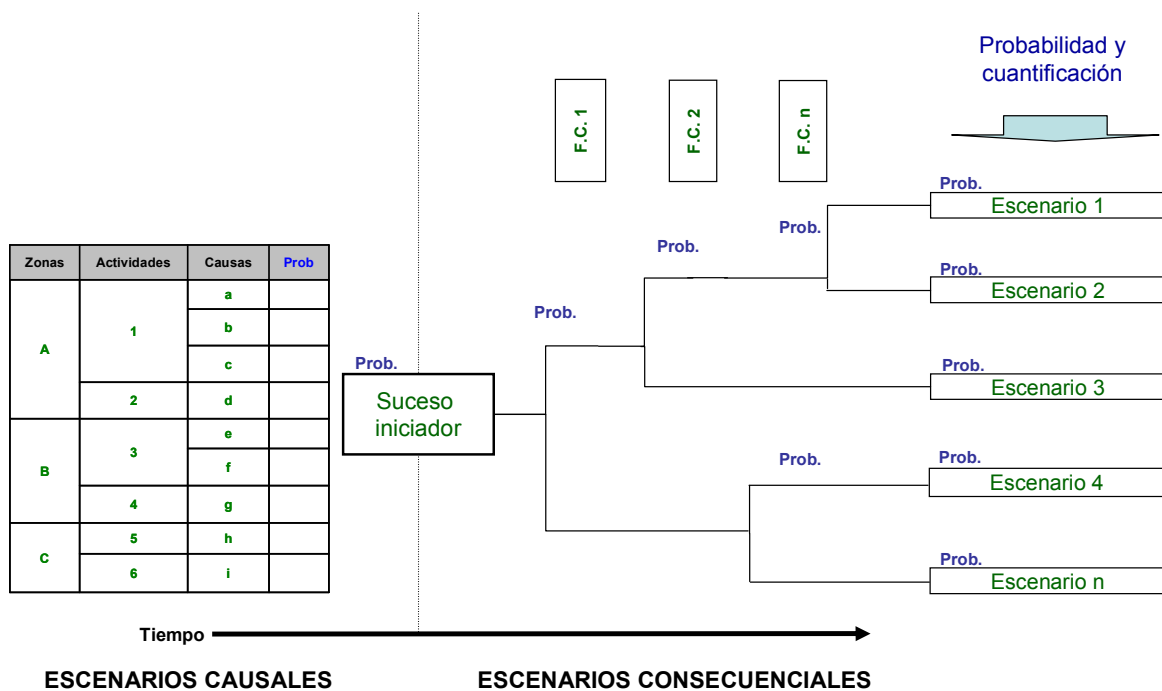
Debe tenerse en cuenta que un mismo operador económico puede llevar a cabo varias de las actividades anteriores, por lo que en ese caso, el operador podría emplear la GM tomando de la misma la información relativa a cada una de las actividades que realice.

La GM se ha diseñado de tal forma que preste asistencia a los operadores en la elaboración de sus análisis de riesgos individuales conforme con la Norma UNE 150008. En concreto, la GM ofrece a los operadores dos utilidades principales:

- Catálogos de elementos a considerar en sus análisis de riesgos. Por una parte, se recogen una serie de catálogos o listados en los que se enumera un amplio número de elementos que podrían considerar los operadores en sus análisis de riesgos. De esta forma, pueden encontrarse listados de zonas, actividades productivas, sucesos iniciadores, factores condicionantes y escenarios accidentales; para cada tipo de instalación dentro del sector. Estos catálogos se encuentran en el capítulo "Identificación de las variables y de los factores determinantes del riesgo" y, de forma resumida, en el Anejo I.
- Protocolos a seguir para la asignación de probabilidades y la cuantificación del daño medioambiental. Por otra parte, en la GM se incluyen unos protocolos, pautas y directrices que prestan asistencia al operador de cara a la asignación de la probabilidad de ocurrencia a cada escenario accidental, y para la cuantificación del daño medioambiental hipotéticamente ocasionado. Los protocolos pueden consultarse en el capítulo "Directrices a seguir para realizar el análisis del riesgo medioambiental según las actividades e instalaciones del sector en relación con el medio receptor afectado".

Los catálogos —elaborados según el esquema de árboles de sucesos propuesto en la Norma UNE 150008—, suministran al operador los elementos del modelo que se recomienda que estudie en su análisis de riesgos. Mientras, los protocolos le ofrecen indicaciones sobre cómo asignar los valores numéricos necesarios a esos elementos. Si bien, dada la amplitud del sector objeto de estudio, cada operador debe adaptar los contenidos de la GM a su situación concreta.

En la siguiente Figura se muestra de forma ilustrativa —no exhaustiva— la información suministrada en la GM encuadrada en un diagrama de árbol de sucesos. Se han empleado letras verdes para resaltar la información que los operadores podrían tomar de los catálogos incluidos en la GM —listado de zonas, actividades, causas, sucesos iniciadores, factores condicionantes y escenarios accidentales—, y en color azul la información numérica que podrían cumplimentar apoyándose en los protocolos de asignación de probabilidades y cuantificación del daño.



**Figura 2.** Esquema de la información ofrecida en la GM y su introducción en un árbol de sucesos (Prob. = probabilidad). Fuente: Elaboración propia.

La presente GM pone a disposición de los operadores un capítulo específico, denominado “Procedimiento propuesto para la elaboración de un análisis de riesgos individual”, en el cual se orienta al operador sobre los pasos a seguir para la elaboración de su correspondiente análisis de riesgos. Si bien, debe tenerse en cuenta que la utilización de los análisis de riesgos sectoriales es voluntaria por parte de los miembros del sector al que se dirigen, por lo que los asociados podrían tomar como referencia para su análisis particular el contenido de esta GM, parte del mismo, o desestimar su empleo y acudir a fuentes alternativas.

#### **IV.1.DIVERSIDAD DE ACTIVIDADES E INSTALACIONES, LÍNEAS DE PROCESO, UNIDADES O PARTES DEL SECTOR OBJETO DE ESTUDIO**

A continuación se describen las actividades llevadas a cabo por los diferentes tipos de instalaciones.

##### **IV.1.1. Centros de transferencia de residuos peligrosos (CTR)**

El objetivo de los Centros de Transferencia es optimizar el transporte de los residuos, para ello se acumulan residuos similares y también, en la medida de lo posible, se trata de reducir su volumen hasta que se dispone de cantidades suficientes para su transporte a instalaciones finales de tratamiento.

Como norma general, los residuos que tienen consideración de peligrosos deben superar un proceso de aceptación y ello supone el análisis de una muestra representativa.

En el presente análisis de riesgos se ha considerado que el proceso que se lleva a cabo en una instalación tipo que funciona como Centro de Transferencia de Residuos es el siguiente:

Recepción de los residuos. Los residuos provenientes de los distintos productores u otros gestores llegan al centro. Al llegar el transporte se hace una comprobación visual del residuo, se pesa en la báscula y pasa a la zona de descarga.

La variedad de residuos es muy amplia, puede tratarse desde residuos de composición desconocida —en cuyo caso es necesario analizarlos para determinar algunos parámetros críticos—, hasta de residuos de composición conocida, como los aparatos eléctricos y electrónicos —en los que no es necesaria esta determinación—.

Por ello, dependiendo de lo anteriormente indicado, se toma una muestra que se analiza en laboratorio para determinar algunos parámetros críticos que determinarán el destino final —gestor autorizado— al que vaya a ir dicho residuo.

A continuación se asigna el lugar de almacenamiento en función de la sustancia, y de si se trata de un sólido o un líquido. Se deben tener en cuenta las incompatibilidades entre sustancias a la hora de almacenar los residuos ya que podrían producirse reacciones exotérmicas (riesgo de incendio), por lo que en su caso, cobra especial importancia la determinación de la composición del residuo mediante análisis.

La labor principal del CTR es manipular dichos residuos de forma que disminuya el volumen de residuos que se lleva a tratamiento final. Los envases —principalmente de plástico o metal— que han contenido sustancias peligrosas —parte de éstas quedan adheridas a las paredes— una vez vacíos siguen siendo un residuo peligroso. En caso de disponer de equipos apropiados, se envían a gestor autorizado para las operaciones de reutilización y valorización.

Los residuos líquidos se descargan en fosos (subterráneos o aéreos), en depósitos fijos o en recipientes móviles, se transportan mediante tuberías a un tanque donde se almacenan, y desde éste, mediante una bomba, se cargan a un camión cisterna (a granel) o a GRG, para su traslado a tratamiento final.

En el caso de procesarse sustancias con bajo punto de inflamación en la instalación, el tanque de inflamables cuenta con un lavador de gases ya que son residuos líquidos con una elevada volatilidad.

El transporte de residuos envasados por la instalación se hace por medio de carretillas.

#### IV.1.2. Tratamientos físico-químicos

Estos tratamientos constan de un numeroso conjunto de técnicas para separar, reducir y contener la contaminación. Los procesos que se detallan a continuación en ocasiones se pueden combinar para alcanzar el objetivo indicado.

El proceso de producción esquemático de una instalación tipo dedicada a la gestión de residuos industriales es el siguiente:

##### 1) Recepción de residuos

Comprobación de la documentación. Entran líquidos, sólidos y lodos. El residuo va acompañado de una hoja de seguimiento o traslado.

##### 2) Muestreo y análisis

Etapa destinada a extraer muestras para analizar y verificar que las características del producto recibido coinciden con lo comunicado por el productor.

##### 3) Almacenamiento

Según el estado y características del residuo puede almacenarse en:

- Tanques: una vez verificado el producto en el laboratorio se almacena en el parque de tanques de recepción.
- Bidones/GRG: el almacenamiento se realiza en estanterías o en el suelo.

##### 4) Proceso

Pueden existir distintas líneas de tratamiento:

- Físico-químico: las principales técnicas de tratamiento aplicadas son oxidación-reducción, ácido-base, *air-stripping* (eliminación del NH<sub>3</sub> mediante *Scrubber*), precipitación, etc.

Algunas de estas técnicas tratan de precipitar los contaminantes de modo que queden contenidos en un lodo. La desecación del lodo se suele realizar mediante filtro prensa. El



agua se depura y vierte al medio, según los valores de emisión establecidos por la autorización.

El lodo resultante se traslada a vertedero para su deposición, en ocasiones se somete a estabilización previamente a la deposición en vertedero, según el proceso que se describe a continuación.

- Estabilización: se añaden reactivos para que el residuo sea física y químicamente estable y se pueda depositar en vertedero. La descarga de residuos pastosos y sólidos para estabilización en ocasiones se realiza en balsas.

Tras la mezcla de los residuos con los reactivos, se pasa a la zona de maduración. Posteriormente se transportará el residuo estabilizado para su deposición en vertedero autorizado.

- Recuperación de hidrocarburos: estos residuos proceden de tanques que han contenido hidrocarburos y sentinas de buques. Según sus características la separación se hace mediante una elevación de temperatura del residuo, o centrifugación. Las fracciones resultantes son un hidrocarburo que se destina a valorización, y un agua que se somete a depuración.
- Tratamiento biológico: el objeto de esta técnica es reducir la contaminación orgánica presente en el residuo. En ocasiones el residuo ha sido sometido previamente a tratamiento físico-químico. El agua tratada se pasa a tanques donde se analiza una muestra y, si cumple con los estándares de la autorización de vertido, se vierte o, si no, se reprocesa.
- Evaporador: se suele usar para tratar taladrinas o para concentrar aguas con elevada carga contaminante. El resultado es un lodo que se destina a eliminación.
- Preparación para valorización energética de líquidos: este tratamiento consiste en la mezcla de residuos líquidos con elevado poder calorífico para ajustarlos a las necesidades de la instalación de destino —poder calorífico, y otros parámetros que determinan su capacidad contaminante—. Previamente a la realización de la mezcla, se analiza la compatibilidad de los componentes. La mezcla se realiza en un depósito con agitación en el que se verifican las características y la homogeneidad del resultado.

#### **IV.1.3. Regeneración de aceites**

En el presente análisis de riesgos se consideran dos formas de regeneración del aceite mineral usado. A continuación se expone el proceso esquemático de cada una de ellas:

##### **A. Tipo de tratamiento A**

- 1) Recepción y clasificación

El proceso de regeneración de la base lubricante de los aceites residuales comienza con la recepción del aceite mineral usado en camiones cisterna.

Previamente a la aceptación de la carga por parte del operador, se toma una muestra del aceite que es analizada en un laboratorio con el fin de confirmar que el mismo puede ser gestionado en la instalación. Algunos de los parámetros analizados son el contenido en PCB —debe ser inferior a 50 ppm para poder ser aceptado—, el contenido en agua, el nivel de cloro, etc.

En caso de que la carga de aceite sea aceptada para su gestión en la planta se procede a su introducción en un tanque de almacenamiento de aceites usados donde permanecerá hasta ser tratado.

## 2) Tratamiento químico con sosa (Na OH)

El aceite contenido en el tanque de alimentación se conduce, mediante una red de tuberías, a un tanque de mezclado donde se le añade sosa cáustica. Esta sustancia se adhiere a las cadenas de hidrocarburos y hace más sencilla la separación de los metales pesados.

## 3) Disolución con propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)

El aceite pretratado químicamente con sosa, se añade a una corriente de propano líquido, siendo enviada esta mezcla a unos recipientes decantadores. El propano se usa en el proceso como un disolvente, pues tiene la particularidad de que el aceite se disuelve con el propano, pero no lo hacen los aditivos, agua y demás elementos que el aceite usado contiene. En los depósitos decantadores, gracias a la acción del propano, se produce una separación física, de modo que la mezcla propano-aceite queda en la parte superior de los mismos y los aditivos, metales pesados, agua y otros elementos que contaminan el aceite lo hacen en la parte inferior.

Por la parte superior del decantador se extrae mediante una bomba la mezcla aceite-propano, la cual es calentada por una serie de intercambiadores de calor hasta una temperatura suficiente para evaporar el propano y separarlo del aceite. Posteriormente, el propano se enfría, se condensa y retorna a su tanque.

El fondo de los decantadores formará parte del asfalto producido en el proceso el cual es enviado a un reactor para juntarlo con el fondo producido en la destilación (siguiente etapa de proceso).

## 4) Destilación

La base lubricante se envía a una columna de destilación con el fin de obtener los productos específicos que se desea ofrecer al mercado.

Antes de la destilación a vacío, para obtener los productos finales, se hace una destilación a presión atmosférica donde se va a separar la parte más ligera del aceite usado (punto de inflamación más bajo). Este proceso, denominado descabezado, se consigue calentando y, por tanto, evaporando esa fracción ligera. La misma es condensada y enviada a un tanque para su almacenamiento, donde es considerada como un residuo y recogida por un gestor autorizado.

Una vez se ha retirado la parte más ligera en el proceso de descabezado, la fracción restante pasa a una torre de destilación en vacío con platos a distintas temperaturas. Mediante la destilación a vacío se fracciona el aceite en los productos finales, los cuales se diferencian en función de su viscosidad en:

- Fracción pesada
- Fracción intermedia
- Fracción ligera

En el fondo de la columna queda la fracción pesada del aceite. Esta fracción (fondo de columna) se mezcla en un reactor junto con los fondos de los decantadores anteriormente mencionados, donde se homogenizan para formar la fracción asfáltica.

El asfalto es la fracción más pesada del proceso, contiene los metales pesados del aceite residual inicial y tiene una elevada viscosidad por lo que debe mantenerse a una temperatura determinada y en constante recirculación con el fin de evitar su solidificación.

Este asfalto se almacena en los tanques de asfalto, siendo un subproducto que se emplea en la fabricación de telas asfálticas —en caso de que, por circunstancias, no hubiera mercado para la sustancia se trataría como residuo mediante un gestor autorizado—.

## **B. Tipo de tratamiento B**

### **1) Recepción y clasificación**

El primer paso de esta etapa es el control analítico previo de los aceites usados antes de su aceptación. La materia prima es un producto que no es homogéneo y por tanto hay que conocer sus propiedades antes de introducir el aceite usado en el proceso, lo que permite ir ajustando los parámetros de la instalación.

Además existen una serie de valores límite que en ningún caso se pueden sobrepasar al estar legislados. Esto sucede por ejemplo con el contenido en PCB y PCT —que no puede ser mayor o igual a 50 ppm— y otros que estén indicados en las Autorizaciones Ambientales Integradas correspondientes.

Por ello, una vez que los camiones cisterna entran en las instalaciones, se toma una muestra de aceite que se lleva a analizar al laboratorio; si el aceite reúne los requisitos para ser admitido, se procede a su descarga en el parque de almacenamiento, donde se almacena en diferentes tanques.

El producto se mantiene recirculando en dichos tanques, para su calentamiento y homogeneización, mediante intercambiadores de calor, antes de pasar a la siguiente fase, la deshidratación.

### **2) Deshidratación**

Con esta etapa se busca eliminar o reducir el contenido de agua y de hidrocarburos ligeros del aceite, además de mejorar sus características antes de la destilación. Para ello se añade un reactivo y se calienta el aceite antes de pasar a las torres de deshidratación a vacío, que mediante un ligero vacío de -0.7 bares, permite la extracción en forma de vapor del agua residual acompañada con trazas de algunos hidrocarburos ligeros y, una vez condensados, son enviados al decantador donde se separan los hidrocarburos y el agua.

El aceite deshidratado sale por el fondo de la torre y puede ser bombeado a diferentes tanques dependiendo de lo efectiva que haya sido esta etapa, pudiendo en caso necesario someterse a una nueva deshidratación o pasar al tanque de alimentación a la vaporización.

### 3) Vaporización del aceite

Es necesario vaporizar el aceite antes de entrar en el proceso de destilación y, para ello, el aceite deshidratado es almacenado en un tanque de fondo cónico lo que favorece la decantación, separando por el fondo tanto los restos de agua como las sales que se formaron al añadir el aditivo. Un sistema de bombas mantiene el aceite en recirculación y caliente para homogeneizarlo. Posteriormente el aceite se calienta hasta 360°C en un horno.

### 4) Destilación

El aceite vaporizado en el horno pasa a una torre de destilación a vacío. Esta torre de destilación se diseña con diferentes “cortes o platos” de los que se extraen los tipos de bases lubricantes con diferente viscosidad, además, por la parte inferior de la torre se extrae la fracción de fondo, que tiene un comportamiento parecido a los asfaltos por su alta viscosidad. Los vapores que salen por la parte superior de la columna se condensan y pasan al decantador de deshidratación para separar los restos de aguas e hidrocarburos ligeros. Todos los productos son enviados a tanques para su almacenamiento y posterior salida.

### 5) Sistemas auxiliares

#### a) Sección de acabado con tierras

Opcionalmente, si la calidad requerida de los aceites regenerados así lo aconseja, se puede realizar un tratamiento de finalización de las fracciones lubricantes obtenidas en el proceso para conseguir la eliminación de restos de productos de oxidación de las mismas.

Las fracciones lubricantes almacenadas pueden ser tratadas con arcillas decolorantes, para lo cual se utilizan unos reactores donde se añade un reactivo y las mencionadas tierras.

#### b) Sistema de abatimiento

Aunque el disparo de válvulas de seguridad es inusual y solo se produce en casos de fallos puntuales o como medida de emergencia, existe un sistema que recoge todos los escapes de las válvulas de seguridad de los equipos que trabajan, o pueden trabajar en un momento dado, a presión. Estas válvulas trabajan a sobrepresión, de manera que si accidentalmente se produjera un escape de gas, no iría a la atmósfera, sino que sería recogido y tratado en este sistema de abatimiento, que también recoge los venteos de los tanques de almacenamiento con productos calientes o susceptibles de producir olores.

#### **IV.1.4. Destilación de disolventes**

El proceso de producción esquemático de una instalación tipo dedicada a la valorización de disolventes para su venta es el siguiente:

1) Recepción de residuos

Puede ser envasado (GRG; 200 litros) o en cisterna. Se realiza una hoja de descarga.

2) Muestreo y análisis

Etapa destinada a verificar que las características del producto recibido pueden tratarse en la instalación. Para ello se extraen muestras del residuo y se analizan.

### 3) Almacenamiento

Una vez verificado el producto en el laboratorio se almacena en los tanques de almacenamiento, si venía en cisterna, o en la zona de almacenamiento de GRG en tránsito.

### 4) Proceso

Mediante columnas de destilación (de distintas características técnicas) se realiza el proceso de destilación de los disolventes. Según las características de la mezcla de disolventes estos se pueden separar por destilación simple o por destilación fraccionada.

### 5) Almacenamiento de producto acabado y de residuos propios<sup>1</sup>

Una vez finalizado el proceso, los disolventes quedan almacenados en tanques hasta que el producto es analizado en el laboratorio para verificar que cumple con las especificaciones solicitadas por los clientes y poder ser envasado o expedido a granel.

Por otro lado, los residuos propios (tanques de lodos y de aguas de proceso, principalmente) quedan almacenados en el parque de tanques en la zona de residuos propios a la espera de ser recogidos para su tratamiento por un gestor autorizado.

## **IV.1.5. Tratamiento de residuos con policlorobifenilos (PCB)**

En el presente análisis de riesgos se ha considerado que el proceso tipo de una instalación dedicada al tratamiento de PCB es el siguiente:

El tipo de tratamiento que se realiza a los equipos contaminados con PCB es función de la concentración que presentan de esta sustancia. En todo caso, debe tenerse en cuenta que únicamente se consideran residuos PCB aquellos que cuentan con una concentración igual o superior a 50 ppm. De esta forma, realizar una adecuada caracterización y análisis de los residuos a su entrada en la instalación resulta crucial con el fin de determinar cuál es la mejor actuación a llevar a cabo sobre los mismos.

- Recepción de camiones cisterna y camiones con recipientes

El proceso comienza con la entrada en la instalación de los residuos a tratar. Generalmente estos residuos se reciben en camiones cisterna, en recipientes que contienen los PCB —GRG, bidones, etc.— o en el interior de transformadores eléctricos.

---

<sup>1</sup> A efectos de esta herramienta sectorial, se entenderá como residuos propios aquellos producidos por el operador como resultado del proceso que se lleva a cabo en su instalación.

Se toma una muestra de la carga con el fin de caracterizar el residuo y asignarle el tratamiento de descontaminación más adecuado. La clasificación incluye tres categorías de residuos en función de su concentración en PCB:

- Residuo no contaminado con PCB. Concentración inferior a 50 ppm.
- Residuo contaminado con baja concentración de PCB, cuyo intervalo depende del proceso del operador.
- Residuo contaminado con alta concentración de PCB, cuyo intervalo depende del proceso del operador.

Atendiendo a estas categorías se seguirá una u otra línea de proceso.

#### **A. Proceso tipo para el tratamiento de residuos no contaminados con PCB**

Este tipo de residuos no se consideran contaminados por PCB siendo su tratamiento relativamente sencillo en el ámbito de las presentes instalaciones.

Los camiones cisterna o los recipientes se vacían, almacenándose el aceite en depósitos para su posterior tratamiento de filtrado y/o regeneración y envío, bien a un gestor autorizado bien a un cliente —en caso de que exista mercado para los mismos—, para reciclado o reutilización. En concreto, en esta fase se obtiene: aceite mineral sin PCB, transformadores eléctricos vacíos sin PCB, y otros elementos sólidos sin PCB.

Los transformadores vacíos pueden ser directamente retirados por un gestor o bien conducirse a una cadena de valorización, en la cual se trituran con el fin de separar los metales férricos de los metales no férricos y de los sólidos inertes.

#### **B. Proceso tipo para el tratamiento de residuos con baja concentración de PCB**

##### 1) Descarga de aceite contaminado desde camión cisterna o desde recipientes

El aceite contaminado con PCB se descarga desde cisternas o desde los recipientes que lo contienen sobre unos fosos de recepción. Estos puntos de descarga se comunican con unos depósitos donde quedará almacenado el aceite hasta que se proceda a su descontaminación.

##### 2) Vaciado de transformadores

Los transformadores eléctricos con PCB son vaciados. El aceite obtenido —con una baja carga de PCB— es enviado mediante una red de tuberías a un depósito donde permanecerá almacenado en espera de gestión o tratamiento.

Por otra parte, el transformador —que continúa teniendo restos de PCB— es transportado a una zona donde se somete a un tratamiento de descontaminación.



Una vez descontaminado el transformador es desmontado y triturado con el fin de valorizar sus diferentes componentes, conforme se expone en el apartado C correspondiente al “Tratamiento de residuos con alta concentración de PCB”.

3) Fabricación de dispersión de sodio y aceite

Con el fin de descontaminar los aceites que tienen una baja concentración de PCB —los cuales tienen al menos 50 ppm de PCB—, se fabrica previamente una dispersión de sodio metálico con aceite dieléctrico.

4) Obtención de aceite limpio reutilizable

En un reactor se mezcla la dispersión obtenida en la fase anterior con el aceite contaminado con PCB de forma que, tras la correspondiente reacción, se obtiene una mezcla de aceite y lodo salino el cual, previa separación mediante centrifugación, se envía a vertedero, y el aceite mineral, ya sin PCB, queda apto para su valorización o regeneración.

**C. Proceso tipo para el tratamiento de residuos con alta concentración de PCB**

1) Descarga de aceite contaminado desde camión cisterna o desde recipientes y transformadores eléctricos

El aceite mineral contaminado con alta concentración de PCB puede recibirse en cisternas o en recipientes.

En esta primera fase se procede a vaciar las cisternas o recipientes en unos puntos de descarga comunicados con unos depósitos específicos donde se almacena el aceite mineral con PCB hasta su envío a un gestor autorizado, que procederá a su eliminación mediante incineración.

La comunicación entre la zona de descarga y los depósitos se realiza mediante una red de tuberías.

Un recipiente especial en el cual se reciben los aceites con PCB son los transformadores eléctricos, ya que los mismos se someten a un tratamiento de valorización específico.

2) Vaciado de transformadores

Los transformadores eléctricos con PCB son vaciados. El líquido obtenido —con una elevada carga de PCB— es enviado mediante una red de tuberías a un depósito donde permanecerá contenido hasta su envío a un gestor final.

Por otra parte, el transformador —que continúa teniendo restos de PCB— es transportado a una zona donde existen una serie de unidades de descontaminación.

3) Desmontaje de los transformadores contaminados

Los transformadores con restos de PCB se desmontan separando la parte activa de la cuba, para ser tratados de manera independiente en función de su grado de contaminación.

4) Unidades de descontaminación

Las piezas de los transformadores procedentes de la fase anterior son introducidas en una autoclave. En estas unidades se añade un disolvente y se realiza el proceso de extracción del PCB.

El disolvente una vez agotado, con una alta concentración de PCB, se envía a un depósito donde queda almacenado hasta que es enviado a un gestor autorizado para su incineración.

#### 5) Desmontaje de los transformadores descontaminados

Las diferentes partes de los transformadores una vez descontaminados se muestrean y se analizan en el laboratorio para verificar que el grado de contenido en PCB es inferior a 50 ppm. A continuación son desmontados en sus diferentes componentes: acero, chapa, cobre, etc.

Los elementos porosos del transformador —papel, madera, etc.— son retirados ya que no son susceptibles de ser descontaminados. Estos residuos porosos se consideran sólidos contaminados con PCB, siendo almacenados en sacos *big bag* hasta que son enviados a un gestor que se encarga de su incineración.

#### 6) Trituración de componentes de transformadores

Los componentes metálicos de los transformadores —una vez limpios de PCB— se dirigen mediante una cinta transportadora a una trituradora con el fin de obtener elementos más pequeños —de mayor homogeneidad y facilidad de transporte—.

#### 7) Almacenamiento de metales

El producto final del proceso son los metales férricos y no férricos que han sido extraídos de los transformadores, una vez se ha eliminado el PCB. Este producto es almacenado en una nave hasta que es enviado para su reciclaje.

### **IV.1.6. Tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)**

Este apartado únicamente se refiere a las instalaciones que realizan un tratamiento específico según lo indicado por el artículo 8 de la Directiva 2012/19 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. El objeto de este tratamiento apropiado es retirar las sustancias y componentes del anexo VII de la Directiva.

El proceso de producción esquemático de una instalación tipo dedicada al tratamiento de RAEE es función del tipo de aparato que se vaya a gestionar. En concreto, el proceso considerado en el presente análisis es el siguiente:

#### 1) Recepción

Todas las entradas de residuos son pesadas registrando los datos de procedencia del residuo.

#### 2) Inspección visual y retirada de impropios

Durante y después de la descarga se realiza una inspección visual. Si se detectan impropios, éstos son retirados para que no provoquen problemas en el resto del proceso.

#### 3) Clasificación

Una vez descargado el material se procede a la separación de diferentes grupos de RAEE en función de su proceso de tratamiento. Cada uno de estos grupos se almacena en zonas habilitadas para ser tratados en procesos específicos.

4) Tratamientos específicos.

a) Equipos con TRC (Tubos de Rayos Catódicos) y Pantallas Planas

Este grupo lo conforman principalmente televisores (TRC) y monitores. En la línea de TRC el residuo se somete a manipulaciones para separar los distintos componentes valorizables (cobre, hierro, plástico, vidrio) de aquellos que pueden presentar características de peligrosidad (revestimiento fluorescente, vidrio con plomo) y que, por tanto, requieren de una gestión diferenciada.

Las pantallas planas son desmontadas manualmente con objeto de retirar las lámparas de descarga en aquellos aparatos que las contienen.

Las lámparas retiradas se envían al proceso de tratamiento específico.

b) Equipos de intercambio de temperatura

En la primera fase del proceso se retiran manualmente las piezas sueltas del interior del frigorífico, como las bandejas de vidrio, cables y cajones, así como la goma que sella la puerta.

En la segunda fase se extraen la mezcla de aceite y gas del circuito de refrigeración y el compresor, se separa el aceite del gas, y se desmonta el compresor, todo ello se destina a valorización con gestores autorizados.

Los equipos que contengan espumas aislantes continúan su tratamiento mediante una trituración en atmósfera inerte, en la que se extraen los gases contenidos en la espuma aislante y se separan también otras fracciones como el plástico o los metales. Posteriormente, los gases refrigerantes extraídos se valorizan o eliminan por gestores autorizados.

c) Lámparas de descarga (fluorescentes y otras)

Esta categoría incluye lámparas compactas (bajo consumo), tubos fluorescentes, los cuales son clasificados antes de ser introducidos en un sistema de rotura que permite separar los diferentes elementos que los componen, vidrio, casquillos y polvos fluorescentes.

El proceso se realiza en una sala cerrada en continua renovación de aire y en condiciones que eviten la emisión de polvo. El sistema de tratamiento para el aire empleado en el proceso cuenta con filtros de mangas y filtros de carbón activo que permiten la descontaminación del aire previamente a su liberación al exterior de la nave.

d) Resto

El resto de categorías contenidas en el anexo III de la Directiva 2012/19, y especialmente 5. Pequeños aparatos y 6. Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños, deberá someterse a un tratamiento para retirar los fluidos y los componentes y sustancias

indicadas en el anexo VII de dicha Directiva. Una vez retirados los componentes y sustancias del anexo VII, la fracción resultante se trata mediante moliendas y separaciones hasta obtener diferentes fracciones férricas, no férricas y plásticas que son destinadas a procesos específicos de recuperación de distintos metales y plásticos.

5) Almacenamiento de residuos procedentes del tratamiento y otras fracciones resultantes.

En todos los procesos de tratamiento anteriormente descritos se extraen residuos que se envasan en recipientes adecuados y se almacenan en las zonas designadas.

6) Otros procesos: clasificación de pilas

Tras la recepción, se retiran los impropios, y clasifican para separar los diferentes tipos de pilas peligrosas (botón, plomo, níquel-cadmio, etc.) y no peligrosas (alcalinas). Una vez clasificadas se almacenan hasta ser enviadas a gestores específicos.

#### **IV.1.7. Vertederos**

A continuación se detallan los procesos de explotación de “vertederos tipo” para residuos peligrosos y para residuos industriales no peligrosos en el ámbito del presente análisis de riesgos.

Estas actividades de eliminación de residuos mediante depósito en vertedero están reguladas por el Real Decreto 1481/2001, modificado en sus anexos I, II y III por la Orden AAA/661/2013, donde se determinan sus características, correcta gestión y explotación, y los criterios y los procedimientos para la aceptación de residuos.

Este Real Decreto establece los requisitos generales para la protección del suelo y de las aguas, mediante la disposición de una barrera mineral y de un revestimiento impermeable artificial bajo la masa de residuos. También se indica que el vertedero debe contar con medidas para evitar que las aguas superficiales o subterráneas entren en el vaso de vertido, recoger las aguas contaminadas y lixiviadas, y tratarlas, bien directamente bien por envío a gestor.

Se diferencian tres partes principales:

1) Control de admisión del residuo.

Antes de acoger el residuo se recibe una muestra enviada por el productor del residuo, que se analiza en el laboratorio de la instalación para determinar si es posible aceptar el residuo, en este momento se emite un documento de aceptación. Una vez comprobado, se comunica la aceptación (en caso de que corresponda) y el productor envía el residuo a la instalación. Cuando se produce la entrada de la mercancía en la instalación, se comprueba que efectivamente puede admitirse. En caso de que el residuo no se pueda admitir, se devuelve al productor. La admisión del residuo se controla mediante una serie de parámetros, el código LER y mediante criterios de lixiviación —su potencialidad de liberación máxima está acotada—.

Al llegar los camiones se hace una comprobación visual del residuo, se pesa y se le asigna la zona de deposición.

## 2) Disposición de los residuos en el vaso de vertido

El propio camión del productor deposita los residuos en la zona asignada dentro del vaso del vertedero, siendo esta operación supervisada en todo momento por el personal de la instalación. Antes de depositar el residuo se toma una muestra del mismo y se envía a laboratorio.

## 3) Confinamiento de los residuos

Posteriormente los residuos se cubren intentando minimizar la posible generación de lixiviados mediante: encapsulado, estabilizado, hormigonado, etc. En este sentido, resulta un aspecto clave la evitación de reacciones entre los residuos. Por tanto, un factor a tomar en cuenta a la hora de depositar los residuos son las incompatibilidades entre sustancias (existe la posibilidad de que se produzcan reacciones exotérmicas, pudiendo generar un riesgo de incendio).

### **IV.1.8. Tratamientos mecánicos de valorización**

Estos tratamientos tratan, según los casos, de descontaminar residuos y acondicionarlos para su reciclaje o para su valorización energética.

A continuación se describe el tratamiento de envases para su reutilización o reciclaje y el caso de acondicionamiento de residuos sólidos con poder calorífico con destino a valorización.

#### **A. Tratamiento de envases**

Estos envases tienen la condición de residuo peligroso por haber contenido sustancias o residuos peligrosos según la definición de residuo peligroso de la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados.

En función del tipo de envase y de su estado se somete a uno de los siguientes tratamientos:

- Preparación para la reutilización de envases: los envases de tipo industrial (GRG y bidones) se lavan para retirar los restos de residuos adheridos a las paredes. Posteriormente los envases se acondicionan y reparan (abolladuras, pintura, cierres, jaulas y palets de GRG). Las operaciones realizadas son: análisis, descarga, almacenamiento, lavado de envases, acondicionamiento y reparación de envases.
- Reciclaje: los envases plásticos o metálicos que no han superado un proceso de reacondicionamiento debido a su estado, se destinan a reciclaje. Estos envases se trituran, lavan, y en el caso de plástico la fracción resultante se clasifica por tipos para su valorización material. Las operaciones realizadas son: análisis, descarga, almacenamiento, trituración, lavado, clasificación, almacenamiento de plástico limpio y clasificado.



En ambos casos el proceso, bien sea de reacondicionamiento bien de descontaminación, se realizará en instalaciones autorizadas para estas operaciones, en las que se decidirá el proceso a seguir, y el destino de la valorización material final.

La depuración de aguas en los dos casos anteriores se puede realizar en la propia instalación o derivarse a un gestor autorizado. En caso de tratarse en la instalación se realizaría como se indica en el apartado correspondiente a la exposición de tratamientos físico-químicos.

### **B. Preparación residuos sólidos para valorización energética**

Este tratamiento somete los residuos sólidos y pastosos con poder calorífico a un tratamiento mecánico para ajustarlo a las necesidades de la instalación de destino. Estas necesidades se refieren a granulometría, poder calorífico, y otras cuestiones relativas al contenido en determinados contaminantes, por ejemplo cloro.

Las operaciones realizadas son: análisis, descarga, almacenamiento, trituración y mezcla, y carga.

Trituración: En esta operación se trituran residuos sólidos para reducir su tamaño, pastosos no volteables y pequeños envases de residuos. El material triturado se mezcla con otros residuos, antes de pasar a la operación de mezclado.

Riesgos durante la trituración: incendio/explosión. Para minimizar estos riesgos, el triturador puede estar inertizado, así mismo, puede contar con precámaras inertizadas, revisión y segregación de pequeños envases, y supervisión por el operario de la sala de control.

Proceso de mezcla: La operación de mezcla consiste en la impregnación de una mezcla compuesta por residuos sólidos y pastosos con sustancias con capacidad de impregnación, por ejemplo serrín. El producto resultante pasa posteriormente por una fase de afinado, obteniendo varias fracciones en función de la granulometría.

Riesgos durante la mezcla: incendio y explosión. Para minimizar este riesgo, la mezcladora debe estar inertizada y asegurar una concentración de oxígeno mínima, controlándose ésta con un analizador.

## **IV.2.VARIABILIDAD DE AGENTES CAUSANTES DE DAÑO Y DE MEDIOS RECEPTORES QUE, EN SU CASO, PUDIERAN VERSE AFECTADOS**

El sector al que se dirige la presente GM maneja una amplia variedad de agentes potencialmente causantes de daño. Si bien, los mismos pueden clasificarse en dos grandes grupos: agentes químicos e incendios.

#### **IV.2.1. Agentes de tipo químico y medios receptores**

Estos agentes se definen en la normativa como aquéllos que pueden causar daños debido a que su concentración en el medio supere un determinado umbral de toxicidad —referido a una sustancia y a un receptor concreto—.

Dada la naturaleza de las actividades desarrolladas por los operadores, a nivel sectorial existe un amplio número de agentes químicos diferentes. Esto es, básicamente el sector se dedica a la recepción de residuos —generalmente mezclas de sustancias— y a su tratamiento —mediante diferentes procesos— con el fin de lograr un objetivo determinado —reutilización, valorización, deposición en vertedero, etc.—.

Los agentes implicados son función directa de los residuos que se estén recepcionando y procesando, lo que hace que las sustancias químicas sean en gran medida específicas de cada tipo de instalación e incluso de cada operador económico.

Esta situación ha conducido a que en la presente GM se adopte un enfoque generalista en la consideración de los agentes de tipo químico, empleando categorías relativamente amplias en lugar de identificar sustancias, mezclas o compuestos químicos concretos.

Por lo tanto, los operadores que se basen en la Guía deberán especificar con un nivel de detalle adecuado las sustancias químicas existentes en su instalación y, siempre que sea posible, recopilar o elaborar unas fichas de caracterización en las que se recojan las principales propiedades de cada agente —nombre, formulación, características físico-químicas, aspectos toxicológicos, etc.—.

En cuanto a los posibles receptores del daño hipotéticamente causado por este tipo de agentes, indicar que se prevé una afección potencial sobre cualquiera de los recursos cubiertos por la LRM. Si bien, deberá ser cada operador quien finalmente determine cuáles de los mismos se verían afectados atendiendo a los resultados del proceso de cuantificación de daños establecido en el RD 2090/2008. De esta forma, a priori, deberían estudiarse los posibles efectos sobre el suelo, el agua, las especies silvestres, los hábitats y la ribera del mar y de las rías.

#### **IV.2.2. Agentes de tipo incendio y medios receptores**

Los incendios se consideran un agente causante de daño en el ámbito de la Ley 26/2007 siempre que los mismos afecten a alguno de los recursos naturales cubiertos por esta normativa. Si bien, adicionalmente, debería considerarse el agua o los medios de extinción como un posible agente dado que podrían arrastrar sustancias contaminantes, produciendo un daño de tipo químico. De esta forma, un incendio podría causar efectos tanto por sí mismo como por los medios que se liberen durante su extinción. En caso de que se produzca un incendio, probablemente los principales receptores del daño serían la vegetación —ya que actuaría como combustible— y las especies —bien por afección directa o bien por afección indirecta al verse disminuida la cantidad y calidad de sus hábitats—. No obstante, el incendio puede llevar aparejado además daños relevantes sobre el suelo —destacando

los procesos erosivos que pueden ocurrir en ausencia de vegetación— y sobre las aguas —arrastre de cenizas, deposición de suelo, etc.—.

En resumen, el incendio como agente causante de daño podría afectar al conjunto de recursos cubiertos por la Ley 26/2007, si bien debe indicarse que algunos modelos de valoración de daños —como el Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA)<sup>2</sup>— plantean la reparación de daños por incendio en el marco de la Ley 26/2007 como la reparación de la vegetación y de las especies, asumiendo que la reparación de éstos conllevaría la reparación del resto de recursos afectados.

## V. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y DE LOS FACTORES DETERMINANTES DEL RIESGO

Como ya se ha explicado previamente en este informe, los miembros del sector se encargan de la gestión y el tratamiento de una amplia variedad de residuos —aceites usados, policlorobifenilos (PCB), disolventes, aparatos eléctricos, etc.—. Los tipos de instalaciones incluidas dentro del análisis de riesgos se han unificado en ocho grupos principales:

- a) Centros de transferencia de residuos peligrosos (CTR)
- b) Instalaciones de tratamiento físico-químico
- c) Instalaciones de regeneración de aceites
- d) Instalaciones de destilación de disolventes
- e) Instalaciones de tratamiento de residuos con policlorobifenilos (PCB)
- f) Instalaciones de tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)
- g) Vertederos
- h) Tratamientos mecánicos de valorización

Con objeto de simplificar la herramienta y facilitar el empleo de la GM se ha realizado una nueva agrupación de los tipos de instalaciones de cara a identificar los elementos en los que se sustenta el análisis de riesgos. Para ello, se han realizado visitas a las instalaciones con la finalidad de estimar qué procesos productivos son más similares y, por tanto, son susceptibles de pertenecer a un mismo grupo. A través de dichas visitas y teniendo en cuenta la opinión de los miembros del sector, se han establecido finalmente cuatro grupos relativamente homogéneos para cada uno de los cuales se ha elaborado un listado de elementos que se propone considerar en los análisis de riesgos individuales. Los grupos propuestos son los siguientes:

- a) Genérico.

---

<sup>2</sup> Este modelo se ha elaborado en el seno de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales (CTPRDM), encontrándose disponible de forma gratuita en la página web del MAGRAMA.

Engloba cinco tipos de instalaciones que, debido a que comparten ciertas características comunes —zonales, de proceso, de manejo de sustancias, etc.—, se ha considerado que pueden analizarse de manera conjunta puesto que podrían generar el mismo tipo de riesgos. Las instalaciones agrupadas son los CTR, las de tratamiento físico-químico, las de regeneración de aceites, las de destilación de disolventes y los tratamientos mecánicos de valorización.

b) Instalaciones de tratamiento de residuos con policlorobifenilos (PCB).

Se analizan de manera independiente puesto que, debido tanto a la especificidad de la sustancia tratada —altamente contaminante— como de los equipos necesarios para tratarla, no es posible asemejar este tipo de operadores al resto de instalaciones.

c) Instalaciones de tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Como sucede en las instalaciones de tratamiento de residuos con PCB, el tipo de residuos que se reciben en las plantas de tratamiento de RAEE, requieren unas líneas de proceso que no pueden homogeneizarse con el resto de instalaciones de la asociación.

d) Vertederos.

Las infraestructuras dedicadas al depósito definitivo de residuos no pueden asemejarse en ningún caso al resto de instalaciones del sector ya que tanto el proceso que se lleva a cabo en ellas, como la propia instalación en sí, hacen que los vertederos deban analizarse de forma individualizada.

En el ámbito del presente estudio se identifican las variables y los factores determinantes del riesgo medioambiental con los elementos que condicionan dichos riesgos, y que se introducen en el análisis mediante los árboles de sucesos. Concretamente, se detallan dentro de este apartado los siguientes elementos, que pueden ser consultados conjuntamente en el Anejo I:

- 1) Los elementos o fuentes de peligro que pueden llevar un riesgo asociado en cada zona
- 2) Las causas, que unidas a dicha fuente de peligro, pueden ocasionar un suceso iniciador
- 3) Los sucesos iniciadores que podrían desembocar en un escenario accidental
- 4) Los factores condicionantes del suceso iniciador que determinan la gravedad del escenario accidental generado

## **V.1. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE PELIGRO**

Las fuentes de peligro están asociadas a cada una de las zonas en las que se divide una instalación y constituyen el origen de los escenarios accidentales.

A continuación se presenta un listado con los elementos de peligro asociados a cada una de las zonas para los cuatro grupos de instalaciones tipo: genérico, tratamiento de residuos con PCB, tratamiento de RAEE y vertederos.

### A. Instalaciones de tipo genérico

Carga y descarga de mercancías
Descarga de camiones cisterna con sustancias/residuos líquidos no inflamables
Carga de camiones cisterna con sustancias/residuos líquidos no inflamables
Descarga de sustancias/residuos líquidos inflamables desde camión cisterna
Carga de sustancias/residuos inflamables a camión cisterna
Descarga de GRG/bidones con sustancias/residuos no inflamables
Carga de GRG/bidones con sustancias/residuos no inflamables
Descarga de GRG/bidones con sustancias/residuos inflamables
Carga de GRG/bidones con sustancias/residuos inflamables
Descarga de residuos sólidos a granel
Carga de residuos sólidos a granel

Almacenamiento
Almacenamiento de elementos sólidos no inflamables en el exterior
Almacenamiento de elementos sólidos inflamables en el exterior
Depósito aéreo de sustancias/residuos no inflamables sin tráfico
Depósito aéreo de sustancias/residuos no inflamables con tráfico
Depósitos aéreo con sustancias/residuos inflamables sin tráfico
Depósito aéreo de sustancias/residuos inflamables con tráfico
Depósito de sustancias/residuos no inflamables subterráneo
Depósito de sustancias/residuos líquidos inflamables subterráneo
Almacenamiento de GRG/bidones con sustancias/residuos no inflamables
Almacenamiento de GRG/bidones con sustancias/residuos inflamables
Proceso
Tanque de mezclado de sustancias/residuos no inflamables
Tanque de mezclado de sustancias/residuos inflamables
Torres de deshidratación
Equipos de vaporización
Destilación
Reactor
Sección de acabado con tierras
Trituración de envases y bidones
Lavado de envases y bidones
Manipulación de sustancias/residuos corrosivos (Baterías de Pb y otras pilas y baterías)
Zona de prensado de residuos
Balsa de residuos pastosos no inflamables
Balsa de residuos pastosos inflamables
Trituración de residuos inflamables
Separación de fases
Evaporadores
Tratamiento biológico

Sistemas de válvulas y tuberías	
Red de válvulas y tuberías aéreas de gas inflamable con tráfico	
Red de válvulas y tuberías aéreas de gas inflamable sin tráfico	
Red de válvulas y tuberías subterráneas de gas inflamable	
Red de válvulas y tuberías aéreas de sustancias/residuos líquidos inflamables con tráfico	
Red de válvulas y tuberías aéreas de sustancias/residuos líquidos inflamables sin tráfico	
Red de válvulas y tuberías subterráneas de sustancias/residuos líquidos inflamables	
Red de válvulas y tuberías subterráneas de sustancias/residuos líquidas no inflamables	
Red de válvulas y tuberías aéreas de sustancias/residuos líquidas no inflamables con tráfico	
Red de válvulas y tuberías aéreas de sustancias/residuos líquidas no inflamables sin tráfico	
Instalaciones auxiliares	
Sistema de almacenamiento de pluviales	
Red de drenaje y arquetas	
Caldera / horno	
Transformador	
Planta de tratamiento previa al vertido	

**Tabla 2.** Fuentes de peligro en instalaciones de tipo genérico. Fuente: Elaboración propia.

## B. Instalaciones de tratamiento de PCB

Tratamiento de residuos no contaminados con PCB	
Carga y descarga de mercancías	Descarga de aceite sin PCB desde camión
	Carga de aceite sin PCB en camión
Almacenamiento	Depósitos aéreos de aceite sin PCB
Sistema de tuberías	Red de válvulas y tuberías aéreas de aceite sin PCB
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de aceite sin PCB
Tratamiento de residuos con baja concentración de PCB	
Carga y descarga de mercancías	Descarga de aceite con PCB desde camión
	Carga de aceite sin PCB en camión
Almacenamiento	Depósitos aéreos de aceite con PCB
	Recipientes de sodio metálico
	Depósitos aéreos de aceite mineral sin PCB
Proceso	Reactor de mezcla de dispersión de sodio con aceite con PCB
Sistema de tuberías	Red de válvulas y tuberías aéreas de aceite con PCB
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de aceite con PCB
	Red de válvulas y tuberías aéreas de aceite sin PCB
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de aceite sin PCB
Tratamiento de residuos con alta concentración de PCB	
Carga y descarga de mercancías	Descarga de aceites con PCB desde camión
	Carga de PCB líquido en camión para incinerar
	Carga de PCB sólido en camión para incinerar
	Descarga de gasoil
	Descarga de disolvente
Almacenamiento	Depósitos aéreos de aceite con PCB
	Acopio de elementos sólidos porosos con PCB
	Depósito aéreo de disolvente

	Depósito subterráneo de disolvente
	Depósito aéreo de disolvente con PCB
	Depósito aéreo de gasoil
	Depósito subterráneo de gasoil
Proceso	Unidades de descontaminación de aceites con alta concentración de PCB
Calderas	Caldera de gasoil
Sistema de tuberías	Red de válvulas y tuberías aéreas de disolvente
	Red de válvulas y tuberías aéreas de disolvente con PCB
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de disolvente
	Red de válvulas y tuberías aéreas de aceite con PCB
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de aceite con PCB
	Red de válvulas y tuberías aéreas de gasoil
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de gasoil
<b>Procesos auxiliares</b>	
Sistema de almacenamiento de pluviales	Sistema de almacenamiento de pluviales
Planta de tratamiento previa al vertido	Planta de tratamiento de aguas de escorrentía
	Planta de tratamiento de aguas de aseo del personal
Transformador	Transformador eléctrico
Red de drenaje y arquetas	Red de drenaje y arquetas

**Tabla 3.** Fuentes de peligro en instalaciones de tratamiento de PCB. Fuente: Elaboración propia.

### C. Instalaciones de tratamiento de RAEE

<b>Almacenamiento</b>	
Almacenamiento de aparatos eléctricos y electrónicos para su tratamiento	
Almacenamiento de piezas de aparatos eléctricos y electrónicos	
Depósito de aceite nuevo y usado	
Depósito aéreo de combustible	
Almacenamiento a granel de fracciones metálicas resultantes de tratamientos mecánicos	
Almacenamiento de GRG/bidones con residuos peligrosos	
Depósito de gas inflamable	
<b>Carga y descarga de mercancías</b>	
Descarga de gasoil desde camión cisterna	
Carga de camiones con aceites usados/emulsiones aceitosas/lodos	
Descarga de GRG/bidones con residuos sólidos susceptibles de liberar sustancias/residuos peligrosos	
Carga de GRG/bidones con residuos sólidos susceptibles de liberar sustancias/residuos peligrosos	
<b>Zona de circulación de medios de transporte</b>	
Circulación de carretillas y medios de transporte	
<b>Proceso</b>	
Tratamiento de equipos con tubos de rayos catódicos (CRT)	
Línea de pequeños aparatos eléctricos y electrónicos (líneas gris y marrón)	
Línea de tratamiento de lámparas	
Línea de tratamiento de grandes electrodomésticos (línea blanca)	
Línea de pilas	
Línea de baterías	
Tratamiento de TFT	

Instalaciones auxiliares
Red de drenaje y arquetas
Transformador

**Tabla 4.** Fuentes de peligro en instalaciones de tratamiento de RAEE. Fuente: Elaboración propia.

#### D. Vertederos

Vaso de vertido
Depósito de residuos en el vaso de vertido
Sistemas de retención de líquidos
Sistema de retención de lixiviados

**Tabla 5.** Fuentes de peligro en vertederos. Fuente: Elaboración propia.

## V.2. IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS DE ACCIDENTE

A continuación se detalla la descripción de las diferentes causas identificadas en las instalaciones del sector que, unidas a las fuentes de peligro, podrían desencadenar un suceso iniciador. Las causas identificadas son comunes para los cuatro grupos principales de instalaciones.

### 1) Ausencia de revisiones y controles

La no realización de las revisiones y controles pertinentes a los elementos de las instalaciones —maquinaria, depósitos, tanques, red de tuberías, etc.— puede producir un funcionamiento deficiente de los mismos, desencadenando un accidente con consecuencias para el medio ambiente. Por lo tanto, una correcta revisión y control de los equipos conllevará una menor probabilidad de accidente.

### 2) Avería en filtros de carbono

Esta causa se encuentra ligada únicamente a aquellas instalaciones en las que sea necesario un filtrado previo de las emisiones a la atmósfera debido a su contenido en partículas tóxicas. Una avería en los filtros de carbono puede provocar la emisión de estas partículas tóxicas produciendo un daño en los recursos naturales por su deposición sobre los mismos.

### 3) Carencia de cerramiento lateral

La ausencia de paredes o cerramientos laterales en una instalación lleva aparejada la posibilidad de que se produzcan accidentes asociados al arrastre por viento o lluvia de sustancias contaminantes con el consecuente riesgo de afección a los recursos naturales.

### 4) Carencia de cubierta

La ausencia de techado o cubierta en una instalación lleva aparejada la posibilidad de que se produzcan accidentes asociados al arrastre de sustancias contaminantes (sólidas o líquidas) por viento o lluvia, pudiendo afectarse de forma negativa a los recursos naturales.

### 5) Defectos constructivos



Los defectos constructivos están asociados a los vertederos. En éstos, un defecto en la construcción puede favorecer el derrumbe del dique o talud del vertedero produciendo una emisión de residuos al medio.

6) Desgaste/Corrosión

El deterioro de los materiales de los que están compuestos los tanques, depósitos, cisternas, etc. por desgaste o corrosión puede ocasionar una fuga de la sustancia contaminante contenida en los mismos y su contacto con el medioambiente.

7) Emisión de polvo

En aquellas instalaciones en las cuales se tratan o aparecen residuos peligrosos en forma pulverulenta (vertederos, RAEE, etc.) puede producirse una emisión de los mismos al medio —si actúan determinados factores ambientales como el viento—, originando un daño en los recursos naturales en los que se depositen.

8) Error humano

El error humano está relacionado con cualquier accidente que pueda desencadenarse como resultado de un fallo del personal encargado de la operación.

En ciertas instalaciones en las que se manejan sustancias diversas —vertederos, centros de transferencia de residuos, etc.— se consideran incluidos en la tipología “error humano” los accidentes provocados por la proximidad de sustancias incompatibles que puedan interaccionar dando lugar a reacciones exotérmicas.

9) Estado del cerramiento lateral

El estado deficiente del cerramiento lateral puede ocasionar que se produzcan accidentes asociados al vertido o al arrastre de sustancias contaminantes (sólidas o líquidas) por viento o lluvia a los recursos naturales.

10) Estado de la cubierta

El estado de la cubierta de una instalación puede hacer que se produzcan daños asociados al arrastre de sustancias contaminantes por viento o lluvia.

11) Fallo del equipo

Una deficiencia en el funcionamiento de un equipo puede ocasionar múltiples escenarios accidentales. A modo de ejemplo, se pueden citar: la rotura de una válvula de un depósito de sustancias líquidas que originaría un vertido de la sustancia, o un cortocircuito en un equipo eléctrico que podría originar un incendio.

12) Foco de ignición

La presencia en las instalaciones de uno o varios focos de ignición puede ocasionar que se desencadene un incendio en presencia de un combustible y un comburente. En concreto, los focos de ignición pueden ser de cuatro tipos:

- i) Focos eléctricos: Cortocircuitos, arco eléctrico, cargas estáticas, etc.
- ii) Focos químicos: Reacciones exotérmicas, sustancias reactivas o sustancias auto-oxidables.
- iii) Focos térmicos: Soldadura, chispas de combustión, superficies calientes, etc.
- iv) Focos mecánicos: Chispas de herramientas o fricciones mecánicas.

13) Lluvia

En aquellas instalaciones que no se encuentren correctamente aisladas del exterior, la lluvia podría entrar en contacto con sustancias contaminantes arrastrándolas y generando un vertido de agua contaminada o un lixiviado de sustancias contaminantes.

14) Lluvia intensa

Para aquellas instalaciones que disponen de balsas, piscinas o depósitos de acumulación de pluviales/lixivios al aire libre, en caso de que se produzcan lluvias de mucha intensidad en la zona puede desencadenarse la superación de la capacidad de almacenamiento de dichos sistemas con el consecuente riesgo para los recursos naturales.

15) Proximidad de sustancia combustible

La existencia de sustancias combustibles —incluidos gases— en zonas próximas a posibles focos de ignición —ya sean térmicos, eléctricos, mecánicos o químicos— y en presencia de un comburente —como el aire—, puede provocar la generación y propagación de un incendio.

16) Rotura de impermeabilización

La rotura de la impermeabilización de las superficies en las instalaciones puede desembocar en daños al suelo al entrar en contacto ciertas sustancias contaminantes con la superficie del terreno.

17) Rotura por impacto

La colisión entre un vehículo y los diferentes sistemas de almacenamiento y/o tuberías de la instalación o el impacto de un recipiente contra el suelo pueden provocar la rotura de los mismos produciéndose una liberación del agente que contienen.

18) Viento

Como sucede con la lluvia, en aquellas instalaciones que no se encuentren totalmente aisladas del exterior, podría producirse un arrastre de polvo de sustancias contaminantes debido a la acción del viento y una posterior deposición sobre los recursos naturales.

**V.3. IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS INICIADORES**

Los sucesos iniciadores son uno de los elementos clave de los árboles en los que se apoyan los análisis de riesgos. Éstos pueden entenderse como “los agentes causantes de daño que aparecen en lugares donde no deberían estar atendiendo al funcionamiento normal de la instalación”.

A continuación se presenta el listado completo de sucesos iniciadores identificados para cada una de las instalaciones a las cuales se encuentra dirigido el presente análisis de riesgos, su vinculación con los restantes elementos identificados en la GM puede consultarse en el Anejo I.

**A. Instalaciones de tipo genérico**

Sucesos iniciadores en instalaciones de tipo genérico
Fuga/Derrame/Vertido de electrolito
Fuga/Derrame/Vertido de líquidos tratados inadecuadamente
Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados
Fuga/Derrame/Vertido de pluviales contaminadas
Fuga/Derrame/Vertido de residuos líquidos acuosos
Fuga/Derrame/Vertido de residuos pastosos inflamables
Fuga/Derrame/Vertido de residuos pastosos no inflamables
Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos
Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidas no inflamables
Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables
Fuga/Derrame/Vertido de sustancias obtenidas/reactivos/residuos
Incendio/explosión - Agua / Espuma de extinción de incendios
Rebose de pluviales contaminadas

Rebose de residuos pastosos inflamables
Rebose de residuos pastosos no inflamables
Vertido de residuos sólidos / Arrastre con agua de lluvia

**Tabla 6.** Sucesos iniciadores en instalaciones de tipo genérico. Fuente: Elaboración propia.

**B. Instalaciones de tratamiento de PCB**

Sucesos iniciadores en instalaciones de tratamiento de PCB
Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB mezclado con sodio
Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB
Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB
Fuga/Derrame/Vertido de agua tratada deficientemente
Fuga/Derrame/Vertido de combustible
Fuga/Derrame/Vertido de disolvente
Fuga/Derrame/Vertido de disolvente con PCB
Fuga/Derrame/Vertido de PCB líquidos
Fuga/Derrame/Vertido de pluviales contaminadas
Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos
Incendio/explosión - Agente de extinción de incendios
Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios
Rebose de pluviales contaminadas
Vertido de PCB sólido/Arrastre con agua de lluvia

**Tabla 7.** Sucesos iniciadores en instalaciones de tratamiento de PCB. Fuente: Elaboración propia.

**C. Instalaciones de tratamiento de RAEE**

Sucesos iniciadores en instalaciones de tratamiento de RAEE
Arrastre de polvo con agua de lluvia
Emisión de polvo
Fuga/Derrame/Vertido de aceite
Fuga/Derrame/Vertido de ácidos
Fuga/Derrame/Vertido de gasoil
Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados
Fuga/Derrame/Vertido de residuos peligrosos
Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos
Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables
Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables
Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios
Liberación de sustancias/residuos contaminantes

**Tabla 8.** Sucesos iniciadores en instalaciones de tratamiento de RAEE. Fuente: Elaboración propia.

**D. Vertederos**

Sucesos iniciadores en vertederos
-----------------------------------

Arrastre de partículas de residuos por agua de lluvia
Deslizamiento de residuos por lluvia
Emisión de partículas de residuos
Emisión de residuos sólidos
Fuga/Vertido de lixiviados
Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios
Rebose de lixiviados
Vertido de lixiviados

**Tabla 9.** Sucesos iniciadores en vertederos. Fuente: Elaboración propia.

#### **V.4. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CONDICIONANTES**

A continuación se detalla la descripción de los factores que pueden condicionar el desarrollo de los sucesos iniciadores identificados en las instalaciones del sector. Una vez que se produce un suceso iniciador, la existencia de ciertos elementos puede hacer que el daño ambiental se minimice o se agrave. Como sucedía con las causas, se han considerado de forma conjunta para los cuatro grupos principales de instalaciones —en caso de que un determinado factor se aplique a un determinado tipo de instalación, esta circunstancia se indica en su correspondiente definición—.

##### 1) Arrastre con agua de lluvia

En aquellos casos en los que el suceso iniciador origine la fuga, derrame o vertido de una sustancia contaminante, el agua de lluvia puede actuar aumentando el volumen de vertido, propiciando de esta manera que aumente la cantidad de recurso afectado por el daño.

##### 2) Cobertura periódica de los residuos

En los vertederos, una vez dispuestos los residuos sobre el vaso de vertido, éstos se cubren con el objetivo de minimizar la posible generación de daños mediante: encapsulado, estabilizado, hormigonado, etc.

De esta forma, evitando que los residuos puedan entrar en contacto con el agua de lluvia o el aire, se reduce la posibilidad de que se produzcan daños al medioambiente por lixiviados o arrastre de polvo de residuos.

##### 3) Detección temprana de incendio

Cuando el suceso iniciador del daño es un incendio o una explosión, uno de los factores determinantes que va a condicionar la magnitud del daño es la existencia de sistemas de detección temprana de incendios.

Dichos sistemas, que pueden ser tanto automáticos como manuales, determinarán la detección de incendio facilitando su extinción y minimizando su propagación.

##### 4) Gestión de agua

La gestión de agua hace referencia a la disponibilidad en la instalación de sistemas que contribuyan a la correcta gestión de las aguas y otros líquidos.

Estos sistemas engloban tanto a las redes de drenaje como los sistemas de recolección de pluviales y lixiviados.

En el caso de los vertederos, al tratarse generalmente de instalaciones al aire libre, suele existir una red de drenaje exterior o red perimetral de seguridad.

El correcto funcionamiento de estos elementos contribuirá en gran medida a la evitación o minimización del daño medioambiental.



#### 5) Lluvia

Cuando un suceso iniciador implica que una sustancia contaminante de tipo sólido entre en contacto con algún recurso natural, la lluvia puede ocasionar que se generen lixiviados de dicho residuo los cuales aumenten el daño medioambiental. En este caso la lluvia no origina el suceso iniciador si no que únicamente condiciona su desarrollo.

#### 6) Medidas de contención

La extensión de los derrames o vertidos de sustancias químicas que se produzcan en las instalaciones estará fuertemente condicionada por la existencia de medidas de contención (cubetos, materiales absorbentes y adsorbentes, etc.).

En caso de que el depósito que sufra la fuga disponga de un cubeto de seguridad este actuará conteniendo el vertido y evitando que entre en contacto con los recursos.

Por otro lado se emplean diferentes procedimientos de absorción y neutralización en función de los productos químicos que puedan liberarse en la instalación.

Algunos ejemplos de absorbentes eficaces son: carbón activo, vermiculita, sepiolita, tierra de diatomeas, etc.

#### 7) Medidas de detección

En una instalación se pueden aplicar diferentes medidas de detección de vertidos. Existen medidas de detección automáticas —como puede ser una alarma de nivel— y manuales —presencia de personal de forma continuada en las distintas zonas—.

Estas medidas pueden impedir que se produzcan ciertos sucesos iniciadores o permitir que estos se contengan antes de que se produzca un daño ambiental.

#### 8) Medidas de extinción

Estas medidas hacen referencia a los sistemas de extinción de incendios presentes en una instalación que pueden ayudar a la extinción del incendio impidiendo que este se extienda a los recursos naturales.

Los tipos principales de agentes extintores son: agua (puede emplearse mediante un sistema de rociadores, hidrantes, mangueras, etc.), dióxido de carbono (extintores), polvos químicos secos (extintores móviles) y espumas (cañones de espumógeno). En función de las sustancias químicas que se manejen en cada instalación serán más idóneos un tipo de sistemas u otros.

#### 9) Pavimento

La ausencia de pavimento en alguna zona de la instalación así como el mal estado del mismo —presencia de fisuras o grietas— pueden hacer que el pavimento no actúe como barrera



impermeable frente a vertidos, fugas o derrames permitiendo que las sustancias contaminantes vertidas puedan entrar en contacto con el recurso suelo.

#### 10) Perfil constructivo del vertedero. Capas geosintéticas y minerales de refuerzo

En la construcción de un vertedero pueden añadirse materiales impermeables que impidan que los lixiviados entren en contacto con los recursos naturales también en las proximidades del vaso de vertido.

En caso de que se produzcan corrimientos en los residuos y estos salgan fuera del vaso de vertido o se produzca un rebose de las balsas de lixiviados o pluviales, la impermeabilización de refuerzo en estas zonas puede evitar que se produzcan daños a los recursos.

#### 11) Retención adicional

La retención adicional hace referencia a un tipo concreto de sistemas de gestión de aguas y líquidos.

Principalmente en los vertederos, suelen existir balsas o piscinas de retención adicionales a la principal para minimizar el riesgo de que se supere la capacidad de almacenamiento de ésta, lo cual desencadenaría el rebose de la misma y, por tanto, un vertido a los recursos naturales. Los sistemas de retención adicionales minimizarían el riesgo de estos vertidos.

#### 12) Revestimiento del vaso

En los vertederos es necesario cubrir el vaso de vertido con un material impermeable antes de depositar desechos en su interior. Esta impermeabilización se consigue tanto con revestimientos bituminosos (por ejemplo alquitrán), como por medio de materiales sintéticos (por ejemplo polietileno de alta densidad), que se disponen sobre el fondo y las paredes de los vasos. También se deben considerar las capas impermeables naturales que existan en la zona de construcción del vertedero.

Cuanta mayor protección y mayor número —o espesor— de capas (naturales o sintéticas), menor será el riesgo de producir un daño.

#### 13) Sistema de tratamiento previo al vertido

Si la instalación cuenta con un sistema de tratamiento de efluentes propio previo al vertido, éste disminuirá la probabilidad de que se produzca un vertido de sustancias contaminantes al medio natural.

Estos sistemas de depuración deberán estar adaptados a los contaminantes que se generen en las instalaciones, pudiendo llevar a cabo procesos de descontaminación muy diversos: tratamientos biológicos, mecánicos, físico-químicos, etc.

## **VI. DIRECTRICES A SEGUIR PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL SEGÚN LAS ACTIVIDADES E INSTALACIONES DEL SECTOR EN RELACIÓN CON EL MEDIO RECEPTOR AFECTADO Y PARA EL CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA**

En el presente capítulo se ofrecen una serie de directrices y protocolos útiles de cara a la elaboración de los análisis de riesgos individuales por parte de los operadores económicos a los cuales se dirige la GM. En concreto, se incluye información sobre los siguientes aspectos:

### **a) Asignación de la probabilidad de ocurrencia a cada escenario accidental**

Este apartado tiene como fin asistir a los operadores en el procedimiento de imputación de probabilidades a cada uno de los elementos identificados en el análisis de riesgos. Esto es, los procedimientos recopilados pretenden servir como guía para la asignación de frecuencias a los sucesos iniciadores, a los factores condicionantes y, por composición de ambas, a los escenarios accidentales.

### **b) Determinación del daño medioambiental**

La estimación de la extensión, la intensidad y la escala temporal del daño medioambiental hipotéticamente causado debe realizarse obligatoriamente para uno de los escenarios accidentales identificados por el operador. Con objeto de prestar asistencia en esta tarea, en la GM se proponen una serie de criterios y modelos de dispersión de contaminantes útiles para los accidentes medioambientales que más frecuentemente podrían darse en el sector.

### **c) Descripción de las medidas de reparación y de los criterios de equivalencia previstos en la Ley de Responsabilidad Medioambiental**

En la normativa de responsabilidad medioambiental se prevee la posibilidad de llevar a cabo diferentes medidas de reparación del daño en caso de ocurrencia de un accidente medioambiental. Si bien la descripción de estas medidas viene recogida en la legislación, se ha considerado oportuno realizar un tratamiento de la misma con objeto de hacerlas más fácilmente comprensibles y aplicables. De esta forma, en este apartado se exponen conceptos como la prevención y evitación del daño, la reparación primaria, compensatoria y complementaria, o las equivalencias de tipo recurso-recurso, servicio-servicio, valor-valor y valor-coste.

### **d) Valoración del daño medioambiental y cálculo de la garantía financiera obligatoria por responsabilidad medioambiental**

Probablemente uno de los aspectos que mayor interés despierta entre los operadores es la garantía financiera obligatoria por responsabilidad medioambiental que deben constituir determinadas actividades económicas. Con el fin de facilitar tanto el cálculo del valor económico total del daño

medioambiental —el cual incluye el coste de ejecutar las medidas de prevención, evitación y reparación—, como el importe de la garantía financiera —únicamente se fija con base en las medidas de prevención, evitación y reparación primaria—, se ha elaborado un apartado específico en el que se ofrece información útil para este proceso. En el mismo se proponen modelos de valoración concretos y se exponen las fases establecidas para calcular la correspondiente garantía financiera.

#### **e) Procedimiento propuesto para la elaboración de un análisis de riesgos individual**

En este apartado se propone un guión a los operadores que se basen en la presente GM para realizar sus análisis de riesgos individuales. Este esquema se ha elaborado utilizando como referencia la estructura establecida para los casos prácticos que deben incluir los Modelos de Informe de Riesgos Ambientales Tipo (MIRAT), conforme con el documento “Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental” —elaborado en el seno de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales—.

### **VI.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS PARA LA ASIGNACIÓN DE PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DENTRO DE LOS ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES**

Entre las tareas necesarias para elaborar los análisis de riesgos medioambientales, la Norma UNE 150008 establece que deberá asignarse una probabilidad de ocurrencia a cada uno de los sucesos iniciadores identificados en el análisis.

Posteriormente, partiendo de la probabilidad de estos sucesos iniciadores, debe establecerse la probabilidad de cada escenario consecencial considerando los valores asignados a cada uno de los eventos o alternativas identificados en los árboles de sucesos.

La citada Norma UNE 150008 deja al criterio del analista la selección de la técnica en base a la cual definirá las probabilidades de ocurrencia; si bien, se indica que la misma debe seleccionarse atendiendo a la complejidad de los árboles de fallos y a la información disponible, debiendo responder en todo caso a los requerimientos de fiabilidad necesarios para satisfacer el objeto y el alcance del análisis.

La determinación de la probabilidad de ocurrencia se puede expresar tanto en valores cuantitativos como semicuantitativos, posibilitando de esta forma su posterior tratamiento numérico de cara a obtener el riesgo asociado a la instalación —el riesgo se define como la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia por la magnitud de las consecuencias—.

En el presente apartado se describen dos de los principales métodos empleados actualmente con el fin de estimar la probabilidad de ocurrencia dentro de los análisis de riesgos medioambientales. El primer método se basa en la elaboración de escalas semicuantitativas en la línea de las propuestas recogidas en el Anexo F de la Norma UNE 150008. Por otra parte, el segundo método emplea valores de probabilidad de ocurrencia recogidos bien en la bibliografía, bien en los registros históricos de las instalaciones.

### VI.1.1. Método de asignación de probabilidades empleando escalas semicuantitativas

Los métodos semicuantitativos consisten en la elaboración de una o varias escalas en las cuales la probabilidad se categoriza de forma ordinal, empleando para ello denominaciones del tipo “alto, medio, bajo” o descripciones más detalladas.

A cada una de las categorías ordinales que se hayan diferenciado se les debe asignar un valor numérico que permita realizar las operaciones matemáticas necesarias para obtener el riesgo asociado a cada escenario accidental.

Con objeto de reducir la subjetividad del método es recomendable constituir un grupo de expertos que acuerde tanto la identificación de las escalas como la asignación de valores a cada categoría. En todo caso, esta metodología permite obtener unas escalas con un alto grado de adaptación al sector o instalación objeto de análisis.

A modo de ejemplo, en la tabla siguiente se recoge la asignación de valores de probabilidad semicuantitativos ofrecida en el Anexo F de la Norma UNE 150008, en la cual se distinguen 5 categorías.

Valores de la probabilidad		
Categoría	Rango	Puntuación
Muy probable	Mayor que 1 vez/mes	5
Altamente probable	1 vez/mes - 1 vez/año	4
Probable	1 vez/año - 1 vez/10 años	3
Posible	1 vez/10 años - 1 vez/50 años	2
Improbable	Menor que 1 vez/50 años	1

**Tabla 10.** Escala de probabilidad de ocurrencia empleada en el Anexo F de la Norma UNE 150008. Fuente: Norma UNE 150008.

#### VI.1.1.1. Referencias para su aplicación

Como referencias para la aplicación práctica de este método en el ámbito de los análisis de riesgos medioambientales puede acudir a las siguientes referencias:

- Ejemplo práctico de aplicación de la metodología a una PYME, recogido en el Anexo F de la Norma UNE 150008.
- Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental (en el ámbito del Real Decreto 1254/99 [Seveso II]), elaborada por la Dirección General de Protección Civil.
- Tabla de baremos: Para el sector de fabricación de pinturas y tintas de imprimir, realizado para la Asociación Española de Fabricantes de Pinturas y Tintas de Imprimir (ASEFAPI), publicada a través de internet.

- MIRAT: Para el sector de aceite de oliva y de oleaginosas, realizado para la Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas (FIAB), publicado a través de Internet.

### VI.1.1.2. Ejemplo ilustrativo

Con el fin de ilustrar esta metodología a continuación se ofrece un ejemplo simplificado.

En este ejemplo se supondrá que únicamente desea evaluarse la probabilidad de ocurrencia de un suceso iniciador —propondremos que éste sea un vertido— sujeto a un solo factor condicionante —supongamos que es la actuación efectiva de un cubeto de contención—.

En una primera fase el analista identificaría las causas que pueden provocar el vertido —se supondrán sólo dos causas: un error humano y un fallo en el equipo— y las razones que pueden desencadenarlos —en este ejemplo serán la experiencia del personal y la antigüedad del equipo—.

A continuación se diseñarían las escalas para cada uno de los estimadores de probabilidad con los valores numéricos fijados en el grupo de expertos. Tanto las escalas como los valores numéricos deberían establecerse con base en la experiencia previa de los participantes en el grupo y, siempre que sea posible, complementándola con la información recogida en los registros históricos de accidentes o en la bibliografía especializada con la que pueda contar el sector o la instalación.

En el presente ejemplo se supondrá que se diseñan las siguientes tablas, cada una con cuatro categorías diferenciadas a las que se les han asignado valores numéricos del 0,25 al 1, donde el 0,25 significa una baja probabilidad de ocurrencia prevista y el 1 una elevada probabilidad de ocurrencia.

Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia (Categorización)			
	0,25	0,50	0,75	1,00
Antigüedad de los equipos	Antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Antigüedad media superior a su vida útil

Tabla 11. Escala diseñada para el estimador de probabilidad del suceso iniciador “Antigüedad de los equipos”.

Fuente: Elaboración propia.

Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia (Categorización)			
	0,25	0,50	0,75	1,00
Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 2 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 2 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 6 meses a 1 año de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 6 meses de experiencia en la operación

Tabla 12. Escala diseñada para el estimador de probabilidad del suceso iniciador “Experiencia de los empleados a cargo de la operación”. Fuente: Elaboración propia.

Si bien técnicamente cada uno de los estimadores y cada una de las categorías que se diferencien pueden recibir una puntuación específica, es usual que —en ausencia de información detallada— se utilicen las mismas escalas para el conjunto de los estimadores, y una progresión lineal en los valores numéricos de cada categoría.

La probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador puede requerir que se dé alguna de las siguientes situaciones:

- Que ocurran varias causas a la vez. En este caso se trataría de sucesos iniciadores desencadenados por causas del tipo “Y” o intersección —para que ocurra el suceso deben acontecer simultáneamente las causas que se identifiquen—. En los estudios de análisis de riesgos esta circunstancia suele evaluarse mediante la multiplicación de la probabilidad de cada una de las causas

$$prob\_SI = prob(causa_1) \cap \dots \cap prob(causa_n) = \prod_{i=1}^n prob\_causa_i$$

Donde:

$prob\_SI$ , es la probabilidad de ocurrencia estimada para el suceso iniciador

$prob\_causa_i$ , es la probabilidad de ocurrencia de cada una de las causas del suceso iniciador

- Que ocurra al menos una de las causas identificadas en un conjunto de posibles causas. En este caso se trataría de causas del tipo “O” o unión —esto es, debe acontecer al menos una de las causas que se identifiquen—. Esta circunstancia puede evaluarse considerando los operadores unión e intersección.

A modo de ejemplo, si se desea estimar la probabilidad de que se dé al menos una causa de un total de dos causas independientes, se aplicaría la siguiente expresión:

$$prob\_SI = prob(causa_1) + prob(causa_2) - prob(causa_1 \cap causa_2)$$

Donde:

$prob\_SI$ , es la probabilidad de ocurrencia estimada para el suceso iniciador

$prob(causa_1)$ , es la probabilidad de ocurrencia de la causa 1

$prob(causa_2)$ , es la probabilidad de ocurrencia de la causa 2

$prob(causa_1 \cap causa_2)$ , es la probabilidad de ocurrencia conjunta de ambas causas

Alternativamente, otra posibilidad para considerar este tipo de sucesos siguiendo el método semicuantitativo consiste en sumar la puntuación asignada a cada una de las posibles causas y dividir la misma entre el valor máximo que se podría haber obtenido si cada una de las causas tuviera la máxima puntuación.

En el caso del presente ejemplo, si se asume que el suceso iniciador requeriría para su ocurrencia que falle tanto el equipo como el personal a su cargo, y se asigna una puntuación al estimador “Antigüedad de los equipos” de 0,5 y al estimador “Experiencia de los empleados a cargo de la operación” de 0,75, la probabilidad asignada al sucesos iniciador sería de 0,375.

Una vez se ha asignado la probabilidad del suceso iniciador restaría considerar los factores condicionantes con el fin de obtener la probabilidad de los escenarios consecuenciales.

Los factores condicionantes aparecen identificados a lo largo de un árbol denominado “árbol de consecuencias”, en el cual se recoge cada uno de los posibles eventos que pueden condicionar la evolución del suceso iniciador.

Estos factores suelen dar lugar a que ocurran dos tipos de circunstancias: que el factor tenga lugar (o éxito) y que el factor no tenga lugar. Por lo tanto, cada rama del árbol se divide secuencialmente en otras ramas —generalmente dos, como se ha indicado— hasta que desemboca finalmente en los escenarios accidentales.

Siguiendo con el ejemplo, se había supuesto que únicamente se encontraba implicado un factor condicionante, por lo tanto el árbol de sucesos podría seguir el esquema representado en el gráfico siguiente.

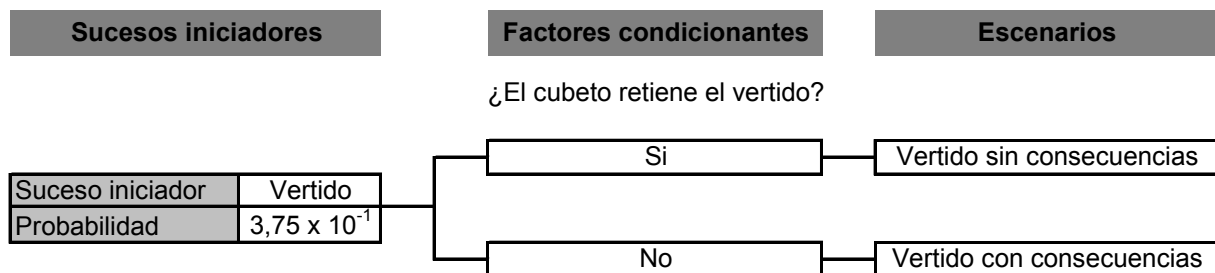


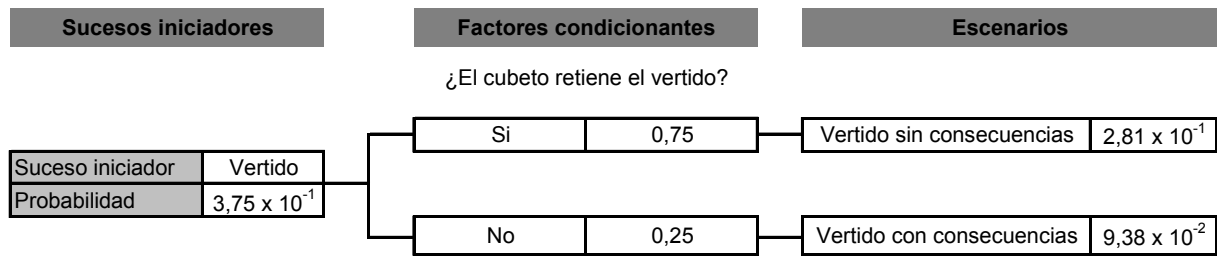
Figura 3. Ejemplo de árbol de sucesos. Fuente: Elaboración propia.

La estimación de la probabilidad de ocurrencia de cada factor condicionante se realizaría de forma similar al proceso expuesto para los sucesos iniciadores —se diseñarían las escalas con sus categorías, y se asignaría una puntuación vinculada con la probabilidad—.

Dado que en el árbol de sucesos los eventos se encuentran concatenados, la puerta lógica que procede aplicar es del tipo “Y”. Esto es, para que se produzca un vertido con consecuencias sobre el entorno, primero debe producirse el propio vertido —suceso iniciador— y, posteriormente, deben fallar los sistemas de contención —factores condicionantes—.

Con objeto de simplificar el ejemplo, supondremos que la probabilidad de que el cubeto de contención funcione satisfactoriamente sigue la misma escala que la indicada en la Tabla 11, y que dicho cubeto tiene una antigüedad inferior al 33% de su vida útil, correspondiéndole por lo tanto una puntuación de fallo de 0,25.

Bajo estos supuestos, el árbol de sucesos —en el cual ya se incluirían las probabilidades de ocurrencia—, sería el recogido en la siguiente figura.



**Figura 4.** Ejemplo de árbol de sucesos, asignación de probabilidades semicuantitativas. Fuente: Elaboración propia.

De esta forma se obtendría como resultado la probabilidad de ocurrencia de cada escenario consecucional expresada en términos numéricos. Posteriormente el analista emplearía estos datos como referencia para calcular el riesgo asociado a los escenarios con consecuencias medioambientales, mediante la multiplicación de la probabilidad estimada por la magnitud de los daños previstos —establecida con base en el protocolo de cuantificación de daños—.

### VI.1.2. Método de asignación de probabilidades empleando valores cuantitativos

Los métodos de asignación de probabilidades cuantitativos se fundamentan en las bases de datos de tasas de fallos; bien en las publicadas en las diferentes fuentes bibliográficas —de carácter genérico—, bien en las que puedan existir en cada sector empresarial o en cada operador —las cuales presentan un enfoque más específico que las anteriores—.

La tasa de fallo es la frecuencia con la que se espera que ocurra un determinado evento, y suele referirse a un periodo temporal de un año.

En la aplicación de este tipo de métodos a los análisis de riesgos medioambientales resulta especialmente útil construir una base de datos con las tasas de fallos correspondientes a cada uno de los elementos identificados en el análisis. En caso de que no se disponga de una referencia previa para alguno de los elementos, el analista debería asignar aquella que considere similar o bien establecer un valor específico para dicho elemento.

Una muestra de estas tablas o bases de datos en las que se recopilan tasas de fallo puede encontrarse en la “Guía técnica de métodos cuantitativos para el análisis de riesgos”, publicada por la Dirección General de Protección Civil.

Recopilación de tasas de fallo	
Descripción	Valor (año <sup>-1</sup> )
Diseño inadecuado	$10^{-7}$
Construcción inadecuada	$10^{-6}$
Error operativo	$10^{-4}$
Impacto de vehículo	$10^{-8}$
Defecto mecánico	$10^{-7}$
Fuego externo	$10^{-9}$
No efectuar revisiones periódicas	$1,6 \cdot 10^{-5}$



**Tabla 13.** Muestra de recopilación de diferentes valores de probabilidad cuantitativos. Fuente: Elaboración propia a partir de “Guía Técnica. Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos. Dirección General de Protección Civil”.

#### **VI.1.2.1. Referencias para su aplicación**

En la actualidad existen múltiples referencias bibliográficas en las que se ofrecen datos de tasas de fallo aplicables a los análisis de riesgos industriales y medioambientales, si bien la mayoría de las mismas se centran en el ámbito internacional. En los estudios sectoriales elaborados por la Federación Asturiana de Empresarios (FADE) a través de ECOPYME —“Estudios de la planificación y gestión del riesgo ambiental en empresas de Asturias”—, disponibles a través de Internet, puede encontrarse un catálogo detallado de posibles referencias.

### A. Purple Book

Posiblemente, la referencia más citada de cara a la determinación de la probabilidad cuantitativa en los análisis de riesgos medioambientales sea el denominado “Purple book” promovido por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente de Holanda (*Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu* o VROM).

A modo de ejemplo, en las siguientes tablas se ofrecen algunas de las probabilidades de ocurrencia recogidas en el *Purple Book*.

- Tasas de fallo para depósitos

En el *Purple Book* se ofrecen tasas de fallo considerando tres posibles tipos de fuga: instantánea, continua en 10 minutos y continua a través de un poro de 10 mm de diámetro.

En cuanto a los tipos de depósitos para los que se ofrecen datos, se diferencia entre depósitos que se encuentran a presión superior a la atmosférica (más de 1 bar) y depósitos que trabajan a presión atmosférica. Para el primer tipo se distinguen probabilidades específicas para los depósitos de proceso y los reactores. Mientras, para el segundo tipo se publican datos para tanques simples, tanques con cubierta exterior de protección, tanques con doble cubierta y tanques subterráneos. Asimismo, se consideran las probabilidades de una emisión a la atmósfera y de una emisión a un recipiente secundario.

A modo de ejemplo, la siguiente tabla muestra los valores recogidos en el *Purple Book* para los depósitos que se encuentran a una presión superior a la atmosférica —las restantes tablas correspondientes a los depósitos a presión atmosférica pueden consultarse en publicación—.

Recopilación de tasas de fallo	
Descripción	Valor (año <sup>-1</sup> )
<b>Depósito genérico a presión</b>	
- Fuga instantánea	$5 \cdot 10^{-7}$
- Fuga continua en 10 minutos	$5 \cdot 10^{-7}$
- Fuga continua en un poro de 10 mm	$10^{-5}$
<b>Depósito de proceso</b>	
- Fuga instantánea	$5 \cdot 10^{-6}$
- Fuga continua en 10 minutos	$5 \cdot 10^{-6}$
- Fuga continua en un poro de 10 mm	$10^{-4}$
<b>Reactor</b>	
- Fuga instantánea	$5 \cdot 10^{-6}$
- Fuga continua en 10 minutos	$5 \cdot 10^{-6}$
- Fuga continua en un poro de 10 mm	$10^{-4}$

**Tabla 14.** Recopilación de diferentes valores de probabilidad cuantitativos para depósitos a presión. Fuente: Elaboración propia a partir de *Purple Book*, VROM, (2005).

- Tasas de fallo para tuberías

En el caso de las tuberías, en el *Purple Book* se diferencian dos tipos de fallos: rotura completa y fugas.

Recopilación de tasas de fallo		
Descripción	Valor ( $m^{-1} \text{ año}^{-1}$ )	
	Rotura completa	Fuga
Tubería con diámetro <75 mm	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Tubería con diámetro entre 75 y 150 mm	$3 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Tubería con diámetro superior a 150 mm	$10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$

**Tabla 15.** Recopilación de diferentes valores de probabilidad cuantitativos para tuberías. Fuente: Elaboración propia a partir de *Purple Book*, VROM, (2005).

- Tasas de fallo para bombas

Al igual que en el caso de las tuberías se diferencian dos posibilidades de vertido en función de su magnitud: fallo catastrófico y fuga.

Recopilación de tasas de fallo		
Descripción	Valor ( $\text{año}^{-1}$ )	
	Fallo catastrófico	Fuga
Bombas simples	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Bombas con contención de acero	$5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Bombas recubiertas	$10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$

**Tabla 16.** Recopilación de diferentes valores de probabilidad cuantitativos para bombas. Fuente: Elaboración propia a partir de *Purple Book*, VROM, (2005).

- Tasas de fallo para intercambiadores de calor

Los sucesos recogidos en el *Purple Book* para los intercambiadores de calor se refieren a una liberación completa e instantánea de la sustancia, una fuga de toda la capacidad en 10 minutos con flujo constante, una fuga continua a través de un poro de 10 mm, una rotura completa de diez tuberías, una rotura completa de una tubería, y una fuga a través de un poro del 10% del diámetro (con un máximo de 50 mm).

Por otra parte, en las bases de datos también se diferencia en función de la peligrosidad de la sustancia existente en el interior y el exterior de las tuberías y de la presión existente en el equipo.

- Tasas de fallo para dispositivos y válvulas de alivio de presión

En la bibliografía se propone una tasa de fallo para estos equipos de  $2 \cdot 10^{-5}$  fallos al año.

- Tasas de fallo para almacenes

Se considera tanto el manejo de embalajes como la posibilidad de un incendio en los almacenes. En el caso del trasiego de mercancías los valores figuran por unidad manejada en la instalación.

Recopilación de tasas de fallo			
Descripción	Valor (año <sup>-1</sup> )		
	Emisión de polvo	Vertido de líquido	Incendio
Almacenamiento	10 <sup>-5</sup> por unidad manejada	10 <sup>-5</sup> por unidad manejada	Entre 8,8·10 <sup>-4</sup> y 1,8·10 <sup>-4</sup>

**Tabla 17.** Recopilación de diferentes valores de probabilidad cuantitativos para almacenes. Fuente: Elaboración propia a partir de *Purple Book*, VROM, (2005).

- Tasas de fallo para equipos de transporte

Por último, en el *Purple Book* se ofrecen una serie de datos de probabilidad para fugas, vertidos y derrames desde depósitos situados sobre medios de transporte por carretera, tren y barco.

En este caso no se establece un valor para los impactos externos y los incendios, declarando los mismos como aspectos específicos de la instalación analizada.

### B. *Handbook Failure Frequencies 2009*

Este manual, promovido por el Gobierno de Flandes, incluye una recopilación de tasas de fallo más actual que la publicada en el *Purple Book*.

Los resultados publicados se fundamentan en un proyecto de actualización de datos realizado en 2007 denominado “*Actualisering van de faalkansen in de risicoberekening van Sevesobedrijven*”.

Como una importante ventaja adicional sobre el *Purple Book*, el manual permite su adaptación a circunstancias específicas, habilitando al analista para desviarse de los valores propuestos —considerados como estándares de referencia— bien incrementándolos o bien reduciéndolos en función de la instalación evaluada.

El incremento de las tasas de fallo ofrecidas por defecto no requeriría una justificación concreta por parte del analista, ya que el estudio se situaría en un nivel más conservador que el fijado en el informe —se asumiría que la probabilidad de fallo es superior a la genérica dada por defecto—.

Sin embargo, en caso de que el analista desee emplear en su estudio tasas de fallo inferiores a las genéricas, sí deberá suministrarse una justificación para cada caso.

Conforme con el *Handbook Failure Frequencies 2009*, las reducciones de probabilidad se deberían basar en la existencia de medidas adicionales o especiales de seguridad y prevención de riesgos en la instalación evaluada para cada una de las causas que se identifiquen —el catálogo de causas incluidas en la publicación se detalla en “*Appendix to handbook failure frequencies 2009 for drawing a safety report*”—.

En este sentido, se indica que la tasa de fallo reducida —una vez aplicadas las reducciones sobre cada causa— debe ser igual o superior al 10% de la correspondiente probabilidad genérica, es decir alcanzar una reducción máxima de un 90% sobre la tasa original.

En la tabla siguiente se recopilan los criterios de asignación de coeficientes de reducción a los cuales debe atenderse, éstos se fundamentan en la existencia de una política empresarial basada en la aplicación de medidas de seguridad, la aplicación de una determinada medida de seguridad, la aplicación de medidas de seguridad de forma repetida, y la eliminación completa de la posible causa de accidente. La probabilidad modificada sería el resultado de multiplicar la probabilidad genérica cuantitativa por los valores de la citada tabla en función de la gestión del riesgo que se haga en la instalación. En concreto, la reducción asociada a cada tipo de medida puede emplearse tantas veces como medidas de ese tipo sean aplicadas en la instalación —respetando la reducción máxima del 90% de la tasa original—.

Nº	Situación en la cual se aplicaría el coeficiente de reducción	Coeficiente de reducción
1	Organización o política basada en medidas de seguridad	0,10
2	Medida de seguridad técnica	0,05
3	Medida de seguridad técnica, implementada de forma repetida y monitorizada por un circuito de seguridad independiente del ordenador de proceso	0,01
4	Medida de seguridad que excluye alguna posible causa	0,00

**Tabla 18.** Coeficientes modificadores de las tasas de fallo para cada causa. Fuente: Elaboración propia a partir de *Handbook Failure Frequencies (Flemish Government, 2009)*.

A continuación se describen las potenciales fuentes de peligro para las cuales se ofrecen datos de tasas de fallos genéricas en esta publicación.

- Tasas de fallo para tanques a presión

En el manual se diferencia entre tanques de almacenamiento y tanques de proceso, y dentro de los primeros entre los que se encuentran enterrados y los que se encuentran por encima de la superficie.

En cuanto a los tipos de fuga, se contemplan cinco posibilidades: fuga pequeña —a través de un orificio de 10 mm—, fuga mediana —a través de un orificio de 25 mm—, fuga grande —a través de un orificio coincidente con la máxima conexión del depósito—, vaciado completo en 10 minutos, y rotura.

- Contenedores móviles a presión

En este caso se diferencia entre los depósitos con volumen igual o inferior a 150 litros y depósitos con volumen situado entre 150 y 1.000 litros. Así mismo, de nuevo se ofrece la posibilidad de considerar tanto una fuga a través de un poro como la rotura del depósito.

- Tanques a presión atmosférica

Es uno de los elementos para los que el manual ofrece una mayor variedad de posibilidades. En concreto, en un primer nivel se diferencia entre los tanques de almacenamiento y los tanques de proceso. Dentro de los primeros se discrimina en función de si el depósito es aéreo o subterráneo, y de si el mismo dispone de un segundo recubrimiento protector. En caso de disponer de este doble recubrimiento, el analista puede consultar los valores correspondientes a recubrimientos resistentes a explosiones, a bajas temperaturas y/o a emisiones de vapor.

Respecto a los tipos de fuga, se pueden obtener datos para fugas pequeñas, medianas y grandes, el vaciado completo en 10 minutos y la rotura del depósito.

Adicionalmente, otra serie de valores interesante es la relativa a la probabilidad de incendio en los tanques. Esta probabilidad es función de la inflamabilidad del líquido almacenado —se diferencian cuatro categorías con valores límite del punto de inflamación en 21°C, 55°C, 100°C y 250°C—, y de la existencia de un techo externo móvil o un techo externo fijo.

- Intercambiadores de calor (tuberías)

En el manual se consideran cuatro tipos de accidente: fuga pequeña a través de un poro de 10 mm, fuga mediana a través de un poro de 35 mm, fuga grande a través de un poro de 100 mm y rotura de la tubería.

- Intercambiadores de calor (placas)

En este caso el manual diferencia los equipos en función de la presión bajo la cual trabajan —menos de 5 bares, entre 5 y 8 bares, o presión superior a 8 bares—.

Los tipos de accidente que es posible analizar son los correspondientes a una pequeña fuga —diámetro del orificio de 10 mm—, a una fuga mediana —diámetro del orificio de 35 mm—, y a la rotura del equipo.

- Bombas y compresores

En las bombas centrífugas y en las bombas alternativas se contempla la existencia de una fuga por un poro con un diámetro equivalente al 10% de la máxima conexión del equipo. Adicionalmente, para las bombas alternativas y los compresores se ofrecen datos para el suceso de rotura del equipo.

En el caso de las bombas centrífugas se diferencia entre bombas con o sin juntas.

- Sistemas de tuberías

En las tuberías resulta determinante conocer si el tramo a evaluar discurre sobre la superficie o si por el contrario el mismo se encuentra enterrado.

Las tuberías superficiales pueden evaluarse a través de una fuga pequeña —equivalente al 10% del diámetro interno de la tubería—, una fuga mediana —equivalente al 15% del diámetro interno de la

tubería—, una fuga grande —equivalente al 36% del diámetro interno de la tubería— o la rotura completa de la tubería. En todos los supuestos la probabilidad es función de la longitud del tramo —debe ser al menos igual a 10 m— y del diámetro interno de la tubería.

Por otra parte, la probabilidad de rotura de las tuberías subterráneas se considera para poros de 10 mm de diámetro, para orificios cuyo tamaño es función del diámetro de la tubería, y para roturas completas del equipo; en todos estos supuestos debe introducirse la longitud del tramo analizado.

- Actividades de carga y descarga

El analista puede acudir al manual para determinar la probabilidad de fuga por rotura en los equipos de carga y descarga que se realizan con brazos, con mangueras o con mangueras para gases licuados del petróleo.

Los eventos considerados son la posible fuga a través de un poro de tamaño igual al 10% del diámetro del brazo o de la manguera —con un máximo de 50 mm—, y la posible rotura del equipo.

- Incendio en almacenes

De cara a la utilización de las probabilidades de incendio en la zona de almacenamiento debe tenerse en cuenta que las mismas se refieren a los denominados “compartimentos”; entendiéndose por tales aquellas zonas en las cuales el incendio podría quedar aislado, evitando su propagación durante un determinado periodo de tiempo gracias a la presencia de materiales ignífugos.

Para cada compartimento debe determinarse si existen o no medios automáticos de lucha contra incendios, ya que el valor de la probabilidad depende de este aspecto —en el manual se asume que un sistema es automático si tanto la detección como la activación no requieren de la intervención humana—.

- Unidades de embalaje

Las unidades de embalaje, en el ámbito del manual, son aquellas cuyo contenido no excede de 3 m<sup>3</sup> y que, adicionalmente, son aptas para el almacenamiento de líquidos o sólidos.

La probabilidad de que falle una unidad de embalaje es función de la finalidad de dicha unidad, pudiendo ser o bien el almacenamiento o bien el trasiego.

Como complemento a las tasas de fallo para una unidad de embalaje, en el documento se ofrece la probabilidad de accidente en el conjunto de las unidades contenidas en un palet. En este caso únicamente se considera el fallo en el trasiego no en el almacenamiento.

- Sistemas de evitación de daños

Una de las principales utilidades del manual dentro de los análisis de riesgos medioambientales puede encontrarse en el capítulo dedicado a las probabilidades de éxito de los sistemas de prevención y evitación de daños —denominados factores condicionantes en la terminología de la Norma UNE 150008—.

Sistema		Probabilidad de fallo	Tiempo de respuesta (s)
Sistemas de bloqueo	Automático	0,1-0,001	120
	Semiautomático	0,1-0,01	600
Válvulas de exceso de flujo	Caudal $\leq$ Valor fijado	1	5
	Valor fijado < Caudal $\leq$ 1,2 x Valor fijado	0,12	5
	Caudal > 1,2 x Valor fijado	0,06	5
Válvulas de no retorno	Testadas regularmente	0,06	5
Operarios en la actividad de carga y descarga		0,1	120

**Tabla 19.** Probabilidad de fallo y tiempos de respuesta para diferentes sistemas de prevención y evitación de daños. Fuente: Elaboración propia a partir de *Handbook Failure Frequencies (Flemish Government, 2009)*.

- Sistemas de bloqueo

En el ámbito del manual se entiende por sistema de bloqueo aquél destinado a aislar una parte de la instalación —o la instalación completa— ante una posible fuga —flujo o caudal de salida—. Este elemento debe componerse de un sistema de detección combinado con válvulas de cierre o de corte del flujo.

La inclusión de los sistemas de bloqueo en el estudio requiere que se cumplan dos condiciones: que el sistema de detección sea automático, y que el sistema de detección y de desconexión de válvulas se compruebe regularmente

- Válvulas de exceso de flujo

Se trata de un sistema que permite detener o ajustar un determinado caudal de salida si este supera un determinado nivel previamente fijado

- Válvulas de no retorno

Se trata de válvulas que sólo permiten que el líquido fluya en un sentido. Este tipo de sistemas únicamente podrían ser considerados si son testados y mantenidos regularmente

- Operarios en la actividad de carga y descarga

La inclusión de este elemento requiere que se den las siguientes circunstancias:

- i) Desde el principio hasta el final de la actividad el operario presente en el lugar tiene a la vista la carga y la manguera o el brazo. En particular, el operario no debe estar sentado en la cabina de la cisterna o el interior de un edificio durante la operación



- ii) La presencia en el lugar del operador está garantizada por el sistema de gestión de la seguridad y se comprueba durante las inspecciones
- iii) La activación de la parada de emergencia por el operario se describe a través de un procedimiento
- iv) El operario presente en el sitio está adecuadamente capacitado y también está familiarizado con los procedimientos aplicables
- v) La parada de emergencia se posiciona de acuerdo con las normas aplicables, de manera que se puede activar de forma rápida independientemente de la dirección del flujo de salida

En el caso de las medidas de contención pasivas —sistemas automáticos que existen en la zona previamente a la ocurrencia del accidente, como construcciones de contención, cortafuegos, etc.— el manual recomienda una probabilidad nula de fallo y un tiempo de respuesta de cero segundos.

No obstante, según se indica en el propio informe, debería tenerse en consideración que la efectividad de estos sistemas puede depender directamente de las características del escenario contemplado. En concreto, cobrarían especial relevancia el tipo de fuga y el volumen liberado.

Por último, indicar que el manual —en su apartado correspondiente a otros sistemas de evitación— propone adoptar una tasa de fallo genérica para este tipo de sistemas de 0,1 por actuación.

**C. Failure rate Event Data for use within Risk Assessments**

Este documento, elaborado por el Instituto de Seguridad y Salud de Reino Unido (*Health Service Executive – HSE*), recoge las probabilidades de fallo de distintos elementos presentes en la industria.

En concreto, divide los tipos de tasas de fallo en tres grupos: eventos —relacionados con fenómenos naturales tales como terremotos, desbordamientos, etc.—; errores humanos y fallos de elementos —los cuales pueden ser de tipo eléctrico, mecánico, de transporte o de elementos móviles—.

TASAS DE FALLO Y EVENTOS					
Eventos	Tasas de fallo				Error Humano
	Mecánico* (1)	Eléctrico	Transporte a granel* (2)	Almacenamiento móvil* (3)	

\*(1), (2) y (3) desagregados en las siguientes tablas del documento.

**Tabla 20.** Tipos principales de tasas de fallo y eventos. Fuente: Elaboración propia a partir de *Failure rate Event Data for use within Risk Assessments* (2012).

Para cada uno de los elementos identificados dentro del esquema anterior (consultar las tablas siguientes) el documento determina las tasas de fallo que considera más adecuadas dentro de las existentes en la bibliografía, indicando para cada una de ellas los criterios de uso y las cautelas. Además, incluye una tabla resumen para cada uno de estos elementos que recoge todas las fuentes bibliográficas recopiladas así como el año de cada uno de los datos consultados.

Tasas de fallo					
Fallos mecánicos					
Depósitos				Componentes	Tuberías
A temperatura y presión atmosféricas	Refrigerados	A presión	Reactores químicos		
Depósitos grandes (>450 m <sup>3</sup> )	Depósitos de gas natural licuado	Depósitos de cloro	Reactores químicos	Válvulas	Tuberías
Tanques pequeños y medianos (>450 m <sup>3</sup> )	Depósitos de oxígeno líquido	Depósitos de gases licuados del petróleo		Bombas	
Depósitos no metálicos/Plásticos		Depósitos esféricos		Mangas y acoplamientos	
			Bridas y juntas		

**Tabla 21.** Disponibilidad de datos de tasas de fallo para fallos mecánicos. Fuente: Elaboración propia a partir de *Failure rate Event Data for use within Risk Assessments* (2012).

Tasas de fallo		
Transporte a granel		
Por tubería	En cisterna	Barcos
Tuberías enterradas	Cisternas ISO	Buques de carga
Tuberías en superficie	Camiones cisterna	
	Camiones cisterna para gases licuados del petróleo	Entregas incompatibles
Compresores	Vagones cisterna	

**Tabla 22.** Disponibilidad de datos de tasas de fallo para transportes a granel. Fuente: Elaboración propia a partir de *Failure rate Event Data for use within Risk Assessments* (2012).

Tasas de fallo
Almacenamiento móvil
Contenedores
Bidones
Bidones 210 litros
Cilindros
GRG (gran recipiente a granel)
Recipientes pequeños

**Tabla 23.** Tasas de fallo para almacenamientos móviles. Fuente: Elaboración propia a partir de *Failure rate Event Data for use within Risk Assessments* (2012).

#### D. Guía Técnica de Métodos Cuantitativos para el Análisis de Riesgos

La Dirección General de Protección Civil ha publicado la Guía Técnica de Métodos Cuantitativos para el Análisis de Riesgos, en la cual se recopilan una serie de tasas de fallo útiles para los análisis de

riesgos. Entre los datos ofrecidos pueden destacarse las probabilidades de fallo por diseño inadecuado, construcción inadecuada, error operativo y error en las revisiones.

### VI.1.2.2. Ejemplo ilustrativo

Al igual que para el método de asignación de probabilidades semicuantitativas, en el presente apartado se desarrolla un supuesto práctico de asignación de valores cuantitativos con objeto de ilustrar esta metodología.

El ejemplo se fundamenta en los datos del *Handbook failure frequencies*. No obstante, en los análisis de riesgos suele resultar necesario recopilar información de varias fuentes bibliográficas.

En una primera fase el analista debería identificar los elementos del modelo a los cuales se requiere asignar una probabilidad de fallo (o de éxito).

Con el fin de simplificar el supuesto se asumirá que existe un único suceso iniciador, hipotéticamente causado en un tramo de tubería de 10 m de longitud. Siendo el diámetro de la tubería de 75 mm y el del poro de 7,5 mm.

En estas circunstancias, conforme con la bibliografía la probabilidad de rotura vendrá definida por la siguiente expresión:

$$2,8 \times 10^{-7} \times \frac{L}{D}$$

Donde:

*L*, es la longitud de la tubería en mm (10.000)

*D*, es el diámetro interno de la tubería en mm (75)

En este caso la probabilidad de rotura de la tubería, predefinida en la base de datos, sería de  $3,73 \times 10^{-5}$  año<sup>-1</sup>.

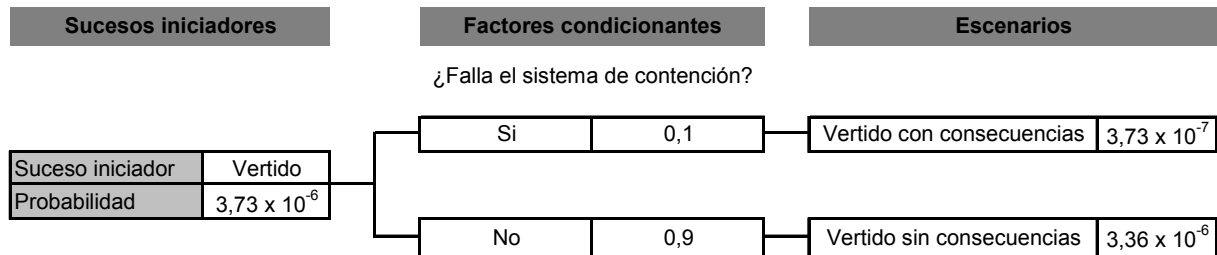
Esta probabilidad genérica podría verse reducida de forma justificada según se ha expuesto en los apartados precedentes aplicando un coeficiente reductor máximo de 0,9 (*Handbook Failure Frequencies 2009*). En el presente supuesto se asumirá que, efectivamente, en la instalación se puede justificar esta reducción de la probabilidad de fallo, situándose la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador en  $3,73 \times 10^{-6}$  año<sup>-1</sup>.

Valor tabulado	$2,8 \times 10^{-7}$
Longitud (mm)	10.000
Diámetro (mm)	75
Prob. Genérica	$3,73 \times 10^{-5}$
Prob. Específica	$3,73 \times 10^{-6}$

**Tabla 24.** Resumen del cálculo de la probabilidad específica. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los factores condicionantes, se asumirá que en el tramo evaluado se dispone de un sistema de bloqueo de vertidos. Siendo dicho sistema automático, con carácter conservador se asumirá una probabilidad de fallo del mismo de 0,1.

El árbol de sucesos a incluir en el análisis de riesgos medioambientales sería el recogido en la siguiente figura.



**Figura 5.** Ejemplo de árbol de sucesos, asignación de probabilidades cuantitativas. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en la aplicación del método de asignación de probabilidades semicuantitativo, el resultado final del proceso sería una estimación de la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental expresada en términos numéricos, si bien en este caso se encontraría basada en las correspondientes referencias bibliográficas en lugar de en las especificaciones establecidas por un panel de expertos.

### VI.1.3. Comparación de ambos métodos

En la siguiente tabla se ofrece a modo de resumen una comparativa entre el método de asignación de probabilidades cuantitativas y el método de asignación de probabilidades semicuantitativas. Ambos presentan diferentes ventajas e inconvenientes que deben analizarse previamente a la selección de uno de ellos.

Método cuantitativo	Método semicuantitativo
Su empleo requiere acudir a fuentes bibliográficas o a un registro histórico de accidentes considerado válido	Su empleo requiere constituir un grupo de expertos que establezca unos indicadores de la probabilidad
Se trata de un método más objetivo	Se trata de un método menos objetivo
El método ofrece menores opciones para la introducción de medidas de prevención y gestión del riesgo en el modelo	El método ofrece mayores opciones para la introducción de medidas de prevención y gestión del riesgo en el modelo
Generalmente existe una menor vinculación	Generalmente existe una mayor vinculación

Método cuantitativo	Método semicuantitativo
entre los datos empleados y la realidad de la instalación o del sector objeto de estudio (usualmente se emplean referencias bibliográficas internacionales): Valores genéricos para la industria o para el sector	entre los datos empleados y la realidad de la instalación o del sector objeto de estudio (usualmente los indicadores se determinan <i>ad hoc</i> por un panel de expertos):  Posibilidad de establecer índices específicos para el sector o para la instalación
Existe un mayor riesgo de obsolescencia de los datos, debiendo prestarse especial atención al año de publicación de las bases de datos que se deseen emplear	Existe un menor riesgo de obsolescencia de los datos ya que el panel de expertos puede establecer unos indicadores adaptados a la situación actual
Existe una mayor probabilidad de no encontrar datos específicos para alguno de los elementos identificados en el modelo (zonas, actividades, sucesos iniciadores, factores condicionantes, etc.)	Ofrecen la posibilidad de establecer indicadores específicos de la probabilidad de ocurrencia para cada elemento del modelo

**Tabla 25.** Resumen comparativo de los métodos de asignación de probabilidades. Fuente: Elaboración propia.

#### VI.1.4. Métodos de determinación de la probabilidad recomendados en el presente análisis de riesgos sectorial

Como se ha indicado, en el presente informe se proponen dos métodos diferentes para la asignación de probabilidades: uno cuantitativo y otro semicuantitativo; ambos se consideran válidos de cara a la presentación del análisis de riesgos ante la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales.

La circunstancia de que los métodos citados presenten ventajas e inconvenientes relevantes conduce a que en la Guía no se prime uno sobre otro, si no que se deje esta selección al criterio de cada operador concreto. A modo de ejemplo, determinados operadores que cuenten con un registro histórico de accidentes podrían decantarse por el método cuantitativo; mientras aquéllos que cuenten con una elevada experiencia de sus técnicos podrían seleccionar un método semicuantitativo.

En el caso de los métodos cuantitativos se ha realizado una extensa revisión bibliográfica de bases de datos, a partir de las cuales pueden extraerse determinadas tasas de fallo. Esta revisión incluye publicaciones como *Purple Book*, *Failure rate Event Data for use within Risk Assessments* y *Handbook Failure Frequencies*. No obstante es recomendable que, previamente a la utilización de

este tipo de probabilidades, el analista revise las referencias bibliográficas con el fin de conocer en detalle sus limitaciones.

Adicionalmente, se han elaborado dos anejos al presente informe en los que se ofrece un catálogo de indicadores que podrían adoptarse por los operadores con el fin de aplicar un método de asignación de probabilidades de tipo semicuantitativo. Este catálogo se ha elaborado bajo las siguientes premisas:

- Se han elaborado dos catálogos de indicadores: uno destinado a evaluar la probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores (Anejo II), y otro dedicado a la asignación de probabilidades a los factores condicionantes (Anejo III)
- La identificación de indicadores y la categorización de probabilidades se ha realizado a partir de visitas a los operadores, de los modelos de análisis de riesgos medioambientales disponibles en la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y de las aportaciones y experiencia previa de los socios del sector

Por último, merece la pena llamar la atención sobre el hecho de que, conforme con la normativa —artículo 33 del Real Decreto 2090/2008—, lo realmente importante es evaluar todos los escenarios identificados aplicando los mismos criterios de forma que éstos sean comparables entre sí.

La garantía financiera se calcula específicamente para cada instalación —no se comparan unas instalaciones con otras—; por lo tanto, el objetivo principal de la asignación de probabilidades debe ser que la clasificación de los escenarios siga un orden relativo de prioridad —los escenarios más probables deben recibir una mayor puntuación de probabilidad—, de tal forma que se determine aproximadamente qué escenarios son más probables en la instalación objeto de estudio y en que magnitud lo son respecto a los restantes escenarios que se hayan identificado.

Dicho de otra forma, el método de asignación de probabilidades debería considerarse únicamente como una herramienta accesoria para lograr el objetivo principal de imputar a cada escenario un valor de probabilidad comparable con el resto de escenarios.

#### **VI.1.5. Catálogo de indicadores de probabilidad de ocurrencia**

Con objeto de facilitar la tarea de asignación de probabilidades a los operadores económicos que seleccionen el método de estimación de tipo semicuantitativo, el presente informe se acompaña de dos anejos específicos en los cuales se ofrece un listado de posibles indicadores que pueden ser adoptados.

El Anejo II se centra en los indicadores de probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores, y el Anejo III en los indicadores de probabilidad de los factores condicionantes.

En este sentido, debe tenerse en cuenta que ambos anejos tienen fines orientativos, debiendo ser adaptados a las circunstancias concretas de la instalación que se esté evaluando. De esta forma,

podrían añadirse nuevos indicadores o modificar los que aquí se ofrecen con el fin de adecuar lo mejor posible el cálculo de la probabilidad a la realidad de la instalación.

## VI.2. PAUTAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL DAÑO MEDIOAMBIENTAL

El artículo 34 del Real Decreto 2090/2008 establece que los análisis de riesgos medioambientales individuales —elaborados siguiendo el esquema de la norma UNE 150008 u otras normas equivalentes—, deben incluir criterios —siempre con un grado de detalle adecuado al carácter hipotético del daño— con el fin de considerar la significatividad de los daños. En este sentido, se incluyen una serie de pautas y recomendaciones con objeto de facilitar a los operadores esta tarea.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que el citado artículo 34 obliga a incluir una caracterización del entorno donde se ubica la instalación, y una identificación de las medidas de reparación primaria que se preveen necesarias bajo las hipótesis establecidas en cada escenario accidental. Para este segundo requerimiento puede resultar de utilidad acudir al Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA), puesto a disposición pública a través de Internet por el MAGRAMA.

Las fases que deben cubrirse con el fin de analizar la significatividad de los posibles daños se encuentran especificadas en el artículo 7 del Real Decreto 2090/2008. Son las siguientes:

- a) Identificación del agente causante del daño, y de los recursos naturales y servicios afectados
- b) Cuantificación del daño
- c) Evaluación de la significatividad del daño

En todo caso, debe tenerse en consideración que, conforme con el artículo 2 de la LRM, únicamente tienen la consideración de daños medioambientales aquellos que se declaren significativos.

En cuanto al cálculo de la garantía financiera obligatoria prevista en la normativa, la redacción actual del Real Decreto 2090/2008 en su artículo 33 indica que con este fin el operador deberá cuantificar y monetizar el daño que se podría causar bajo las hipótesis establecidas en cada uno de los escenarios que haya identificado en su análisis de riesgos.

La complejidad técnica de esta tarea se ha aliviado con la propuesta de modificación del Real Decreto 2090/2008 que se encuentra en tramitación en la actualidad.

Efectivamente, el Proyecto de Real Decreto exige al operador de cuantificar la totalidad de sus escenarios centrándose tan solo en uno de ellos. Este escenario será aquel que tenga el Índice de Daño Medioambiental (IDM) más elevado de entre todos aquellos que aglutinen el 95% del riesgo total de la instalación. Siendo el riesgo de cada escenario, el resultado de multiplicar su probabilidad de ocurrencia por el valor del IDM.

El cálculo del IDM es notablemente más sencillo que los cálculos que se requieren para cuantificar los daños, ya que el mismo se fundamenta en una única función matemática en la cual deben introducirse una serie de parámetros de entrada relativamente sencillos.

En el presente informe, dada la relativa proximidad de la entrada en vigor de la modificación normativa, se ofrecen pautas tanto para la estimación del IDM como para la cuantificación del daño causado por el escenario accidental que resulte seleccionado de cara al establecimiento de la garantía financiera obligatoria.

### VI.2.1. Estimación de la magnitud de los daños previstos en los análisis de riesgos medioambientales empleando el IDM

El IDM es un índice relacionado con la magnitud de los potenciales daños medioambientales que podrían originarse bajo las hipótesis establecidas en cada escenario medioambiental. De esta forma, a mayores consecuencias previstas mayor será el valor del IDM.

Este índice se obtiene para cada escenario aplicando la siguiente ecuación:

$$IDM = \sum_{i=1}^n \left[ (Ecf + A \times Ecu \times (B \times \alpha \times Ec) + p \times M_{acc}^q + C \times Ecr) \times (1 + Ecc)_i \right] + (\beta \times Eca)$$

Donde:

*IDM*, es el Índice de Daños Medioambientales

*Ecf*, es el estimador del coste fijo del proyecto de reparación para la combinación agente causante de daño-recurso potencialmente afectado *i*

*A*, es el multiplicador del estimador del coste unitario del proyecto de reparación, siendo el resultado de multiplicar los valores de los modificadores que afectan a los costes unitarios ( $M_{Aj}$ ) para cada combinación agente-recurso *i*. Su fórmula es:

$$A = \prod_{j=1}^l M_{Aj}$$

*Ecu*, es el estimador del coste unitario del proyecto de reparación para la combinación agente-recurso *i*

*B*, es el multiplicador del estimador de cantidad, siendo el resultado de multiplicar los valores de los modificadores que afectan al estimador de cantidad ( $M_{Bj}$ ) para cada combinación agente-recurso *i*. Su fórmula es:

$$B = \prod_{j=1}^m M_{Bj}$$

$\alpha$ , representa la cantidad de agente involucrada en el daño



$E_c$ , representa la relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño para cada combinación agente-recurso  $i$

$p$ , es una constante que únicamente adquiere un valor distinto de cero para los daños al lecho marino o al lecho de las aguas continentales

$M_{acc}$ , es la cantidad de agente asociada al accidente, medida en toneladas, en el caso de daños al lecho marino o al lecho de las aguas continentales. En las restantes combinaciones agente-recurso este parámetro adquiere valor cero

$q$ , es una constante que adquiere valor 1 para todas las combinaciones agente-recurso, salvo para aquellas que implican daños al lecho marino o al lecho de las aguas continentales en las que adopta un valor específico

$C$ , es el multiplicador del estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación, siendo el resultado de multiplicar los valores de los modificadores que afectan al estimador del coste de revisión y control ( $M_{c_j}$ ) para cada combinación agente-recurso  $i$ . Su fórmula es:

$$C = \prod_{j=1}^m M_{c_j}$$

$E_{cr}$ , es el estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación para la combinación agente-recurso  $i$

$E_{cc}$ , es el estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación, expresado en tanto por uno, para la combinación agente-recurso  $i$

$i$ , hace referencia a cada una de las combinaciones agente-recurso  $i$  consideradas en la Tabla de combinaciones agente-recurso del IDM

$n$ , es el número total de combinaciones agente-recurso que el analista considere relevantes para el escenario que esté siendo evaluado

$\beta$ , representa la distancia (Dist) desde la zona a reparar a la vía de comunicación más cercana

Para la aplicación de la fórmula del IDM, es necesario conocer las combinaciones agente causante de daño-recurso natural afectado consideradas en el índice. Estas combinaciones se recopilan de forma simplificada en la siguiente Tabla —sombreadas en color gris—, habiéndose destacado en color gris oscuro aquellas combinaciones que pueden resultar más frecuentes en los miembros del sector.

		Recurso							
		Agua			Lecho continental y marino	Suelo	Riberas del mar y de las rías	Especies	
		Marina	Continental					Vegetales	Animales
			Superficial	Subterránea					
Agente causante de daño	Químico	COV halogenados							
		COV no halogenados							
		COSV halogenados							
		COSV no halogenados							
		Fueles y CONV							
		Sustancias inorgánicas							
		Explosivos							
	Físico	Extracción/Desaparición							
		Vertido de inertes							
		Temperatura							
	Incendio								
	Biológico	OMG							
		Especies exóticas invasoras							
		Virus y bacterias							
		Hongos e insectos							

COV, compuestos orgánicos volátiles (punto de ebullición <100°C)  
 COSV, compuestos orgánicos semivolátiles (punto de ebullición entre 100-325°C)  
 CONV, compuestos orgánicos no volátiles (punto de ebullición >325°C)  
 OMG, organismos modificados genéticamente

**Tabla 26.** Combinaciones agente causante del daño-recurso natural afectado consideradas en la ecuación del IDM. Fuente: Elaboración propia a partir de Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Reglamento de Desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre.

En la actualidad existe documentación detallada sobre el funcionamiento del IDM, en la cual se especifican las indicaciones necesarias para su correcto empleo —en particular, se recomienda la consulta del Proyecto de Real Decreto y su correspondiente Memoria Justificativa—. No obstante, en el este apartado se ofrecen una serie de pautas que pueden facilitar su utilización en el ámbito del presente análisis de riesgos.

### VI.2.1.1. Pautas para la selección de la combinación agente causante de daño-recurso natural afectado

La utilización del IDM parte de la identificación de la combinación agente-recurso que se considere más adecuada para el escenario que se esté evaluando.

En este sentido, probablemente la mayor complejidad puede encontrarse en la selección de los agentes causantes de daño.

Con objeto de facilitar la selección, en la Guía de Usuario de la Aplicación Informática MORA —disponible en la página web del MAGRAMA— se incluye un esquema con la clasificación de los diferentes agentes en función de sus características.

Agente causante de daño	El agente lleva asociado un umbral de toxicidad	El agente no es una sustancia explosiva	Agente orgánico	$P_E < 325\text{ }^\circ\text{C}$	$P_E < 100\text{ }^\circ\text{C}$	El agente contiene elementos halógenos	<b><i>Daños por COV halogenados</i></b>
						El agente no contiene elementos halógenos	<b><i>Daños por COV no halogenados</i></b>
					$P_E > 100\text{ }^\circ\text{C}$	El agente contiene elementos halógenos	<b><i>Daños por COSV halogenados</i></b>
						El agente no contiene elementos halógenos	<b><i>Daños por COSV no halogenados</i></b>
				$P_E > 325\text{ }^\circ\text{C}$	Fuel	<b><i>Daños por fueles</i></b>	
					Otras sustancias	<b><i>Daños por compuestos orgánicos no volátiles (CONV)</i></b>	
		Agente inorgánico	<b><i>Daños por sustancias inorgánicas</i></b>				
		El agente es una sustancia explosiva	<b><i>Daños por sustancias explosivas</i></b>				
	El agente no lleva asociado un umbral de toxicidad	Agentes físicos	<b><i>Daños por extracción o desaparición del recurso natural</i></b>				
			<b><i>Daños por vertido de inertes</i></b>				
<b><i>Daños por incremento de la temperatura</i></b>							
Incendio		<b><i>Daños por incendio</i></b>					
Agentes biológicos		<b><i>Daños por organismos modificados genéticamente</i></b>					
		<b><i>Daños por especies exóticas invasoras</i></b>					
		<b><i>Daños por virus y bacterias</i></b>					
	<b><i>Daños por hongos e insectos</i></b>						

**Tabla 27.** Esquema de asistencia para la selección del agente causante de daño. PE = Punto de ebullición.

Fuente: Guía de Usuario de la Aplicación Informática del Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental.

En caso de los agentes de tipo químico, es frecuente que los operadores económicos no manejen una sustancia pura que pueda clasificarse inequívocamente en alguna de las categorías especificadas en este esquema, siendo más usuales las mezclas de sustancias. En esta circunstancia no existe un criterio de actuación generalmente establecido, dejándose el criterio a seguir a juicio del analista.

Por lo tanto, en caso de que en la instalación aparezcan mezclas de sustancias podrían adoptarse diferentes posturas, aunque siempre de forma justificada. A continuación se enumeran algunas de las opciones tradicionalmente adoptadas en los análisis de riesgos:

a) Selección como referencia de una sustancia similar

Una primera opción sería seleccionar la sustancia considerada en el esquema del IDM que tenga una mayor similitud con la mezcla identificada en el análisis de riesgos. Para ello debería disponerse de información relativamente detallada de la mezcla, ya que la similitud entre sustancias debería basarse en propiedades como el comportamiento de la mezcla en caso de vertido, su toxicidad y/o el coste de reparación de los daños medioambientales que podría originar.



b) Selección como referencia de la sustancia más tóxica

Bajo este criterio se seleccionaría como referencia la sustancia de mayor toxicidad de entre todos los componentes de la mezcla, y se realizaría el análisis asumiendo que la totalidad de la mezcla tiene sus propiedades. Se trata por lo tanto de un enfoque conservador a la hora de evaluar los riesgos medioambientales.

c) Selección como referencia de la sustancia que podría causar unos daños medioambientales cuyo coste de reparación fuera más elevado

Consistiría en estimar el coste de reparación de los daños medioambientales que causaría la mezcla si la misma se considerara únicamente constituida por cada uno de sus componentes —esta simulación se realizaría, a modo de ejemplo, con el Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental—. A partir de los datos obtenidos se escogería como referencia la sustancia que causase unos daños de mayor magnitud, asumiéndose que la totalidad de la mezcla se compone únicamente de dicha sustancia. En este caso, de nuevo, se adopta un enfoque conservador a la hora de evaluar los riesgos medioambientales.

d) Selección como referencia de la sustancia tóxica que representa un mayor volumen en la mezcla

Por último, se podrían identificar los componentes tóxicos de la mezcla indicando la presencia relativa de cada uno de los mismos. Posteriormente, se seleccionaría como referencia exclusivamente la sustancia con mayor importancia relativa, asumiendo que la totalidad de la mezcla tiene sus mismas propiedades y comportamiento.

### VI.2.1.2. Pautas para la estimación del coeficiente Ecf

El coeficiente “Ecf” es el estimador de los costes fijos del proyecto de reparación de daños medioambientales. Se trata de un valor que aparece tabulado para cada una de las combinaciones agente-recurso, siendo su cumplimentación directa por parte del analista a partir de la consulta del Proyecto de Real Decreto.

### VI.2.1.3. Pautas para la estimación del coeficiente A

“A” es el multiplicador del estimador del coste unitario del proyecto de reparación, su valor se obtiene multiplicando una serie de parámetros que se encuentran definidos para cada combinación agente-recurso —si bien algunas combinaciones llevan asociado un valor neutro—.

En concreto, los parámetros a multiplicar hacen referencia a:

- La densidad de la vegetación que podría verse afectada por el daño. Este dato podría ser directamente evaluado mediante observación del territorio o bien ser consultado

en bases de datos preexistentes como el Inventario Forestal Nacional o el Mapa Forestal de España —ambos disponibles a través de la página web del MAGRAMA—

- La posibilidad de afección a un espacio natural protegido. La existencia de espacios naturales protegidos puede ser consultada a las Administraciones Autonómicas. Otra opción puede ser acudir a las bases de datos preexistentes, como la cartografía disponible en la página web del MAGRAMA
- La pedregosidad del suelo sobre el que se produciría el daño. Se trata de un dato que debe ser rellenado a partir de la observación directa de la transitabilidad y compactación del terreno donde se podría producir el daño
- La pendiente del terreno. Por último, la pendiente de nuevo es un dato que o bien puede ser medido sobre el terreno o bien puede ser cumplimentado consultando fuentes de información preexistentes. En este último caso, se podría acudir a un modelo digital del terreno

#### **VI.2.1.4. Pautas para la estimación del coeficiente Ecu**

El coeficiente “Ecu” hace referencia al coste unitario del proyecto de reparación. Al igual que ocurría con “Ecf” se encuentra predefinido para cada combinación agente-recurso por lo que su inclusión en la ecuación no reviste complejidad.

#### **VI.2.1.5. Pautas para la estimación del coeficiente B**

De forma similar al coeficiente “A”, el coeficiente “B” actúa como multiplicador, en este caso de la cantidad de recurso afectada. Su valor se obtiene multiplicando una serie de factores que hacen referencia a los siguientes aspectos:

- Biodegradabilidad del agente causante de daño. Esta característica puede consultarse en las fichas de seguridad de las sustancias que se estén evaluando.
- Densidad de población. Se trata de un aspecto susceptible de ser evaluado a través de las referencias que existan en la zona sobre la presencia de especies que podrían recibir el daño medioambiental.
- Densidad de la vegetación que podría verse afectada por el daño. Como se ha indicado, este dato podría ser directamente evaluado mediante observación del territorio o bien ser consultado en bases de datos preexistentes como el Inventario Forestal Nacional o el Mapa Forestal de España —ambos disponibles a través de la página web del MAGRAMA—.

- Diferencia de temperatura. Este indicador únicamente se considera en daños por vertido de agua a alta o baja temperatura, debiendo establecerse la diferencia existente entre la temperatura del agua vertida y la del medio receptor.
- Lago o embalse. El analista deberá determinar si bajo las hipótesis asumidas en su análisis de riesgo considera que existirá afección a una masa de agua estable —lagos o embalses—. Posteriormente, deberá informar sobre la capacidad de dicha masa de agua. En este sentido puede ser de utilidad la información ofrecida en el Inventario de Presas y Embalses de España elaborado por el MAGRAMA y disponible a través de Internet.
- Peligrosidad. La peligrosidad se tiene en cuenta únicamente en los daños causados por agentes biológicos —Organismos Modificados Genéticamente (OMG), especies exóticas invasoras y microorganismos patógenos—, por lo que no se considera relevante en este sector.
- Pendiente. Como se ha indicado anteriormente, la pendiente es un dato que o bien puede ser medido sobre el terreno o bien puede ser cumplimentado consultando fuentes de información preexistentes. En este último caso, se podría acudir a un modelo digital del terreno.
- Permeabilidad y Permeabilidad 2. Se tratan de dos parámetros diferenciados en el cálculo del IDM que sin embargo pueden ser determinados acudiendo a las mismas bases de datos. En concreto, el valor de permeabilidad puede ser introducido empleando diversas fuentes de información como los estudios de suelos o la cartografía facilitada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Precipitación. Se refiere a la precipitación media anual. Este dato puede ser recopilado a partir de diferentes fuentes, destacando las bases de datos existentes en la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), o la información cartográfica que puede encontrarse en el Atlas Nacional de España elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Río. El analista deberá determinar si bajo las hipótesis asumidas en su análisis de riesgos considera la posible afección a una masa de agua corriente —ríos, arroyos, regatos, etc. —; en caso afirmativo, deberá introducir el caudal medio de dicha masa de agua. Los datos de caudales pueden consultarse a través de Internet para la red de estaciones de aforo del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). En caso de que no existiera una estación de aforo en el cauce evaluado o ésta se encuentre a gran distancia, el analista podría adoptar de forma justificada un valor de caudal de otro cauce con características similares al evaluado.

- Solubilidad. La solubilidad puede consultarse en las fichas de seguridad de las sustancias.
- Temperatura. La tabla de temperatura se emplea en la evaluación de daños por incendio, tratándose de un parámetro que puede determinarse a partir de los datos existentes en la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), o de la información cartográfica que puede encontrarse en el Atlas Nacional de España.
- Tipo de fuga. En la metodología del IDM se diferencian tres tipos posibles de fuga: fuga creciente —debe seleccionarse cuando el analista desee modelizar un vertido cuyo caudal aumenta con el tiempo—, fuga continua —el caudal fugado se mantiene constante a lo largo de un determinado periodo de tiempo— o fuga instantánea —si la magnitud tiempo es despreciable en el análisis del vertido—.
- Toxicidad. La toxicidad de las sustancias puede consultarse en las fichas de seguridad. En este sentido debe atenderse a parámetros tales como la mortalidad, la inmovilidad, la inhibición del crecimiento, la mutagenicidad, la teratogenicidad y la carcinogenicidad que las mismas podrían causar sobre los seres vivos.
- Viento. En la ecuación del IDM se exige la introducción de valores para la velocidad del viento siempre que se consideren daños por incendio. De nuevo es un dato que puede ser consultado en las bases de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) o del Atlas Nacional de España.
- Viscosidad. La viscosidad puede consultarse en las fichas de seguridad de las sustancias.
- Volatilidad. La volatilidad se clasifica según el punto de ebullición de las sustancias, característica que al igual que la anterior puede obtenerse a partir de las fichas de seguridad.

Como se ha expuesto, los valores que deben corresponder a ciertos parámetros —como la biodegradabilidad, la solubilidad, la toxicidad, etc.— son función de la sustancia que se esté considerando. En este sentido, en caso de mezclas, el analista podrá apoyarse en las pautas que se han indicado en el apartado “Pautas para la selección de la combinación agente causante de daño-recurso natural afectado”, dentro del presente informe.

#### **VI.2.1.6. Pautas para la estimación del coeficiente $\alpha$**

El coeficiente “ $\alpha$ ” introduce en la ecuación del IDM la cantidad de agente que se encuentra implicada en el escenario accidental. En función de la combinación agente-recurso que se esté considerando, el analista deberá introducir:

- La masa vertida ( $M_{vert}$ )



- El volumen vertido (Vvert)
- El volumen extraído (Vext)
- La masa extraída (Mext)
- La superficie extraída (Supext)
- El número de individuos extraídos (Next)

La introducción de la cantidad de recurso extraída debería ser relativamente sencilla dado que únicamente se requiere en el caso de los daños físicos por extracción —en este tipo de escenarios se fijaría la cantidad de recurso que se extraería bajo los supuestos establecidos por el analista—.

Mayor dificultad puede suponer el cálculo del volumen o de la masa vertida ya que para ello existe una amplia variedad de criterios que pueden considerarse válidos. A continuación se sugieren algunas de las opciones más frecuentes:

- a) Seleccionar como volumen vertido el correspondiente a la capacidad del elemento  
Adoptando un enfoque de prudencia, el análisis podría realizarse tomando como referencia la capacidad del elemento que se esté evaluando.
- b) Seleccionar como volumen vertido el correspondiente al volumen medio del elemento  
Esta opción tomaría como dato de partida el correspondiente al volumen medio de llenado en el elemento que se esté evaluando.
- c) Cálculo del volumen vertido atendiendo a referencias bibliográficas  
Existen múltiples fuentes bibliográficas sobre tasas de fallo y eventos accidentales, en las que los datos de vertido se fundamentan en unas determinadas hipótesis de rotura o fuga. A modo de ejemplo, suele establecerse un diámetro del poro, una fuga completa o parcial en un tiempo determinado, la rotura del elemento, etc. El analista podría basarse en estas referencias para fijar su volumen de vertido.
- d) Consideración de las medidas de contención  
Como complemento a las opciones anteriores y siempre que exista la suficiente certidumbre para ello, el analista podría descontar del volumen potencialmente vertido aquel volumen que en principio quedaría retenido en las medidas de contención existentes en su instalación —cubetos, fosos, etc.—, dando lugar a una reducción del potencial daño medioambiental.

Por último, merece la pena realizar una mención especial a los daños por vertido de sustancias químicas al suelo con posibles efectos adicionales sobre las aguas subterráneas. En este caso, la ecuación del IDM solicita la introducción de la profundidad media a la que se encuentran las aguas subterráneas.

Con objeto de conocer este dato, el analista podrá recurrir tanto a informes preexistentes de la instalación como a información generalista publicada por organismos oficiales como el Instituto Geológico y Minero de España o el MAGRAMA —este último dispone en su página web de cartografía temática y de datos de medición de piezómetros—.

#### **VI.2.1.7. Pautas para la estimación del coeficiente $E_c$**

Este parámetro representa la relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño.

Se trata un valor preestablecido para cada combinación agente-recurso, por lo que no requiere de un trabajo adicional por parte del analista.

#### **VI.2.1.8. Pautas para la estimación del coeficiente $p$**

El coeficiente “ $p$ ” es una constante neutra para la mayoría de las combinaciones agente-recurso ya que únicamente recibe valores específicos para daños al lecho de las aguas marinas o de las aguas continentales.

En todo caso, los valores a aplicar se encuentran tabulados para cada combinación.

#### **VI.2.1.9. Pautas para la estimación del coeficiente $M_{acc}$**

Al igual que el coeficiente “ $p$ ”, este coeficiente únicamente adquiere un valor específico para los daños al lecho marino o al lecho de las aguas continentales. En concreto, hace referencia al volumen vertido al lecho de las aguas, por ello su cumplimentación puede realizarse acudiendo a lo anteriormente expuesto para la definición del volumen vertido a los recursos naturales.

#### **VI.2.1.10. Pautas para la estimación del coeficiente $q$**

De forma análoga, el coeficiente “ $q$ ” se encuentra tabulado para los daños al lecho marino y al lecho de las aguas continentales, adquiriendo un valor neutro para las restantes combinaciones agente-recurso.

#### **VI.2.1.11. Pautas para la estimación del coeficiente $C$**

El coeficiente “ $C$ ” actúa de manera similar a los coeficientes “ $A$ ” y “ $B$ ” expuestos anteriormente. En este caso, “ $C$ ” multiplica al estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación.

Su valor es función de la duración estimada de los daños medioambientales ocasionados bajo las hipótesis establecidas en cada escenario accidental. Con el fin de establecer esta duración el analista podría acudir al Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental, donde a partir de una serie de parámetros de entrada se recomienda una técnica reparadora —la cual lleva asociada su correspondiente duración—, o consultar fuentes bibliográficas especializadas en técnicas y proyectos

de reparación —resultando especialmente recomendables los informes ofrecidos a través de Internet por la Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR)—.

#### **VI.2.1.12. Pautas para la estimación del coeficiente Ecr**

El coeficiente de estimación del coste de revisión y control (“Ecr”) considera los costes que deberían sufragarse con el fin de llevar a cabo un adecuado seguimiento del proyecto de reparación. Se trata de un valor predeterminado para cada combinación agente-recurso.

#### **VI.2.1.13. Pautas para la estimación del coeficiente Ecc**

Este coeficiente incorpora el coste de la consultoría necesaria para realizar el proyecto de recuperación, encontrándose de nuevo tabulado para las combinaciones agente-recurso. Se expresa como un porcentaje sobre el valor de los coeficientes anteriores.

#### **VI.2.1.14. Pautas para la estimación del coeficiente $\beta$**

El analista debe introducir en la ecuación la distancia existente entre el punto donde se produce el daño y la vía de comunicación más cercana a través del parámetro “ $\beta$ ”. Este dato puede cumplimentarse consultando un mapa de vías de comunicación.

#### **VI.2.1.15. Pautas para la estimación del coeficiente Eca**

Por último, el estimador del coste de acceso es un parámetro fijo, siendo igual a 6,14.

#### **VI.2.1.16. Pautas para la estimación de varias combinaciones agente-recurso**

El analista debe tener en cuenta que la ecuación del IDM tiene la estructura de un sumatorio en el que cada sumando se corresponde con una combinación agente-recurso. Esto es, en caso de que en un escenario accidental existan varios pares agente-recurso, el analista deberá aplicar la ecuación tantas veces como combinaciones diferentes existan en el escenario.

El valor del IDM de cada escenario sería el resultado de agregar los valores del IDM de cada una de las combinaciones agente-recurso identificadas en el escenario evaluado. Este valor de IDM será la magnitud del daño asociado al escenario —estimador del valor de las consecuencias medioambientales previstas—.

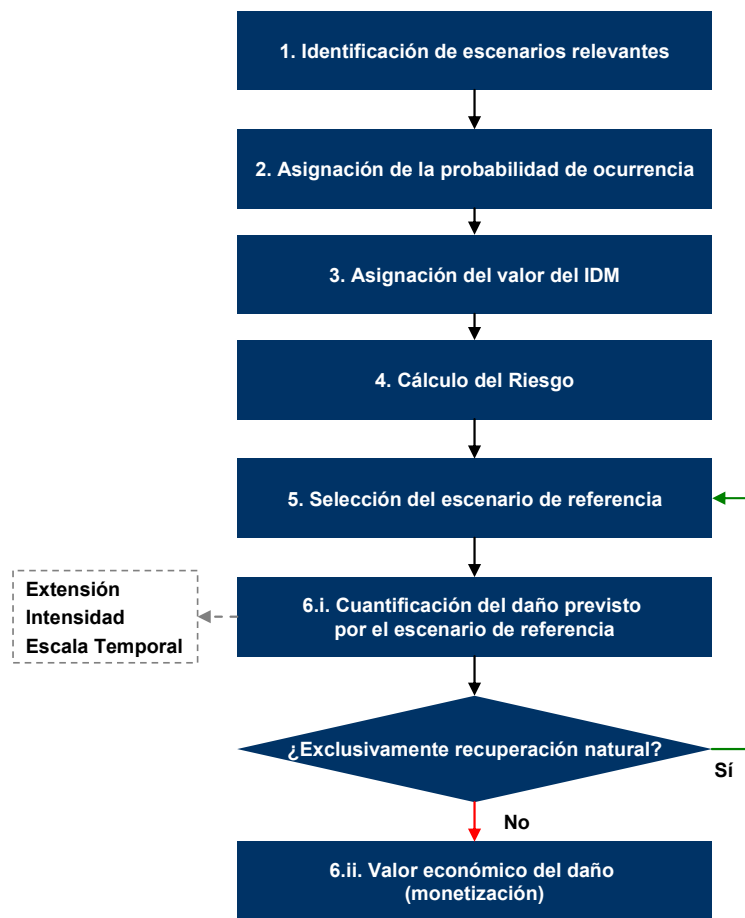
### **VI.2.2. Cuantificación del daño medioambiental y su implicación en la selección del escenario de referencia**

La modificación de la normativa de responsabilidad medioambiental, que se encuentra actualmente en tramitación, obligará únicamente a cuantificar el escenario que resulte seleccionado a partir de la aplicación de la metodología del IDM —con la redacción anterior era necesario cuantificar y valorar todos los escenarios identificados en los análisis de riesgos—.

El procedimiento básico que se propone seguir para cumplir los requerimientos de cuantificación del daño establecidos en la nueva redacción del Real Decreto 2090/2008 sería el siguiente:

- 1) Identificar los escenarios accidentales que se consideran relevantes para la instalación analizada. Para ello, los operadores, podrán basarse en los escenarios identificados en el análisis de riesgos de su sector de actividad
- 2) Asignar la probabilidad de ocurrencia a cada escenario
- 3) Calcular el IDM de los escenarios
- 4) Calcular el riesgo asociado a cada escenario multiplicando la probabilidad por el valor del IDM
- 5) Seleccionar los escenarios con menor índice de daño medioambiental asociado que agrupen el 95 por ciento del riesgo total
- 6) Establecer la cuantía de la garantía financiera, como el valor del daño medioambiental del escenario con el índice de daño medioambiental más alto entre los escenarios accidentales seleccionados. Para ello se seguirán los siguientes pasos:
  - i) En primer lugar, se cuantificará el daño medioambiental generado en el escenario seleccionado.
  - ii) En segundo lugar, se monetizará el daño medioambiental generado en el escenario de referencia, cuyo valor será igual al coste del proyecto de reparación primaria. En caso de que la reparación primaria diseñada deba consistir exclusivamente en una recuperación natural, se desestimaré dicho escenario para calcular la garantía financiera y se seleccionará el siguiente escenario con mayor valor de IDM; repitiéndose la secuencia hasta que se seleccione un escenario y cuya reparación no se base exclusivamente en la recuperación natural. Este escenario sería el de referencia para el cálculo de la garantía financiera obligatoria.

En la siguiente Figura se aporta un esquema en el que se representan de forma gráfica las fases descritas anteriormente. No obstante, se recomienda al analista consultar la normativa de responsabilidad medioambiental en este sentido, especialmente el artículo 33 del Real Decreto 2090/2008, ya que en el mismo se ofrece una descripción detallada del proceso a seguir.



**Figura 5.** Esquema propuesto para la selección, cuantificación y valoración del escenario de referencia para el cálculo de la garantía financiera. Fuente: Elaboración propia a partir del Real Decreto 2090/2008 y del Proyecto de Real Decreto de modificación del Real Decreto 2090/2008.

En el presente informe se ofrecen unas pautas con el fin de facilitar a los operadores la tarea de cuantificar el daño medioambiental.

### VI.2.3. Cálculo de la extensión, intensidad y escala temporal

El procedimiento a seguir para cuantificar los potenciales daños medioambientales se encuentra establecido en los artículos 11, 12, 13 y 14 del Real Decreto 2090/2008.

La cuantificación es un proceso que consiste en estimar el grado de exposición por parte de los receptores afectados al agente causante del daño y en medir los efectos que éste produce sobre aquéllos.

Con el fin de orientar a los operadores en el ámbito de los análisis de riesgos medioambientales previstos en la normativa de responsabilidad medioambiental, la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales y el MAGRAMA promovieron el estudio “Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental” —disponible en la página web del MAGRAMA—. En

este informe se ofrece un amplio catálogo comparativo de los principales modelos de dispersión existentes en la actualidad. En concreto, puede encontrarse un catálogo con los siguientes modelos:

- Modelos de dispersión atmosférica.
- Modelos de simulación en agua superficial.
  - Aguas continentales: vertido en río.
  - Aguas continentales y Dominio Público Marítimo Terrestre: vertido en lago, embalse, humedal, bahía o estuario.
  - Dominio Público Marítimo Terrestre: vertido en línea de costa.
- Modelos de simulación en suelo y agua subterránea.

Como complemento a dicho informe, en los siguientes epígrafes se ofrece una asistencia adicional con el fin de facilitar a los operadores la realización de las fases que comprende la cuantificación. De esta forma, se recogen una serie de pautas que pretenden guiar en el estudio de la extensión de los daños identificados a priori como relevantes a nivel sectorial, de la intensidad de los mismos —ofreciendo alguna pauta adicional para el caso de existir agentes de tipo físico a nivel de operador individual (a nivel sectorial no se han identificado como relevantes)—, y de la escala temporal prevista para los daños.

#### **VI.2.3.1. Extensión de los daños**

La extensión del daño se corresponde con la cantidad de recurso o servicio que se ha visto afectada. Por lo tanto, se trata de un aspecto que puede medirse en unidades de recurso afectado: toneladas de suelo, superficie de bosque, metros cúbicos de agua, etc.

La estimación de la extensión obliga en la mayoría de los casos a aplicar modelos de dispersión de los agentes causantes de daño. Si bien estos modelos no tienen por qué ser complejos —el analista puede aplicar criterios y reglas de cálculo sencillas—, la decisión que se adopte a este respecto debe justificarse adecuadamente y, en caso de existir una elevada incertidumbre, situar el estudio del lado de la prudencia adoptando valores conservadores.

Dada la heterogeneidad del sector, la amplia variedad de escenarios accidentales que se pueden plantear y las diferentes circunstancias que pueden rodear a cada uno de los mismos, en el presente apartado únicamente se recomiendan algunos de los modelos y criterios de dispersión que pueden ser más útiles y frecuentes para el sector. En todo caso, debe incidirse en que el proceso de cuantificación y las técnicas a aplicar son en gran medida específicas de cada situación, por lo que se hace necesario que cada operador analice los modelos y los adapte a sus circunstancias específicas.

Los principios básicos adoptados para la selección de los modelos recomendados han sido la sencillez de aplicación y el acceso libre a través de Internet o a través de bibliografía especializada.

En la siguiente tabla se representan los grupos de combinaciones agente causante de daño-recurso natural afectado para las cuales se describen criterios de dispersión en el presente informe —igual que sucede con el resto del contenido del documento, se debe insistir en que la aplicación de los criterios que se indican a continuación es voluntaria—.

Los diferentes criterios de cuantificación se han denotado por las siglas “CC” seguidas de un número que permite su codificación.

		Recurso									
		Agua			Lecho continental y marino	Suelo	Ribera del mar y de las rías	Especies			
		Marina	Continental					Vegetales	Animales		
			Superficial	Subterránea							
Agente causante de daño	Químico	COV halogenados	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC9	
		COV no halogenados									
		COSV halogenados									
		COSV no halogenados									
		Fueles y CONV									
		Sustancias inorgánicas									
		Explosivos									
	Físico	Extracción/Desaparición									
		Vertido de inertes									
		Temperatura									
	Incendio									CC8	CC10
	Biológico	OMG									
		Especies exóticas invasoras									
		Virus y bacterias									
		Hongos e insectos									

COV, compuestos orgánicos volátiles (punto de ebullición <100°C)  
 COSV, compuestos orgánicos semivolátiles (punto de ebullición entre 100-325°C)  
 CONV, compuestos orgánicos no volátiles (punto de ebullición>325°C)  
 OMG, organismos modificados genéticamente

**Tabla 28.** Modelos y criterios de cuantificación considerados en el presente informe asignados a su correspondiente combinación agente-recurso. Fuente: Elaboración propia.

### 1) CC1. Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas al agua marina

Generalmente en los vertidos químicos al agua marina de sustancias solubles no se identifican medidas específicas de reparación. El gran volumen de agua en el cual se produce la dilución y el movimiento de las mismas —oleaje, marea, etc.— suele obligar a plantear este tipo de reparaciones como una recuperación natural. En todo caso, cabe decir que las recuperaciones naturales no tienen necesariamente asociado un coste nulo, ya que deben tenerse en cuenta actuaciones como el control y el seguimiento del episodio de contaminación. Así mismo, se debe ser consciente de que plantear una recuperación natural sobre un recurso concreto no exime de realizar otro tipo de actuaciones sobre el resto de recursos afectados —como pudiera ser la fauna o la vegetación— en caso necesario.

Por lo anteriormente expuesto, el presente criterio de cuantificación (CC1) se centra en los vertidos de sustancias químicas insolubles en el agua marina; más concretamente, en el caso de daños por vertido de sustancias orgánicas menos densas que el agua, ya que las de mayor densidad podría asumirse que se depositarán en el fondo o lecho marino —se estudian de forma separada mediante el criterio de cuantificación CC4—.

La extensión de las manchas puede estimarse acudiendo a fuentes bibliográficas en las que se recogen espesores promedio de las mismas. El analista tomaría el volumen vertido y, dividiéndolo entre el espesor de cálculo, obtendría una estimación de la superficie potencialmente afectada. Este resultado vendría expresado en metros cuadrados de superficie marina, y podría considerarse un valor conservador si se adopta como promedio el menor espesor posible de la mancha.

### 2) CC2. Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas al agua continental superficial

La forma de cuantificar los daños medioambientales sobre el agua superficial es en gran medida un proceso específico de las circunstancias concretas de cada escenario accidental. Por lo tanto, el analista deberá diseñar de forma justificada un criterio para la evaluación de estos daños. No obstante, a continuación se ofrecen una serie de pautas que pretenden servir como una asistencia en este sentido.

Con carácter previo, debe indicarse que en caso de un vertido de sustancias más densas que el agua puede asumirse que las mismas se depositarían sobre su lecho, dando lugar a un tipo de daño diferente al considerado en el presente apartado —analizado en el criterio CC4—.

Probablemente la primera pregunta que debería plantearse en el caso de afección al agua es si el vertido se ocasiona sobre una masa de agua corriente —como un río, un arroyo, etc.— o sobre una masa de agua relativamente estática —un embalse, un lago, etc.—.

- Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas a corrientes de agua



En caso de vertido a un río el analista deberá determinar si considera que el mismo podrá ser retenido aguas abajo bien en una estructura preexistente —azudes, presas, etc.—, bien a través de medios desplegados con posterioridad al accidente —barreras flotantes, diques de emergencia, etc.—.

Si el vertido puede ser retenido aguas abajo se estaría en una situación similar al de un vertido sobre una masa relativamente estática —el río actúa de vector de la contaminación hacia el embalse, el lago u otra masa de agua análoga—.

Si el vertido no puede ser detenido —inexistencia de diques aguas abajo, imposibilidad de desplegar medidas de contención de forma rápida, etc.—, existirían varias posibilidades de actuación. En este caso puede tomarse como volumen de agua dañado —extensión— la multiplicación del caudal del río por el tiempo de permanencia del contaminante en el agua.

Un posible enfoque en estas situaciones —vertido a una masa de agua corriente sin contención—, sería considerar que, finalizado el vertido y transcurrido un cierto periodo de tiempo, el agua retorna a su situación original. En esta situación podría plantearse de forma justificada una reparación vía recuperación natural —la cual, no obstante, debe insistirse que no tiene porqué tener asociada un coste de reparación nulo, ya que resultaría procedente realizar tareas como el seguimiento y control del daño—. Este tipo de reparación correspondería especialmente a accidentes causados por sustancias biodegradables o no biodegradables de baja toxicidad que puedan diluirse con relativa facilidad en amplios volúmenes de agua —alcanzando concentraciones no significativas en un tiempo determinado como se verá en el capítulo de intensidad y significatividad del daño—.

Una segunda posibilidad podría consistir en asumir que, una vez producido el vertido, el tramo afectado no podrá recuperar su estado original en un periodo de tiempo razonable. En este supuesto el daño sería declarado como irreversible.

En todo caso, debe insistirse en que las posibilidades anteriores deben interpretarse como meras indicaciones; pudiendo existir otras opciones de actuación que pueden considerarse en los análisis de riesgos.

- Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas a masas de agua estáticas

Si el vertido afecta a una masa de agua relativamente estática cabe a su vez preguntarse si se podría desplegar algún tipo de medio de contención previamente a la dispersión del mismo al conjunto de la masa. En caso afirmativo el daño quedaría limitado a la zona confinada, en caso negativo el vertido se expandiría a la totalidad de la masa de agua.

Dado que bajo estos supuestos el agua contaminada estaría retenida, podrían realizarse las actuaciones y técnicas de reparación que se consideren más adecuadas —no obstante, igual que ocurría en los tramos de ríos, el analista podrá evaluar la procedencia de tratar el daño como una recuperación natural o como un daño irreversible según sus circunstancias—.

### **3) CC3. Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas al agua continental subterránea**

En la actualidad existe una amplia oferta de modelos de dispersión de contaminantes sobre el suelo y el agua subterránea —la afección a estos recursos puede estudiarse de forma conjunta ya que, generalmente, el daño al primero genera o condiciona el daño sobre el segundo—.

Los modelos disponibles tienen diferentes grados de complejidad en su aplicación y en sus requerimientos de parámetros de entrada. Igualmente, mientras que algunos se encuentran a disposición pública y gratuita, otros requieren de una inversión económica para su adquisición. En este sentido, merece la pena recomendar de nuevo al analista la consulta del documento “Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental” disponible en la página web del MAGRAMA.

Como complemento a los modelos indicados en el documento anterior, existen otros modelos, criterios y pautas que pueden resultar de utilidad a los operadores. En concreto, puede citarse el modelo de dispersión de contaminantes desarrollado por la Universidad de Udine (Italia) y la Universidad de Belfast (Reino Unido), expuesto en el Anejo IV del presente informe.

Se trata de un modelo matemático —constituido por una serie de ecuaciones— que permite estimar la superficie que ocuparía un hipotético vertido de líquidos viscosos, asimilando dicha superficie a un círculo o a una elipse. Asimismo ofrece una serie de ecuaciones con el fin de calcular la profundidad que alcanzaría dicho vertido por lo que resulta aplicable en la evaluación de daños sobre los acuíferos.

La descripción detallada del modelo puede consultarse en Grimaz *et al.* (2007) y Grimaz *et al.* (2008); resultando igualmente útil consultar la aplicación práctica que se hace del mismo en los instrumentos de análisis de riesgos sectoriales publicados en la página web del MAGRAMA.

Este modelo presenta ventajas relevantes como su relativa sencillez de aplicación, el respaldo de organismos oficiales y la accesibilidad al mismo de forma pública y gratuita.

### **4) CC4. Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas al lecho continental y marino**

Si bien, como se ha indicado anteriormente, el analista debe evaluar, seleccionar y adaptar las presentes indicaciones de cuantificación, una posibilidad de modelización de daños al lecho podría ser su estudio de forma conjunta con el agua superficial. Siguiendo este criterio el analista evaluaría la solubilidad y la densidad de la sustancia vertida. Cuanto menor sea la solubilidad y mayor la densidad, mayores serán las posibilidades de que la sustancia se deposite en el lecho —o mayor será el volumen depositado—.

En concreto, cuando la sustancia es más densa que el agua se asumirá que ésta puede quedar depositada en el lecho.

Por lo que respecta a la solubilidad, pueden establecerse criterios simplificadores partiendo de la información disponible sobre la sustancia —fichas de seguridad, siempre que se disponga de las mismas—. A modo de ejemplo, para sustancias solubles puede asumirse que el 100% del vertido quedaría disuelto en el agua, para solubilidades parciales pueden adoptarse valores situados entre el 0 y el 100% y para insolubles se asumiría que el 100% del vertido sobrenadaría —sustancias menos densas que el agua— o se depositaría en el fondo —sustancias más densas que el agua—. En todo caso, se recomienda a los operadores que la adopción de estos criterios —dada la elevada incertidumbre asociada a los mismos— se realice adoptando criterios de prudencia en las estimaciones —a modo de ejemplo, situando el estudio del lado de las peores consecuencias previstas—.

El cálculo podría realizarse, por lo tanto, repartiendo el volumen total vertido entre una fracción que quedaría depositada en el lecho y otra fracción que o bien se disolvería o bien sería arrastrada por el flujo de agua.

La extensión del daño sobre el lecho dependería del poder de arrastre de la corriente y del grado de movilidad que tenga la sustancia vertida —como se ha expuesto, dos buenos indicadores en este sentido pueden ser la solubilidad de la sustancia y la densidad de la misma—.

Por lo tanto, en caso de aguas lentas —generalmente, puede asumirse esta premisa en el ámbito del presente sector dada la ubicación de sus instalaciones en los cursos bajos— y sustancias de baja movilidad —insolubles y más densas que el agua—, la cantidad de lecho a tratar podría asimilarse con el volumen que se haya derramado —cantidad a retirar del cauce—, simplificándose de esta forma la tarea de cuantificación. No obstante, esta cantidad podría incrementarse si se considera necesario ante la incertidumbre de la extensión finalmente ocupada por el hipotético vertido.

#### **5) CC5. Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas al suelo**

La determinación de la extensión del daño al suelo puede fundamentarse en las pautas previamente indicadas para los daños a las aguas subterráneas. En concreto, se recomienda consultar tanto el informe “Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental” como la aplicación del modelo de Grimaz *et al.* realizada en los estudios piloto de análisis de riesgos sectoriales disponibles en la página web del MAGRAMA, así como su exposición en el Anejo IV.

#### **6) CC6. Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas a la ribera del mar y de las rías**

De cara a la evaluación de la extensión del daño ocasionado sobre la ribera del mar y de las rías, este recurso podría considerarse como una combinación de los restantes recursos cubiertos por la Ley de Responsabilidad Medioambiental. Por lo tanto, para la cuantificación del daño a dicho recurso, el analista podría basarse en los criterios y pautas que se indican para el suelo, el agua superficial, el agua marina, las especies vegetales, etc.



### **7) CC7. Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas a las especies vegetales**

Con el fin de determinar la superficie de vegetación que podría verse afectada por un hipotético vertido, el analista podría adoptar un enfoque de prudencia y emplear los mismos criterios que se han establecido para la cuantificación de daños por sustancias químicas al suelo.

El resultado obtenido podría interpretarse como un valor de máximos ya que, generalmente, los modelos de dispersión de contaminantes sobre el suelo no suelen considerar la presencia de una cubierta vegetal que detenga —al menos parcialmente— el derrame.

### **8) CC8. Criterios de cuantificación para daños por incendio a las especies vegetales**

En el ámbito de la normativa de responsabilidad medioambiental es necesario tener en cuenta que los daños por incendio únicamente deben considerarse cuando éste afecte de forma significativa a alguno de los recursos naturales cubiertos por la misma.

La dirección más probable que seguirá un incendio puede estimarse a través del modelo Behave.

Behave se suministra gratuitamente en forma de aplicación informática a través de la página web del Laboratorio de Ciencia del Fuego de Missoula (Estados Unidos). En la actualidad existe abundante documentación sobre esta aplicación tanto a nivel teórico —manuales de usuario, artículos científicos, etc.— como práctico.

Este modelo simula la evolución de un hipotético incendio por medio de una elipse que se construye atendiendo principalmente a la pendiente del terreno y a la velocidad y dirección del viento dominante en la zona.

Una vez se ha determinado la dirección que seguiría el incendio la delimitación de la superficie afectada podría realizarse de dos formas básicas:

- La primera opción consistiría en introducir en Behave un tiempo en el cual el incendio se extinguiría. Este tiempo o duración del incendio puede establecerse atendiendo a criterios como la proximidad de los medios de extinción. En este sentido, es frecuente encontrar la localización de los medios de extinción en la web de las correspondientes Comunidades Autónomas.
- La segunda opción sería, en principio, más conservadora que la anterior. Situando la evaluación del lado de la prudencia, el analista podría asumir que el incendio únicamente se detendrá en el momento que llegue a algún elemento no combustible. En este caso la delimitación del perímetro podría establecerse sobre una fotografía aérea de la zona potencialmente afectada a través de la localización de cortafuegos, vías de comunicación, zonas con escasa vegetación, etc. que actuarían como barreras.

### **9) CC9. Criterios de cuantificación para daños por sustancias químicas a las especies animales**

Probablemente uno de los mayores retos que existen actualmente en la cuantificación de daños sea la determinación del daño causado sobre las especies animales. La principal dificultad radica, por un lado, en que se trata de un recurso móvil —se desplaza libremente— y, por otro, en la ausencia de inventarios de fauna para la totalidad del medio natural. En concreto, la información que idealmente debería ser empleada en la cuantificación sería una cartografía en la cual figurase la densidad de individuos de cada especie existentes en cada zona —expresada en número de individuos por unidad de superficie o por unidad de volumen de agua—. De esta forma, conocida la cantidad de recurso dañado se podría estimar directamente el número de individuos afectados.

En caso de que el analista no disponga de estos inventarios —bien elaborados por la propia instalación, bien suministrados por la Administración—, éste deberá adoptar un criterio justificado para la cuantificación del daño a este recurso.

Un punto de partida interesante es el Inventario Nacional de Biodiversidad ya que en el mismo se puede consultar un listado de las especies presentes en cada cuadrícula de 10 por 10 km en las que se divide el territorio nacional. Adicionalmente, esta fuente indica el grado de amenaza al que está sometida cada especie.

Atendiendo a la extensión y características del vertido que se esté evaluando y a la categoría de amenaza de cada especie, el analista podría descartar una afección relevante a ciertas especies. A modo de ejemplo, un vertido de escasas dimensiones y con un grado bajo de toxicidad en una zona donde únicamente existen especies generalistas tendrá una probabilidad reducida de causar efectos adversos relevantes sobre las poblaciones.

Una posibilidad de cuantificación simplificada residiría en asignar a cada una de las especies que se identifiquen en el listado del Inventario Nacional de Biodiversidad una densidad de población —o directamente, un determinado número de individuos afectados atendiendo a la extensión del hipotético vertido—. Este valor se podría adoptar —en función de la categoría de amenaza y del tipo de animal— con base en referencias bibliográficas, aplicando un criterio experto, consultando a las Administraciones Públicas competentes, etc.

Por último, merece la pena destacar la existencia de datos de densidades piscícolas tomados por la Confederación Hidrográfica del Ebro para algunos de sus embalses, pudiendo ser estos datos directamente aplicables por el operador en sus análisis de riesgos.

### **10) CC10. Criterios de cuantificación para daños por incendio a las especies animales**

Esta combinación de agente causante de daño-recurso natural afectado puede abordarse de forma similar a la anterior. Esto es, una vez que se dispone del cálculo de la superficie vegetal deteriorada por el incendio, el analista deberá evaluar la relevancia del daño sobre las especies y estimar la

cuantía de individuos afectados para lo que podrá acudir a los criterios y pautas previamente indicados.

### **Combinación de modelos y criterios**

Resulta usual que en un mismo escenario concurren varias combinaciones agente-recurso. A modo de ejemplo, en el caso de que ocurra un incendio, frecuentemente se evalúa el daño por incendio y el daño por el vertido de las aguas de extinción del incendio; otro ejemplo ilustrativo es el de un vertido que alcanza diversos recursos.

Cuando se den estas circunstancias, el analista podrá tomar como referencia las pautas indicadas para cada combinación que le resulte de interés pero deberá adaptarlas a las circunstancias concretas del escenario evaluado, asegurando la coherencia entre los criterios que se estén adoptando.

### **VI.2.3.2. Intensidad del daño**

Para su estimación, conforme con el artículo 13 del Real Decreto 2090/2008, debe establecerse el grado de severidad de los efectos ocasionados por el agente causante del daño a los recursos naturales.

La estimación de la intensidad del daño puede realizarse atendiendo tanto a indicadores cuantitativos como cualitativos. Siendo su objetivo principal establecer las variaciones de calidad experimentadas por los recursos afectados.

En la normativa, se ofrecen especificaciones diferenciadas para la consideración de la intensidad en función del agente causante del daño:

a) Intensidad del daño causado por sustancias químicas

En el anexo I del Real Decreto 2090/2008 se indica que, para los agentes de tipo químico, el nivel de intensidad debe medirse en relación con la concentración o dosis límite. Para ello, debe atenderse a aspectos como la concentración que alcanza la sustancia en el receptor afectado, el tiempo de exposición del receptor a dicha sustancia y la relación de ambos con el umbral de toxicidad.

En este sentido deben obtenerse los denominados “umbrales de toxicidad” de los recursos que puedan verse afectados, que son los valores de concentración a partir de los cuales se produce un cierto efecto sobre los seres vivos.

La normativa considera tres niveles de intensidad:

- Agudo. Nivel de intensidad que representa efectos adversos claros y a corto plazo sobre el receptor, con consecuencias evidentes sobre los ecosistemas y sus hábitats y especies. Los efectos agudos suponen una afección sobre al menos el 50% de la población expuesta al agente causante del daño.

- Crónico. Nivel de intensidad que indica posibles efectos adversos a largo plazo para un porcentaje de la población expuesta al agente causante del daño comprendido entre el 10 y el 50%.
- Potencial. Nivel de intensidad que corresponde a efectos que superan el umbral ecotoxicológico y afectan al menos al 1% de la población expuesta al daño, pero no alcanzan los efectos de los niveles crónicos o agudos.

Adicionalmente, puede considerarse un umbral letal, que correspondería con una pérdida igual al 100 por ciento de la población.

En cuanto a los umbrales de toxicidad —denominados de forma genérica Curvas de Distribución de la Toxicidad, o CTD por sus siglas en inglés—, usualmente se consideran los siguientes:

- *Median Lethal Concentration* (LC50) o *Median Effect Concentration* (EC50); empleados para declarar que se causan efectos agudos, los cuales suponen una afección sobre el 50% de la población.
- *No Observed Effect Concentration* (NOEC) o *No Observed Adverse Effects Level* (NOAEL); empleados para declarar que se causan efectos crónicos, los cuales suponen una afección sobre el 10% de la población.
- *Predicted No Effects Concentration* (PNEC), el cual se asume como el valor que no da margen de seguridad suficiente para descartar riesgos potenciales. Los efectos potenciales repercuten sobre el 1% de la población.

Con el fin de evaluar la intensidad, en una primera fase debería obtenerse una estimación de la concentración prevista para la sustancia en el medio receptor. Este valor se denomina *Predicted Environmental Concentration* (PEC) y puede ser obtenido aplicando algunos de los modelos y criterios expuestos en el capítulo dedicado a la extensión del daño.

Posteriormente, la PEC obtenida se compararía con los umbrales de toxicidad anteriormente enumerados de tal forma que si la PEC supera el umbral de toxicidad se causarían los efectos declarados por el umbral de toxicidad. A modo de ejemplo, si la PEC es superior a la concentración LC50 se podrá declarar que el daño afecta a más del 50 por ciento de la población.

Por lo tanto, los principales parámetros de entrada para estudiar la intensidad de un daño son la concentración esperada en el medio (PEC) y el valor de los umbrales de toxicidad. Dicho de otra forma, el cálculo de la intensidad para cada agente químico sobre cada recurso afectado requiere que se den las siguientes circunstancias:

- El modelo de dispersión de contaminantes que se emplee debe ofrecer como dato de salida la concentración esperada del contaminante en el medio receptor



- Debe existir suficiente información bibliográfica de los umbrales de toxicidad —expresados en unidades de concentración— de las sustancias químicas implicadas

En los análisis de riesgos medioambientales es frecuente que no se den ambas condiciones, bien porque los modelos y criterios de difusión no calculen la concentración esperada, bien por la ausencia de umbrales de toxicidad para un número elevado de sustancias químicas. Si se da alguna de estas circunstancias se recomienda adoptar un enfoque de prudencia en la valoración del daño y asumir que el hipotético daño tendría la consideración de daño letal afectando al 100 por ciento de la población, si bien el analista podría seleccionar otros valores de forma justificada.

No obstante, un modelo para los daños al agua superficial especialmente útil —gratuito y disponible a través de internet— que facilita el cálculo de la PEC es el propuesto en el *Technical Guidance Document* (TGD) de la Comisión Europea (ECB, 2003), en el cual se ofrece la concentración esperada en una masa de agua superficial a partir de la emisión de contaminantes desde un punto de vertido.

El hecho de que el modelo de la TGD posibilite obtener con relativa sencillez la PEC para daños químicos en el agua superficial, junto con la existencia en la actualidad de información bibliográfica sobre los umbrales de toxicidad de este receptor —expresados en unidades de concentración—, facilita en una gran parte de las situaciones el cálculo de la intensidad de los daños sobre el recurso agua superficial.

b) Intensidad del daño ocasionado por un agente de tipo físico

Si bien, a nivel sectorial los agentes de tipo físico no se han considerado relevantes, en caso de que un operador desee introducirlo como un agente singular en el ámbito de su instalación para determinar la intensidad del daño la normativa prescribe la utilización de índices de calidad ambiental que permitan estimar la severidad de los efectos ocasionados sobre el receptor.

En este caso, la determinación de la intensidad del daño se establecería a partir del coeficiente de variación de los índices o indicadores ambientales que se hayan seleccionado antes y después de ocurrir el daño.

No obstante, al igual que se ha expuesto para los agentes de tipo químico, resulta usual que no se dispongan de datos suficientes para la estimación de la intensidad atendiendo a índices de calidad ambiental —carencia de indicadores de la zona objeto de estudio, carencia de datos suficientes para construir los índices antes y después del hipotético accidente, elevado grado de incertidumbre, etc.—. Si se dan las anteriores circunstancias resulta recomendable actuar de nuevo situando el análisis del lado de la seguridad aceptando una intensidad del daño de tipo letal —afección al 100% de la población—.

c) Intensidad del daño ocasionado por un agente de tipo biológico

Los agentes causantes del daño de tipo biológico recogidos en normativa de responsabilidad medioambiental son de tres tipos: Organismos Modificados Genéticamente (OMG), especies exóticas invasoras y microorganismos patógenos —virus, bacterias, hongos e insectos—. No se ha previsto en el presente análisis de riesgos que estos agentes puedan ser relevantes a nivel sectorial o a nivel individual dado que no intervienen en ninguna fase de la actividad productiva.

### **VI.2.3.3. Escala temporal del daño**

La determinación de la escala temporal de los daños requiere analizar su duración, su frecuencia y la reversibilidad de los efectos que el agente causante ocasiona sobre el medio receptor.

- Comenzando por la duración prevista de los daños, el Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental ofrece, entre sus datos de salida, la técnica de reparación recomendada, su coste de ejecución y el plazo previsto para la restauración de los recursos dañados. La duración del daño podría considerarse tomando como dato de partida la salida de MORA, si bien, este valor debería ser contrastado con las circunstancias concretas que rodeen a cada uno de los escenarios accidentales.
- La frecuencia con la que se espera que ocurran los daños medioambientales es un aspecto ampliamente tratado en los análisis de riesgos medioambientales, ya que conforme con la norma UNE 150008 estos análisis deben asignar a cada escenario accidental una estimación de su probabilidad. Por lo tanto, este aspecto se encontraría recogido en el apartado dedicado a la imputación de probabilidades a los sucesos iniciadores, factores condicionantes y escenarios consecuenciales.
- Por último, la reversibilidad de los daños hace referencia a la posibilidad de que puedan restaurarse los mismos recursos y servicios ambientales que existían en la zona afectada antes de producirse el accidente y en un periodo de tiempo razonable.

La declaración de irreversibilidad de los daños medioambientales debe atender en todo caso a lo dispuesto en el artículo 22 del Real Decreto 2090/2008. A continuación se enumeran como orientación algunas consideraciones ofrecidas en el Documento Metodológico del Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental disponible en la página web del MAGRAMA:

a) Consideraciones sobre la localización geográfica del daño

En el Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental se declaran por defecto como irreversibles los daños ocasionados por sustancias no biodegradables sobre terrenos inaccesibles. Se estaría, por lo tanto, ante una situación en la que el daño causado no podría repararse ni con medios artificiales, ni con una recuperación natural.

b) Consideraciones sobre el agente causante de daño y la cantidad de recurso afectado

Esta consideración hace referencia a la imposibilidad de tratar, con las técnicas disponibles en la actualidad, algunos agentes causantes de daño concretos, cantidades de recurso afectado muy elevadas o reponer ciertos recursos. En estos casos la reparación podría resultar inviable y, por lo tanto, el daño irreversible. Dicho de otra forma, la reparación exige la existencia de técnicas disponibles para que ésta sea llevada a cabo.

#### **VI.2.3.4. Evaluación de la significatividad de los daños**

La significatividad del daño es un concepto de crucial importancia ya que, con base en el mismo, se decide si el daño previsto tiene la consideración de daño medioambiental, o no, atendiendo a la Ley 26/2007.

En la normativa se ofrecen definiciones específicas para la declaración de la significatividad del daño sobre cada uno de los recursos naturales cubiertos por la LRM —especies silvestres, hábitats, agua, ribera del mar y de las rías, y suelo—. En concreto, se recomienda la consulta del artículo 2, dedicado a definiciones, de la LRM.

En el desarrollo reglamentario de la Ley —Real Decreto 2090/2008— se especifican los criterios a seguir en la evaluación de la significatividad atendiendo a los resultados obtenidos del proceso de cuantificación, a la identificación del agente causante de daño y a la identificación de los recursos naturales afectados —artículos 15, 16, 17 y 18—.

Entre los parámetros a considerar, el Real Decreto 2090/2008 destaca los siguientes:

- a) El estado de conservación del recurso afectado.
- b) El estado ecológico, químico y cuantitativo del recurso afectado.
- c) La integridad física del recurso afectado.
- d) El nivel de calidad del recurso afectado.
- e) Los riesgos para la salud humana o para el medioambiente asociados al recurso afectado. En este sentido debe destacarse que todo daño al suelo que provoque una afección sobre la salud humana recibirá la declaración de significativo.

Sin menoscabo de lo establecido en la normativa, se insiste en la recomendación realizada en los apartados anteriores, subrayando que, en caso de carencia de información o de que exista un alto grado de incertidumbre, resulta recomendable situar el estudio en el lado de la prudencia y declarar los daños causados bajo las hipótesis de cada escenario como significativos. Este criterio resulta de especial relevancia en caso de que los modelos de dispersión utilizados no ofrezcan datos precisos sobre concentraciones esperadas en el medio, o de que no exista información suficiente sobre el estado de los recursos naturales previamente a la ocurrencia del hipotético accidente.

En el caso de la evaluación de vertidos químicos sobre el agua superficial continental puede emplearse como referencia para la evaluación de la significatividad el denominado “cociente de riesgo”.

El cociente de riesgo es la relación existente entre la concentración que alcanzaría la sustancia en el receptor (PEC) y el umbral de toxicidad escogido como referencia —el PNEC asumiendo un enfoque conservador—. Si el cociente de riesgo resulta ser mayor que la unidad el daño se consideraría significativo, lo que indicaría que la concentración de la sustancia en el medio receptor es superior al umbral de toxicidad.

### **VI.3. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS DE REPARACIÓN Y DE LOS CRITERIOS DE EQUIVALENCIA PREVISTOS EN LA LEY DE RESPONSABILIDAD MEDIOAMBIENTAL**

La normativa de responsabilidad medioambiental obliga a los operadores a aplicar una serie de medidas en caso de producirse una amenaza de daño medioambiental. Dentro de estas medidas se encuentran las medidas reparadoras, cuya aplicación, a su vez, puede realizarse atendiendo a cuatro criterios de equivalencia diferentes. En el presente apartado se exponen de forma detallada estos aspectos de la normativa.

#### **VI.3.1. Medidas de prevención, de evitación y de reparación**

La Ley de Responsabilidad Medioambiental define los siguientes tipos de medidas:

- Medida preventiva o medida de prevención: aquella adoptada como respuesta a un suceso, a un acto o a una omisión que haya supuesto una amenaza inminente de daño medioambiental, con objeto de impedir su producción o reducir al máximo dicho daño.
- Medida de evitación de nuevos daños: aquella que, ya producido un daño medioambiental, tenga por finalidad limitar o impedir mayores daños medioambientales, controlando, conteniendo o eliminando los factores que han originado el daño, o haciendo frente a ellos de cualquier otra manera.
- Medida reparadora o medida de reparación: toda acción o conjunto de acciones, incluidas las de carácter provisional, que tenga por objeto reparar, restaurar o reemplazar los recursos naturales y servicios de recursos naturales dañados, o facilitar una alternativa equivalente a ellos.

Por lo tanto, a través de esta serie de definiciones, se establece que en un primer momento se debe detectar si existe una amenaza inminente de daño medioambiental —se entiende por “amenaza inminente de daños” la probabilidad suficiente de que se produzcan daños medioambientales en un futuro próximo—. En el ámbito de la presente guía podrían asimilarse las amenazas de daño con los sucesos iniciadores, ya que estos elementos del análisis de riesgos no suponen por sí mismos un

daño al medio ambiente, pero sí podrían generar dichos daños si se dan una serie de circunstancias. A modo de ejemplo, una amenaza de daño podría ser la fuga desde un depósito causada por impacto con un vehículo.

Conforme con lo indicado en la normativa, ante la amenaza se considerarían las medidas preventivas que correspondería aplicar con objeto de que el daño no llegase a producirse. Continuando con el ejemplo anterior, algunas posibles medidas de prevención podrían ser la existencia de un cubeto de retención bajo el depósito, el despliegue de medios de contención dentro de la instalación, el bloqueo de las redes de drenaje, etc.

En caso de que las medidas de prevención no existan, no actúen o únicamente consigan contener parcialmente al agente causante de daño, se estaría ante una nueva situación, en la que sí se asumiría que existen daños sobre los recursos naturales. En esta situación al menos una parte de los agentes causantes de daño habrían entrado en contacto con los recursos naturales cubiertos por la Ley 26/2007, correspondiendo aplicar las medidas de evitación de nuevos daños. El principal objetivo de este tipo de medidas consiste en minimizar el daño causado; por ejemplo, una posibilidad en caso de vertido de combustible a una masa de agua, sería el despliegue de barreras flotantes que eviten la progresión de la mancha.

Por último, deberían abordarse las medidas reparadoras, cuyo objetivo será reestablecer los recursos afectados por el daño o proveer a la sociedad otros que sean considerados equivalentes.

La obligatoriedad de adoptar cada tipo de medida viene recogida en la normativa en función del tipo de operador económico. En concreto, los operadores recogidos en el anexo III de la Ley 26/2007 se encuentran obligados a la aplicación de los tres tipos de medidas —preventivas, de evitación y de reparación— independientemente de que exista dolo, culpa o negligencia. Mientras, los operadores no contenidos en dicho anexo están sujetos a las siguientes obligaciones:

- a) Cuando medie dolo, culpa o negligencia se les exigen los tres tipos de medidas: preventivas, de evitación y de reparación.
- b) Cuando no medie dolo, culpa o negligencia, únicamente se les exigen las medidas de prevención y de evitación.

Por lo tanto, todos los operadores económicos deben afrontar las correspondientes medidas de prevención y evitación de daños, debiendo adicionalmente reparar el daño ocasionado en función de la existencia de dolo, culpa o negligencia y de la pertenencia o no del operador al anexo III de la Ley 26/2007.

En el ámbito de la normativa de responsabilidad medioambiental existen tres posibles medidas para reparar los daños:

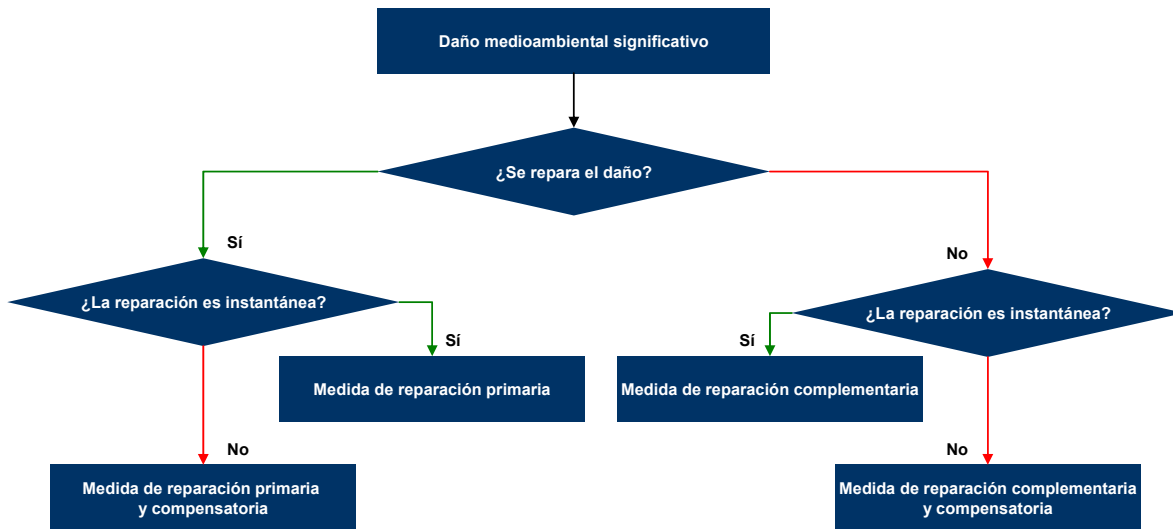
- a) Medidas de reparación primaria: son las medidas que restituyen o aproximan al máximo los recursos naturales o servicios de recursos naturales dañados a su estado básico.

- b) Medidas de reparación complementaria: son las medidas correctoras adoptadas en relación con los recursos naturales o los servicios de recursos naturales para compensar el hecho de que la reparación primaria no haya dado lugar a la plena restitución de los recursos naturales o servicios de recursos naturales dañados. Este tipo de daños se denominan “daños irreversibles”.
- c) Medidas de reparación compensatoria: son las medidas adoptadas para compensar las pérdidas provisionales de recursos naturales o servicios de recursos naturales que tengan lugar desde la fecha en que se produjo el daño hasta el momento en que la reparación primaria haya surtido todo su efecto.

De esta forma, el operador comenzaría analizando si es factible recuperar los recursos naturales hasta alcanzar de nuevo el estado básico original en el cual se encontraban estos recursos. En caso afirmativo procede diseñar una reparación primaria que recupere la zona afectada. Sin embargo, si por ciertos motivos se determina que no resulta posible restaurar la zona afectada —singularidad del recurso dañado, coste o duración del proyecto de reparación desproporcionado, características concretas de la zona o del agente, etc.— el operador responsable deberá afrontar una reparación de tipo complementaria.

Ambos tipos de medidas —primaria y complementaria— pueden llevar aparejada una medida compensatoria, la cual debe aplicarse siempre que la reparación prevista no surta efectos inmediatos. La vocación de estas medidas compensatorias es la de resarcir a la sociedad por el tiempo que transcurre entre el momento en que ocurre el daño y el momento en el que los recursos afectados vuelven a su estado básico original. Por lo tanto, cuanto mayor es la duración prevista de la reparación mayor es la dimensión de la medida compensatoria.

Si bien se debe ser consciente de que la reparación de un escenario accidental puede requerir la aplicación de los tres tipos de medidas previstos en la normativa —éste sería el caso de un daño parcialmente irreversible y de reparación no instantánea—, en la siguiente Figura se muestra un esquema práctico y simplificado para el diseño de la reparación.



**Figura 6.** Esquema simplificado de selección de medidas de reparación. Fuente: Elaboración propia a partir de la Memoria Justificativa del Real Decreto 2090/2008.

En la selección de las medidas reparadoras concretas que deben ser adoptadas deben considerarse los siguientes criterios:

- a) El efecto de cada medida en la salud y la seguridad pública.
- b) La probabilidad de éxito de cada medida.
- c) El grado en que cada medida servirá para prevenir futuros daños y evitar daños colaterales como consecuencia de su aplicación.
- d) El grado en que cada medida beneficiará a cada componente del recurso natural o servicio medioambiental.
- e) El grado en que cada medida tendrá en cuenta los correspondientes intereses sociales, económicos y culturales y otros factores pertinentes específicos de la localidad.
- f) El periodo de tiempo necesario para que sea efectiva la reparación del daño medioambiental.
- g) El grado en que cada una de las medidas logra reparar el lugar que ha sufrido el daño medioambiental.
- h) La vinculación geográfica con el lugar dañado.
- i) El coste que supone aplicar la medida.

**VI.3.2. Los criterios de equivalencia para la reparación del daño**

Los criterios de equivalencia entran en juego siempre que mediante la reparación no se logre restaurar el estado original de los recursos o que dicha restauración no se alcance instantáneamente. Esto es, el operador deberá acudir a los criterios de equivalencia siempre que deban aplicarse

medidas de tipo compensatoria o complementaria. En el primer caso, los criterios de equivalencia servirán de herramienta para compensar a la sociedad por el tiempo durante el cual no dispone de los recursos dañados. Mientras, en el segundo caso, estos criterios se emplean para diseñar la compensación a la sociedad por los recursos perdidos.

Existen cuatro criterios de equivalencia previstos en la normativa:

- a) **Recurso-Recurso.** Criterio que valora los recursos naturales dañados a partir del proyecto que proporcione recursos del mismo tipo, cantidad y calidad que los dañados. Asume un pleno grado de sustitución entre una unidad de recurso dañada y la que puede obtenerse mediante la reparación. Por lo tanto, bajo este criterio se proveen a la sociedad recursos del mismo tipo que el recurso originalmente dañado.
- b) **Servicio-Servicio.** Criterio que valora los recursos naturales o servicios de recursos naturales dañados a partir de un proyecto que proporcione servicios del mismo tipo, cantidad y calidad, o calidad ajustable, que los dañados. En este caso, la extensión dañada y la que es objeto de reparación pueden ser diferentes dado que la finalidad es ajustar el nivel de provisión o la diferencia de calidad de los servicios entre los recursos dañados y los que se generen a través de la reparación. Por lo tanto, bajo este criterio se proveen a la sociedad servicios del mismo tipo que los que proveía el recurso originalmente dañado.
- c) **Valor-Valor.** Valoración monetaria que presume que el valor social de los recursos naturales y los servicios de los recursos naturales dañados es equivalente al valor social de los beneficios ambientales de otros recursos o servicios generados a través del proyecto de reparación. Por lo tanto, bajo este criterio se provee a la sociedad del mismo valor que el que tenía el recurso originalmente dañado.
- d) **Valor-Coste.** Valoración monetaria que supone que el valor social del daño medioambiental equivale al coste del proyecto de reparación. Dicho de otra forma, en este caso se procedería a valorar económicamente el daño causado y a emplear esa cantidad en un proyecto de recuperación del medio natural.

La selección del criterio no es arbitraria sino que debe realizarse siguiendo un determinado orden de prioridad establecido en la Ley 26/2007. En concreto, los criterios preferentes son el recurso-recurso y el servicio-servicio, encontrándose el valor-valor en tercer lugar y el valor-coste en cuarto.

Para concluir este apartado, conviene indicar que una vez seleccionado el criterio de equivalencia, la metodología que debe emplearse para dimensionar la reparación es el Análisis de Equivalencia de Recursos (AER). Las características de este método se exponen en la Memoria Justificativa del Real Decreto 2090/2008, si bien puede encontrarse información adicional en la página web del Grupo de Trabajo REMEDE, constituido a nivel europeo con objeto de ofrecer soluciones técnicas sobre la Directiva de Responsabilidad Medioambiental.



## **VI.4. VALORACIÓN DEL DAÑO MEDIOAMBIENTAL Y CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA OBLIGATORIA POR RESPONSABILIDAD MEDIOAMBIENTAL**

La determinación del valor económico del daño medioambiental reviste gran importancia ya que, aparte de ser uno de los principales datos necesarios para calcular la garantía financiera obligatoria conforme con el Real Decreto 2090/2008, ofrece información útil a los operadores sobre los costes que deberían afrontarse para reparar los daños causados. En este sentido, merece la pena recordar que la Ley 26/2007 establece un marco de responsabilidad ilimitada, por lo que los operadores responsables deben asumir la reparación independientemente de su coste. Por ello, el conocimiento de los potenciales costes toma un papel relevante a la hora de llevar a cabo una adecuada gestión del riesgo por parte de los operadores.

### **VI.4.1. Valoración económica del daño medioambiental**

En el marco de la responsabilidad medioambiental el valor económico del daño causado a los recursos naturales coincide con el coste de realizar las correspondientes medidas de prevención, de evitación y de reparación. Por lo tanto, los costes incluidos son los referentes, por una parte, a contener el agente causante del daño antes y después de que éste entre en contacto con los recursos naturales —prevención y evitación— y, por otra, los correspondientes a restaurar la zona degradada —reparación—.

La valoración de los hipotéticos daños puede abordarse de diversas formas —siempre que la decisión adoptada se justifique adecuadamente— ya que la normativa no establece obligatoriedad sobre el modelo a aplicar. En este sentido, a modo de ejemplo, una vía válida sería acudir a presupuestos elaborados por empresas especializadas en actuaciones de emergencia y recuperación de zonas contaminadas, de tal forma que se presupueste el importe a sufragar bajo las hipótesis establecidas en los escenarios accidentales identificados en el análisis de riesgos.

Con el objeto de ofrecer una herramienta que sirviera como referencia al conjunto de analistas y operadores a nivel nacional, en el año 2013, la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales y el MAGRAMA pusieron a disposición pública la herramienta de valoración denominada “Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental” (MORA). Si bien este modelo es de utilización voluntaria, a continuación se recogen algunos aspectos útiles para su empleo en los análisis de riesgos dado su interés.

### **VI.4.2. El Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA)**

MORA es una herramienta informática disponible de forma gratuita a través de Internet, cuya finalidad es ofrecer al analista un orden de magnitud del valor económico de los daños medioambientales que pudiera causar. La principal utilidad del programa se encuentra por lo tanto en la monetización de los escenarios que los operadores identifican en sus análisis de riesgos.

Probablemente, uno de los aspectos más importantes de MORA es que únicamente permite calcular costes para las reparaciones que se efectúen aplicando un criterio de equivalencia de tipo recurso-recurso. Esto es, el empleo de la herramienta requiere que el analista determine previamente que se podrán recuperar recursos del mismo tipo, calidad y cantidad que los originalmente dañados. En caso contrario se deberá acudir a otro de los criterios previstos en la normativa —servicio-servicio, valor-valor o valor-coste—, no pudiendo apoyarse en MORA.

Los datos de salida del modelo son la estimación del orden de magnitud de la reparación primaria, compensatoria y complementaria. Merece la pena incidir en que MORA no incluye las medidas de prevención y evitación, sin embargo éstas pueden evaluarse conforme al artículo 33 del Real Decreto 2090/2008, donde se indica que estas medidas serán al menos el 10% del coste de la reparación primaria.

En cuanto a los datos de entrada necesarios, destacan los siguientes bloques de información:

a) Localización del daño.

La herramienta informática ofrece dos posibilidades para introducir la localización del lugar en el que se ocasionaría el hipotético daño. La primera opción consiste en la introducción directa de las coordenadas del punto. Por otra parte, la segunda opción disponible es utilizar el visor cartográfico integrado en la herramienta.

A partir de las coordenadas introducidas la aplicación retorna una serie de características del entorno en el cual se produce el daño. Estas características proceden de la cartografía de referencia del modelo. Sin embargo, en caso de que el analista disponga de mejor información que la ofrecida en MORA por defecto, éste puede modificarla justificando los cambios realizados. A modo de ejemplo, si la aplicación declara que en la zona afectada existe un bosque pero dicho bosque desapareció por un incendio previo, el analista podría modificar el dato argumentando dicho cambio.

b) Agente causante de daño.

El siguiente bloque de información hace referencia al agente que causa el daño. Estos agentes se encuentran divididos en cuatro grupos principales: físicos, químicos, biológicos e incendios.

c) Recurso natural afectado.

Una vez seleccionado el agente, el siguiente paso consiste en definir el recurso o los recursos que se verían afectados por el mismo. En este sentido MORA ofrece un listado de posibles recursos afectados atendiendo a la cartografía y al agente causante de daño que se haya seleccionado.

d) Cantidad de recurso dañado.

La cantidad de cada recurso que se vería afectada por el daño viene expresada en unidades biofísicas del recurso natural. Este dato de entrada debe ser previamente calculado por el operador pudiendo apoyarse para ello en los criterios de cuantificación del daño indicados en la presente guía.

e) Reversibilidad del daño.

Por último, el analista debe estimar si el daño introducido se considera reversible —se puede reestablecer el estado inicial del recurso dañado— o irreversible —no puede recuperarse el estado básico del recurso dañado—.

A partir de los anteriores parámetros de entrada el modelo aporta una serie de información útil al analista, destacando la siguiente:

a) Propuesta de técnica de recuperación para la reparación primaria.

MORA recomienda una técnica de recuperación por defecto para cada una de las combinaciones “agente causante de daño-recurso natural afectado” que introduzca el analista. Adicionalmente, la herramienta permite seleccionar una técnica alternativa de entre las recogidas en su base de datos, e incluso realizar la simulación con una técnica diferente definida por el usuario.

b) Coste de la reparación primaria.

La aplicación propone un orden de magnitud del coste de la medida de reparación primaria que puede tomarse como referencia para el cálculo de la garantía financiera obligatoria.

c) Propuesta de técnica de recuperación para la reparación compensatoria o complementaria.

Como se ha indicado, MORA, además de la reparación primaria, ofrece asistencia para el diseño de la reparación compensatoria y complementaria. Es importante destacar que el modelo trata de forma diferenciada los daños reversibles y los irreversibles, por lo que ambos deben introducirse separadamente en la herramienta. Dicho de otra forma, en MORA no se introduciría un escenario parcialmente irreversible; si no que, en este caso, el analista introduciría dos escenarios: uno con la cantidad de recurso dañada de forma reversible y otro con la cantidad dañada de forma irreversible. Adicionalmente, merece la pena indicar que, si bien conceptualmente la reparación compensatoria difiere de la reparación complementaria en el caso de daños irreversibles, MORA calcula ambas de forma conjunta. Por lo tanto, en un daño irreversible la medida complementaria prescrita por MORA incluye también su correspondiente compensatoria.

d) Coste de la reparación compensatoria o complementaria.

Al igual que ocurría con la reparación primaria, MORA ofrece como principal dato de salida una estimación del coste que supondría la realización de la reparación compensatoria y complementaria, expresado en unidades monetarias.

Si bien en el presente apartado se ha pretendido realizar un resumen práctico, en la web del MAGRAMA existe actualmente abundante documentación sobre MORA, cuya consulta se recomienda a los analistas que opten por utilizar esta herramienta. En concreto, destaca la descripción de la metodología y la guía de usuario de la herramienta informática.

#### **VI.4.3. Cálculo de la garantía financiera obligatoria**

La sección primera de la Ley 26/2007 regula de forma detallada la garantía por responsabilidad medioambiental que deben constituir determinados operadores económicos. En concreto, la redacción original de esta Ley obligaba a constituir dicha garantía a todos los operadores enumerados en su anexo III.

En la reforma legislativa que se está planteando en la actualidad, algunos de los operadores del anexo III quedarán exentos de esta obligación dado su relativamente menor riesgo medioambiental. En concreto, el Proyecto de Real Decreto que modificará el actual Real Decreto 2090/2008 establece que únicamente se exigirá una garantía financiera obligatoria a los operadores que realicen las siguientes actividades:

- a) Las actividades e instalaciones sujetas al ámbito de aplicación del Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- b) Las actividades e instalaciones sujetas al ámbito de aplicación de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- c) El transporte por carretera y por ferrocarril de mercancías peligrosas, consideradas como contaminantes del medio ambiente, según lo especificado en el Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR) y en el Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID), vigentes en cada momento, cuando se realicen en cisternas de cualquier tipo o a granel.
- d) Los operadores que cuenten con instalaciones de residuos mineros clasificadas como de categoría A de acuerdo a lo establecido en el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

Conforme con la normativa, los operadores deberán fijar la cuantía de la garantía con base en su análisis de riesgos medioambientales debiendo comunicar dicha constitución a la Administración competente. Esta comunicación debe realizarse empleando el modelo de formulario recogido en el Anejo IV del proyecto de Real Decreto.

Merece la pena destacar algunas exenciones de constituir garantía financiera en función de la cuantía que resulte de la aplicación de los análisis de riesgos medioambientales. En concreto, el operador no se encuentra obligado a establecer una garantía financiera por responsabilidad medioambiental si:

- a) El daño asociado a sus actividades se ha evaluado en una cantidad inferior a 300.000 euros.
- b) El daño asociado a sus actividades se ha evaluado en una cantidad comprendida entre 300.000 y 2.000.000 de euros y acreditan, mediante la presentación de certificados expedidos por organismos independientes, que están adheridos con carácter permanente y continuado, bien al sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS), bien al sistema de gestión medioambiental UNE-EN ISO 14001:1996.

El procedimiento de cálculo de la garantía financiera que se encuentra previsto en el Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Real Decreto 2090/2008 parte del análisis de riesgos medioambientales que elabore el operador, consistiendo en las siguientes fases:

1. Identificar los escenarios accidentales y establecer la probabilidad de ocurrencia de cada escenario.

La información básica de partida para el cálculo de la garantía financiera es el listado de escenarios accidentales que se hayan identificado en la instalación. Cada uno de estos escenarios debe tener asociada una probabilidad de ocurrencia.

2. Estimar un índice de daño medioambiental asociado a cada escenario accidental siguiendo los pasos que se establecen en el anexo III del Proyecto de Real Decreto.

La magnitud del daño causado bajo las hipótesis establecidas en cada escenario accidental debe evaluarse a través del Índice de Daños Medioambientales (IDM) expuesto en el Proyecto de Real Decreto. A cada escenario accidental le deberá corresponder un valor del IDM.

3. Calcular el riesgo asociado a cada escenario accidental como el producto entre la probabilidad de ocurrencia del escenario y el índice de daño medioambiental.

En la normativa el riesgo medioambiental se define como el producto de la probabilidad que se ha asignado a cada escenario por la correspondiente magnitud de sus daños —ésta última evaluada a través del IDM—.

4. Seleccionar los escenarios con menor índice de daño medioambiental asociado que agrupen el 95% del riesgo total.

Como primera actuación de esta fase se recomienda que el operador sume el riesgo de todos los escenarios identificados en su análisis de riesgos —riesgo total— reservando este dato para las operaciones posteriores.

El siguiente paso consiste en ordenar los escenarios de mayor a menor valor del IDM —los escenarios con mayor IDM quedarían en la parte superior del listado—, para, posteriormente,

calcular el riesgo acumulado de cada escenario. Este valor acumulado es el resultado de sumar el riesgo de cada escenario y el riesgo de todos los escenarios que tengan un IDM inferior a dicho escenario.

Por último, el riesgo acumulado de cada escenario se debe expresar en tanto por ciento sobre el riesgo total de la instalación que se ha calculado en el primer paso de la presente fase.

El analista seleccionaría para continuar con el proceso únicamente los escenarios que agrupen el 95% del riesgo total.

5. Establecer la cuantía de la garantía financiera, como el valor del daño medioambiental del escenario con el índice de daño medioambiental más alto entre los escenarios accidentales seleccionados. Para ello se seguirán los siguientes pasos:

- 5.1. En primer lugar, se cuantificará el daño medioambiental generado en el escenario seleccionado.

Como indica la normativa, el analista únicamente debe cuantificar los daños causados bajo las hipótesis establecidas en el escenario accidental que se toma como referencia —aquél con mayor valor del IDM de entre todos los escenarios que acumulen el 95% del riesgo total—.

Para este escenario debe abordarse un proceso de cuantificación que determine la extensión prevista del daño, su intensidad y la escala temporal del mismo.

- 5.2. En segundo lugar, se monetizará el daño medioambiental generado en dicho escenario de referencia, cuyo valor será igual al coste del proyecto de reparación primaria.

A partir de los datos de cuantificación obtenidos en la fase anterior, el analista procederá a estimar el coste de la reparación primaria del escenario de referencia. A modo de recordatorio, esta reparación primaria se define en la normativa como “toda medida correctora que restituya o aproxime al máximo los recursos naturales o servicios de recursos naturales dañados a su estado básico”. Por lo tanto, se corresponde con el conjunto de actuaciones que deberían llevarse a cabo para restaurar la zona afectada por el hipotético daño.

Resulta importante indicar que una posible medida de reparación primaria a la que puede acudir el analista es la recuperación natural del recurso afectado. En este sentido, si en el escenario de referencia para el cálculo de la garantía financiera la reparación que se plantea se basa íntegramente en la recuperación natural, la garantía será igual al valor del daño asociado al escenario accidental con mayor índice de daño medioambiental entre los escenarios seleccionados cuya reparación primaria sea distinta de la recuperación natural. De esta forma, se suprimen del proceso aquellos escenarios en los que la única actuación de reparación sea una recuperación natural.

6. Una vez determinada la cuantía de la garantía financiera obligatoria, se procede a calcular los costes de prevención y evitación del daño.

Dado que en aplicación de las fases anteriores el analista dispondría únicamente del valor de la garantía atendiendo a sus posibles obligaciones de reparación primaria, restaría considerar los costes derivados de las medidas de prevención y evitación. Con este fin la normativa permite dos posibilidades:

- a) Aplicar un porcentaje sobre la cuantía total de la garantía obligatoria.
- b) Estimar los costes de prevención y evitación a través del análisis de riesgos medioambientales.

En todo caso, debe tenerse en cuenta que la cuantía de los gastos de prevención y evitación del daño deben ser, como mínimo, el 10% del importe total de la garantía calculada siguiendo las fases anteriores. Por lo que en la práctica resulta frecuente que en los análisis de riesgos se asimile el coste de las medidas de prevención y evitación con el 10% de la garantía financiera calculada conforme con el artículo 33 del Real Decreto 2090/2008.

#### **VI.5.PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DE RIESGOS INDIVIDUAL**

Los operadores económicos se encuentran obligados a realizar un análisis de riesgos individual en el que se identifiquen y evalúen sus principales riesgos medioambientales. Para ello, pueden basarse en la presente Guía Metodológica o acudir a otras fuentes que consideren más adecuadas a sus circunstancias —el empleo de las herramientas sectoriales es voluntario—.

Independientemente de la referencia utilizada, las decisiones que se adopten en la elaboración de los análisis de riesgos deben encontrarse adecuadamente justificadas. De esta forma, y a modo de ejemplo, un operador podría tomar como base la presente Guía, y justificar la consideración o no de determinadas zonas o fuentes de peligro, sucesos iniciadores, factores condicionantes, estimadores de la probabilidad de ocurrencia, etc. También existe la posibilidad de incluir nuevos elementos que desencadenen en escenarios no previstos en la Guía —denominados “escenarios singulares”—.

En todo caso, el objetivo perseguido debe ser que el modelo elaborado ofrezca una imagen fiel de la instalación y de sus principales riesgos ambientales. Para ello, cuando la Guía se particularice para un operador individual, éste debe incorporar a su análisis todas aquellas variables —zonas, fuentes de peligro, estimadores, etc.— que puedan influir en la identificación y caracterización de los escenarios accidentales, suprimiendo del análisis únicamente aquellos factores que no tengan relación con la instalación.

En el presente apartado se recogen unas indicaciones que facilitan la realización de los análisis de riesgos particulares a partir de este instrumento sectorial. En concreto, se expone el esquema establecido en el documento “Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental” —elaborado en el seno de la Comisión Técnica de Prevención

y Reparación de Daños Medioambientales— para el ejercicio práctico de los MIRAT. Este esquema se fundamenta a su vez en la Norma UNE 150008, ya que ésta es la norma preferente que debe seguirse para la elaboración de los análisis.

En todo caso, debe tenerse en cuenta que en los análisis de riesgos de las instalaciones deben considerarse, entre otros, los siguientes aspectos:

- a) La caracterización del entorno donde se ubica la instalación.
- b) La identificación del agente causante del daño y de los recursos y servicios afectados.
- c) La extensión, intensidad y escala temporal del daño.
- d) Una evaluación de la significatividad del daño.
- e) La identificación de las medidas de reparación primaria.

Dado que en el documento de “Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental” no se exige que las Guías Metodológicas cuenten con un caso práctico que ilustre lo expuesto en las mismas, como se ha indicado, se ha tomado como referencia la estructura y contenido establecidos para los ejercicios prácticos que deben acompañar a los análisis de riesgos sectoriales de tipo MIRAT. A continuación se detalla este índice modificado con el fin de introducir los cambios previstos en el Proyecto de Real Decreto.

### **1. Descripción de la actividad y caracterización del entorno donde ésta se realiza**

El análisis de riesgos individual debe especificar la actividad o las actividades que son objeto de análisis, así como aquellas que quedan excluidas del mismo.

Resulta útil incluir una descripción del proceso productivo realizado junto con los pertinentes gráficos, planos y esquemas que se consideren oportunos.

Por otra parte, en este apartado se incluirá una caracterización del entorno en el que se desarrolla la actividad prestando especial atención a los recursos naturales cubiertos por la Ley de Responsabilidad Medioambiental.

### **2. Identificación de escenarios accidentales**

En esta fase el analista debe identificar las diferentes fuentes de peligro medioambiental que puedan existir en su instalación. Generalmente, puede tomar como base las zonas y actividades de la planta, para, a partir de las mismas, plantear las posibles causas que desencadenarían los sucesos iniciadores —en el caso del presente sector se trata principalmente de vertidos e incendios—.

Con la definición de los sucesos iniciadores y la consideración de los factores condicionantes que pueden influir en el desarrollo del episodio, el analista llegaría a disponer del listado de escenarios accidentales. En este sentido, se recomienda la utilización de árboles de sucesos ya



que los mismos, además de facilitar el análisis, permiten realizar una evaluación relativamente exhaustiva de las diferentes posibilidades de desarrollo del suceso iniciador —la Norma UNE 150008 ofrece la descripción de este tipo de herramientas así como una aplicación práctica de las mismas—.

Cada uno de los escenarios identificados debe venir caracterizado, al menos, por una descripción de los agentes causantes de daño, y una descripción de los recursos naturales que resultarían afectados.

Los árboles de sucesos aportan la estructura básica del análisis de riesgos, ya que en los mismos se recogen algunos de los elementos de mayor importancia para el análisis: posibles causas, sucesos iniciadores, factores condicionantes y escenarios accidentales.

Una vez se dispone de este esquema —árboles de carácter descriptivo o cualitativo— las siguientes operaciones consisten en aportar los datos cuantitativos al mismo.

### **3. Estimación de la probabilidad de ocurrencia de cada escenario**

El primer valor a introducir en el modelo es la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental. Para ello, el analista puede partir de la asignación de probabilidades de ocurrencia a cada suceso iniciador en función de las causas que lo pueden desencadenar. Posteriormente, esta probabilidad del suceso iniciador se multiplicaría por la probabilidad de ocurrencia de cada factor condicionante, de tal forma que finalmente se llegaría a la probabilidad del escenario accidental.

### **4. Cálculo del índice de daño medioambiental (IDM) de cada escenario accidental**

El IDM es un indicador de la magnitud del daño causado bajo las hipótesis establecidas en los escenarios accidentales, debiendo ser calculado para cada uno de los escenarios que se hayan identificado.

### **5. Estimación del riesgo asociado a cada escenario accidental como resultado de multiplicar la probabilidad de ocurrencia por el valor del IDM de cada escenario.**

Con los datos de probabilidad y de magnitud de los daños (IDM), el analista debe proceder a calcular el riesgo de cada escenario mediante la multiplicación de ambas magnitudes.

### **6. Selección del escenario accidental de referencia siguiendo los pasos que se establecen en el artículo 33 del Real Decreto 2090/2008 modificado por el Proyecto de Real Decreto**

De entre la totalidad de escenarios identificados por el analista, éste únicamente deberá seleccionar los escenarios con menor índice de daño medioambiental que agrupen el 95% del riesgo total, prescindiendo de los restantes. La cuantía de la garantía financiera obligatoria se fijará atendiendo exclusivamente al escenario con mayor IDM de entre los escenarios seleccionados, siendo por lo tanto el escenario de referencia de la instalación.

### **7. Cuantificación del daño asociado al escenario accidental de referencia.**

El analista procederá a cuantificar el daño medioambiental ocasionado bajo las hipótesis establecidas en su escenario de referencia. De esta forma, deberá ofrecer una estimación de la extensión, la intensidad y la escala temporal del daño evaluado.

### **8. Monetización del daño asociado al escenario accidental de referencia.**

Con base en la cuantificación, el analista deberá ofrecer una estimación del valor económico del daño ocasionado, expresado en unidades monetarias.

### **9. Evaluación de la necesidad de constituir, en su caso, una garantía financiera**

El analista deberá evaluar si resulta obligatorio constituir una garantía financiera para la instalación evaluada atendiendo a la normativa de responsabilidad medioambiental.

**10. Evaluación de la tolerabilidad y gestión del riesgo medioambiental en función de la probabilidad y la gravedad de las consecuencias ambientales asociadas a cada escenario accidental.**

Este apartado tendría carácter opcional, complementando los contenidos anteriormente expuestos. En concreto, consistiría en realizar una categorización de los riesgos identificados en función de su probabilidad de ocurrencia y del valor del IDM, explorando las medidas de gestión más adecuadas para cada caso.

**11. Inclusión de un análisis de sensibilidad que permita evaluar los efectos que la variación de los parámetros de entrada tiene sobre el cálculo de la garantía financiera**

De nuevo con carácter opcional, en los análisis de riesgos pueden realizarse simulaciones sobre lo que ocurriría si se modificaran algunos datos de entrada sobre cuyo valor exista cierta incertidumbre. A modo de ejemplo, podrían realizarse diferentes estimaciones sobre el volumen de agente liberado, la extensión del daño, etc. con el fin de evaluar su efecto sobre los resultados obtenidos.

Si bien se recomienda a los operadores del sector considerar la presente GM en su conjunto, con objeto de facilitar su consulta de cara a la elaboración de los análisis de riesgos individuales, en la siguiente Tabla se ofrece una correspondencia entre los puntos enumerados anteriormente y el apartado de la GM en el que éstos se tratan con mayor profundidad.

Nº	Tarea del índice del análisis de riesgos individual	Apartado GM
1	Descripción de la actividad y caracterización del entorno	IV.1, IV.2, V
2	Identificación de escenarios accidentales	V
3	Estimación de probabilidad de ocurrencia de cada escenario	VI.1
4	Cálculo del índice de daño medioambiental (IDM) de cada escenario accidental	VI.2.1
5	Estimación del riesgo asociado a cada escenario accidental	VI.2.2
6	Selección del escenario accidental de referencia	VI.2.2
7	Cuantificación del daño asociado al escenario accidental de referencia	VI.2.3
8	Monetización del escenario asociado al escenario accidental de referencia	VI.4
9	Evaluación de la necesidad de constituir una garantía financiera obligatoria	VI.4.3
10	Evaluación de la tolerabilidad y gestión del riesgo medioambiental	VII

**Tabla 29.** Esquema simplificado de selección de medidas de reparación. Fuente: Elaboración propia a partir de la Memoria Justificativa del Real Decreto 2090/2008.

## VII. ORIENTACIONES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL

La gestión del riesgo es una fase de los análisis prevista en la Norma UNE 150008 que tiene por objeto tomar decisiones adecuadas en materia de riesgos medioambientales atendiendo tanto a criterios de seguridad como a criterios de eficiencia económica.

Conforme con esta norma, la gestión comprende dos aspectos diferenciados:

- a) Por un lado, el tratamiento que se da a los distintos riesgos evaluados, considerando tanto los criterios financieros como los criterios técnicos.
- b) Por otro, la comunicación con los grupos de interés relevantes.

En el presente capítulo se expondrán una serie de orientaciones sobre el primero de estos aspectos.

### VII.1. EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE CARA A LA GESTIÓN DEL RIESGO

Con el fin de realizar una correcta gestión del riesgo medioambiental pueden emplearse las herramientas recogidas en la “Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental” elaborada por Protección Civil (DGPC, 2004). En concreto, la metodología que se propone partiría del listado de escenarios accidentales identificados para la instalación, en el cual cada uno de los mismos figuraría con su probabilidad de ocurrencia y el valor estimado de sus consecuencias medioambientales —como indicador de este último dato se emplearía el valor del IDM—.

Con el fin de clasificar los escenarios accidentales se utilizan unos ejes cartesianos, donde el eje de ordenadas recoge la probabilidad de ocurrencia de cada escenario y el eje de abscisas la magnitud esperada de los daños —valor del IDM—.

Esta gráfica ofrece una categorización de los escenarios, ya que los escenarios situados más próximos al origen tendrán asociado un menor riesgo, mientras los más alejados revestirán un mayor riesgo para la empresa —bien por su elevada probabilidad, bien por el elevado valor de los daños o bien por el valor elevado de ambos—.

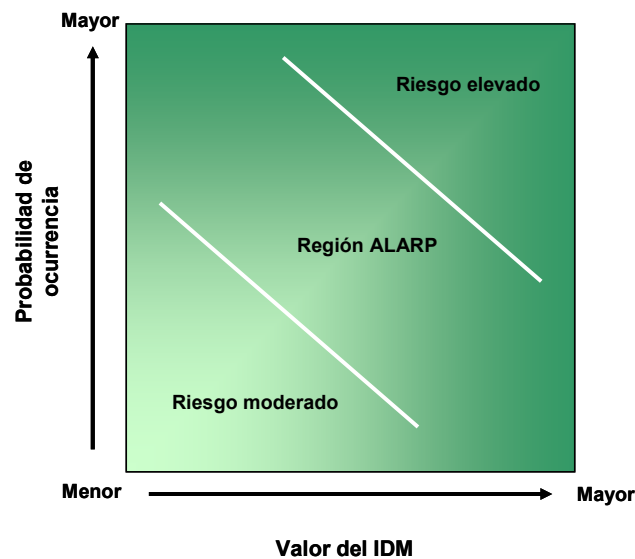
A partir de la representación gráfica se diferencian tres tipos de escenarios accidentales en función de la región en la cual se encuentren ubicados:

- a) Región de riesgo moderado. En esta zona se encuentran los escenarios que entrañan un menor riesgo medioambiental para la instalación dada su baja probabilidad y/o su baja magnitud de daños.
- b) Región ALARP (*as low as reasonably practicable*). Se trata de una región intermedia en la cual se encuentran los escenarios cuyo riesgo se considera tolerable para la instalación. No obstante, se recomienda actuar de forma que se reduzca su riesgo hasta unos niveles tan bajos como sea posible.

- c) Región de riesgo elevado. Los escenarios que llevan asociados las mayores probabilidades de ocurrencia y/o los mayores valores de daños medioambientales quedarían encuadrados en esta zona. Sobre estos escenarios, se recomienda una actuación prioritaria de tal forma que se logre disminuir su riesgo hasta niveles considerados tolerables.

La definición de los valores umbrales que delimiten cada una de estas regiones puede realizarse a nivel de operador económico atendiendo a sus circunstancias concretas —proceso productivo, entorno natural, situación económica, sensibilidad ante el riesgo, etc.—.

En la siguiente figura se representa un gráfico con la categorización de escenarios que se ha expuesto anteriormente.



**Figura 7.** Clasificación de los escenarios accidentales de cara a la gestión del riesgo medioambiental. Fuente: Elaboración propia a partir de DGPC (2004).

## VII.2. MEDIDAS Y ACTUACIONES ANTE LOS RIESGOS MEDIOAMBIENTALES

Como se ha indicado, una vez que la instalación dispone de información suficiente sobre sus riesgos medioambientales, los gestores pueden tomar decisiones fundamentadas sobre la gestión de los mismos. En concreto, se adoptaría como base el análisis de riesgos para tomar las decisiones más adecuadas considerando los criterios de seguridad y de eficiencia económica.

El anexo A de la Norma UNE 150008 recoge una serie de actuaciones o perspectivas que pueden adoptarse en la gestión de riesgos. De entre ellas en el presente apartado se expondrán de forma somera las siguientes actuaciones, siendo compatibles entre sí:

- a) Eliminación del riesgo
- b) Reducción y control del riesgo

## c) Retención y transferencia del riesgo

**VII.2.1. Eliminación del riesgo**

La eliminación del riesgo es una actuación que permite suprimir completamente el riesgo de una determinada actividad realizada por la instalación —cese de esa actividad, sustitución de una sustancia por otra no peligrosa, cambio en la ubicación de la instalación, etc.—. No obstante, si bien esta actuación es deseable, en la mayoría de casos no es asumible bien atendiendo a aspectos técnicos o a aspectos económicos.

**VII.2.2. Reducción y control del riesgo**

El objetivo deseable de la gestión sería eliminar los riesgos detectados en la instalación. Sin embargo, como se ha indicado, en la mayoría de las situaciones este objetivo no puede alcanzarse debido a la inherencia de dichos riesgos a la actividad económica que se realiza, al coste inasumible que debería afrontarse o a que la eliminación de algunos riesgos puede generar otros riesgos diferentes. Por ello, usualmente la política de gestión de riesgos suele encaminarse a la adopción de medidas que permitan reducir la probabilidad y/o la magnitud de los posibles daños a niveles económica y técnicamente viables.

En todo caso, los riesgos residuales que permanezcan en la instalación deberán ser objeto de un control que permita el estudio y seguimiento de su evolución a lo largo del tiempo.

A modo de orientación, a continuación se recogen algunas medidas de prevención implantadas —o que pueden implantarse— por los operadores del sector con objeto de disminuir su riesgo medioambiental:

- Impartir formación al personal sobre las actuaciones a desarrollar en caso de accidente medioambiental.
- Realizar simulacros de accidente medioambiental, evaluar sus resultados y emplearlos, en caso necesario, para mejorar la respuesta dada.
- Realizar un mantenimiento preventivo de las instalaciones.
- Instalar medidas de detección y contención de vertidos e incendios superiores a las exigidas por la normativa.
- Automatizar los procesos realizados en la instalación.
- Restringir la circulación de vehículos en el interior de la instalación.
- Disponer de zonas adecuadamente dimensionadas, señalizadas e iluminadas.
- Disponer de equipos ATEX en las zonas donde se requieran.
- Realizar las operaciones a cubierto.

- Realizar el proceso de carga y descarga en el interior de naves o bajo una cubierta.
- Disponer de un muro perimetral estanco.
- Controlar la instalación mediante un circuito de televisión cerrado.
- Realizar periódicamente pruebas de estanqueidad de los equipos de retención.
- Disponer de alarmas de sobrellenado de los tanques.
- Contar con presencia continua de personal en la instalación.
- Controlar periódicamente la calidad de los líquidos contenidos en el sistema de almacenamiento de pluviales.
- Disponer de un sistema de abatimiento para gases.
- Analizar y caracterizar adecuadamente los residuos recibidos en la instalación.

En el caso específico de las plantas de tratamiento de RAEE se destacan las siguientes:

- Disponer de equipos de aspiración de polvo.
- Medir en continuo la presencia de gases inflamables.
- Realizar los procesos en salas cerradas al exterior.

En el caso específico de los vertederos se destacan las siguientes:

- Disponer de un área desbrozada en el perímetro de la instalación para evitar la propagación de incendios.
- Aplicar un procedimiento de control de admisión que garantice la compatibilidad de los residuos en su zona de ubicación final.
- Mantener la red de drenaje interior y los sistemas de almacenamiento de pluviales en buen estado.
- Cubrir los residuos periódicamente.
- Realizar un control taquimétrico periódico de la estabilidad del relleno y de las infraestructuras de contención.
- Realizar un seguimiento a través de hitos topográficos de control.
- Controlar los niveles de lixiviados.
- Disponer de alarmas de seguridad por sobrellenado de las balsas.
- Disponer de balsas de contención de lixiviados en buen estado y con una capacidad adecuada.
- Realizar la inspección y registro del nivel de llenado de las balsas.
- Controlar periódicamente la calidad del lixiviado.



- Considerar en el plan de explotación medidas de evitación de generación de partículas de residuos.
- Disponer de capas de refuerzo mineral o geosintético.
- Limitar las operaciones con maquinaria en las zonas próximas a la geomembrana.
- Disponer de un bordillo hormigonado como elemento de resguardo.
- Instalar un drenaje de control de fugas en la balsa de lixiviados.
- Disponer de un pavimento perimetral orientado hacia las balsas de contención.
- Disponer de pozos interiores de registro del nivel de lixiviado en el interior del vaso de vertido.
- Instalación de equipos de testificación geotécnica.
- Sellar de forma parcial los taludes finalizados del vertedero.
- Diseñar los taludes conforme con los requerimientos de seguridad. Realizar una validación geotécnica de la estabilidad.
- Implantar una red de drenaje específica para la recogida de la escorrentía superficial.
- Gestionar la explotación de forma que se minimice la emisión de partículas de residuos.
- Emplear materiales de cobertura, geotextiles antipunzonamiento o lodos para la protección mecánica de la geomembrana.
- Constitución de un comité de crisis ante emergencias medioambientales.

### **VII.2.3. Retención y transferencia del riesgo**

Existen diferentes posibilidades para transferir el riesgo asociado a las actividades del operador. La Norma UNE 150008 destaca dos categorías: la transferencia técnica del riesgo y la financiación del riesgo.

La transferencia técnica consiste en trasladar el riesgo a una organización mediante acuerdos contractuales que subcontratan alguna actividad que desarrollaba originalmente el operador.

De esta forma, la transferencia reduce el impacto que un posible accidente medioambiental tendría sobre la economía del operador en la medida que éste haya trasladado la responsabilidad medioambiental al subcontratista.

Por otra parte, la financiación del riesgo es un mecanismo mediante el cual la propia instalación o un tercero hacen frente a los costes derivados de las potenciales consecuencias medioambientales. En este sentido existen varios instrumentos disponibles como el establecimiento de fianzas, avales, depósitos, fondos de garantía, pólizas de seguro, etc.



## VIII. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

En la elaboración de la presente Guía Metodológica se han adoptado diversas decisiones que llevan aparejadas cierto grado de incertidumbre. En concreto, se destacan las siguientes fuentes de incertidumbre que deben ser tenidas en cuenta por los operadores del sector al cual se dirige la Guía:

### **A. Identificación de los elementos del modelo: zonas y actividades con peligro asociado, sucesos iniciadores, factores condicionantes y escenarios accidentales**

La identificación de los diferentes elementos del modelo se ha realizado a partir de una serie de visitas a instalaciones representativas del sector, contando en todo momento con la colaboración activa de los operadores y de las asociaciones empresariales. Sin embargo, existe la posibilidad de que algunos operadores del sector cuenten en sus instalaciones con elementos propios o con variaciones de los elementos que se recogen en este documento —diferentes procesos, sustancias, etc.—. En este caso, los operadores deberán introducir en sus análisis de riesgos individuales cuantas modificaciones a la Guía consideren necesarias con objeto de que el modelo que desarrollen represente una imagen fiel de la instalación evaluada. De esta forma, a modo de ejemplo, un operador podría contar con cierta maquinaria que aún no habiendo sido recogida a nivel sectorial sí puede tener un riesgo medioambiental relevante en su caso concreto, por lo que la misma debería figurar en su análisis. En este sentido, merece la pena destacar el concepto de “escenario singular”, siendo este tipo de escenarios aquellos que no se identifican en los análisis de riesgos sectoriales pero sí deben aparecer en el análisis de riesgos individual concreto.

Por lo tanto, si bien la Guía pretende ofrecer una referencia general a nivel sectorial sobre los elementos a considerar en los análisis de riesgos individuales, existe la posibilidad de que el listado de elementos ofrecido no sea exhaustivo, por lo que deberá completarse con base en las características específicas de cada operador.

### **B. Metodología propuesta para la asignación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales en caso de ausencia de registro histórico de accidentes**

En la actualidad existen principalmente dos métodos para la asignación de probabilidades cuando no se dispone de un registro de accidentes en el ámbito de los análisis de riesgos medioambientales —cuantitativo y semicuantitativo—, cada uno de los cuales lleva asociado un nivel de incertidumbre relevante —principalmente debido a la adopción de referencias bibliográficas genéricas (cuantitativo) y al diseño de los estimadores y de las escalas de valores (semicuantitativo)—. Por lo tanto, los resultados obtenidos pueden variar en función de aspectos como la referencia bibliográfica que se seleccione, las escalas que se establezcan, etc. Por este motivo resulta recomendable adoptar las decisiones de forma justificada y acudiendo a referencias preexistentes, con el fin de dar solidez a los análisis de riesgos individuales que se elaboren. Es igualmente recomendable que, siempre que sea posible, se realice un estudio de la sensibilidad del resultado obtenido a los cambios que se

produzcan en los valores de probabilidad —a modo de ejemplo, podría estudiarse en cuánto varía la garantía financiera si se utilizaran diferentes referencias bibliográficas o diferentes escalas—. En todo caso, si existiesen dudas razonables sobre el criterio a emplear, como se indica a lo largo de la presente Guía, se sugiere la adopción de los valores más conservadores con el fin de disminuir las posibilidades de que se generen efectos adversos superiores a los previstos.

### **C. Metodología propuesta para la cuantificación del daño medioambiental**

La cuantificación consiste en evaluar la extensión, la intensidad y la escala temporal del daño medioambiental. Para ello resulta necesario acudir a modelos de dispersión que llevan asociado un grado de incertidumbre significativo. Por lo tanto, es posible que los resultados estimados con estos modelos difieran de los que realmente sucederían en la realidad. Sin embargo, dado el carácter apriorístico de los análisis de riesgos se considera como una limitación asumible, y parcialmente subsanable adoptando de nuevo un criterio de prudencia en la evaluación. A modo de ejemplo, en caso de que existan diferentes modelos aplicables a una situación, o que se disponga de varios valores para un mismo parámetro de entrada, el analista podría dejar constancia de este hecho, realizar varias simulaciones y seleccionar aquella que arroje las mayores consecuencias medioambientales.

### **D. Monetización del daño medioambiental**

Por último, una fase importante de los análisis de riesgos es la monetización del daño medioambiental ya que, a través de la misma, el daño causado se expresa en unidades monetarias. En este caso, el analista deberá aplicar herramientas que le permitan presupuestar la reparación de un daño medioambiental hipotético y que, por lo tanto, no ha acontecido en la realidad. De esta forma, la evaluación económica del daño representa una fuente de incertidumbre, ya que las circunstancias concretas que concurran en un accidente real pueden diferir de las previstas en el análisis de riesgos, modificando por lo tanto el valor económico del daño. Como se ha indicado en los puntos precedentes, considerando esta incertidumbre el analista podría situar su análisis de riesgos del lado de la prudencia en la valoración, elaborando varios presupuestos —adoptando diferentes hipótesis de partida— y seleccionando aquél que le ofrezca una mayor cobertura frente a sus riesgos.

## IX. PLAN DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA

La Guía Metodológica elaborada representa una foto fija, tomada en un determinado momento, del sector al cual se dirige. Por ello, debe ser objeto de seguimiento con objeto de adaptar sus contenidos a la evolución que experimente el sector. En concreto, siempre que los miembros del sector realicen una modificación relevante en las sustancias que manejan, el proceso productivo que llevan a cabo, las medidas de prevención y evitación de que disponen, etc., y que estas modificaciones sean generalizadas a nivel sectorial, la presente Guía debería adaptarse a los cambios realizados.

Las modificaciones en el instrumento sectorial podrían afectar tanto al catálogo que se ha elaborado de elementos de los análisis de riesgos —zonas, actividades, sucesos iniciadores, factores condicionantes y escenarios accidentales—, como a los protocolos o pautas que se han propuesto para la determinación de la probabilidad de ocurrencia de cada escenario y la evaluación de sus consecuencias medioambientales.

En todo caso, debe tenerse en cuenta que la actualización de los análisis de riesgos medioambientales individuales —elaborados por cada operador— se encuentra prevista en el artículo 34 del Real Decreto 2090/2008, indicando que el operador deberá actualizar su análisis de riesgos siempre que lo estime oportuno y cuando se produzcan modificaciones sustanciales en la actividad, en la instalación o en la autorización sustantiva.

Por otra parte, una potente fuente de datos para la actualización de la Guía y su adecuación a la realidad consiste en realizar un seguimiento de los siguientes aspectos prácticos:

### a) **Elaboración de análisis de riesgos individuales por parte de los operadores**

Los operadores pueden detectar posibles correcciones y mejoras a la presente Guía en el momento que se encuentren elaborando sus análisis de riesgos. Estas aportaciones podrían ser registradas con objeto de mejorar la Guía a nivel sectorial, ofreciendo progresivamente un instrumento más adaptado a las necesidades de sus usuarios.

### b) **Registro de accidentes medioambientales a nivel sectorial**

Este aspecto consiste en analizar los posibles accidentes medioambientales que puedan ocurrir a nivel sectorial desde la publicación de la presente Guía. El objetivo consistiría en elaborar una base de datos representativa de los riesgos del sector, de tal forma que en la Guía se pueda prestar mayor atención a los accidentes de mayor frecuencia o mayor gravedad a nivel sectorial.

En resumen, las tareas de revisión y actualización deben perseguir la utilidad y adecuación de la Guía tanto a la realidad observada como a los requerimientos de los operadores a los cuales se dirige.

### c) **Modificaciones en la normativa**

El seguimiento de la normativa de responsabilidad medioambiental y de otras disposiciones legales que pudiesen afectar a la actividad o a la elaboración de los análisis de riesgos, es otro aspecto que debe ser tenido en cuenta con el fin de estudiar su efecto sobre el presente instrumento.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Acton, J. M., H. E. Huppert, and M. G. Worster, 2001. Two-dimensional viscous gravity currents flowing over a deep porous medium, *Journal of Fluid Mechanics* 440, 359 – 380.
- AENOR, (2008). Norma UNE 150008: Análisis y evaluación del riesgo ambiental.
- Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental. Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales- MAGRAMA.
- Andrews, P. L., 2007. BehavePlus fire modeling system: past, present, and future. In 'Proceedings of 7th Symposium on Fire and Forest Meteorology.' American Meteorological Society, 23-25 October 2007, Bar Harbor, Maine, 13 pages. <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/126669.pdf>
- Andrews, P. L., Bevins, C. D., Seli, L. C., 2008. BehavePlus fire modeling system Version 4.0. User's Guide. Rocky Mountain Research Station. Forest Service. United States Department of Agriculture.
- Andrews, P. L., 2009. BehavePlus fire modeling system, version 5.0: Variables. Rocky Mountain Research Station. Forest Service. United States Department of Agriculture.
- Beerens, H.I., Post, J.G., Uijt de Haag, P.A.M., (2006). The use of generic failure frequencies in QRA: The quality and use of failure frequencies and how to bring them up-to-date. *Journal of Hazardous Materials* Volume 130, Issue 3, 31 March 2006. Pages 265-270.
- Charles P. Shelton, 1999. Human Interface/Human Error. Carnegie Mellon University.
- Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W., 1994. Hidrología Aplicada. McGraw-Hill, Bogotá.
- Creus Solé, 1995. Fiabilidad y seguridad de procesos industriales. Ed. Marcombo S.A.
- Decisión del Consejo, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE.
- Dirección General de Protección Civil. "Guía técnica: Métodos Cuantitativos para el Análisis de Riesgos".
- DGPC, (2004). Dirección general de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del Interior. Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental [en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 (Seveso II)].
- Documento Metodológico del Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental. Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales- MAGRAMA.

- ECB (2003) Technical Guidance Document on Risk Assessment, in support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for existing substances and Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market. Part II. European Chemicals Bureau. European Commission. Joint Research Centre.
- EPA, 1996. Office of Emergency and Remedial Response, U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC 20460. Soil Screening Guidance: User's Guide. Second edition.
- Flemish Government, (2009). Handbook failure frequencies 2009 for drawing a safety report. Flemish Government. LNE Department. Environment, Nature and Energy Policy Unit. Safety Reporting Division.
- Flemish Government, (2009b). Appendix to handbook failure frequencies 2009 for drawing a safety report. Flemish Government. LNE Department. Environment, Nature and Energy Policy Unit. Safety Reporting Division.
- Grimaz S., Allen S., Stewart J., Dolcetti G., 2007. Predictive Evaluation of the extent of the surface spreading for the case of accidental spillage of oil on ground. Selected paper IcheaP8, AIDIC Conference Series, Vol. 8, 2007, pp. 151 – 160.
- Grimaz S., Allen S., Stewart J., Dolcetti G., 2008. Fast prediction of the evolution of oil penetration into the soil immediately after an accidental spillage for rapid-response purposes, Proceeding of 3rd International Conference on Safety & Environment in Process Industry, CISAP – 3, Rome (I) 11 – 14 May 2008, Chemical Engineering Transactions, Vol. 13, 2008. Ed. AIDIC Servizi s.r.l.
- Guía de Usuario de la Aplicación Informática del Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental. Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales-MAGRAMA.
- Huppert, H. E., 1982. The propagation of two-dimensional and axisymmetric viscous gravity currents over a rigid surface, *Journal of Fluid Mechanics* 121, 43 – 58. Cambridge University Press.
- Huppert, H. E., 2006. Gravity currents: a personal perspective, *Journal of Fluid Mechanics* 554, 299 – 322. Cambridge University Press.
- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Ley 11/2014, de 3 de julio, por la que se modifica la ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.



- Lister, J.R., 1992. Viscous flows down an inclined plane from point and line sources, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 242, pp. 631 – 653.
- Memoria del análisis de impacto normativo abreviada del proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Reglamento de Desarrollo Parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Orden de 21-01-2003, de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha, por la que se regulan las normas técnicas específicas que deben cumplir los almacenes y las instalaciones de transferencia de residuos peligrosos.
- Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Reglamento de Desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre (9 de julio de 2012)
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., Miller, N., 1983. Green Ampt infiltration parameters from Hidraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng., vol. 109 nº1, pp. 62-70.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7
- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero
- Real Decreto 1777/2004, de 30 de julio, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades
- Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.
- Real Decreto 2090 /2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental
- Spannuth M., Neufeld J., Wett – Laufer J.S., Grae Woster M., 2006. Axisymmetric viscous gravity currents flowing over a deep porous medium, presented at the DFD06 Meeting of the American Physical Society, Tampa Bay, Florida, November 19 – 21.
- Uijt de Haag, P.A.M, Ale, B.J.M.. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, VROM (2005). Guidelines for quantitative risk assessment “Purple Book”. CPR 18E.
- Yu et al. (1993). C. Yu, C. Loureiro, J.-J. Cheng, L.G. Jones, Y.Y. Wang, Y.P. Chia, E. Faillace. Data Collection handbook to support modelling impacts of radioactive material in soil.

Environmental Assessment and Information Sciences Division Argonne National Laboratory,  
Argonne, Illinois. Office of Environmental Restoration. U.S. Department of Energy.

### Páginas web

- Agencia Estatal de Meteorología  
<http://www.aemet.es/es/portada>
- Análisis de riesgos medioambientales (Federación Asturiana de Empresarios)  
<http://web.fade.es/es/cargarAplicacionProyecto.do?idTema=53&paginaActual=1&identificador=113#4>
- Análisis de riesgos sectoriales (MAGRAMA)  
<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/analisis-de-riesgos-sectoriales/>
- Análisis y cuantificación del riesgo (Comunidad de Madrid)  
[http://www.madrid.org/cs/StaticFiles/Emprendedores/Analisis\\_Riesgos/pages/pdf/metodologia/4AnalisisycuantificaciondelRiesgo%28AR%29\\_es.pdf](http://www.madrid.org/cs/StaticFiles/Emprendedores/Analisis_Riesgos/pages/pdf/metodologia/4AnalisisycuantificaciondelRiesgo%28AR%29_es.pdf)
- Atlas Nacional de España  
<http://www.ign.es/ane/ane1986-2008/>
- Banco de Datos de la Naturaleza  
<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/>
- Behave:  
<http://www.firemodels.org/index.php/behaveplussoftware/behaveplus-downloads>
- Centro Tecnológico del Mar  
<http://www.cetmar.org/documentacion/comportamiento.htm>
- Chemfinder  
<http://chemfinder.cambridgesoft.com>
- Documento Bref tratamiento residuos  
<http://www.prtr-es.es/Data/images//BREF%20Tratamiento%20de%20Residuos-21891D712A33A259.pdf>
- Espacios Naturales Protegidos  
<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/>
- Estadísticas de Incendios Forestales:

[http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/Incendios\\_default.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/Incendios_default.aspx)

- Federal Remediation Technologies Roundtable

<http://www.frtr.gov/>

- German Social Accident Insurance

<http://www.dguv.de/bgia/en/gestis/stoffdb/index.jsp>

- Hispagua-Sistema Español de Información sobre el Agua

<http://hispagua.cedex.es/>

- Instituto de Seguridad y Salud de Reino Unido

<http://www.hse.gov.uk/>

- Inventario de Presas y Embalses

<http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/seguridad-de-presas-y-embalses/inventario-presas-y-embalses/>

- Inventario Forestal Nacional

<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-forestal-nacional/>

- Inventario Nacional de Biodiversidad

<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-espanol-patrimonio-natural-biodiv/default.aspx>

- Libro Digital del Agua

<http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/lda/>

- Mapa Forestal de España

<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/mapa-forestal-de-espana/>

- Metodología de análisis de riesgos (Protección Civil)

<http://www.proteccioncivil.org/vision-general>

- Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA)

<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/modelo-de-oferta-de-responsabilidad-ambiental/>

- MSDSONline

<http://www.msdsonline.com>

- Portal de de Responsabilidad Medioambiental del MAGRAMA  
<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/modelo-de-oferta-de-responsabilidad-ambiental/>
- Red de estaciones de aforo  
[http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-mapa\\_gr\\_cuenca.asp](http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-mapa_gr_cuenca.asp)
- Red de piezómetros:  
<http://sig.magrama.es/recursossub/visor.html?herramienta=Piezometros>
- Remede  
<http://www.envliability.eu/>
- Servicios de mapas (WMS, ArcGIS Server y Google Earth) del Instituto Geológico y Minero de España  
<http://mapas.igme.es/Servicios/default.aspx>
- Sistema Integrado de Información del Agua  
<http://servicios2.marm.es/sia/consultas/servlet/consultas.GlobalFilter?tipo=masiva&sid=generate>
- Technical Guidance Document (TGD)  
[http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our\\_activities/public-health/risk\\_assessment\\_of\\_Biocides/doc/tgd](http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_activities/public-health/risk_assessment_of_Biocides/doc/tgd)

## **ANEJO I: ELEMENTOS DEL MODELO**

**Índice**

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. ELEMENTOS DEL MODELO PARA INSTALACIONES DE TIPO GENÉRICO .....</b>	<b>2</b>
<b>III. ELEMENTOS DEL MODELO PARA INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE PCB.....</b>	<b>10</b>
<b>III.1. Tratamiento de residuos no contaminados con PCB.....</b>	<b>10</b>
<b>III.2. Tratamiento de residuos con baja concentración de PCB.....</b>	<b>11</b>
<b>III.3. Tratamiento de residuos con alta concentración de PCB.....</b>	<b>12</b>
<b>III.4. Procesos auxiliares .....</b>	<b>15</b>
<b>IV. ELEMENTOS DEL MODELO PARA INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE RAEE .....</b>	<b>16</b>
<b>V. ELEMENTOS DEL MODELO PARA VERTEDEROS .....</b>	<b>19</b>



## I. INTRODUCCIÓN

Este Anejo tiene como objeto recopilar en un solo documento los principales elementos que se han identificado en la Guía Metodológica a nivel sectorial. En concreto, en el mismo se enumeran:

- Las zonas y áreas de actividad identificadas en las instalaciones del sector al cual se dirige
- Las fuentes de peligro identificadas en cada zona
- Las actividades con peligro asociado que se realizan
- Las causas que podrían desencadenar un hipotético accidente medioambiental
- Los sucesos iniciadores
- Los factores condicionantes que afectan a la evolución de cada suceso iniciador
- El listado de posibles escenarios accidentales identificados a nivel sectorial
- Los recursos naturales que podrían verse potencialmente afectados en cada escenario

Debe indicarse que dada la heterogeneidad de las instalaciones y el ámbito sectorial del presente instrumento, los elementos que se recogen en el presente anejo tienen carácter orientativo, debiendo ser adaptados a las circunstancias concretas del operador que se esté evaluando.

Por lo tanto, los analistas podrán tomar como una referencia de base esta información y, a partir de la misma, suprimir aquellos elementos que no consideren relevantes, añadir otros que lo sean en el ámbito de sus operaciones o modificar los que aquí se ofrecen.

Dado el relativamente elevado volumen de la información contenida en el presente anejo se recomienda a los operadores consultar y emplear la misma en formato digital.



II. ELEMENTOS DEL MODELO PARA INSTALACIONES DE TIPO GENÉRICO

Información para los escenarios causales				Suceso iniciador	Información para los escenarios consecuenciales		
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas		Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Carga y descarga de mercancías	Descarga de camiones cisterna con sustancias/residuos líquidos no inflamables	Recepción de sustancias/residuos líquidos no inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos no inflamables a depósitos de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Carga de camiones cisterna con sustancias/residuos líquidos no inflamables	Carga de sustancias/residuos líquidos no inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos no inflamables desde depósitos de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Descarga de sustancias/residuos líquidos inflamables desde camión cisterna	Recepción de sustancias/residuos líquidos inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos inflamables a depósitos de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
						Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Carga de sustancias/residuos inflamables a camión cisterna	Carga de sustancias/residuos líquidos inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos inflamables desde depósitos de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
						Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Descarga de GRG/bidones con sustancias/residuos inflamables	Recepción de sustancias/residuos líquidos inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos inflamables a dependencias de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
						Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Descarga de GRG/bidones con sustancias/residuos no inflamables	Recepción de sustancias/residuos líquidos no inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos no inflamables a dependencias de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Carga de GRG/bidones con sustancias/residuos no inflamables	Carga de sustancias/residuos líquidos inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos no inflamables desde dependencias de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Descarga de GRG/bidones con sustancias/residuos inflamables	Recepción de sustancias/residuos líquidos inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos inflamables a dependencias de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
					Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales
					Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	

Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales			
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Carga y descarga de mercancías	Carga de GRG/bidones con sustancias/residuos inflamables	Carga de sustancias/residuos líquidos inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos inflamables desde dependencias de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias líquidas inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias líquidas inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Descarga de residuos sólidos a granel	Recepción de residuos sólidos Trasvase de la mercancía a depósitos de la instalación	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Lluvia Fallo del equipo Rotura por impacto Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta	Vertido de residuos sólidos/Arrastre con agua de lluvia	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Lluvia Fallo del equipo Rotura por impacto Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta	Vertido de residuos sólidos/Arrastre con agua de lluvia	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Carga de residuos sólidos a granel	Carga de residuos sólidos Trasvase de la mercancía desde depósitos de la instalación	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Lluvia Fallo del equipo Rotura por impacto Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta	Vertido de residuos sólidos/Arrastre con agua de lluvia	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Lluvia Fallo del equipo Rotura por impacto Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta	Vertido de residuos sólidos/Arrastre con agua de lluvia	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Almacenamiento	Almacenamiento de elementos sólidos no inflamables en el exterior	Acopio de elementos sólidos no inflamables Carga y descarga Trasiego de mercancías	Ausencia de revisiones y controles Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados	Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados	Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Almacenamiento de elementos sólidos inflamables en el exterior	Acopio de elementos sólidos inflamables Carga y descarga Trasiego de mercancías	Ausencia de revisiones y controles Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Depósito aéreo de sustancias/residuos no inflamables con tráfico	Almacenamiento de sustancias/residuos líquidos no inflamables Circulación de camiones en proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales			
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Almacenamiento	Depósitos aéreo con sustancias/residuos inflamables sin tráfico	Almacenamiento de sustancias/residuos líquidos inflamables	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Depósito aéreo de sustancias/residuos inflamables con tráfico	Almacenamiento de sustancias/residuos líquidos inflamables Circulación de camiones en proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Depósito de sustancias/residuos no inflamables subterráneo	Almacenamiento de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Depósito de sustancias/residuos líquidos inflamables subterráneo	Almacenamiento subterráneo de sustancias/residuos líquidos inflamables	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Almacenamiento de GRG/bidones con sustancias/residuos no inflamables	Almacenamiento de sustancias/residuos líquidos no inflamables Circulación de vehículos en las proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Almacenamiento de GRG/bidones con sustancias/residuos inflamables	Almacenamiento de sustancias/residuos líquidos inflamables Circulación de vehículos en las proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies

Zona	Información para los escenarios causales			Suceso iniciador	Información para los escenarios consecuenciales		
	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas		Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Proceso	Tanque de mezclado de sustancias/residuos no inflamables	Mezclado de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Tanque de mezclado de sustancias/residuos inflamables	Mezclado de sustancias/residuos líquidos inflamables	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Hábitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Torres de deshidratación	Reducción o eliminación del contenido en agua Reducción o eliminación del contenido en hidrocarburos ligeros	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Hábitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Equipos de vaporización	Vaporización	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Hábitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Destilación	Destilación de sustancias/residuos	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Hábitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Reactor	Procesamiento de sustancias/residuos	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Hábitats Especies Suelo Agua Habitats Especies

Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales			
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Proceso	Sección de acabado con tierras	Mejora de la calidad de las sustancias/residuos obtenidas/residuos	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos obtenidas/reactivos/residuos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos/reactivos/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Trituración de envases y bidones	Trituración de envases de residuos	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados	Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Lavado de envases y bidones	Lavado de envases de residuos	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Manipulación de sustancias/residuos corrosivos (Baterías de Pb y otras pilas y baterías)	Carga/descarga/manipulación /reenvasado y acondicionado de residuos corrosivos (baterías de Pb y otras pilas y baterías)	Error humano Desgaste/corrosión Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de electrolito	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de residuos líquidos corrosivos	Suelo Agua Habitats Especies
			Acumulación de gases explosivos (baterías de Li) Cortocircuito	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Zona de prensado de residuos	Compactado y prensado de envases y residuos voluminosos contaminados	Error humano Desgaste/corrosión Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de residuos líquidos acuosos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de residuos líquidos	Suelo Agua Habitats Especies
			Foco de ignición Error humano Proximidad sustancia combustible Fallo del equipo	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Balsa de residuos pastosos no inflamables	Almacenamiento y tratamiento de estabilización de residuos pastosos no inflamables	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Rotura de impermeabilización	Fuga/Derrame/Vertido de residuos pastosos no inflamables	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de residuos pastosos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Error humano Lluvia intensa	Rebose de residuos pastosos no inflamables	Medidas de contención Medidas de detección Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de residuos pastosos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

Información para los escenarios causales				Suceso iniciador	Información para los escenarios consecuenciales			
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas		Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados	
Proceso	Balsa de residuos pastosos inflamables	Almacenamiento y tratamiento de estabilización de residuos pastosos inflamables	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Rotura de impermeabilización	Fuga/Derrame/Vertido de residuos pastosos inflamables	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de residuos pastosos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
			Error humano Lluvia intensa	Rebose de residuos pastosos inflamables	Medidas de contención Medidas de detección Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de residuos pastosos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
			Ausencia de revisiones y controles Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Error humano Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Foco de ignición Lluvia	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies	
	Trituración de residuos inflamables	Trituración	Foco de ignición Error humano Reacción química Fallo del equipo	Incendio/explosión - Agua / Espuma de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a recursos naturales	Habitats Especies	
								Vertido de aguas de extinción de incendio
	Separación de fases	Centrifugación	Foco de ignición Error humano Proximidad sustancia combustible Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de residuos líquidos acuosos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de residuos líquidos	Suelo Agua Habitats Especies	
								Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios
	Evaporadores	Reducción o eliminación del contenido en agua	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
								Tratamiento biológico
	Sistemas de válvulas y tuberías	Red de válvulas y tuberías aéreas de gas inflamable con tráfico	Suministro de gas inflamable al sistema Circulación de vehículos en las proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
							Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
		Red de válvulas y tuberías aéreas de gas inflamable sin tráfico	Suministro de gas inflamable al sistema	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales							Suelo Agua Habitats Especies	
Red de válvulas y tuberías subterráneas de gas inflamable	Suministro de gas inflamable al sistema	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies		
					Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies		

Información para los escenarios causales				Suceso iniciador	Información para los escenarios consecuenciales		
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas		Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Sistemas de válvulas y tuberías	Red de válvulas y tuberías aéreas de sustancias/residuos líquidos inflamables con tráfico	Trasiego de sustancias/residuos líquidos inflamables por el sistema Circulación de vehículos en las proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías aéreas de sustancias/residuos líquidos inflamables sin tráfico	Trasiego de sustancias/residuos líquidos inflamables por el sistema	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de sustancias/residuos líquidos inflamables	Trasiego de sustancias/residuos líquidos inflamables por el sistema	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de sustancias/residuos líquidas no inflamables	Trasiego de sustancias/residuos líquidas no inflamables	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidas no inflamables	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidas no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías aéreas de sustancias/residuos líquidas no inflamables con tráfico	Trasiego de sustancias/residuos líquidas no inflamables Circulación de vehículos en las proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidas no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidas no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías aéreas de sustancias/residuos líquidas no inflamables sin tráfico	Trasiego de sustancias/residuos líquidas no inflamables	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidas no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidas no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

Zona	Información para los escenarios causales			Suceso iniciador	Información para los escenarios consecuenciales		
	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas		Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Instalaciones auxiliares	Sistema de almacenamiento de pluviales	Acumulación del agua de lluvia recogida por el drenaje interior	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Lluvia intensa Rotura de impermeabilización	Fuga/Derrame/Vertido de pluviales contaminadas	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de aguas contaminadas con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Error humano Lluvia intensa	Rebose de pluviales contaminadas	Medidas de contención Medidas de detección Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aguas contaminadas con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Red de drenaje y arquetas	Canalización de fluidos a través del sistema de drenaje	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Medidas de contención Medidas de detección Arrastre con agua de lluvia	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Caldera / horno	Calentamiento de fluidos de proceso o de residuo	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Hábitats Especies
						Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Transformador	Suministro de energía eléctrica Circulación de vehículos en las proximidades	Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Proximidad sustancia combustible Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Hábitats Especies
Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales						Suelo Agua Habitats Especies	
Planta de tratamiento previa al vertido	Tratamiento de aguas previamente a ser vertidas	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de líquidos tratados inadecuadamente	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de líquidos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	



### III. ELEMENTOS DEL MODELO PARA INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE PCB

#### III.1. TRATAMIENTO DE RESIDUOS NO CONTAMINADOS CON PCB

Información para los escenarios causales				Suceso iniciador	Información para los escenarios consecuenciales		
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas		Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Carga y descarga de mercancías	Descarga de aceite sin PCB desde camion	Recepción de mercancías Trasvase de la mercancía a depósitos de la instalación	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite sin PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Carga de aceite sin PCB en camión	Carga de aceites sin PCB Trasvase de la mercancía desde depósitos de la instalación	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite sin PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Almacenamiento	Depósitos aéreos de aceite sin PCB	Almacenamiento de aceite sin PCB Circulación de vehículos en las proximidades	Desgaste/corrosión Rotura por impacto Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite sin PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Sistema de tuberías	Red de válvulas y tuberías aéreas de aceite sin PCB	Trasiego de aceites sin PCB Circulación de vehículos en las proximidades	Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB	Arrastre con agua de lluvia Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite sin PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de aceite sin PCB	Trasiego de aceites sin PCB	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB	Medidas de detección Medidas de contención	Fuga/Derrame/Vertido de aceite sin PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

III.2. TRATAMIENTO DE RESIDUOS CON BAJA CONCENTRACIÓN DE PCB

Información para los escenarios causales				Suceso iniciador	Información para los escenarios consecuenciales		
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas		Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Carga y descarga de mercancías	Descarga de aceite con PCB desde camión	Recepción de mercancías Trasvase de la mercancía a depósitos de la instalación	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Carga de aceite sin PCB en camión	Carga de aceites sin PCB Trasvase de la mercancía desde depósitos de la instalación	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite sin PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Almacenamiento	Depósitos aéreos de aceite con PCB	Almacenamiento de aceite con PCB	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Recipientes de sodio metálico	Almacenamiento de sodio metálico	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles	Incendio/explosión - Agente de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de agentes de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Depósitos aéreos de aceite mineral sin PCB	Almacenamiento de aceite sin PCB Circulación de vehículos en las proximidades	Desgaste/corrosión Rotura por impacto Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite sin PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Proceso	Reactor de mezcla de dispersión de sodio con aceite con PCB	Mezclado del aceite con PCB con dispersión de sodio	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB mezclado con sodio	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB mezclado con sodio y afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Sistema de tuberías	Red de válvulas y tuberías aéreas de aceite con PCB	Trasiego de aceites con PCB Circulación de vehículos en las proximidades	Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de aceite con PCB	Trasiego de aceites con PCB	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB	Medidas de detección Medidas de contención	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías aéreas de aceite sin PCB	Trasiego de aceites sin PCB Circulación de vehículos en las proximidades	Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite sin PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de aceite sin PCB	Trasiego de aceites sin PCB	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites sin PCB	Medidas de detección Medidas de contención	Fuga/Derrame/Vertido de aceite sin PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

III.3. TRATAMIENTO DE RESIDUOS CON ALTA CONCENTRACIÓN DE PCB

Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales			
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Carga y descarga de mercancías	Descarga de aceites con PCB desde camión	Recepción de mercancías Trasvase de la mercancía a depósitos de la instalación	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Carga de PCB líquido en camión para incinerar	Carga de productos Trasvase de la mercancía desde depósitos de la instalación	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de PCB líquidos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de PCB líquidos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Carga de PCB sólido en camión para incinerar	Carga de productos Trasvase de la mercancía desde depósitos de la instalación	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Lluvia Fallo del equipo Rotura por impacto Carencia de cerramiento lateral Carencia de cubierta Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta	Vertido de PCB sólido/Arrastre con agua de lluvia	Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Descarga de gasoil	Recepción de mercancías Trasvase de la mercancía a depósitos de la instalación	Foco de ignición Error humano Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Fallo del equipo Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
				Fuga/Derrame/Vertido de combustible	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Descarga de disolvente	Recepción de mercancías Trasvase de la mercancía a depósitos de la instalación	Foco de ignición Error humano Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Fallo del equipo Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
Fuga/Derrame/Vertido de disolvente				Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
Almacenamiento	Depósitos aéreos de aceite con PCB	Almacenamiento de aceite con PCB	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Acopio de elementos sólidos porosos con PCB	Acopio de material Trasiego de mercancías	Ausencia de revisiones y controles Estado de la cubierta Estado de cerramiento lateral Lluvia	Fuga/Derrame/Vertido de PCB	Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de PCB arrastrado por agua con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Depósito aéreo de disolvente	Almacenamiento de disolvente	Foco de ignición Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Desgaste/corrosión	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
				Fuga/Derrame/Vertido de disolvente	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales				
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados	
Almacenamiento	Depósito subterráneo de disolvente	Almacenamiento de disolvente	Foco de ignición Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Desgaste/corrosión	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies	
			Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente	Medidas de detección Medidas de contención	Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
	Depósito aéreo de disolvente con PCB	Almacenamiento de disolvente con PCB	Foco de ignición Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Desgaste/corrosión	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies	
			Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente con PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
	Depósito aéreo de gasoil	Almacenamiento de gasoil	Foco de ignición Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Desgaste/corrosión	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies	
			Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de gasoil	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
	Depósito subterráneo de gasoil	Almacenamiento de combustible	Foco de ignición Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo Desgaste/corrosión	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies	
			Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de combustible	Medidas de detección Medidas de contención	Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
	Proceso	Unidades de descontaminación de aceites con alta concentración de PCB	Descontaminación de aceites con PCB en auto	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Calderas	Caldera de gasoil	Calentamiento de fluidos de proceso	Error humano Desgaste/corrosión Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
							Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales			
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Sistema de tuberías	Red de válvulas y tuberías aéreas de disolvente	Trasiego de disolvente con PCB Circulación de vehículos en las proximidades	Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Foco de ignición Fallo del equipo	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías aéreas de disolvente con PCB	Trasiego de disolvente con PCB Circulación de vehículos en las proximidades	Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente con PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Foco de ignición Fallo del equipo	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de disolvente	Trasiego de disolvente	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente	Medidas de detección Medidas de contención	Fuga/Derrame/Vertido de disolvente con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Foco de ignición Fallo del equipo	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías aéreas de aceite con PCB	Trasiego de aceites con PCB Circulación de vehículos en las proximidades	Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceites con PCB	Medidas de detección Medidas de contención	Fuga/Derrame/Vertido de aceite con PCB con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías aéreas de gasoil	Trasiego de combustible Circulación de vehículos en las proximidades	Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de combustible	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de combustible con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Rotura por impacto Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Foco de ignición Fallo del equipo	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
	Red de válvulas y tuberías subterráneas de gasoil	Trasiego de combustible	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de combustible	Medidas de detección Medidas de contención	Fuga/Derrame/Vertido de combustible con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Foco de ignición Fallo del equipo	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies

III.4. PROCESOS AUXILIARES

Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales			
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Sistema de almacenamiento de pluviales	Sistema de almacenamiento de pluviales	Acumulación del agua de lluvia recogida por el drenaje interior	Rotura de impermeabilización	Fuga/Derrame/Vertido de pluviales contaminadas	Medidas de detección Medidas de contención	Fuga/Derrame/Vertido de aguas contaminadas con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Desgaste/corrosión				
Planta de tratamiento previo al vertido	Planta de tratamiento de aguas de escurrentía	Tratamiento de aguas con vertido posterior	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de agua tratada deficientemente	Medidas de detección Medidas de contención	Fuga/Derrame/Vertido de aguas contaminadas con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Planta de tratamiento de aguas de aseo del personal	Tratamiento de aguas con vertido posterior	Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de agua tratada deficientemente	Medidas de detección Medidas de contención	Fuga/Derrame/Vertido de aguas contaminadas con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Transformador	Transformador eléctrico	Suministro de energía eléctrica	Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
			Error humano			Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua subterránea Agua superficial Habitats Especies
Red de drenaje y arquetas	Red de drenaje y arquetas	Canalización de fluidos a través del sistema de drenaje	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

IV. ELEMENTOS DEL MODELO PARA INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE RAE

Información para los escenarios causales				Suceso iniciador	Información para los escenarios consecuenciales		
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas		Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Almacenamiento	Almacenamiento de aparatos eléctricos y electrónicos para su tratamiento	Acopio de material Carga y descarga Trasiego de mercancías	Ausencia de revisiones y controles Carencia de cerramiento lateral Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados	Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de lixiviados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Almacenamiento de piezas de aparatos eléctricos y electrónicos	Acopio de material Carga y descarga Trasiego de mercancías	Ausencia de revisiones y controles Carencia de cerramiento lateral Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Fuga/Derrame/Vertido de lixiviados	Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de lixiviados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Depósito de aceite nuevo y usado	Almacenamiento de sustancias/residuos líquidos no inflamables Circulación de camiones en proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Depósito aéreo de combustible	Almacenamiento de sustancias/residuos líquidos inflamables Circulación de camiones en proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
						Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Almacenamiento a granel de fracciones metálicas resultantes de tratamientos mecánicos	Acopio de material Carga y descarga Trasiego de mercancías	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
						Vertido de lixiviados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Almacenamiento de GRG/bidones con residuos peligrosos	Almacenamiento de sustancias/residuos líquidos no inflamables Circulación de vehículos en las proximidades	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de residuos peligrosos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos no inflamables con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Depósito de gas inflamable	Almacenamiento del gas inflamable extraído en la línea de tratamiento de equipos de refrigeración	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
						Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Carga y descarga de mercancías	Descarga de gasoil desde camión cisterna	Recepción de gasoil Trasvase de gasoil a depósitos de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies
						Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Carga de camiones con aceites usados/emulsiones aceitosas/lodos	Carga de sustancias/residuos líquidos no inflamables Trasvase de sustancias/residuos líquidos no inflamables desde depósitos de la instalación	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos líquidos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales				
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados	
Carga y descarga de mercancías	Descarga de GRG/bidones con residuos sólidos susceptibles de liberar sustancias/residuos peligrosos	Recepción de sustancias/residuos Trasvase de sustancias/residuos	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Liberación de sustancias/residuos contaminantes	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Liberación de sustancias/residuos	Suelo Agua Habitats Especies	
	Carga de GRG/bidones con residuos sólidos susceptibles de liberar sustancias/residuos peligrosos	Carga de sustancias/residuos Trasvase de sustancias/residuos	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Rotura por impacto	Liberación de sustancias/residuos contaminantes	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Liberación de sustancias/residuos	Suelo Agua Habitats Especies	
Zona de circulación de medios de transporte*	Circulación de carretillas y medios de transporte	Transporte de aparatos eléctricos para su tratamiento Transporte de piezas resultantes del tratamiento						
Proceso	Tratamiento de equipos con tubos de rayos catódicos (CRT)	Desmontaje Desfleje Corte y aspiración	Ausencia de revisiones y controles Carenca de cerramiento lateral Emisión de polvo Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Arrastre de polvo con agua de lluvia	Gestión de agua Medidas de contención Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de agua con polvo de metales pesados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
			Carenca de cerramiento lateral Emisión de polvo Estado de cerramiento lateral Viento	Emisión de polvo	Viento	Emisión de polvo y posterior deposición sobre los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
	Línea de pequeños aparatos eléctricos y electrónicos (líneas gris y marrón)	Pre-clasificación Trituración Clasificación de piezas	Ausencia de revisiones y controles Carenca de cerramiento lateral Emisión de polvo Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Arrastre de polvo con agua de lluvia	Gestión de agua Medidas de contención Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de agua con polvo de metales pesados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
			Carenca de cerramiento lateral Emisión de polvo Estado de cerramiento lateral Viento	Emisión de polvo	Viento	Emisión de polvo y posterior deposición sobre los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
	Línea de tratamiento de lámparas	Desembalaje y clasificación Alimentación en tolva Alimentación manual Trituración Prensado de carton	Ausencia de revisiones y controles Avería en filtros de carbono Emisión de polvo Viento	Emisión de polvo	Viento	Emisión de polvo y posterior deposición sobre recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
			Ausencia de revisiones y controles Carenca de cerramiento lateral Emisión de polvo Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Arrastre de polvo con agua de lluvia	Gestión de agua Medidas de contención Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de agua con polvo de metales pesados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	
	Línea de tratamiento de grandes electrodomésticos (línea blanca)	Desmontaje** Trituración**	Extracción de aceite Almacenamiento de aceite	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de aceite	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de aceite con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
				Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo Foco de ignición	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
		Línea de pilas ***	Clasificación de pilas en tipos					
	Línea de baterías	Clasificación de baterías Almacenamiento de baterías	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de ácidos	Arrastre con agua de lluvia Gestión de agua Medidas de contención Medidas de detección Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de ácidos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies	



Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales			
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades con peligro asociado	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Proceso	Tratamiento de TFT	Desmontaje de pantallas	Ausencia de revisiones y controles Carencia de cerramiento lateral Emisión de polvo Estado de cerramiento lateral Estado de la cubierta Lluvia	Arrastre de polvo con agua de lluvia	Gestión de agua Medidas de contención Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Vertido de agua con polvo de metales pesados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Ausencia de revisiones y controles Carencia de cerramiento lateral Emisión de polvo Estado de cerramiento lateral Viento	Emisión de polvo	Viento	Emisión de polvo y posterior deposición sobre los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
Instalaciones auxiliares	Red de drenaje y arquetas	Canalización de fluidos a través del sistema de drenaje	Ausencia de revisiones y controles Desgaste/corrosión Error humano Fallo del equipo	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos	Medidas de contención Medidas de detección	Fuga/Derrame/Vertido de sustancias/residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
	Transformador	Suministro de energía eléctrica Circulación de vehículos en las proximidades	Error humano Fallo del equipo Foco de ignición Proximidad sustancia combustible Rotura por impacto	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Gestión de agua Medidas de contención Medidas de extinción Pavimento Sistema de tratamiento previo al vertido	Incendio con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies

\* Riesgo medioambiental no relevante. Los aparatos y las piezas se transportan en el interior de la instalación en pocas cantidades, y al ser sólidos se considera que, en caso de caída, podrían recogerse rápidamente sin provocar daños medioambientales relevantes.

\*\* Los riesgos medioambientales derivados del desmontaje y de la trituración de aparatos frigoríficos se encuentran considerados en dos subapartados: "extracción de aceite" y "extracción de gas inflamable"

\*\*\*Riesgo medioambiental no relevante. Las pilas son clasificadas en los diferentes tipos para su posterior envío bien a gestor de residuos bien a un cliente (según corresponda). En caso de caída de las pilas al suelo lo más probable es que éstas fueran recogidas en un breve plazo de tiempo volviendo a depositarlas en el lugar que corresponda.

V. ELEMENTOS DEL MODELO PARA VERTEDEROS

Información para los escenarios causales				Información para los escenarios consecuenciales			
Zona	Elemento / Fuente de peligro	Actividades	Causas	Suceso iniciador	Factores condicionantes	Escenarios	Recursos afectados
Vaso de vertido	Depósito de residuos en el vaso de vertido	Disposición residuos en vertedero Acondicionamiento de los residuos en el frente de vertido Acopio de material de cobertura Cobertura periódica del área en explotación Mantenimiento de acceso e infraestructuras	Error humano	Incendio/explosión - Agua de extinción de incendios	Detección temprana de incendio Medidas de extinción Revestimiento del vaso Sistema de tratamiento previo al vertido Gestión de agua	Incendio con afección a los recursos naturales Emisión de partículas de residuos y cenizas con afección a los recursos naturales Vertido de aguas de extinción de incendio con afección a los recursos naturales	Hábitats Especies Suelo Agua Habitats Especies Suelo Agua Habitats Especies
			Rotura de impermeabilización Ausencia de revisiones y controles Lluvia Error humano	Fuga/Vertido de lixiviados	Medidas de contención Medidas de detección Perfil constructivo del vertedero. Capas geosintéticas y minerales de refuerzo	Fuga/Vertido de lixiviados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Emisión de partículas de residuos Viento	Emisión de partículas de residuos	Viento Cobertura periódica de residuos	Emisión de partículas de residuos y posterior deposición sobre los recursos naturales	Suelo Habitats Especies
			Emisión de partículas de residuos Lluvia	Arrastre de residuos por agua de lluvia	Medidas de contención Gestión de agua Retención de pluviales Medidas de detección	Vertido de agua con partículas de residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Defectos constructivos: Derrumbe del dique/talud Error humano	Emisión de residuos sólidos	Lluvia Viento Perfil constructivo del vertedero. Capas geosintéticas y minerales de refuerzo	Emisión de residuos sólidos y deposición sobre recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
				Vertido de lixiviados	Medidas de detección Medidas de contención Perfil constructivo del vertedero. Capas geosintéticas y minerales de refuerzo	Vertido de lixiviados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Defectos constructivos: Derrumbe del dique/talud Lluvia	Deslizamiento de residuos por lluvia	Perfil constructivo del vertedero. Capas geosintéticas y minerales de refuerzo Gestión de agua	Vertido de lixiviados de residuos con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies
			Sistemas de retención de líquidos	Sistema de retención de lixiviados	Acumulación de los lixiviados recogidos por la red de drenaje	Rotura de impermeabilización Lluvia Desgaste/corrosión Error humano Ausencia de revisiones y controles	Fuga/Vertido de lixiviados
Error humano Lluvia Ausencia de revisiones y controles	Rebose de lixiviados	Gestión de agua Retención adicional Sistema de tratamiento previo al vertido Medidas de detección Medidas de contención				Vertido de lixiviados con afección a los recursos naturales	Suelo Agua Habitats Especies

## **ANEJO II: INDICADORES DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LOS SUCESOS INICIADORES**



## **Índice**

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES .....</b>	<b>1</b>
<b>III. CATÁLOGO DE INDICADORES .....</b>	<b>12</b>

*Sector: Determinadas actividades de gestión de residuos peligrosos y no peligrosos*

## I. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se ofrece un catálogo de indicadores que puede ser tomado como referencia por los operadores para evaluar la probabilidad de ocurrencia de sus escenarios accidentales.

En todo caso, debe incidirse en que se trata de un catálogo orientativo y que, por lo tanto, puede ser modificado por cada operador con objeto de adaptarlo a sus circunstancias concretas.

El anejo incluye un listado de indicadores que pueden servir de base para la asignación de probabilidades a los sucesos iniciadores. De esta forma, el analista seleccionaría aquellos indicadores que considere relevantes para el suceso iniciador que este evaluando, pudiendo complementar el listado ofrecido con otros indicadores que sean de interés para su instalación o suprimir aquellos que no considere relevantes en el ámbito de su actividad.

## II. DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES

Previamente a la descripción de cada uno de los indicadores que se han considerado para el cálculo de la probabilidad —asociada a las distintas causas que podrían originar un suceso iniciador— conviene indicar que, en aquellos casos en los que se disponga del Documento de Protección Contra Incendios y Explosión (DPCE) o bien un registro de accidentes, los indicadores asociados a las distintas causas del suceso iniciador podrán sustituirse por la probabilidad derivada de alguno de estos documentos.

Así, para las instalaciones que tengan que cumplir la normativa ATEX, se propone utilizar como estimador de la probabilidad de incendio el valor de probabilidad de explosión reflejada en el DPCE correspondiente al área que se esté evaluando.

En el análisis de riesgos que se realiza en los DPCE, primero se identifican las actividades o zonas con peligro de formación de atmósfera explosiva y se les atribuye un valor definido en la normativa ATEX —zonificación 0, 1 ó 2—. A continuación, se determinan los focos de ignición que se pueden presentar y se obtiene la probabilidad de explosión que se expresa en un rango cualitativo (improbable, remoto, ocasional, probable, frecuente).

Por otro lado, en el caso de otros sucesos iniciadores para los que existiese registro de accidentes, se propone utilizar esta información como estimador de la probabilidad de ocurrencia del suceso analizado.

A continuación se procede a describir brevemente cada uno de los indicadores recogidos en el catálogo de referencia:

### 1) Antigüedad

La antigüedad de equipos, conducciones, depósitos, etc. va a condicionar en gran medida la probabilidad de ocurrencia. Se ha estandarizado que, a mayor antigüedad mayor será la probabilidad

de fallo en la etapa del proceso productivo analizada y, por tanto, mayor será la probabilidad de que ocurra un determinado tipo de suceso iniciador.

Se han distinguido indicadores de antigüedad para cada uno de los siguientes elementos:

- Sistemas de retención de pluviales potencialmente contaminadas tipo balsa.
- Sistemas de retención de pluviales potencialmente contaminadas tipo depósito o tanque.
- Depósitos y tanques.
- Red de drenaje
- Conducciones y tuberías
- Instalaciones para transformaciones físicas o trabajos mecánicos
- Unidades de mezcla y dosificadores (orgánicos)
- Equipos de proceso
- Evaporadores y concentradores
- Unidades de destilación
- Depósitos móviles (GRG, bidones, etc.)
- Unidades de bombeo (orgánicos)

En todos los casos la categorización del estimador se ha llevado a cabo en base a la vida útil del elemento en cuestión. Por este motivo, las categorías para cada elemento son diferentes, lo que ha llevado al establecimiento de cuatro indicadores distintos de antigüedad, en función del elemento al que hacen referencia.

El dato de vida útil que se propone utilizar para cada uno de los elementos se han tomado del Real Decreto 1777/2004, de 30 de julio, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades. Si bien, dada la generalidad de esta referencia, cada operador podría modificar en el ámbito de su instalación los datos de vida útil adoptados a nivel sectorial —recopilados en la Tabla 1—.

La categorización de cada uno de los elementos en base a su vida útil se ha realizado teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada curva de bañera, asumiendo que los equipos han superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de dispositivos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

En la diferenciación de las cuatro categorías de antigüedad de los equipos que se ha diseñado se han fijado como límites entre ellas una antigüedad igual al 33%, al 66% y al 100% de su vida útil.



Elemento	Vida útil (Años)	Observaciones
Sistemas de retención de pluviales potencialmente contaminadas tipo balsa	68	Asimilado a obras civiles (Agrupación 16)
Sistemas de retención de pluviales potencialmente contaminadas tipo depósito o tanque	50	Asimilado a depósitos y tanques (Agrupación 16)
Depósitos y tanques	40	Asimilado a Unidades de almacenamiento (Agrupación 25)
Red de drenaje	34	Asimilado a redes de distribución (Agrupación 16)
Conducciones y tuberías	25	Asimilado a redes de distribución y transporte de fluidos (Agrupación 13)
Instalaciones para transformaciones físicas o trabajos mecánicos	20	Asimilado a Concentradores, evaporadores, extractores y cristalizadores (Instalaciones específicas para transformaciones físicas o trabajos mecánicos). Ejemplos: a) Instalaciones de mezcla, trituración, molienda y amasado; d) Instalaciones de regeneración de materias plásticas.
Unidades de mezcla y dosificadores (orgánicos)	20	Asimilado a Unidades de mezcla y dosificadores (Agrupación 13)
Equipos de proceso	18	Asimilado a Otras instalaciones específicas y maquinaria operativa para procesos químicos (Agrupación 25)
Evaporadores y concentradores	18	Asimilado a Concentradores, evaporadores, extractores y cristalizadores (Agrupación 25)
Unidades de destilación	18	Asimilado a Unidades de destilación, craqueo y reformado (Agrupación 13)
Depósitos móviles (GRG, bidones, etc.)	10	Asimilado a Envases y embalajes para la distribución (Agrupación 41)
Unidades de bombeo (orgánicos)	10	Asimilado a Unidades de bombeo (Agrupación 13)

**Tabla 1.** Vida útil propuesta para cada elemento. Fuente: Elaboración propia a partir del Real Decreto 1777/2004, de 30 de julio, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades.

## 2) Automatización de procesos

La automatización de los procesos proporciona la posibilidad de tener un control constante sobre los procesos y, por tanto, poder detectar lo antes posible un mal funcionamiento o una fuga de alguna sustancia.

En este sentido, la escala planteada distingue entre grado de automatización alto, medio-alto, medio-bajo y bajo, en función de que el proceso realizado en una determinada zona esté totalmente automatizado, automatizado en su mayoría, manual en su mayoría o totalmente manual, respectivamente.

## 3) Carteles y etiquetas de advertencia

La existencia de carteles y etiquetas de advertencia en los que se indiquen las actuaciones que pueden entrañar peligro para cada zona concreta de la instalación (por ejemplo, hablar por el teléfono móvil), así como la correcta señalización de las zonas de peligro (por ejemplo, zonas ATEX), disminuirá la probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores relativos a las fuentes de peligro a las que se refieren dichos carteles y etiquetas.

En este sentido, la escala propuesta diferencia entre la existencia de carteles y etiquetas para todos los tipos de peligro o únicamente para los principales peligros, y la no existencia de tales señales de advertencia.

#### 4) Control del nivel de depósitos

Este indicador se refiere al establecimiento de sistemas que permitan controlar el nivel de llenado de los depósitos.

La categorización de las probabilidades se ha realizado atendiendo al tipo de control realizado (primando el automático al manual) y a la existencia de sistemas de alarma.

#### 5) Estado de la cubierta

El estado de la cubierta será determinante para evitar que el viento o la lluvia puedan entrar en contacto con las sustancias contaminantes del proceso, arrastrándolas y ocasionando que éstas afecten a algún recurso natural. Por tanto, a mejor estado de la cubierta, menor será la probabilidad de afección a los recursos naturales.

La escala propuesta diferencia entre cubierta en buen estado, cuando no presenta poros ni fisuras, y en mal estado, en caso contrario.

#### 6) Estado del muro perimetral

Al igual que en el caso anterior, un muro perimetral en buen estado disminuirá la probabilidad de ocurrencia del escenario accidental, y un cerramiento perimetral en mal estado hará el efecto contrario. Este estimador mide la influencia del estado del cerramiento lateral en la probabilidad de afección a los recursos naturales.

Las categorías de la escala son las mismas que en el caso de la cubierta.

#### 7) Existencia de focos de ignición en la zona

Este estimador tiene en cuenta la presencia de focos de ignición como puedan ser superficies calientes, chispas mecánicas, fuentes de electricidad estática, arcos eléctricos, llamas, etc.

#### 8) Existencia de un plan actualizado de prevención de incendios y explosiones

La existencia de un plan actualizado de prevención de incendios y explosiones que permita tener este tipo de riesgos totalmente estandarizados, disponiendo de protocolos de actuación para evitar cualquier riesgo de este tipo, disminuirá la probabilidad de ocurrencia de un suceso iniciador de explosión o incendio.

#### 9) Experiencia de los empleados a cargo de la operación

La experiencia de los empleados valora la posibilidad de un error humano atribuido a los técnicos que pueda originar un suceso iniciador (ya sea vertido, incendio o explosión). De esta forma, se estima que una mayor experiencia en las labores que implica la operación disminuye la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

La escala propuesta parte de la base de que un empleado con dos años de experiencia ha adquirido, por norma general, la capacidad suficiente para conocer completamente los protocolos de operación en los que debe participar así como los posibles peligros que pudiesen ocasionar dichas actividades.

La escala diferencia cuatro categorías: menos de seis meses de experiencia, de seis meses a un año de experiencia, de un año a dos de experiencia y más de dos años de experiencia.

#### 10) Formación de los empleados a cargo de la operación

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también se tiene en cuenta de cara a evaluar la posibilidad de un error humano.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo de una determinada operación han recibido formación sobre los riesgos que ésta conlleva, la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador debido a un error humano será menor que si no reciben dicha formación. Esta formación se contempla como una fase previa o en paralelo, complementaria y necesaria a la de experiencia, en la que el empleado a base de llevar a cabo las operaciones que le hayan sido asignadas pondrá en práctica lo aprendido en la fase de formación.

#### 11) Frecuencia de las revisiones

Al igual que ocurría en el caso del estimador de antigüedad, se han distinguido diferentes indicadores de frecuencia de revisiones:

- Frecuencia de revisiones a las conducciones.
- Frecuencia de revisiones a los depósitos fijos
- Frecuencia de revisiones a los depósitos móviles (GRG, bidones, etc.)
- Frecuencia de revisiones a los equipos de proceso.

En caso de existir legislación o normas técnicas que obliguen a la realización de controles periódicos debería considerarse que aquellas instalaciones que, además de cumplir con la normativa obligatoria, aplican otra normativa voluntaria u otras instrucciones más exigentes, tendrán asociada una probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador inferior.

Lo mismo ocurriría con las especificaciones técnicas del fabricante. Aquellas instalaciones que realicen unas revisiones aún más estrictas que las indicadas por el fabricante, reducirán la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

#### 12) Iluminación en la zona

Este estimador valora la existencia de una iluminación adecuada en las zonas de almacenamiento aéreo de sustancias, carga y descarga, sistemas de válvulas y tuberías aéreas y transformadores. De este modo, si la zona analizada tiene una iluminación adecuada, disminuye la probabilidad de vertido de sustancias asociado a impactos de objetos móviles (carretillas, toros, camiones, etc.).

Se propone una categorización de este estimador teniendo en cuenta la NTP-714 sobre “Carretillas elevadoras automotoras (II): principales peligros y medidas preventivas”, que indica en su Tabla 1, en el apartado de choques y atrapamientos, que la iluminación de pasillos y zonas interiores tiene que ser como mínimo de 100 lux. A partir de este valor se ha considerado que toda iluminación igual o superior implica una probabilidad de accidente mínima, y que una iluminación por debajo de 100 lux va aumentando la probabilidad. El límite inferior de 50 lux se ha obtenido de las indicaciones del Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, que advierte que ésta será la iluminación cuando la exigencia visual requerida sea mínima.

La escala contempla cuatro categorías:  $\geq 100$  lux, 75-100 lux, 50-75 lux,  $< 50$  lux.

#### 13) Periodicidad de las revisiones a las condiciones de almacenamiento

Este estimador valora la frecuencia con la que se realizan las revisiones a las condiciones de almacenamiento para, entre otros, detectar posibles roturas o fugas en algún depósito, comprobar la adecuada colocación de los GRG, bidones, etc. con objeto de evitar la caída de alguno de ellos y verificar el adecuado estado de los palés con el mismo fin que en el caso anterior.

Por ello, en las instalaciones en las que la frecuencia de las revisiones se establece con base en una normativa o en unas instrucciones más exigente que la fijada en la normativa obligatoria, la probabilidad de ocurrencia de un suceso iniciador disminuye.

#### 14) Planes de inspección y tipo de mantenimiento

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos, valorando así la posibilidad de un fallo en dichos sistemas.

Se entiende por mantenimiento correctivo aquél que es efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio. Por otro lado, el mantenimiento preventivo consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares — horas de servicio, kilómetros recorridos, toneladas producidas—.

De esta forma, la escala distingue cuatro supuestos distintos en función de que el mantenimiento que se realiza sea preventivo y correctivo o solo correctivo, y de que exista o no registro de las operaciones realizadas.

#### 15) Porcentaje de la superficie de la instalación con cubierta

La existencia de cubierta se valora positivamente dado que puede impedir que el agua o el viento arrastren sustancias, pudiendo contaminar los recursos naturales. Así, cuanto mayor sea la fracción de la superficie de la instalación cubierta menor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

Se consideran cuatro categorías para este indicador en función del porcentaje de superficie cubierta.

#### 16) Porcentaje del perímetro de la instalación con muro perimetral o superficie estanca de contención

La existencia de un muro perimetral continuo o una superficie de contención alrededor de la instalación puede impedir que el agua o el viento arrastren sustancias, pudiendo contaminar los recursos naturales. De esta forma, cuanto mayor sea la fracción de superficie con muro perimetral o superficie estanca menor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

Al igual que en el caso anterior, se consideran cuatro categorías para este indicador en función del porcentaje del perímetro cerrado.

#### 17) Presencia de sustancias combustibles

La presencia de sustancias combustibles es un factor importante a tener en cuenta a la hora de valorar la probabilidad de ocurrencia de un incendio. De este modo, la existencia de sustancias combustibles llevará asociada una mayor probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

#### 18) Procedimiento de admisión con supervisión y registro

Mediante este indicador se valora de forma positiva la existencia de un procedimiento mediante el cual se supervisen y registren los residuos que entran en la instalación para su tratamiento.

#### 19) Procedimiento de operación con supervisión y registro

Con este indicador se tiene en cuenta la existencia de un procedimiento documentado de operación, la presencia de personal propio de la instalación que se encargue de supervisar la operación y, la existencia de registros del cumplimiento del procedimiento.

Estos tres factores han sido combinados en la propuesta de categorización de modo que se ha dado más peso a la existencia de un procedimiento documentado y al registro de su cumplimiento.

Según dicha categorización, las instalaciones que cuentan con los tres factores tienen menor probabilidad de que se produzca el suceso iniciador.

#### 20) Protección contra impactos

Se han distinguido diferentes indicadores de protección contra impactos:

- Protección de tuberías aéreas.
- Protección de depósitos.
- Protección de equipos de proceso.

La existencia de elementos protectores en tuberías aéreas, depósitos y/o equipos en zonas con circulación de vehículos actuará como medida de prevención de roturas o deterioro por posibles impactos.

#### 21) Pruebas de estanqueidad

Las pruebas de estanqueidad como medida para evitar la existencia de poros o fisuras que pudieran permitir que alguno de los elementos utilizados no fuese completamente estanco se valora de forma positiva.

De esta forma, en aquellos elementos que tengan pruebas periódicas de estanqueidad la probabilidad de que tenga lugar un suceso iniciador será menor.

#### 22) Recubrimiento tuberías subterráneas

Las tuberías subterráneas presentan una problemática importante al ser difícil detectar los vertidos que puedan producirse a causa de una fuga o rotura de la misma. Por ello es interesante valorar las medidas presentes en estas conducciones que pudiesen evitar la generación del suceso iniciador tales como la impermeabilización de las mismas.

De esta forma las tuberías subterráneas que cuenten con recubrimiento tendrán asociada una probabilidad ocurrencia menor.

#### 23) Existencia de una red de drenaje y sistema de almacenamiento de pluviales potencialmente contaminados dimensionados adecuadamente respecto a las condiciones del entorno

Este indicador hace referencia a causas de carácter constructivo. Tanto la red de drenaje como, en su caso, el sistema de almacenamiento de pluviales, deben estar dimensionados adecuadamente conforme a las previsiones que procedan sobre lluvias severas. De esta forma se asegura que dichas infraestructuras serán capaces de funcionar adecuadamente en el caso de que tales lluvias intensas se produzcan.

#### 24) Régimen pluviométrico

Este indicador considera la precipitación media de la zona de estudio como estimador de la probabilidad de formación de lixiviados en puntos de acumulación de sólidos potencialmente contaminados que se encuentren al descubierto.

Así, para valores de precipitación bajos, la probabilidad de formación de lixiviados será menor que para valores más altos de precipitación.

Se han distinguido cuatro categorías en función de la precipitación media anual basadas en la cartografía del Atlas Nacional de España: < 500 mm, 500-1.000 mm, 1.000-1.500 mm y >1.500 mm.

#### 25) Señalización de las zonas de paso y carga y descarga

Con este indicador se tiene en cuenta la posibilidad de que ocurra un vertido de sustancias almacenadas debido al impacto de un objeto móvil.

De esta forma, se ha considerado que una adecuada señalización de las zonas de paso y carga y descarga disminuye la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

#### 26) Tratamientos anticorrosivos

Se han distinguido diferentes indicadores de tratamientos anticorrosivos:

- Tratamientos anticorrosivos de depósitos.
- Tratamientos anticorrosivos de tuberías

Este indicador evalúa las medidas de gestión del riesgo que lleva a cabo la instalación en lo relativo al control de la corrosión en depósitos y tuberías. Es un indicador importante de cara al cálculo de la probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores de vertido ya que la corrosividad de determinadas sustancias —tales como ácidos y sosa cáustica, entre otros— puede provocar que la sustancia contenida en los depósitos o tuberías salga fuera de estos, generando un vertido.

Por tanto, la existencia de este tipo de tratamientos se considera un factor que disminuye la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

#### 27) Utilización de herramientas que eviten la generación de chispas en zonas con presencia de sustancias inflamables

Este indicador valora la posibilidad de generación de un foco de ignición durante determinadas operaciones, como por ejemplo la carga y descarga de sustancias inflamables, por la utilización de herramientas inadecuadas.

De tal forma, las instalaciones que disponen de herramientas que eviten la generación de chispas tienen una menor probabilidad de ocurrencia de una explosión/incendio durante determinadas operaciones.

#### 28) Existencia de lavador de gases

Este indicador tiene en cuenta la existencia de lavador de gases como medida de control de los gases que pudieran fugarse durante el proceso. Éste sistema evitaría que queden libres y puedan generar una explosión/incendio ante la presencia de un eventual foco de ignición.

Por tanto, la presencia de un lavador de gases en el proceso disminuirá la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

#### 29) Frecuencia de operaciones

Se distinguen varios tipos de operaciones:

- Operaciones de carga y descarga
- Operación en depósitos (carga y descarga de los mismos, modificación de las condiciones o características de almacenamiento, etc.)
- Almacenamiento en depósitos móviles (GRG, bidones, etc.)
- Válvulas y tuberías

A mayor frecuencia de una determinada operación, mayor es la probabilidad de fallo y por tanto de generación de un determinado suceso iniciador (ya sea vertido o de explosión/incendio), por lo que se

considera importante tener en cuenta este indicador como estimador de la probabilidad de ocurrencia de los mismos.

30) Cobertura periódica de residuos (vertedero)

Se estima que la cobertura diaria de residuos en vertedero, para aislar los residuos y evitar la infiltración, disminuye la probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores relativos a la emisión de polvo de residuos peligrosos por arrastre de lluvia o viento.

31) Existencia de medidas de evitación o minimización de lixiviados y de una red de drenaje perimetral de seguridad para vertederos de residuos no peligrosos

La existencia de medidas que permitan disminuir de forma significativa la producción de lixiviados se considera como un factor positivo de cara a evitar un posible vertido.

32) Control del nivel de líquidos en la balsa (vertedero)

Este estimador se refiere al establecimiento de niveles de alerta y alarma para el nivel de líquidos de la balsa, que consiste en la instalación de un sistema automatizado que detecta si los niveles de alerta y alarma se sobrepasan.

33) Control taquimétrico de estabilidad (vertedero)

El establecimiento de un control taquimétrico de estabilidad permite controlar y detectar los posibles deslizamientos del terreno, pudiendo así tomar las medidas adecuadas y evitar posibles emisiones de residuos peligrosos. Por tanto, su existencia disminuirá la probabilidad de accidente.

34) Impermeabilización adecuada de la balsa (vertedero)

Este estimador evalúa la impermeabilización que se ha realizado en la balsa de lixiviados de los vertederos.

35) Impermeabilización adecuada del vaso de vertido (vertedero)

En el mismo sentido que el estimador anterior, en éste se evalúa la impermeabilización del vaso de vertido.

36) Realización de riegos en vertedero para evitar la emisión de polvo (vertedero)

Este indicador contempla la realización de riegos en vertedero como un factor que disminuye la dispersión del polvo generado en el vertedero, disminuyendo por tanto la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

37) Seguimiento de hitos topográficos de control en el dique de cierre (vertedero)

La realización de operaciones de seguimiento de los hitos topográficos de control en el dique tiene el objeto de comprobar las condiciones de estabilidad en las que éste se encuentra. Dicho seguimiento actuará como factor que disminuye la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.



38) Velocidad media del viento en la zona de la instalación (vertedero y RAEE)

El viento puede actuar levantando polvo de sustancias tóxicas y desplazándolo fuera de la instalación, pudiendo depositarse sobre los recursos naturales cubiertos por la normativa de responsabilidad medioambiental.

La escala que se propone para este indicador se ha definido con base en la cartografía y los datos contenidos en el Atlas Nacional de España (ANE).

39) Equipos de aspiración de polvo (RAEE)

Se valora positivamente la utilización de equipos de aspiración, en mayor número y/o con mayor potencia que lo estipulado en la normativa obligatoria, durante el tratamiento de RAEE para evitar o disminuir las emisiones de polvo metálico al exterior, disminuyendo así la probabilidad de ocasionar daños al medio ambiente.

### **III. CATÁLOGO DE INDICADORES**

Indicadores de la probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores					
ID	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia (Categorización)			
		0,25	0,45	0,65	0,90
1.1	Antigüedad de los sistemas de retención de pluviales potencialmente contaminadas tipo balsa	Antigüedad media inferior a 22 años	Antigüedad media comprendida entre 22 y 45 años	Antigüedad media comprendida entre 45 y 68 años	Antigüedad media superior a 68 años
1.2	Antigüedad de los sistemas de retención de pluviales potencialmente contaminadas tipo depósito o tanque	Antigüedad media inferior a 17 años	Antigüedad media comprendida entre 17 y 33 años	Antigüedad media comprendida entre 33 y 50 años	Antigüedad media superior a 50 años
1.3	Antigüedad de los depósitos y tanques fijos	Antigüedad media inferior a 13 años	Antigüedad media comprendida entre 13 y 26 años	Antigüedad media comprendida entre 26 y 40 años	Antigüedad media superior a 40 años
1.4	Antigüedad de la red de drenaje	Antigüedad media inferior a 11 años	Antigüedad media comprendida entre 11 y 22 años	Antigüedad media comprendida entre 22 y 34 años	Antigüedad media superior a 34 años
1.5	Antigüedad de las conducciones y tuberías	Antigüedad media inferior a 8 años	Antigüedad media comprendida entre 8 y 17 años	Antigüedad media comprendida entre 17 y 25 años	Antigüedad media superior a 25 años
1.6	Antigüedad de las instalaciones para transformaciones físicas o trabajos mecánicos	Antigüedad media inferior a 7 años	Antigüedad media comprendida entre 7 y 13 años	Antigüedad media comprendida entre 13 y 20 años	Antigüedad media superior a 20 años
1.7	Antigüedad de las unidades de mezcla y dosificadores (orgánicos)	Antigüedad media inferior a 7 años	Antigüedad media comprendida entre 7 y 13 años	Antigüedad media comprendida entre 13 y 20 años	Antigüedad media superior a 20 años
1.8	Antigüedad de los equipos de proceso	Antigüedad media inferior a 6 años	Antigüedad media comprendida entre 6 y 12 años	Antigüedad media comprendida entre 12 y 18 años	Antigüedad media superior a 18 años
1.9	Antigüedad de los evaporadores y concentradores	Antigüedad media inferior a 6 años	Antigüedad media comprendida entre 6 y 12 años	Antigüedad media comprendida entre 12 y 18 años	Antigüedad media superior a 18 años
1.10	Antigüedad de las unidades de destilación	Antigüedad media inferior a 6 años	Antigüedad media comprendida entre 6 y 12 años	Antigüedad media comprendida entre 12 y 18 años	Antigüedad media superior a 18 años
1.11	Antigüedad de los depósitos móviles (GRG, bidones, etc.)	Antigüedad media inferior a 3 años	Antigüedad media comprendida entre 3 y 7 años	Antigüedad media comprendida entre 7 y 10 años	Antigüedad media superior a 10 años
1.12	Antigüedad de las unidades de bombeo (orgánicos)	Los equipos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los equipos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los equipos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los equipos tienen una antigüedad media superior a su vida útil
2	Automatización de procesos	Alto grado de automatización (la totalidad del proceso está automatizado)	Grado medio-alto de automatización (la mayoría del proceso es automático)	Grado medio-bajo de automatización (la mayoría del proceso es manual)	Bajo grado de automatización (la totalidad del proceso es manual)
3	Carteles y etiquetas de advertencia	Existen carteles y etiquetas de advertencia en toda la zona y para todos los tipos de peligro	Existen carteles y etiquetas de advertencia en la zona pero únicamente para los principales peligros		No existen carteles y etiquetas de advertencia y peligro
4	Control del nivel de depósitos	Sistema de control de nivel automático con sistema de alarma en caso de sobrepasar el nivel de referencia	Sistema de control de nivel automático pero sin sistema de alarma en caso de sobrepasar el nivel de referencia		Sistema visual de control de niveles
5	Estado de la cubierta	Cubierta en buen estado: no se detectan fisuras o poros por los que pueda entrar agua y viento.			Cubierta en estado deficiente: se detectan fisuras o poros por los que pueda entrar agua y viento.
6	Estado del muro perimetral	Muro perimetral en buen estado: no se detectan fisuras o poros por los que pueda entrar agua y viento.			Muro perimetral en estado deficiente: se detectan fisuras o poros por los que puede entrar agua y viento.
7	Existencia de focos de ignición en la zona	No existen focos de ignición en la zona			Existen focos de ignición en la zona
8	Existencia de un plan actualizado de prevención de incendios y explosiones	Sí			No
9	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 2 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 2 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 6 meses a 1 año de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 6 meses de experiencia en la operación
10	Formación de los empleados a cargo de la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones			Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación
11.1	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones, además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones del fabricante más exigentes			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
11.2	Frecuencia de las revisiones a los depósitos fijos	La frecuencia de las revisiones, además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones del fabricante más exigentes			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
11.3	Frecuencia de las revisiones a los recipientes móviles (GRG, bidones, etc.)	La frecuencia de las revisiones, además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones del fabricante más exigentes			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
11.4	Frecuencia de las revisiones de los equipos de proceso	La frecuencia de las revisiones, además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones del fabricante más exigentes			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
12	Iluminación en la zona	La iluminación de la zona es $\geq$ 100 lux	La iluminación de la zona está comprendida entre 75 y 100 lux.	La iluminación de la zona está comprendida entre 50 y 75 lux.	La iluminación de la zona es inferior a 50 lux.
13	Periodicidad de las revisiones a las condiciones de almacenamiento	La frecuencia de las revisiones, además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones más exigentes			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
14	Planes de inspección y tipo de mantenimiento	Se aplica un mantenimiento de tipo preventivo-predictivo y correctivo con registro de las operaciones realizadas	Se aplica un mantenimiento de tipo preventivo-predictivo y correctivo sin registro de las operaciones realizadas	Se aplica un mantenimiento de tipo correctivo con registro de las operaciones realizadas	Se aplica un mantenimiento de tipo correctivo sin registro de las operaciones realizadas
15	Porcentaje de la superficie con cubierta	La totalidad de la actividad se realiza bajo cubierta (la cubierta cubre el 100% de la superficie de la zona)	La cubierta cubre entre un 75 y un 99% de la superficie de la zona	La cubierta cubre entre un 50 y un 75% de la superficie de la zona	La cubierta cubre menos de un 50% de la superficie de la zona
16	Porcentaje del perímetro con muro perimetral o superficie estanca de contención	La totalidad de la actividad se realiza en el interior de un muro perimetral estanco (el 100% del perímetro se encuentra protegido por un muro o un desnivel hacia el interior)	El muro perimetral cubre entre un 75 y un 99% del perímetro	El muro perimetral cubre entre un 50 y un 75% del perímetro	El muro perimetral cubre menos de un 50% del perímetro

Indicadores de la probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores					
ID	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia (Categorización)			
		0,25	0,45	0,65	0,90
17	Presencia de sustancias combustibles	No hay presencia de sustancias combustibles			Sustancias combustibles presentes
18	Procedimiento de admisión con supervisión y registro	Se dispone de un procedimiento para la admisión con supervisión por personal propio de la instalación y registros periódicos de su cumplimiento.	Se dispone de un procedimiento para la admisión con supervisión por personal propio de la instalación pero sin registros periódicos de su cumplimiento.	Se dispone de un procedimiento para la admisión sin supervisión por personal propio de la instalación pero con registro periódico de su cumplimiento.	Resto de casos.
19	Procedimiento de operación con supervisión y registro	Se dispone de un procedimiento para la operación con supervisión por personal propio de la instalación y registros periódicos de su cumplimiento.	Se dispone de un procedimiento para la operación con supervisión por personal propio de la instalación pero sin registros periódicos de su cumplimiento.	Se dispone de un procedimiento para la operación sin supervisión por personal propio de la instalación pero con registro periódico de su cumplimiento.	Resto de casos.
20.1	Protección de las tuberías aéreas contra impactos	Las tuberías aéreas tienen un recubrimiento que las protege			Las tuberías aéreas no tienen un recubrimiento que las protege
20.2	Protección de los depósitos contra impactos	Los depósitos tienen un recubrimiento que las protege			Los depósitos no tienen un recubrimiento que las protege
20.3	Protección de los equipos de proceso contra impactos	Los equipos tienen un recubrimiento que las protege			Los equipos no tienen un recubrimiento que las protege
21	Pruebas de estanqueidad	La frecuencia de las pruebas además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones del fabricante más exigentes			La frecuencia de las pruebas es igual a la mínima establecida por la normativa
22	Recubrimiento tuberías subterráneas	Las tuberías subterráneas tienen un recubrimiento que las protege			Las tuberías subterráneas no tienen un recubrimiento que las protege
23	Existencia de una red drenaje y sistema de almacenamiento de pluviales potencialmente contaminadas dimensionados adecuadamente respecto a las condiciones del entorno	Sí			No
24	Régimen pluviométrico	< 500 mm	500 - 1.000 mm	1.000 - 1.500 mm	> 1.500 mm
25	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga no es adecuada
26.1	Tratamientos anticorrosivos de depósitos	El tratamiento anticorrosivo además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones del fabricante más exigentes			El tratamiento anticorrosivo es igual al mínimo establecido por la normativa
26.2	Tratamientos anticorrosivos de tuberías	El tratamiento anticorrosivo además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones del fabricante más exigentes			El tratamiento anticorrosivo es igual al mínimo establecido por la normativa
27	Utilización de herramientas que eviten la generación de chispas en zonas con presencia de sustancias inflamables	Se utilizan herramientas que eviten la generación de chispas			No se utilizan herramientas que eviten la generación de chispas
28	Existencia de lavador de gases	Sí			No
29.1	Frecuencia de las operaciones de carga y descarga	Se realiza un bajo número de operaciones de carga y descarga al día			Se realiza un elevado número de operaciones de carga y descarga al día
29.2	Frecuencia con la que se opera con el depósito	Se opera con el depósito un reducido número de veces al año.			Se opera con el depósito un reducido número de veces al año.
29.3	Frecuencia de manipulaciones con recipientes móviles (GRG, bidones, etc.)	Se opera con un bajo número de GRG al día			Se opera con un elevado número de GRG al día
29.4	Frecuencia de utilización de las válvulas y tuberías	Las válvulas y tuberías se utilizan un bajo número de horas al año			Las válvulas y tuberías se utilizan un elevado número de horas al año
30	Cobertura periódica de residuos en vertedero	Se cubren los residuos diariamente			No se cubren los residuos diariamente
31	Existencia de medidas de evitación o minimización de lixiviados y de una red de drenaje perimetral de seguridad para vertederos de residuos no peligrosos	Se aplican medidas constructivas de reducción de los lixiviados			No se aplican medidas constructivas de reducción de los lixiviados
32	Control del nivel de líquidos en la balsa	Se han establecido controles del nivel de líquidos en la balsa			No se han establecido controles del nivel de líquidos en la balsa
33	Control taquimétrico de estabilidad	Se realizan controles taquimétricos periódicos de la estabilidad del relleno y de las infraestructuras de contención			No se realizan controles taquimétricos periódicos de la estabilidad del relleno y de las infraestructuras de contención
34	Impermeabilización adecuada del vaso de la balsa	La impermeabilización además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones más exigentes			La impermeabilización es igual a la mínima establecida por la normativa
35	Impermeabilización adecuada del vaso de vertido	La impermeabilización además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones más exigentes			La impermeabilización es igual a la mínima establecida por la normativa
36	Realización de riegos en vertedero para evitar la emisión de polvo	Se realizan riegos con una periodicidad adecuada con el fin de minimizar la emisión de polvo			No se realizan riegos con una periodicidad adecuada con el fin de minimizar la emisión de polvo
37	Seguimiento hitos topográficos de control en el dique de cierre	Se realiza un seguimiento de los hitos topográficos de control en el dique			No se realiza un seguimiento de los hitos topográficos de control en el dique
38	Velocidad media del viento en la zona de la instalación	Suave (< 1 m/s)	Medio (1-5 m/s)		Fuerte (> 5 m/s)
39	Equipos de aspiración de polvo	Los equipos de aspiración, además de cumplir con la normativa obligatoria, sigue las especificaciones de otras normativas o instrucciones más exigentes			Los equipos de aspiración igualan a los mínimos establecidos por la normativa

## **ANEJO III: INDICADORES DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LOS FACTORES CONDICIONANTES**

## **Índice**

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES .....</b>	<b>1</b>
<b>III. CATÁLOGO DE INDICADORES .....</b>	<b>7</b>

*Sector: Determinadas actividades de gestión de residuos peligrosos y no peligrosos*

## I. INTRODUCCIÓN

Al igual que el Anejo II, en el presente anejo se ofrece un catálogo de indicadores que puede ser tomado como referencia por los operadores para evaluar la probabilidad de ocurrencia de sus escenarios accidentales. Debe incidirse de nuevo en que se trata de un catálogo orientativo y que, por lo tanto, puede ser modificado por cada operador con objeto de adaptarlo a sus circunstancias concretas.

En este caso, el anejo se centra en los indicadores de probabilidad de éxito de los factores condicionantes. De forma similar a los indicadores del Anejo II, el analista seleccionaría los indicadores que considere adecuados para el factor condicionante que esté evaluando, pudiendo de nuevo enriquecer el listado con base en su experiencia.

## II. DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES

Los factores que condicionan el desarrollo del accidente posteriormente al desencadenamiento del suceso iniciador pueden hacer que el daño ambiental se minimice o se agrave. Los indicadores de probabilidad de dichos factores condicionantes hacen referencia a la posibilidad de que los sistemas de prevención y evitación funcionen correctamente evitando que se produzcan daños relevantes sobre los recursos naturales y son propios de cada instalación.

Los indicadores de la probabilidad de detección son especialmente importantes en el caso de que se empleen sistemas de contención manuales. Estimándose que un sistema de contención automático actúa independientemente de que el suceso iniciador sea o no detectado.

A continuación se proponen una serie de indicadores en base a los cuales se puede evaluar la probabilidad de detección, contención y control de los diferentes sucesos iniciadores, tanto para los sucesos iniciadores relacionados con el vertido de sustancias tóxicas como para los vinculados a incendios.

### 1. Indicadores propuestos para evaluar la probabilidad de detección temprana de un vertido

#### 1.1. Sistemas automáticos de detección

La existencia de equipos y sistemas de detección automática disminuye el riesgo de que el vertido no sea detectado, permitiendo actuar contra él de manera temprana evitando la extensión del mismo.

#### 1.2. Sistemas manuales de detección

Los sistemas manuales de detección, al igual que los automáticos, disminuyen el riesgo de que el vertido cause daños sobre los recursos naturales. No obstante, por regla general, se consideran menos efectivos que los sistemas automáticos ya que dependen de forma más directa de la presencia y destreza del personal de la instalación. Como referencias bibliográficas en este sentido puede acudir a los manuales publicados por el Instituto de Seguridad y Salud de Reino Unido



(Health and Safety Executive), a la información sobre tasas de errores humanos recogidas en Shelton (1999), y al ampliamente citado Purple Book editado por el Gobierno de los Países Bajos.

### 1.3. Presencia de personal en la instalación

En el modelo presentado se estima que la probabilidad de detección de un posible vertido es superior en las zonas que cuentan con presencia de personal de manera continuada, frente a aquellas zonas en las cuales esta presencia es ocasional o nula.

### 1.4. Formación y experiencia del personal

La formación del personal incide en la posibilidad de que los empleados sean capaces de actuar de manera apropiada ante un posible accidente. Para ello, pueden valorarse de manera positiva los cursos, simulacros u otras preparaciones que se organicen con este fin.

Conjuntamente con la formación, la experiencia previa con que cuente el personal puede emplearse como un indicador con el fin de conocer si en caso de producirse un accidente —con potenciales riesgos para el medioambiente—, el personal actuaría de forma que se eviten los daños en la medida de lo posible.

## 2. Indicadores propuestos para evaluar la probabilidad de contención temprana de un vertido

### 2.1. Sistemas automáticos de control y contención

Con el fin de retener un vertido tóxico pueden existir sistemas automáticos, como sería el caso de una balsa de emergencia situada en el punto más bajo de la red de drenaje o cubetos adicionales a los obligados por la normativa. La existencia de este tipo de sistemas en la instalación aumenta la probabilidad de que el vertido sea contenido.

### 2.2. Sistemas manuales de control y contención

Los sistemas manuales de contención hacen referencia a aquéllos que deben ser activados por los trabajadores de la instalación para que funcionen —válvulas, trampillas, etc.—. Por regla general se consideran menos efectivos que los automáticos, ya que requieren la presencia y la destreza del personal encargado de accionarlos.

### 2.3. Presencia de personal en la instalación

La presencia de personal puede emplearse como un indicador para estimar la probabilidad de que el vertido sea contenido de manera eficiente. De esta forma, a modo ejemplo, podría considerarse que la probabilidad de evitación de daños es superior en una instalación en la que existe presencia de personal todos los días de la semana, frente a una instalación en la cual no hay personal durante los fines de semana o por la noche.

### 2.4. Formación y experiencia del personal

Resulta interesante introducir en el análisis indicadores que permitan considerar el saber hacer de los operarios, con el fin de evaluar si éstos serían capaces no sólo de detectar un funcionamiento

anómalo en el sistema —suceso iniciador— si no también de actuar de la mejor manera posible ante el mismo, evitando las consecuencias negativas sobre el medioambiente.

#### 2.5. Estanqueidad de las medidas de contención (cubetos)

Para que las medidas de contención de vertidos sean eficaces es necesario que sean impermeables a las sustancias que deben contener. En este sentido, la presencia de poros, grietas, imperfecciones, etc. aumenta el riesgo de que el vertido percole disminuyendo la eficacia del sistema.

#### 2.6. Mantenimiento de los sistemas de contención de vertidos

Un correcto mantenimiento de los sistemas de contención, que asegure su funcionamiento de manera eficaz en caso necesario, así como la realización de simulacros y de pruebas de fiabilidad de forma periódica también pueden ser valorados de manera positiva por el analista.

#### 2.7. Existencia de kits de emergencia

La disponibilidad en la instalación de kits de emergencia ante vertidos adecuados aumenta la probabilidad de contención de vertidos de escasas dimensiones. Estos kits pueden componerse de barreras de contención, alfombras absorbentes, neutralizadores, etc.

#### 2.8. Realización de simulacros de emergencia ante vertidos

Mediante este indicador se valora de forma positiva la realización periódica de simulacros de emergencia ante vertidos, que permitan ensayar la respuesta y las medidas a adoptar, así como detectar y aplicar posibles mejoras y correcciones.

### 3. Indicadores propuestos para evaluar la probabilidad de detección temprana de un incendio

#### 3.1. Sistemas automáticos de detección

Por regla general los sistemas automáticos de detección de incendios se consideran más efectivos que los manuales, ya que no dependen de forma tan directa de la presencia y destreza del personal de la instalación. Un ejemplo de este tipo de sistema podrían ser los detectores de llama.

#### 3.2. Sistemas manuales de detección

Se considera que un sistema de detección manual requiere la presencia de personal en la instalación. La efectividad de estos sistemas guardaría relación con los aspectos relativos a la destreza del personal: formación, experiencia profesional, antigüedad en la empresa o en el sector, etc.

#### 3.3. Presencia de personal en la instalación

La presencia de personal puede emplearse como un indicador para estimar la probabilidad de que el incendio sea detectado. Aquellas instalaciones en las que exista personal de forma continuada tendrán menos probabilidad de que se propague un incendio que aquellas que carezcan de personal en determinados momentos de la jornada —noches, fines de semana, etc—.

### 3.4. Formación y experiencia del personal

Resulta interesante introducir en el análisis indicadores que permitan considerar el saber hacer de los operarios, con el fin de evaluar si éstos serían capaces no sólo de detectar un funcionamiento anómalo en el sistema —suceso iniciador— si no también de actuar de la mejor manera posible ante el mismo.

Conjuntamente con la formación, la experiencia previa con que cuente el personal puede emplearse como un indicador con el fin de conocer si en caso de producirse un accidente —con potenciales riesgos para el medioambiente—, el personal actuaría de forma que se eviten los daños en la medida de lo posible.

### 3.5. Mantenimiento de los sistemas de detección de incendios

Este indicador permite incorporar en el análisis las tareas de mantenimiento que se realicen sobre los equipos de detección de incendios con objeto de que estos funcionen de forma adecuada ante una incidencia.

## 4. Indicadores propuestos para evaluar la probabilidad de extinción de un incendio

### 4.1. Sistemas automáticos de extinción

Al igual que en el caso de la detección de incendios, por regla general la extinción de posibles incendios mediante medios automáticos se considera más efectiva que la manual por el hecho de no requerir la participación del personal. Un ejemplo de estos tipos de sistemas de extinción sería el diluvio (agua pulverizada).

### 4.2. Sistemas manuales de extinción

Los sistemas manuales de extinción hacen referencia a aquéllos que requieren su accionamiento por parte del personal para que sean efectivos —las bocas de incendio, los extintores, etc. pueden ser ejemplos de estos sistemas—. La presencia de los mismos, su número, y ubicación pueden ser indicadores para determinar la probabilidad de que un incendio pueda ser controlado de manera temprana, no afectando a la vegetación y a los hábitats colindantes. Un ejemplo podrían ser las Bocas de Incendio Equipadas (BIE).

### 4.3. Presencia de personal en la instalación

La presencia de personal puede emplearse como un indicador para estimar la probabilidad de que un incendio sea controlado de manera eficiente. De esta forma, a modo ejemplo, podría considerarse que la probabilidad de control de incendio es superior en una instalación en la que existe presencia de personal todos los días de la semana, frente a una instalación en la cual no hay personal los fines de semana o durante la noche.

### 4.4. Formación y experiencia del personal

Resulta interesante introducir en el análisis indicadores que permitan considerar el saber hacer de los operarios, con el fin de evaluar si éstos serían capaces no sólo de detectar un funcionamiento anómalo en el sistema —suceso iniciador— si no también de actuar de la mejor manera posible ante el mismo evitando las consecuencias negativas sobre el medioambiente.

Conjuntamente con la formación, la experiencia previa con que cuente el personal puede emplearse como un indicador con el fin de conocer si en caso de producirse un accidente —con potenciales riesgos para el medioambiente—, el personal actuaría de forma que se eviten los daños en la medida de lo posible.

#### 4.5. Mantenimiento de los sistemas de extinción de incendios

Los sistemas de extinción de incendios deben recibir un mantenimiento periódico y adecuado, mediante el cual se asegure que funcionan de manera eficaz. La realización de simulacros y de pruebas de fiabilidad también puede ser valorada de manera positiva por el analista.

#### 4.6. Realización de simulacros de emergencia ante incendios

Al igual que para el caso de vertidos, este indicador valora de forma positiva la realización de simulacros de emergencia ante incendios, que permitan ensayar tanto la respuesta como las medidas a aplicar, con objeto de detectar y aplicar posibles mejoras y correcciones.

### 5. Indicadores propuestos para evaluar la probabilidad de infiltración de un vertido

#### 5.1. Superficie pavimentada

Cuanto mayor sea el porcentaje de superficie pavimentada en la instalación, menor será la probabilidad de que un vertido pueda infiltrarse en el terreno y causar daños a los recursos naturales.

La escala propuesta diferencia entre el 100% de la instalación pavimentada y cualquier porcentaje inferior a este.

#### 5.2. Presencia de fisuras y grietas

La presencia de grietas o fisuras en el pavimento favorece la infiltración de sustancias en el suelo y por lo tanto disminuye la probabilidad de que ésta sea contenida.

### 6. Indicadores propuestos para evaluar la probabilidad de la correcta gestión del agua

#### 6.1. Existencia de sistema de drenaje de aguas potencialmente contaminadas

En caso de que la instalación disponga de una red de drenaje específica para las aguas de escorrentía potencialmente contaminadas, ésta podría valorarse de forma positiva siempre que la misma disponga de los medios necesarios para evitar un vertido al entorno. Aspectos como las medidas de contención existentes en la red, su limpieza y ausencia de obstáculos, antigüedad, etc. pueden servir como indicadores para estimar la probabilidad de que los vertidos sean contenidos en esta red y no causen daños medioambientales.

#### 6.2. Existencia de una red de drenaje de contención de los hipotéticos vertidos

La existencia en la instalación de una red de drenaje cerrada, facilita la posibilidad de que el vertido quede retenido y controlado dentro de los límites de ésta.

### 6.3. Control de calidad

La existencia de una red a través de la cual se realice un control y seguimiento de la calidad de las aguas previas a su vertido, incrementa las posibilidades de que un posible vertido sea detectado de forma temprana, tomando las medidas oportunas para evitar los daños en la medida de lo posible.

## 7. Indicadores propuestos para evaluar la probabilidad del arrastre de contaminantes por agua

### 7.1. Porcentaje cubierta

El porcentaje de la instalación que disponga de cubierta será determinante para evitar que el viento o la lluvia puedan entrar en contacto con las sustancias contaminantes que se hayan derramado en el accidente, arrastrándolas y ocasionando que el vertido alcance mayores dimensiones. Por tanto, a mayor porcentaje de cubierta, menor será la probabilidad de afección a los recursos naturales.

La escala propuesta diferencia entre el 100% de la instalación cubierta y cualquier porcentaje inferior a este.

### 7.2. Porcentaje cerramiento lateral

Al igual que en el caso anterior, un muro perimetral completo disminuirá la probabilidad de ocurrencia del escenario accidental, mientras que un cerramiento perimetral parcial hará el efecto contrario. Este estimador mide la influencia del porcentaje de cerramiento lateral en la probabilidad de afección a los recursos naturales.

Las categorías de la escala son las mismas que en el caso de la cubierta.

### 7.3. Régimen pluviométrico

El régimen pluviométrico que exista en la zona en la que se ubica la instalación determinará la probabilidad de extensión de determinados vertidos debido al arrastre de contaminantes por la lluvia.

III. CATÁLOGO DE INDICADORES

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de éxito		
		Menor	Intermedio	Mayor
Detección temprana de vertidos	Sistemas automáticos de detección	Inexistencia de sistemas automáticos de detección		Existencia de sistemas automáticos de detección
	Sistemas manuales de detección	Inexistencia de sistemas manuales de detección	Existencia de sistemas manuales de detección	
	Presencia de personal en la zona	Presencia no continua de personal en la zona	Presencia continua de personal en la zona	
	Formación y experiencia del personal	Los empleados no tienen formación y experiencia suficiente para actuar en caso de accidente	Los empleados tienen formación y experiencia suficiente para actuar en caso de accidente	
Contención de vertidos	Sistemas automáticos de control y contención	Inexistencia de sistemas automáticos de contención		Existencia de sistemas automáticos de contención
	Sistemas manuales de control y contención	Inexistencia de sistemas manuales de contención	Existencia de sistemas manuales de contención	
	Presencia de personal en la zona	Presencia no continua de personal en la zona	Presencia continua de personal en la zona	
	Formación y experiencia del personal	Los empleados no tienen formación y experiencia suficiente para actuar en caso de accidente	Los empleados tienen formación y experiencia suficiente para actuar en caso de accidente	
	Estanqueidad de las medidas de contención (cubetos)	Medidas de contención permeables a las sustancias vertidas		Medidas de contención completamente estancas a las sustancias vertidas
	Mantenimiento de los sistemas de contención de vertidos	Mantenimiento deficiente		Mantenimiento adecuado
	Existencia de kits de emergencia	Inexistencia de kits de emergencia adecuados para la contención de vertidos	Existencia de kits de emergencia adecuados para la contención de vertidos	
	Realización de simulacros de emergencia ante vertidos	No se realizan simulacros de emergencia		Se realizan simulacros de emergencia
Detección temprana de incendios	Sistemas automáticos de detección	Inexistencia de sistemas automáticos de detección		Existencia de sistemas automáticos de detección
	Sistemas manuales de detección	Inexistencia de sistemas manuales de detección	Existencia de sistemas manuales de detección	
	Presencia de personal en la zona	Presencia no continua de personal en la zona	Presencia continua de personal en la zona	
	Formación y experiencia del personal	Los empleados no tienen formación y experiencia suficiente para actuar en caso de accidente	Los empleados tienen formación y experiencia suficiente para actuar en caso de accidente	
	Mantenimiento de los sistemas de detección de incendios	Los sistemas de detección tienen un mantenimiento deficiente		Los sistemas de detección tienen un mantenimiento adecuado
Extinción de incendios	Sistemas automáticos de extinción	Inexistencia de sistemas automáticos de extinción		Existencia de sistemas automáticos de extinción
	Sistemas manuales de extinción	Inexistencia de sistemas manuales de extinción	Existencia de sistemas manuales de extinción	
	Presencia de personal en la zona	Presencia no continua de personal en la zona	Presencia continua de personal en la zona	
	Formación y experiencia del personal	Los empleados no tienen formación y experiencia suficiente para actuar en caso de accidente	Los empleados tienen formación y experiencia suficiente para actuar en caso de accidente	
	Mantenimiento de los sistemas de extinción de incendios	Los sistemas de extinción tienen un mantenimiento deficiente		Los sistemas de extinción tienen un mantenimiento adecuado
	Realización de simulacros de emergencia ante incendios	No se realizan simulacros de emergencia		Se realizan simulacros de emergencia
Pavimento	Superficie pavimentada	Superficie sin pavimentar		Superficie pavimentada
	Presencia de fisuras y grietas	Superficie con grietas y fisuras		Superficie sin grietas y fisuras
Gestión de aguas	Existencia de sistema de drenaje de aguas potencialmente contaminadas	No existe un sistema que recoge el agua potencialmente contaminada		Existe un sistema que recoge el agua potencialmente contaminada
	Existencia de una red de drenaje de contención de los hipotéticos vertidos	No existe una red de una red de drenaje de contención		Existe una red de drenaje de contención
	Control de calidad	No existe control de calidad previo a cada vertido		Existe control de calidad previo a cada vertido
Arrastre por agua	Régimen pluviométrico	< 400 mm		> 400 mm
	Porcentaje de cubierta de la zona	< 100		100
	Porcentaje de cerramiento lateral de la zona	< 100		100

**ANEJO IV: DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE DISPERSIÓN PARA  
DAÑOS POR AGENTES QUÍMICOS SOBRE EL SUELO Y EL AGUA  
SUBTERRÁNEA**





**Índice**

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR UN VERTIDO.....</b>	<b>1</b>
<b>III. CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD AFECTADA POR UN VERTIDO.....</b>	<b>4</b>

*Sector: Determinadas actividades de gestión de residuos peligrosos y no peligrosos*

## I. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se expone de forma detallada el modelo de dispersión de contaminantes propuesto en Grimaz et al. (2007) y Grimaz et al. (2008), dado su elevado interés para la cuantificación de daños al suelo y al agua subterránea.

Este modelo ofrece una estimación de la superficie afectada por el vertido y de la profundidad alcanzada por el mismo, siendo una herramienta válida para la evaluación de la extensión de los daños medioambientales considerados en los análisis de riesgos.

Como documentos básicos de partida para la elaboración del anejo se han tomado los análisis de riesgos sectoriales puestos a disposición pública a través de la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente<sup>1</sup>.

## II. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR UN VERTIDO

El modelo de dispersión permite la simulación de diferentes hipótesis de vertido: puntuales o lineales, en terreno con pendiente o sin pendiente, etc. No obstante, en el ámbito del presente análisis de riesgos se propone a los operadores emplear las ecuaciones correspondientes a vertidos puntuales sobre superficies planas, dado que estas características pueden ser asumibles dadas las características de las hipótesis accidentales que se han considerado.

Bajo estas premisas, la superficie de vertido se corresponde con un círculo cuyo centro se encuentra en el origen del derrame y cuyo área —expresada en metros cuadrados— es el resultado de aplicar la siguiente expresión:

$$A_{pool} = \pi \cdot s(t)^2 \quad [\text{Ec.1}]$$

Donde:

- $A_{pool}$  = superficie de la mancha de vertido [ $\text{m}^2$ ].
- $s(t)$  = distancia de difusión [m].

La ecuación propuesta por Huppert (Huppert, 2006) para dimensionar la distancia de difusión se calcula con la siguiente expresión:

$$s(t) = \zeta_N(\alpha, n)(Rq^3)^{1/(5+3n)} t^{(3\alpha+1)/(5+3n)} \quad [\text{Ec.2}]$$

---

<sup>1</sup> <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/analisis-de-riesgos-sectoriales/herramientas.aspx>

Donde:

- $s(t)$  = coordenada espacial que define la extensión del área. Para  $n=1^2$ , correspondiente a una fuente de vertido puntual;  $s$ =radio [m].
- $\zeta_N(\alpha,n)$  = coeficiente adimensional definido por Huppert, que varía en función del valor que tomen los parámetros  $\alpha^3$  y  $n$  según se muestra en la Tabla 1. En el presente análisis se recomienda asumir un valor  $\alpha=1$  —correspondiente a vertidos de flujo constante—.

Tipo de vertido	n = 0	n = 1
$\alpha=0$	1,411	0,894
$\alpha=1$	1,010	0,715
$\alpha=2$	0,850	0,623

**Tabla 1.** Valores del coeficiente  $\zeta_N(\alpha,n)$  en la ecuación de Huppert, en función de los parámetros  $\alpha$  y  $n$ . Fuente: Grimaz *et al.*, 2007 (AIDIC).

- $R$  = difusión efectiva, se calcula a partir de la aceleración de la gravedad ( $g$ ) [ $m/s^2$ ], la densidad ( $\rho$ ) [ $kg/m^3$ ] y la viscosidad dinámica ( $\mu$ )<sup>4</sup> [ $kg\cdot m/s$ ] mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho g}{3 \mu} = \frac{g}{3 \nu} \quad \text{[Ec.4]}$$

- $q$  = caudal de vertido [ $m^3/s$ ], calculado mediante la división del volumen vertido entre el tiempo de vertido.
- $t$  = tiempo de transición [s], se calcula a partir de los parámetros  $\alpha$  y  $n$ , la aceleración de la gravedad ( $g$ ) [ $m/s^2$ ], y la permeabilidad del suelo ( $k$ ) [ $m^2$ ] aplicando la siguiente expresión:

<sup>2</sup> Los valores que puede tomar  $n$  indican el tipo de fuente que origina el daño; así, se utiliza:  $n=0$  para fuentes lineales, y  $n=1$  para fuentes puntuales.

<sup>3</sup> Los valores de  $\alpha$  indican el comportamiento del vertido a lo largo del tiempo; así:  $\alpha=0$  indica que el vertido es instantáneo,  $\alpha=1$  que se trata de un vertido de flujo constante, y  $\alpha=2$  que el flujo de vertido sigue una tendencia lineal.

<sup>4</sup> La viscosidad cinemática ( $\nu$ ) [ $m^2/s$ ] es el resultado de dividir la viscosidad dinámica ( $\mu$ ) [ $kg\cdot m/s$ ] entre la densidad ( $\rho$ ) [ $kg/m^3$ ].

Sector: *Determinadas actividades de gestión de residuos peligrosos y no peligrosos*

$$t \approx 0,697^n \times \left[ 3^{1-n} \left( \frac{6}{\pi} \right)^n \frac{q^{2-n} v^{6-n}}{g^{6-n} k^{5-n}} \right]^{\frac{1}{(6-n)-(2-n)\alpha}} \quad \text{[Ec.5]}$$

### III. CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD AFECTADA POR UN VERTIDO

Las sustancias químicas susceptibles de derramarse, además de expandirse superficialmente, pueden infiltrarse en el suelo siempre que éste tenga cierto grado de permeabilidad.

De esta forma, la cantidad de recurso afectado puede evaluarse en unidades de volumen — superficie por profundidad—, para posteriormente convertirse en unidades de masa (toneladas) aplicando un determinado valor de densidad. En caso de que el operador no disponga de un dato específico para su instalación puede acudir a valores recogidos en la bibliografía —a modo de ejemplo, podría tomarse una densidad promedio de 1,35 g/cm<sup>3</sup> tomada de EPA (1996) y YU et al., (1993)—.

Los autores del modelo de dispersión, proponen la siguiente expresión para la estimación de la profundidad que alcanza el vertido en el suelo:

$$D_{MP} = \frac{V_{spill} - V_E}{A_{pool} R \xi} \quad \text{[Ec.6]}$$

Donde:

- $D_{MP}$  = profundidad máxima que alcanza el vertido en el suelo [m].
- $A_{pool}$  = superficie ocupada por el derrame, considerando los coeficientes expuestos en el apartado anterior [m<sup>2</sup>].
- $V_{spill}$  = volumen vertido [m<sup>3</sup>].
- $V_E$  = volumen evaporado [m<sup>3</sup>].
- $R$  = capacidad de retención [m<sup>3</sup><sub>sust</sub>/m<sup>3</sup><sub>suelo</sub>]. Su valor puede estimarse conforme con lo indicado en la Tabla 2.

Permeabilidad	Tipo de suelo	R [m <sup>3</sup> <sub>sust</sub> /m <sup>3</sup> <sub>suelo</sub> ]
Alta	Grava-Arena gruesa	8 x 10 <sup>-3</sup>
Media	Arena gruesa-Arena media	15 x 10 <sup>-3</sup>
Baja	Arena fina-Limo	40 x 10 <sup>-3</sup>

**Tabla 2.** Coeficiente de capacidad de retención (R) para los diferentes tipos de suelo. Fuente: Grimaz *et al.*, 2008.

- $\xi$  = parámetro que depende de la viscosidad de la sustancia vertida y cuyo valor se estima conforme a la Tabla 3.

Sustancia	$\xi$
Viscosidad baja	0,5
Viscosidad media	1,0
Viscosidad alta	2,0

**Tabla 3.** Valores de  $\xi$  en función de la viscosidad de la sustancia. Fuente: Grimaz et al., 2008.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE ESTADO  
DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD  
Y EVALUACIÓN AMBIENTAL Y MEDIO NATURAL

**COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS MEDIOAMBIENTALES**