



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

SECRETARÍA DE ESTADO
DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD
Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

GUÍA METODOLÓGICA PARA LOS SECTORES: MINERÍA DE SULFUROS POLIMETÁLICOS Y MINERÍA DE SALES SÓDICAS Y POTÁSICAS

**COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS
MEDIOAMBIENTALES**

El presente documento es una adaptación a los requerimientos actuales de la normativa de responsabilidad medioambiental del “Proyecto piloto de guía metodológica, sectores: minería de sulfuros polimetálicos y minería de sales sódicas y potásicas” elaborado en octubre del año 2012. En este sentido, debe indicarse que el material y la información de base coinciden con los publicados en octubre de 2012 si bien se ha procedido a cumplimentar los apartados necesarios y a estructurar la documentación con el fin de adecuarla a las nuevas exigencias de la normativa.

Índice

I. OBJETO Y ALCANCE	1
II. EQUIPO RESPONSABLE DEL ESTUDIO	4
III. JUSTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO SECTORIAL SELECCIONADO.....	4
IV. DESCRIPCIÓN GENERAL	6
IV.1. Diversidad de actividades e instalaciones, líneas de proceso, unidades o partes del sector objeto de estudio	6
IV.1.1. Minería de sulfuros polimetálicos	6
IV.1.2. Minería de sales sódicas y potásicas	8
IV.2. Variabilidad de agentes causantes de daño y de medios receptores que, en su caso, pudieran verse afectados	10
V. METODOLOGÍA.....	10
VI. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y DE LOS FACTORES DETERMINANTES DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL.....	15
VI.1. Catálogo de zonas con peligro asociado y sucesos iniciadores	15
VI.2. Catálogo de zonas con peligro asociado y escenarios accidentales básicos.....	16
VI.3. Catálogo de factores condicionantes.....	17
VI.3.1. Factores condicionantes relativos a la prevención y evitación de los daños	17
VI.3.2. Factores condicionantes relativos al entorno de la instalación	18
VI.4. Catálogo de recursos potencialmente afectados	19
VII. DIRECTRICES A SEGUIR PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL .	23
VII.1. Identificación de escenarios.....	23
VII.2. Protocolos para la asignación de probabilidades	23
VII.2.1. Estimación de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador	23
VII.2.1.1. Probabilidad de inundación de la corta (S1)	25
VII.2.1.2. Probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje de la corta (S2)	29
VII.2.1.3. Probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje interior (S3)	33
VII.2.1.4. Probabilidad de vertido de materiales desde camión (S14).....	37

VII.2.1.5. Probabilidad de vertido de combustible desde camión (SI5)	40
VII.2.1.6. Probabilidad de incendio en camión (SI6)	43
VII.2.1.7. Probabilidad de vertido de materiales desde otros sistemas de transporte (SI7)	46
VII.2.1.8. Probabilidad de incendio en otros sistemas de transporte (SI8)	49
VII.2.1.9. Probabilidad de vertido de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria (SI9)	51
VII.2.1.10. Probabilidad de incendio en taller mecánico (SI10).....	54
VII.2.1.11. Probabilidad de vertido de aguas de lavado (SI11)	57
VII.2.1.12. Probabilidad de vertido de mineral almacenado (SI12)	60
VII.2.1.13. Probabilidad de vertido de sustancias en almacén (SI13).....	62
VII.2.1.14. Probabilidad de incendio en almacén de sustancias (SI14)	65
VII.2.1.15. Probabilidad de explosión e incendio en polvorín (SI15).....	68
VII.2.1.16. Probabilidad de explosión e incendio en el manejo de explosivos (SI16)	70
VII.2.1.17. Probabilidad de vertido de mineral durante el proceso de trituración y molienda (SI17)	73
VII.2.1.18. Probabilidad de vertido de fluidos de proceso (SI18)	75
VII.2.1.19. Probabilidad de vertido de sustancias para el procesamiento de mineral (SI19)....	79
VII.2.1.20. Probabilidad de incendio en el área de procesamiento de mineral (SI20)	83
VII.2.1.21. Probabilidad de vertido de materiales desde escombrera (SI21)	85
VII.2.1.22. Probabilidad de infiltración desde escombrera (SI22)	91
VII.2.1.23. Probabilidad de vertido desde escombrera (SI23).....	93
VII.2.1.24. Probabilidad de vertido desde balsa (SI24)	94
VII.2.1.25. Probabilidad de infiltración desde balsa (SI25).....	104
VII.2.1.26. Probabilidad de vertido de pasta desde planta de pasta (SI26)	106
VII.2.1.27. Probabilidad de vertido desde conducciones asociadas a la gestión de residuos (SI27)	
VII.2.1.28. Probabilidad de vertido desde conducciones de abastecimiento de agua (SI28) .	108
VII.2.1.29. Probabilidad de vertido de sustancias desde estación dosificadora de reactivos para el control de calidad de las aguas (SI29)	110
VII.2.1.30. Probabilidad de vertido de efluentes ácidos (SI30)	111
VII.2.1.31. Probabilidad de vertido de efluentes salinos (SI31).....	112

VII.2.1.32. Probabilidad de vertido de combustible desde generador (SI32).....	113
VII.2.1.33. Probabilidad de incendio en generador de energía eléctrica (SI33).....	114
VII.2.1.34. Probabilidad de incendio en transformador de energía eléctrica (SI34)	114
VII.2.1.35. Probabilidad de incendio en tendido eléctrico (SI35)	114
VII.2.2. Estimación de probabilidades de los factores condicionantes.....	117
VII.2.2.1. Factores condicionantes relativos a la prevención y evitación de los daños.....	117
VII.2.2.2. Factores condicionantes relativos al entorno de la instalación.....	134
VIII.PAUTAS PARA ESTIMAR LA MAGNITUD DE LOS DAÑOS PREVISTOS EN LOS ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES EMPLEANDO EL IDM Y SELECCIONAR EL ESCENARIO ACCIDENTAL DE REFERENCIA.....	142
VIII.1.Pautas para la selección de la combinación agente causante de daño-recurso natural afectado.....	145
VIII.1.1. Pautas para la estimación del coeficiente Ecf	148
VIII.1.2. Pautas para la estimación del coeficiente A	148
VIII.1.3. Pautas para la estimación del coeficiente Ecu	148
VIII.1.4. Pautas para la estimación del coeficiente B	148
VIII.1.5. Pautas para la estimación del coeficiente α.....	150
VIII.1.6. Pautas para la estimación del coeficiente Ec.....	151
VIII.1.7. Pautas para la estimación del coeficiente p.....	151
VIII.1.8. Pautas para la estimación del coeficiente Macc	151
VIII.1.9. Pautas para la estimación del coeficiente q.....	151
VIII.1.10. Pautas para la estimación del coeficiente C	151
VIII.1.11. Pautas para la estimación del coeficiente Ecr	152
VIII.1.12. Pautas para la estimación del coeficiente Ecc.....	152
VIII.1.13. Pautas para la estimación del coeficiente β.....	152
VIII.1.14. Pautas para la estimación del coeficiente Eca.....	152
VIII.1.15. Pautas para la estimación de varias combinaciones agente-recurso	152
VIII.2. Selección del escenario de referencia para el cálculo de la garantía financiera.....	152
IX. PROTOCOLOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL DAÑO	153
IX.1. Identificación de los agentes causantes del daño y de los recursos naturales y servicios afectados.....	154

IX.1.1. Identificación de los agentes causantes del daño	154
IX.1.2. Identificación de los recursos naturales y servicios afectados	160
IX.2. Cuantificación del daño	164
IX.2.1. Extensión de los daños.....	166
IX.2.2. Intensidad de los daños	176
IX.2.3. Escala temporal del daño.....	179
IX.3. Significatividad del daño	180
IX.4. Herramientas específicas para la cuantificación de los daños	181
IX.5. Descripción de los daños asociados a la minería de sulfuros polimetálicos.....	192
IX.6. Descripción de los daños asociados a la minería de sales sódicas y potásicas	196
X. CONSIDERACIONES PARA LA VALORACIÓN DEL DAÑO ASOCIADO A CADA ESCENARIO ACCIDENTAL	198
X.1. Reparación del daño medioambiental	198
X.1.1. Tipos de medidas de reparación.....	198
X.1.2. Los criterios de equivalencia.....	200
X.1.3. Valoración del daño ambiental	202
X.2. Modelo de Oferta de Responsabilidad Medioambiental (MORA)	202
XI. CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA	203
XII. PROCEDIMIENTO TÉCNICO GENERAL PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGOS PARTICULARIZADO	205
XIII. ORIENTACIONES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL	211
XIV. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	215
XV. PLAN DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL INSTRUMENTO DE ANÁLISIS SECTORIAL	216
XVI. BIBLIOGRAFÍA.....	217

Anejos

ANEJO I. Zonificación e identificación de causas, sucesos iniciadores y escenarios básicos

ANEJO II. Tabla resumen de modelos de difusión

Apéndice

Aplicación a un caso hipotético

I. OBJETO Y ALCANCE

La Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental (LRM) constituye un hito en nuestro ordenamiento jurídico al haber instaurado un régimen administrativo de carácter mayoritariamente objetivo e ilimitado, basado en los principios de «prevención de daños» y de «quien contamina paga». Esta ley persigue dos objetivos prioritarios. En primer lugar, concienciar a todos los operadores económicos sobre la necesidad de adoptar medidas preventivas destinadas a minimizar el riesgo ambiental a consecuencia del desarrollo de sus actividades; en segundo lugar, implantar un mecanismo que permita exigir la restauración de los recursos naturales que hubieran experimentado un daño significativo al estado que éstos tenían antes de ser afectados (estado básico), de manera que los costes económicos derivados de la reparación total del daño medioambiental se trasladen desde la sociedad, en general, hasta los operadores económicos que han sido responsables de ocasionar dicho daño.

La responsabilidad medioambiental es aplicable a los operadores de las «actividades económicas o profesionales», teniendo tal consideración las realizadas por cualquier persona física o jurídica con ocasión de una actividad de índole económica, un negocio o una empresa, con independencia de su carácter público o privado, y de que tenga o no fines lucrativos (artículo 2.11). Los operadores de las actividades relacionadas con el anexo III de la Ley 26/2007 están sujetos al régimen objetivo de responsabilidad medioambiental, por lo que tienen la obligación, además de prevenir y evitar los daños medioambientales que pudieran derivarse de su actividad, de reparar los recursos y los servicios afectados por un daño medioambiental (de carácter significativo) causado por su actividad y de sufragar los costes que se deriven de dicha reparación, al margen de cualquier culpa, dolo o negligencia que haya podido existir en su comportamiento. No obstante, estas obligaciones de prevención, evitación y reparación se extienden al resto de actividades profesionales, independientemente de que éstas no se incluyan en el anexo III, en caso de que medie dolo, culpa o negligencia en la causación del daño ambiental generado por el operador.

La ley establece para los operadores incluidos en su anexo III la obligación de constituir «garantías financieras por responsabilidad ambiental» salvo para aquéllos que se encuentren en las exenciones previstas en su artículo 28. En concreto, conforme con dicho artículo, quedarían exentos los operadores que evalúen sus daños medioambientales por dejado de 300.000 euros, límite que asciende a 2.000.000 de euros en caso de que el operador este adherido al sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS) o disponga de la certificación de acuerdo a la norma UNE-EN-ISO 14.001 vigente. Adicionalmente, se indica que quedan exentas las actividades que se establezcan reglamentariamente atendiendo a su escaso potencial de generar daños medioambientales y bajo nivel de accidentalidad. Acudiendo al 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, en adelante el Reglamento, se puede comprobar que, en la actualidad, únicamente se encontrarán sujetas a la obligatoriedad de disponer de una garantía financiera por responsabilidad medioambiental:

1º 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.

2º 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.

3º 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.

En este contexto, la Orden Ministerial ARM/1783/2011, de 22 de junio, estableció un calendario gradual para la elaboración de las órdenes ministeriales por las que se fijarían las fechas a partir de las cuales serían exigibles las garantías financieras obligatorias, incluyendo una priorización de las actividades económicas del anexo III de la ley. En la actualidad se encuentra publicada la Orden APM/1040/2017, de 23 de octubre, por la que se establece la fecha a partir de la cual será exigible la constitución de la garantía financiera obligatoria para las actividades del anexo III de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, clasificadas como nivel de prioridad 1 y 2, mediante Orden ARM/1783/2011, de 22 de junio, y por la que se modifica su anexo. Conforme con la misma, los operadores de prioridad 1 deben contar con una garantía financiera desde octubre de 2018 y los de prioridad 2 desde octubre de 2019. Por otra parte, para el resto de operadores, la Orden TEC/1023/2019, de 10 de octubre, por la que se establece la fecha a partir de la cual será exigible la constitución de la garantía financiera obligatoria para las actividades del anexo III de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, clasificadas como nivel de prioridad 3 mediante la Orden ARM/1783/2011, de 22 de junio, fija que la totalidad de los operadores de prioridad 3 deberán disponer de una garantía financiera a partir de octubre de 2021 salvo los dedicados a la ganadería avícola y porcina, a los cuales se les ofrece de plazo hasta octubre de 2023.

El importe de la garantía financiera a constituir debe calcularse en todo caso con base en un análisis de riesgos medioambientales realizado por el propio operador o por un tercero contratado por éste. De cara a la elaboración de los análisis de riesgos medioambientales el Reglamento prevé la creación de distintos instrumentos de carácter voluntario para que los operadores puedan llevar a cabo un análisis del riesgo medioambiental a nivel sectorial que facilite a los operadores que componen un mismo sector la evaluación particularizada de sus escenarios de riesgo.

Es cada sector profesional o grupo de actividades el que decide el tipo de instrumento a partir del cual podrá apoyarse para analizar su riesgo medioambiental a nivel sectorial, pudiendo optar entre una tabla de baremos, un modelo de informe de riesgos ambientales tipo —el llamado MIRAT—, o bien, una guía metodológica, según el grado de homogeneidad del grupo de operadores que pertenezcan al mismo sector profesional desde el punto de vista del riesgo medioambiental y su nivel de peligrosidad. Los MIRAT y las tablas de baremos se aplicarán cuando las distintas actividades que

integran un mismo sector lleven asociada una relativamente elevada homogeneidad. En otras palabras, se llevará a cabo una guía metodológica cuando la heterogeneidad de las actividades que componen un mismo sector no permita la homogeneización de sus escenarios de riesgo medioambiental.

El objetivo de este informe es desarrollar una Guía Metodológica (GM) dirigida al sector de la minería metálica no energética, concretamente, a la minería de sulfuros polimetálicos y a la minería de sales sódicas y potásicas. Este sector está sujeto al régimen objetivo de responsabilidad medioambiental, al poder estar sus operadores incluidos en uno o varios de los epígrafes del Anexo III de la Ley 26/2007, de 23 de octubre (en especial en los apartados 1, 3, 4, 6, 7, 8, 10 y 14).

El alcance o tipo de operadores a los que va dirigida esta GM viene determinado por las empresas cuyas instalaciones han participado en el estudio —dos empresas mineras de sulfuros polimetálicos y una de sales sódicas y potásicas—. El desarrollo y tipo de riesgos medioambientales que se han abordado en el estudio se relacionan exclusivamente con estas instalaciones, razón por la cual no es posible afirmar que para otras instalaciones del sector estén contemplados todos los factores de riesgo medioambiental que son relevantes a efectos de la Ley 26/2007. Esta limitación se relaciona con el hecho de que existe una alta variabilidad en el comportamiento de las explotaciones que componen el sector en cuanto a factores que describen su riesgo medioambiental, tales como el tipo y la complejidad del proceso productivo, la capacidad de tratamiento, la ubicación geográfica, y el tipo y cantidad de emisiones a las aguas y a la atmósfera.

Esta GM establece una serie de orientaciones técnicas a nivel sectorial destinadas a homogeneizar y unificar el contenido de los análisis de riesgos que deberán realizar los operadores a título individual para su valoración particularizada del riesgo; paso previo necesario para estimar la cobertura del daño que, en su caso, deberá cubrir la garantía financiera por responsabilidad medioambiental. A tal fin la GM contiene las directrices generales a seguir para realizar el análisis del riesgo medioambiental según el tipo de explotación de la que se trate —sulfuros polimetálicos o de sales sódicas y potásicas— y la tipología de las instalaciones o subactividades de cada explotación, identificando las variables y factores a tener en consideración para dicho análisis.

Las directrices técnicas que ofrece la GM se presentan en dos formas diferentes:

- a) Catálogos que exponen una relación de los aspectos que pueden intervenir en el análisis de los escenarios accidentales a nivel individual. Se incluye un catálogo para las siguientes etapas o elementos del análisis del riesgo medioambiental que deberán ser analizados a nivel de operador: las actividades o zonas con peligro asociado, los sucesos iniciadores y sus causas, los factores condicionantes que pueden participar en los escenarios accidentales y los tipos de receptores afectados en cada caso. Cada uno de estos catálogos ofrece una «check-list» con los aspectos que se han identificado a nivel sectorial para cada etapa o elemento del análisis de riesgos, con la idea de que el operador identifique entre dichos aspectos aquéllos que se presentan o pueden afectar a su explotación particular.

- b) Protocolos que describen los pasos que el analista podrá realizar para llevar a cabo las etapas del análisis del riesgo medioambiental que llevan asociada una mayor complejidad técnica. Dichos protocolos estarán dirigidos a (i) estimar la probabilidad asociada a la ocurrencia de cada escenario accidental; (ii) calcular el índice de daño medioambiental de cada escenario; (iii) cuantificar los daños asociados a cada tipo de escenario accidental en términos de intensidad, extensión y temporalidad de los efectos que el agente causante del daño pueda ocasionar sobre el medio receptor; (iv) evaluar la significatividad o relevancia de los escenarios (iv) y monetizar o valorar económicamente el daño medioambiental asociado al escenario accidental que resulte seleccionado como referencia para el establecimiento de la garantía financiera.

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 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 la Confederación Nacional Empresarios Minería y Metalurgia (CONFEDEM).

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:

Cargo	Formación académica	Experiencia profesional
Jefa de grupo	Licenciada en Biología	11
Responsable de proyecto	Licenciada en Ciencias Ambientales	10
Técnico de proyecto	Ingeniero de Montes	6

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

Los instrumentos sectoriales de análisis del riesgo medioambiental son voluntarios y están concebidos para facilitar al operador su valoración particularizada del riesgo; paso previo necesario para estimar la cobertura del daño que, en su caso, debería cubrir la «garantía financiera por responsabilidad medioambiental».

Conforme a lo establecido en el documento “Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental, versión actualizada conforme a la redacción del Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo, 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 Comisión técnica de prevención y reparación de daños medioambientales

Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre”, elaborado en el seno de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales, la selección del instrumento sectorial más adecuado para cada sector se debe realizar teniendo en cuenta dos criterios fundamentales, por un lado, el nivel de peligrosidad o riesgo ambiental del sector y, por otro, la heterogeneidad del sector desde el punto de vista de la variabilidad del comportamiento de las actividades del sector con respecto a las variables que describen el mencionado riesgo ambiental.

Siguiendo dicho criterio, el instrumento sectorial más adecuado para este sector es la guía metodológica, dado que la heterogeneidad de las actividades que lo componen no permite la homogeneización —y mucho menos la estandarización— de sus escenarios de riesgo medioambiental. Esta heterogeneidad se explica por la amplia variabilidad del comportamiento de los factores que influyen en el riesgo medioambiental asociado a cada explotación; factores relacionados mayormente con las características del sistema productivo, la ubicación territorial, la gestión de residuos peligrosos, y el tipo y cantidad de las emisiones a las que puedan dar lugar estas explotaciones. Asimismo, el sector se compone de explotaciones en su mayoría de alta complejidad productiva y todas ellas sometidas a un estricto control medioambiental desde el punto de vista de los requerimientos legales que los operadores deben cumplir para el desarrollo de su actividad. El hecho de que se trate de un sector muy regulado a través del control normativo indica que se trata de un grupo de actividades profesionales a las que se les asocia a priori una mayor incidencia ambiental o peligrosidad.

En este contexto y teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales de estos instrumentos sectoriales es contribuir a la gestión y minimización del riesgo medioambiental, se considera ampliamente beneficioso el desarrollo de una GM dirigida a los sectores de la minería de sulfuros polimetálicos y minería de sales sódicas y potásicas.

Se ha comentado que no existe un patrón claro en los factores que intervienen en la ubicación o contexto territorial de las instalaciones. El objetivo de la minería es la explotación de los recursos naturales que se encuentran en el subsuelo. Por este motivo, las características de la superficie en la cual se realiza la actividad minera no son comunes a nivel sectorial, debiendo ser estudiadas específicamente para cada operador. Los operadores podrán realizar este estudio a través de sus respectivos análisis de riesgos individuales, en los cuales podrán recoger los aspectos del entorno que consideren más relevantes de cara a su evaluación de riesgos.

Como referencia sectorial, se ofrece el siguiente listado de características que el operador individual puede considerar con el fin de definir el contexto territorial en el que se encuentra su instalación desde el punto de vista medioambiental (Tabla 2).

Suelo	Agua continental	Agua marina	Ribera del mar y de las rías	Especies silvestres	Hábitat	Datos meteorológicos
Permeabilidad	Existencia de masas de agua superficial (ríos, lagos, embalses, etc.)	Calidad del agua	Permeabilidad del suelo	Listado de especies silvestres	Red Natura 2000 (LIC y ZEPA)	Climograma
Textura y estructura	Existencia de masas de agua subterránea	Red Natura 2000 (LIC y ZEPA)	Conductividad hidráulica del suelo	Población	Espacios Naturales Protegidos	Temperatura ambiente
Litología	Profundidad del nivel freático	Espacios Naturales Protegidos	Riesgo de infiltración al acuífero	Vegetación (herbáceas, matorral y arbolado)	Hábitats prioritarios	Precipitación
Conductividad hidráulica	Caudal		Pendiente del terreno	Densidad de la vegetación	Existencia de elementos singulares	Existencia de sequía
Riesgo de infiltración al acuífero	Velocidad del flujo		Composición del suelo	Figuras de protección de las especies		Humedad relativa
Pendiente del terreno	Calidad del agua		Calidad del suelo	Calidad de la vegetación y de las poblaciones de especies animales		Velocidad y dirección del viento dominante
Composición del suelo	Red Natura 2000 (LIC y ZEPA)		Existencia de playas	Existencia de elementos singulares		
Calidad del suelo	Espacios Naturales Protegidos		Tipo de materiales de la playa (arena, grava, etc.)			
Altitud	Hábitats prioritarios		Calidad de la playa			
Red Natura 2000 (LIC y ZEPA)	Existencia de elementos singulares		Masas de agua superficial (ríos, lagos, embalses, etc.)			
Espacios Naturales Protegidos			Masas de agua subterránea			
Hábitats prioritarios			Profundidad del nivel freático			
Existencia de elementos singulares			Calidad del agua			
			Red Natura 2000 (LIC y ZEPA)			
			Espacios Naturales Protegidos			
			Hábitats prioritarios			
			Existencia de elementos singulares			

Tabla 2. Características relevantes del contexto territorial de la instalación. Fuente: Elaboración propia.

IV. DESCRIPCIÓN GENERAL

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

IV.1.1. Minería de sulfuros polimetálicos

La explotación de sulfuros polimetálicos en España está asociada a una de las provincias metalogenéticas más importantes del mundo. Se trata de la denominada Faja Pirítica Ibérica que representa probablemente la mayor concentración de sulfuros de la corteza terrestre, por ello la mayor parte de los operadores pertenecientes al sector de la minería de sulfuros polimetálicos se encuentran localizados en dicha zona. En la siguiente ilustración se representan las principales explotaciones a cielo abierto de la Faja Pirítica en España referidas al año 2008.

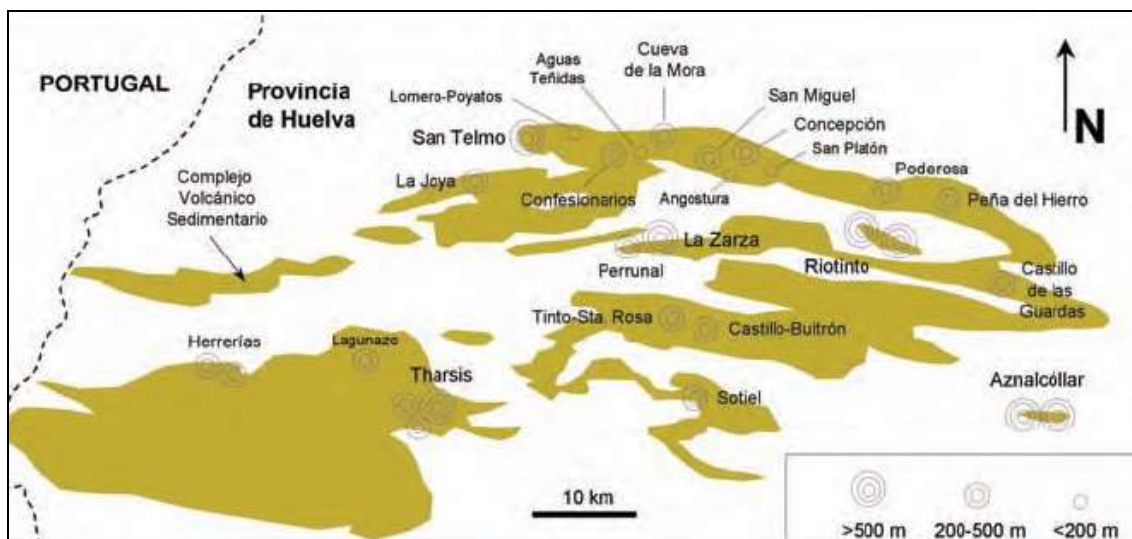


Ilustración 1. Localización de las principales explotaciones a cielo abierto de la Faja Pirítica en su parte española con indicación del diámetro de las cortas. Fuente: Fernández Caliani, 2008, Universidad de Huelva.

La explotación del mineral polimetálico se realiza de forma subterránea o a cielo abierto según la forma y localización de los yacimientos.

Una vez extraído el mineral es transportado a un lugar de acopio para ser procesado con posterioridad. El transporte se realiza mediante camiones de gran capacidad o mediante otros métodos, como pueden ser cintas transportadoras, vagones, etc.

En general los procesos de separación de los minerales útiles de la ganga conllevan una primera fase de trituración y molienda que favorece la liberación de la mena. Posteriormente el mineral es procesado en plantas de tratamiento para obtener concentrados metálicos comercializables. Existen diversos procedimientos de concentración de metales como pueden ser la concentración por gravedad en el caso de los minerales pesados, separaciones magnéticas, lixiviación, flotación, hidrometalurgia, etc.

Dado que las instalaciones analizadas para el desarrollo de esta GM utilizan procesos de flotación e hidrometalurgia para la concentración de metales, se ha estimado conveniente incluir actividades específicas de dichos procesos en el catálogo de zonas con peligro asociado presente en este documento, cuyos sucesos iniciadores básicos son extrapolables a cualquier otro proceso de concentración de minerales polimetálicos.

En la Figura 1 se representa de forma esquemática el proceso productivo general del sector de la minería de sulfuros polimetálicos.

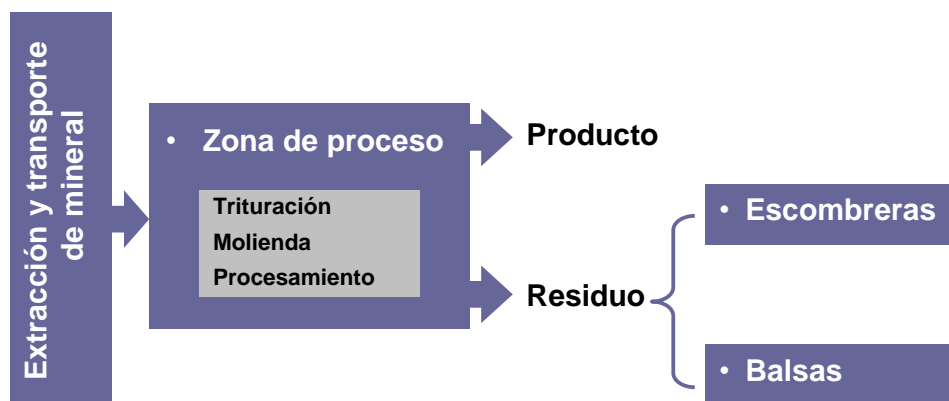


Figura 1. Esquema del proceso productivo general de la minería de sulfuros polimetálicos. Fuente: elaboración propia.

IV.1.2. Minería de sales sódicas y potásicas

En la producción industrial de sales sódicas y potásicas los principales productos que se obtienen de las minas son el cloruro sódico y el cloruro potásico. La potasa o cloruro potásico se utiliza como fertilizante en la agricultura, en la industria del petróleo y gas, y en explosivos y cerillas, mientras que la sal tiene muy diversas aplicaciones, entre las que destacan, la industria electroquímica, deshielo de carreteras, producción de jabones y detergentes, extintores, condimento, abonos, conservación de alimentos, etc. El principal producto que se comercializa es el cloruro de potasio o muriato de potasa, cuya producción industrial se concentra mayoritariamente en la Cuenca Potásica Catalana y algún pequeño sector de Navarra. En lo referente a las sales sódicas cabe destacar una mayor distribución espacial destacando principalmente las comunidades autónomas de Aragón, Andalucía, Cantabria, Cataluña, Murcia, Navarra y País Vasco.

Las explotaciones de sales sódicas y potásicas suelen estar asociadas a yacimientos de rocas sedimentarias de tipo evaporítico. La extracción del mineral, ya sea a cielo abierto o en el interior, se realiza de forma selectiva extrayendo la parte del mineral con mayor riqueza. El mineral extraído se transporta en grandes camiones hasta pequeños pozos de descarga, conocidos como “coladeros” o “pocillos”, desde donde se traslada en cinta transportadora hacia el exterior ya sea a través de una rampa o mediante un pozo vertical.

En el exterior de la mina el mineral bruto extraído se somete a una trituración primaria que reduce su tamaño de 250 mm a 150 mm. Una vez triturado el mineral bruto (silvinita) se deposita en un almacén para volver a ser triturado en fases posteriores —trituración secundaria— para reducir su tamaño hasta los 10 mm. Tras la fase de trituración el producto se somete a un proceso de molienda húmeda que reduce el mineral hasta un tamaño inferior a 1,05 mm. La molienda húmeda utiliza agua durante el proceso, que se mezcla con el mineral dando lugar a una matriz arcillosa que finalmente se trata mediante procesos de separación de arcillas.

Durante la separación de arcillas del resto del compuesto se produce una diferenciación del proceso, el material arcilloso superior a 0,30 mm se conduce hacia los tanques de flotación mientras que los residuos de la separación de arcillas se conducen hacia un decantador de barros donde parte se

recircula hacia la molienda húmeda y el resto se pasa por un filtro de prensa. Los lodos resultantes del filtro de prensa se derivan hacia las balsas de regulación donde se acumulan las diferentes aportaciones de salmuera para su posterior vertido sobre un colector de salmueras. Los colectores o saleoductos son conducciones que generalmente vierten sus aguas a una depuradora aguas abajo. A modo de ejemplo, se puede citar el tramo bajo del río Llobregat donde se encuentra un colector de salmueras que, tras recorrer 128 kilómetros con aportes de diferentes minas de sal de la zona, vierte su agua salada a una depuradora que aplica técnicas como la electrodiálisis reversible —proceso de ionización del agua— que eliminan las partículas de sal suspendidas en el agua para finalmente, una vez filtradas y depuradas, ser vertidas al mar.

Continuando con la línea de proceso, el compuesto resultante de la separación de arcillas y molienda húmeda se somete a un tratamiento acuoso con reactivos naturales —de naturaleza no química, como pueden ser aceite de pino o goma guar— que produce una sobresaturación constante de las aguas con el mineral salino obteniendo una primera decantación de los insolubles que permite finalmente la flotación de la potasa sobre la sal por métodos hidrófobos.

El compuesto salado resultante del proceso de flotación de la potasa se somete a un proceso de filtrado para obtener sal concentrada que se deposita en una planta de sal para su posterior venta como sal industrial, o bien, se almacena en un depósito salino cuya finalidad es la comercialización futura o su utilización en la zona de procesos. Las aguas generadas en los depósitos salinos se reconducen a través de un canal de drenaje interno hacia la zona de procesos o bien hacia el colector general de salmueras. La potasa resultante de la flotación se somete a un proceso de flotación-desbaste para eliminar los gruesos y obtener como resultado una reducción del mineral de 1,05 a 0,60 mm.

Después del proceso de desbaste se llevan a cabo una serie de relavados para terminar de reducir el mineral de 0,6 a 0,3 mm. Una vez se han realizado los procesos de flotación, desbaste y relavado se procede a hacer un filtrado de potasa para obtener como producto potasa concentrada.

La potasa concentrada derivada del proceso de filtrado se somete a un proceso de secado y una parte de la misma se almacena para su posterior venta como potasa estándar mientras que otra parte se compacta hasta alcanzar tamaños de 2-4 mm, para posteriormente ser almacenada para su venta como potasa granular.

En la Figura 2 se representa un esquema del proceso productivo general de la minería de sales sódicas y potásicas:

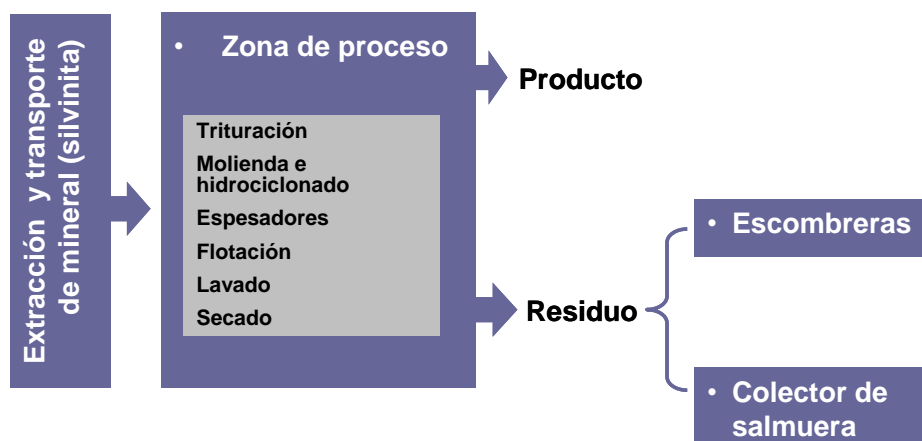


Figura 2. Esquema del proceso productivo general de la minería de sales sódicas y potásicas. Fuente: elaboración propia.

De forma general en ambos sectores, tanto en la minería de sulfuros polimetálicos como en la minería de sales sódicas y potásicas, resulta necesaria la construcción de depósitos exteriores para albergar los residuos generados en las fases de extracción y tratamiento del mineral. Las estructuras típicas de estos depósitos son las escombreras y las balsas o presas.

Las escombreras se corresponden con acumulaciones de materiales en estado sólido donde se almacenan materiales de distinta naturaleza. Por otro lado, las balsas o presas son depósitos utilizados para albergar los materiales en estado líquido para su decantación o posterior tratamiento.

Además, las explotaciones suelen disponer de instalaciones auxiliares asociadas a actividades como el abastecimiento de agua, la gestión y el tratamiento de efluentes y el suministro eléctrico, entre otras.

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

En el ámbito de la presente GM los agentes causantes del daño se han identificado en el apartado IX.1.1. (“Identificación de los agentes causantes del daño”). Mientras, los recursos naturales potencialmente afectados se identifican en el apartado IX.1.2. (“Identificación de los recursos naturales y servicios afectados”).

V. METODOLOGÍA

Si bien la Ley 26/2007, de 23 de octubre, supone asumir una dimensión reparadora de los daños ocasionados al medio ambiente, el régimen de responsabilidad ambiental no debe, en ningún caso, minusvalorar su dimensión preventiva. Dicha dimensión preventiva se refleja en la obligación de que determinados operadores sujetos al régimen objetivo de responsabilidad medioambiental realicen un análisis de riesgos que les permita, no sólo evaluar si deberán constituir una garantía financiera con carácter obligatorio, sino también gestionar y minimizar el riesgo medioambiental que se asocie al desarrollo de su actividad profesional.

El establecimiento de la cobertura de la garantía financiera por responsabilidad ambiental se apoya en la aplicación de dos herramientas metodológicas de carácter complementario: el «análisis de riesgos» y la «valoración del daño ambiental». En este sentido, la norma UNE 150008:2008 sobre análisis y evaluación del riesgo ambiental presenta un marco general de los diferentes métodos que existen para analizar y evaluar el riesgo ambiental, así como las bases para la gestión de dicho riesgo y su internalización en el proceso de toma de decisiones, tanto en el ámbito público como en el privado. Es por ello que esta norma de referencia, si bien no es la única, es una de las más relevantes a la hora de estimar la cobertura de la garantía financiera por responsabilidad ambiental que introduce la Ley 26/2007, de 23 de octubre, para determinados operadores recogidos en su anexo III. En segundo lugar y en lo que respecta a la valoración del daño ambiental, el capítulo II del Reglamento desarrolla el método que ya introduce la Ley 26/2007 en su anexo II, proporcionando, en conjunción con los dos anexos, un marco metodológico para determinar el daño ambiental que se ha producido y su significatividad, así como para establecer las medidas de reparación necesarias que permitan devolver los recursos naturales afectados a su estado básico o, lo que es lo mismo, a la situación en la que éstos se habrían hallado justo antes del momento en que experimentaron el daño. No obstante, el mencionado Reglamento introduce una serie de indicaciones para flexibilizar algunas de las reglas aplicables a la determinación del daño a la hora de calcular la garantía financiera.

La norma UNE 150008 hace un esfuerzo encomiable por normalizar, en un marco general, el procedimiento para analizar, evaluar y gestionar el riesgo que se desprende de la aplicación de este marco jurídico a fin de prevenir los daños al medio ambiente. En el contexto de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, y de su desarrollo reglamentario, el análisis de riesgos responde mayormente a las exigencias legales que configuran la garantía financiera; no obstante y con carácter voluntario, nada impide que este análisis pueda atender a otras finalidades más amplias como es la prevención y la gestión de los daños ambientales que la actividad pueda generar.

La norma UNE 150008 describe el «denominador común» de los aspectos que deben tenerse en consideración a la hora de realizar un análisis de riesgos, así como las técnicas y herramientas existentes para acometer dicho análisis. Si bien el abanico de metodologías es amplio, el desarrollo reglamentario de la Ley 26/2007 exige que la técnica de análisis de riesgos permita identificar los escenarios accidentales relativos a la actividad, así como la probabilidad (o frecuencia) y el coste de reparación (primaria) asociados a cada escenario observando en todo caso la norma UNE 150008 u otra norma que pueda considerarse equivalente. Por tanto, toda técnica de análisis de riesgos que no permita llegar a estos resultados no cumple los requerimientos del régimen de responsabilidad ambiental para evaluar la obligatoriedad de que el operador constituya una garantía financiera.

La Figura 3 aporta un esquema general de la metodología para el análisis de riesgos que se ha seguido durante el desarrollo de la GM. Este esquema ha sido adaptado de la metodología que propugna la norma UNE 150008 para realizar un análisis de riesgos. En este sentido, debe destacarse que la norma UNE 150008 obliga a los operadores a identificar sus escenarios accidentales a través de los árboles de sucesos. En este sentido, en la GM no se han elaborado árboles a nivel sectorial dada la heterogeneidad del sector objeto de estudio.

De forma general, las etapas que comprende la GM para el análisis del riesgo son: i) identificación de las actividades y zonas que implican riesgo medioambiental teniendo en cuenta toda la tipología de actividades e instalaciones pertenecientes al sector objeto de estudio (zonificación de fuentes de peligro); (ii) identificación de variables y factores determinantes del riesgo medioambiental, en lo referente tanto a la determinación de estimadores de la probabilidad asociada a la ocurrencia del suceso iniciador —escenarios causales—, como a la identificación de factores condicionantes de cada escenario accidental —escenarios consecuenciales—; (iii) y propuesta de escenarios accidentales básicos sectoriales que deberán ser confirmados o modificados por cada operador una vez elabore sus correspondientes árboles de sucesos.

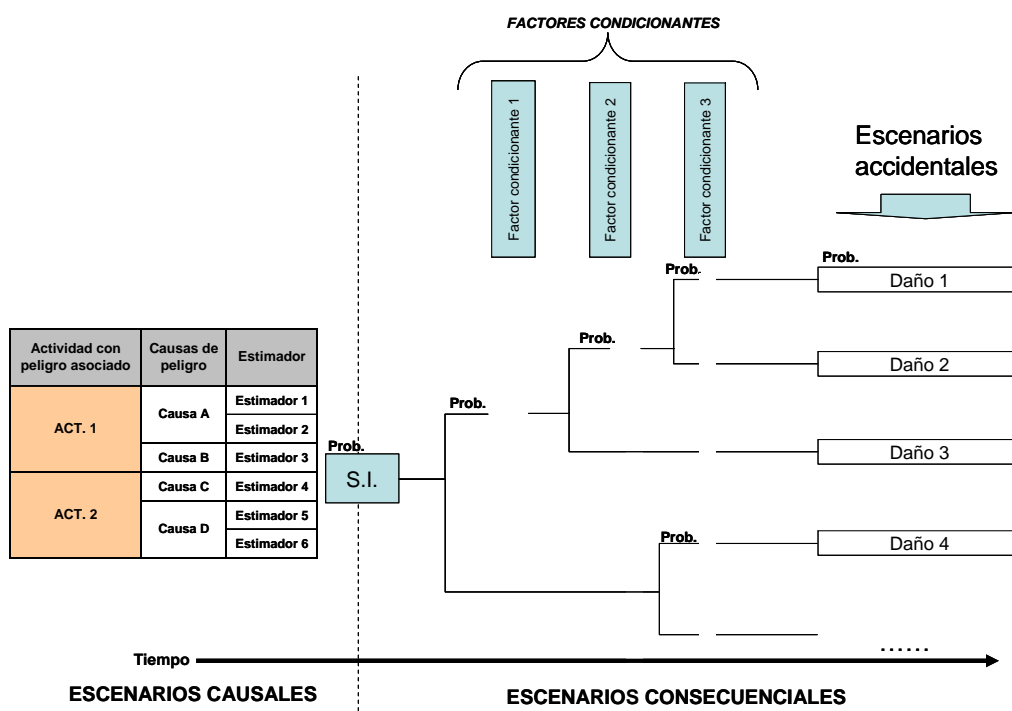


Figura 3. Metodología de los análisis de riesgos medioambientales. Fuente: elaboración propia a partir de norma UNE 150008.

Con objeto de facilitar la realización de dicho análisis de riesgos, el régimen de responsabilidad medioambiental establece una serie de cautelas para la valoración ex ante del daño, es decir, antes de que el daño haya tenido lugar, ya que podría resultar excesivo exigir el mismo grado de detalle para determinar un daño hipotético que un daño que ya se ha producido. De esta forma, la valoración de un daño que aún no ha acontecido estará supeditada a las limitaciones y simplificaciones que conlleva la utilización de métodos predictivos, donde el objetivo es obtener un orden de magnitud referente a la cantidad de recursos y servicios perdidos que deberán recuperarse mediante la reparación primaria. A tal efecto, el Reglamento establece dos reglas concretas que permiten simplificar la cuantificación del daño (hipotético), más concretamente, en lo relativo a la determinación de la extensión y la intensidad de los recursos naturales afectados. La primera permite el uso de modelos de simulación del comportamiento del agente causante del daño; la segunda establece una estandarización de los valores relativos a la intensidad del daño —agudo, crónico o potencial— que

se definen a partir de los límites establecidos para cada uno de los citados niveles. Por lo demás, la valoración del daño asociado a un escenario de riesgo sigue manteniendo una serie de parámetros comunes con el procedimiento general para la valoración del daño que establece la ley, con el fin de asegurar una correspondencia entre la cobertura de la garantía y el estudio que se realizará para evaluar y reparar el daño que se deriva de un escenario accidental.

La Ley 26/2007 establece que la reparación de los daños supone la aplicación de medidas de reparación primarias, complementarias y/o compensatorias a fin de devolver los recursos y servicios ambientales a su estado básico. La determinación de estas medidas reparadoras comprende la realización, con carácter previo, de una serie de operaciones encaminadas, en primer lugar, a identificar el agente causante del daño y los recursos naturales y servicios que han sido afectados; en segundo lugar, a cuantificar el daño en función de su extensión, intensidad y escala temporal y, finalmente, a evaluar su significatividad. Son numerosas las referencias de organismos oficiales que existen para acometer estas tareas (CE, 2001) (CE, 2001a) (ECB, 2003) (MIR, 2002).

El Reglamento ofrece un procedimiento que permite identificar cada tipo de medida reparadora, según si ésta trata de aproximar al máximo la calidad del ecosistema a los niveles que existían antes del daño, en el caso de la reparación primaria; si la acción busca compensar por las pérdidas irreversibles (e inevitables) de recursos o servicios que la reparación primaria no haya sido capaz de recuperar, en el caso de una reparación complementaria; y, finalmente, según las acciones que son necesarias para compensar las pérdidas provisionales de servicios ambientales hasta que surte efecto la reparación primaria, en el caso de la reparación compensatoria.

La determinación de las medidas de reparación compensatoria y complementaria implica la utilización de criterios de equivalencia de tipo «recurso – recurso» o «servicio – servicio», frente a los de «valor – valor» o «valor – coste» propios de la valoración económica. Ello establece una clara preferencia por un «modelo de oferta» donde prima claramente el mantenimiento del stock del capital natural perdido, con independencia de las prioridades que pueda tener la sociedad hacia los recursos dañados y los que se pretenden generar mediante la reparación (REMEDE, 2008).

En relación con el establecimiento de la garantía financiera por responsabilidad medioambiental, la valoración del daño asociado al escenario accidental de referencia se estima a partir del coste del proyecto de reparación primaria, no siendo obligatorio ampliar la cobertura a los costes que se derivan de aplicar las medidas de reparación complementaria y compensatoria. Esto simplifica, en gran parte, el método de valoración del daño que se deriva de un escenario accidental, dado que el procedimiento para establecer la reparación primaria no implica la aplicación de los criterios de equivalencia.

Acorde con el artículo 33 del Reglamento, la secuencia metodológica que deberá seguir el operador que desee basarse en el presente instrumento sectorial o guía metodológica es la siguiente:

- Revisión y análisis de las directrices técnicas suministradas por el instrumento sectorial, incluidos tanto los protocolos para la cuantificación y evaluación del riesgo medioambiental, como los catálogos en los que se puede basar el operador para determinar los factores

determinantes del riesgo medioambiental en sus instalaciones o actividades correspondientes de la explotación.

- Análisis del riesgo medioambiental particularizado, llevado a cabo por el operador o por un tercero contratado por éste, dirigido a una actividad profesional perteneciente al sector en cuestión. El operador deberá:
 - a) Identificar los escenarios accidentales relevantes y establecer la probabilidad de ocurrencia de cada escenario.
 - b) Estimar un índice de daño medioambiental asociado a cada escenario accidental siguiendo los pasos que se establecen en el anexo III del Reglamento.
 - c) Calcular el riesgo asociado a cada escenario accidental como el producto entre la probabilidad de ocurrencia del escenario y el índice de daño medioambiental.
 - d) Seleccionar los escenarios con menor índice de daño medioambiental asociado que agrupen el 95 por ciento del riesgo total.
 - e) 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:

1º En primer lugar, se cuantificará el daño medioambiental generado en el escenario seleccionado.

2º 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.

En caso de que la reparación primaria correspondiente al escenario de referencia para el cálculo de la garantía financiera consista íntegramente en la recuperación natural, la cuantía de la misma 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.

Una vez calculada la cuantía de la garantía financiera obligatoria, se deben añadir a la misma los costes de prevención y evitación del daño, para cuyo cálculo el operador podrá:

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

En todo caso, la cuantía de los gastos de prevención y evitación del daño será, como mínimo, el diez por ciento del importe total de la garantía determinada de acuerdo con los apartados precedentes.

En la valoración monetaria del daño asociado al escenario accidental de referencia se puede atender al "Modelo de Oferta de Responsabilidad Medioambiental" provisto por el Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO).

El trabajo que se aborda en la presente GM aporta los contenidos o bases técnicas a los que se hace referencia en el citado artículo 33 del Reglamento. Para el desarrollo de estos trabajos se ha tomado como referencia el documento “Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental, versión actualizada conforme a la redacción del Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo, 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”.

VI. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y DE LOS FACTORES DETERMINANTES DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL

VI.1. CATÁLOGO DE ZONAS CON PELIGRO ASOCIADO Y SUCESOS INICIADORES

Los operadores, dentro de su análisis de riesgos, deben identificar las zonas y actividades que conllevan un riesgo potencial para los recursos naturales. Con este fin, pueden emplearse documentos como los diagramas de proceso, la cartografía de la instalación, las memorias ambientales, los análisis de riesgos industriales, etc.

Siendo de especial interés realizar una zonificación básica de la instalación, se procede posteriormente a identificar las causas que pueden desencadenar un episodio de daño a los recursos naturales.

En el presente estudio se ofrece una zonificación que puede servir como referencia a nivel sectorial, ya que en la misma se incluyen aspectos característicos tanto de la minería de sulfuros polimetálicos como de la minería de sales sódicas y potásicas. Se trata por lo tanto de un marco de análisis amplio que pretende dar cabida al mayor número de operadores posible, si bien cada operador debería seleccionar exclusivamente las zonas y actividades que resulten relevantes para su caso concreto obviando las restantes.

El trabajo de zonificación e identificación de posibles causas de accidente se ha realizado tomando como base la información recopilada a través de una serie de visitas técnicas a instalaciones representativas del sector propuestas por la asociación CONFEDEM.

Se han analizado un total de tres instalaciones, de las cuales dos pertenecen al subsector de la minería polimetálica y una al subsector de la minería de las sales sódicas y potásicas.

En estas tres instalaciones se procedió a determinar tanto las zonas con peligro asociado, como las posibles causas de accidente medioambiental, acudiendo para ello a los siguientes criterios:

- La experiencia previa de los responsables de las plantas visitadas
- Las apreciaciones del equipo técnico responsable del presente análisis de riesgos

El procedimiento consistió en la realización de una visita en detalle a cada instalación, durante la cual se observaban y listaban las principales zonas y actividades que, bajo determinadas circunstancias y debido a una serie de causas, podrían desencadenar un accidente medioambiental.

A partir del listado de zonas y causas se procedió a identificar los sucesos iniciadores vinculados a cada una de las mismas, con el fin de disponer de un catálogo completo.

En el ámbito de los análisis de riesgos se entiende por suceso iniciador al hecho físico identificado a partir de un análisis causal que puede generar un incidente o accidente en función de cuál sea su evolución en el espacio y en el tiempo.

En las tablas siguientes se recogen tanto las zonas y actividades con peligro asociado, como las posibles causas que pueden llevar a que se desencadene un determinado suceso iniciador. Tal como se ha indicado anteriormente, estos catálogos se consideran representativos a nivel sectorial, por lo que cada operador debería seleccionar exclusivamente los elementos que estime relevantes dentro de su análisis de riesgos específico.

La estructura de los catálogos permite a los usuarios de la GM consultar de manera rápida los sucesos iniciadores y las causas asociadas a cada una de las zonas o actividades con peligro asociado. Estas zonas se han agrupado en 5 grandes áreas de actividad:

- Mina
- Procesamiento de mineral
- Gestión de residuos de extracción y de procesamiento de sulfuros polimetálicos
- Gestión de residuos de extracción y de procesamiento de las sales sódicas y potásicas
- Procesos o instalaciones auxiliares

En el Anejo I de la GM se identifican para cada una de las zonas anteriores:

- Las actividades y zonas específicas existentes dentro de las mismas, que constituirían las diferentes fuentes de peligro
- Las posibles causas de accidente
- El suceso iniciador al que se daría lugar en cada zona o actividad debido a las diferentes causas

VI.2.CATÁLOGO DE ZONAS CON PELIGRO ASOCIADO Y ESCENARIOS ACCIDENTALES BÁSICOS

El análisis de las zonas en las cuales se puede originar un determinado suceso iniciador y de las causas que pueden producirlo, permite al analista postular una serie de escenarios accidentales básicos. Estos escenarios —al ser básicos—, tienen la consideración de guía u orientación para el analista, debiendo precisarlos para cada instalación hasta alcanzar el suficiente grado de detalle.

Se entiende por grado de detalle suficiente, aquél que permite calcular la totalidad de los parámetros especificados en la normativa de responsabilidad medioambiental: índice de daño medioambiental, probabilidad de ocurrencia, intensidad, extensión, escala temporal y coste de reparación. Para ello, el analista puede partir de los sucesos iniciadores, y considerar los factores condicionantes recogidos en el capítulo específico dentro de la presente GM con el fin de analizar la posible evolución en el

espacio y el tiempo de cada suceso.

En el Anejo I de la presente GM se recogen los escenarios accidentales básicos identificados a nivel sectorial para cada una de las zonas y actividades con peligro asociado.

VI.3. CATÁLOGO DE FACTORES CONDICIONANTES

Los factores condicionantes son los aspectos que influyen en el desarrollo de los sucesos iniciadores, definiendo la secuencia de eventos o alternativas posibles que, con una probabilidad determinada, pueden dar lugar a los distintos escenarios accidentales.

Con el fin de determinar las posibles consecuencias medioambientales, se han tenido en cuenta tanto factores condicionantes propios de la instalación, como externos a la misma —entorno ambiental—, teniendo en especial consideración las medidas de prevención y evitación de las que se pudiera disponer.

Los factores condicionantes propios de la instalación se han clasificado en función del tipo de suceso iniciador —vertido, infiltración o incendio—, debiendo seleccionar el analista aquéllos que le correspondan y considere relevantes para su estudio.

VI.3.1. Factores condicionantes relativos a la prevención y evitación de los daños

El catálogo de los factores condicionantes relativos a la evitación de los daños, tiene como fin identificar y evaluar las circunstancias que pueden llevar a que un suceso iniciador no pueda ser controlado por el operador, y por lo tanto éste suponga un riesgo para los recursos naturales.

Conforme con la normativa, se entiende por 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.

Ligadas a las medidas de prevención, la Ley 26/2007 define las medidas de evitación, las cuales actúan una vez producido el daño medioambiental, con el fin de 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.

En el presente estudio se consideran de manera conjunta ambos tipos de medidas con objeto de analizar la probabilidad de que una determinada amenaza de daño medioambiental llegue a causar daños relevantes.

Para lograr una evitación efectiva de los potenciales daños se puede evaluar tanto la posibilidad de que el suceso iniciador sea detectado como la posibilidad de que éste sea contenido. En el presente análisis se recomienda considerar que un sistema de contención automático —a modo de ejemplo, una balsa de emergencia— actúa independientemente de que el suceso iniciador sea o no detectado —continuando con el ejemplo anterior, la balsa de emergencia retendría el volumen fugado independientemente de que el vertido fuera o no detectado por los operarios—. Por lo tanto, en caso

de existir dispositivos automáticos de control —capaces de evitar el daño por sí mismos—, podrían obviarse los factores condicionantes relativos a la detección de la amenaza de daño.

La Tabla 3 recoge los factores condicionantes que se han identificado como propios de la instalación; los cuales hacen referencia, como se ha indicado anteriormente, a la capacidad de la misma para hacer frente de manera eficaz a una amenaza de daño medioambiental —previniendo, o en su caso evitando, una afección relevante a los recursos naturales cubiertos por la Ley 26/2007—.

CATALOGO DE FACTORES CONDICIONANTES
Evitación de los daños
Detección temprana de vertidos
Detección temprana de infiltraciones
Detección temprana de incendios
Contención de vertidos
Contención de infiltraciones
Control de incendios

Tabla 3. Factores condicionantes propios de la instalación. Fuente: elaboración propia.

VI.3.2. Factores condicionantes relativos al entorno de la instalación

Adicionalmente a los factores condicionantes propios de la instalación deben tenerse en cuenta las características de su entorno, ya que suponen un aspecto clave a la hora de prever el desarrollo de los posibles escenarios medioambientales.

A modo de ejemplo, la afección por vertido a una masa de agua subterránea requiere que el vertido alcance la masa, siendo necesario evaluar aspectos como la permeabilidad del terreno, la profundidad del nivel freático, los diagramas de flujo, entre otros.

Se recomienda tener en cuenta los factores ambientales una vez que se hayan analizado los propios de la instalación, de tal forma que se evalúe la influencia del entorno tanto sobre los sistemas de prevención y evitación, como sobre el desarrollo de una amenaza de daño en caso de que los sistemas de control no resulten efectivos.

La Tabla 4 recoge los factores condicionantes externos a la instalación que se propone estudiar por parte de cada operador dentro de su análisis de riesgos.

CATALOGO DE FACTORES CONDICIONANTES
Factores externos a la instalación
Posibilidad de infiltración en el suelo
Afección al suelo
Afección al agua subterránea
Afección a una masa de agua superficial
Afección a las especies silvestres
Afección a los hábitats

Tabla 4. Factores condicionantes propios del entorno de la instalación. Fuente: elaboración propia.

VI.4.CATÁLOGO DE RECURSOS POTENCIALMENTE AFECTADOS

En la siguiente serie de tablas se ofrece una identificación preliminar de los recursos naturales que podrían verse afectados bajo las hipótesis establecidas para cada escenario accidental. No obstante, con objeto de adaptar esta referencia —elaborada a nivel sectorial— a las características concretas de cada instalación, es necesario que los operadores realicen una identificación específica dentro de sus correspondientes análisis de riesgos individuales, de forma que se analice la totalidad de los posibles efectos que los agentes causantes de daño pueden tener sobre los recursos naturales.

ID	Escenarios	Receptores afectados				
		S	Asub	Asup	Sp	Hb
E1	Inyección de aguas contaminadas desde sistema de drenaje y reinyección					
E2	Vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje de la corta					
E3	Vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje interior					
E4	Vertido de materiales desde camión					
E5	Vertido de combustible desde camión					
E6	Incendio en camión					
E7	Vertido de aguas de extinción por incendio en camión					
E8	Vertido de materiales desde otros sistemas de transporte					
E9	Incendio en otros sistemas de transporte					
E10	Vertido de aguas de extinción por incendio en otros sistemas de transporte					
E11	Vertido de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria					
E12	Incendio en taller mecánico					
E13	Vertido de aguas de extinción por incendio en taller mecánico					
E14	Vertido de aguas de lavado de maquinaria					
E15	Vertido de mineral desde zona de almacenamiento del mineral					
E16	Vertido de sustancias en almacén					
E17	Incendio en almacén de sustancias					
E18	Vertido de aguas de extinción por incendio en almacén de sustancias					

S=Suelo, Asub=Agua subterránea, Asup=Agua superficial, Sp=Especies, Hb=Hábitats.

Tabla 5. Recursos potencialmente afectados en cada escenario accidental (I). Fuente: elaboración propia.

ID	Escenarios	Receptores afectados				
		S	Asub	Asup	Sp	Hb
E19	Explosión e incendio en polvorín					
E20	Vertido de aguas de extinción por explosión e incendio en polvorín					
E21	Explosión e incendio durante el manejo de explosivos					
E22	Vertido de aguas de extinción por explosión e incendio durante en manejo de explosivos					
E23	Vertido de mineral desde zona de trituración y molienda					
E24	Vertido de fluidos de proceso de sulfuros polimetálicos					
E25	Vertido de fluidos de proceso de sales					
E26	Vertido de sustancias para el procesamiento de mineral					
E27	Incendio en el área de procesamiento de mineral					
E28	Vertido de aguas de extinción por incendio en el área de procesamiento de mineral					
E29	Vertido de materiales inertes desde escombrera					
E30	Vertido de estériles de mina desde escombrera					
E31	Infiltración de aguas de contacto desde escombrera de estériles de mina					
E32	Vertido de aguas de contacto desde escombrera de estériles de mina					
E33	Vertido de estériles de tratamiento desde escombrera					
E34	Infiltración de aguas de contacto desde escombrera de estériles de tratamiento					
E35	Vertido de aguas de contacto desde escombrera de estériles de tratamiento					
E36	Vertido de lixiviados desde balsa					
E37	Infiltración de lixiviados desde balsa					
E38	Vertido de lodos desde balsa					
E39	Infiltración de lodos desde balsa					
E40	Vertido de aguas de contacto desde balsa					
E41	Infiltración de aguas de contacto desde balsa					
E42	Vertido de pasta y agua ácida desde balsa					
E43	Infiltración de agua ácida desde balsa					
E44	Vertido de efluentes ácidos desde balsa de regulación					

S=Suelo, Asub=Agua subterránea, Asup=Agua superficial, Sp=Especies, Hb=Hábitats.

Tabla 6. Recursos potencialmente afectados en cada escenario accidental (II). Fuente: elaboración propia.

ID	Escenarios	Receptores afectados				
		S	Asub	Asup	Sp	Hb
E45	Infiltración de efluentes ácidos desde balsa de regulación					
E46	Vertido de pasta y agua ácida desde planta					
E47	Vertido de aguas de contacto por fuga o rotura en conducción					
E48	Vertido de residuos salinos desde escombrera					
E49	Infiltración de agua salada desde escombrera					
E50	Vertido de agua salada desde escombrera					
E51	Vertido de agua salada desde presa de control de aguas					
E52	Infiltración de agua salada desde presa de control de aguas					
E53	Vertido de agua salada desde balsa					
E54	Infiltración de agua salada desde balsa					
E55	Vertido de agua salada desde conducción					
E56	Inundación por rotura en conducción					
E57	Vertido de sustancias desde estación dosificadora					
E58	Inundación por rotura de balsa de abastecimiento					
E59	Vertido de efluentes ácidos					
E60	Vertido de efluentes salinos					
E61	Vertido de combustible desde generador					
E62	Incendio en generador					
E63	Vertido de aguas de extinción por incendio en generador					
E64	Incendio en transformador					
E65	Vertido de aguas de extinción por incendio en transformador					
E66	Incendio en tendido eléctrico					
E67	Vertido de aguas de extinción por incendio en tendido eléctrico					

S=Suelo, Asub=Agua subterránea, Asup=Agua superficial, Sp=Especies, Hb=Hábitats.

Tabla 7. Recursos potencialmente afectados en cada escenario accidental (III). Fuente: elaboración propia.

VII. DIRECTRICES A SEGUIR PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL

VII.1. IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS

La selección de escenarios accidentales a analizar en el análisis de riesgos particularizado debe ser producto de una identificación y selección exhaustiva de las fuentes de peligro presentes en la instalación; de los sucesos iniciadores y sus causas; de los factores condicionantes internos y externos a la instalación; así como de los recursos naturales presentes en el entorno que pudieran verse afectados en caso de accidente todo ello relacionado a través de los árboles de sucesos previstos en la norma UNE 150008.

De forma general, deben ser analizados la totalidad de escenarios identificados en la instalación. Para ello los operadores de los sectores objeto de estudio pueden valerse de los catálogos suministrados en el Anejo I seleccionando las fuentes de peligro, sucesos iniciadores, factores condicionantes y recursos potencialmente afectados atendiendo a las características de su instalación. Además, los operadores deben tener en cuenta en el análisis otros escenarios que no estén recogidos en esta GM, es decir, aquellos escenarios que puedan ocurrir debido a las características específicas de la instalación —escenarios singulares—.

Desde la experiencia práctica en la realización de la presente GM y de su aplicación a un caso hipotético concreto recogido en el apéndice de este documento, se indica que, en la medida de lo posible, se debe evaluar la relevancia o significatividad de los daños asociados a cada escenario accidental identificado. En caso de que exista un impedimento técnico claro para no poder llevar a cabo dicha evaluación, se recomienda asumir el daño como significativo. Por otro lado, si se justifica debidamente la no relevancia o significatividad de un daño, éste podrá ser descartado del análisis.

En apartados específicos de este informe se ofrecen una serie de pautas y orientaciones para la evaluación de la relevancia o significatividad del daño.

VII.2. PROTOCOLOS PARA LA ASIGNACIÓN DE PROBABILIDADES

VII.2.1. Estimación de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador

A continuación se define un protocolo para la asignación de la probabilidad de ocurrencia a los sucesos iniciadores identificados en el análisis para cada zona o actividad con peligro asociado.

La metodología consiste en el cálculo de la probabilidad de ocurrencia en términos semicuantitativos mediante la identificación, selección y categorización de una serie de variables que son determinantes de la probabilidad de ocurrencia de cada suceso iniciador. Por tanto, dicha probabilidad debe interpretarse como un indicador relativo de la frecuencia con la que podría producirse cada suceso iniciador identificado.

A dichas variables determinantes de la probabilidad de ocurrencia se les ha denominado estimadores de probabilidad. Estos estimadores deberán ser categorizados en una escala semicuantitativa en función de los diferentes valores que puedan tomar o de las características que puedan adoptar en las instalaciones del sector. La categorización de los estimadores deberá ser llevada a cabo por el analista y estar técnicamente justificada en base a un estudio exhaustivo de cada estimador de probabilidad.

Posteriormente a la categorización de los estimadores se le otorga una escala de puntuación a las diferentes categorías definidas —p.ej. de 1 a 4, donde 1 representaría una menor probabilidad y 4 una mayor probabilidad— obteniéndose la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador como la media aritmética de los valores que obtengan los diferentes estimadores dividido por el valor de puntuación máximo que puedan obtener —en el caso del ejemplo anterior correspondería con el valor 4—.

La expresión matemática del cálculo sería la siguiente:

$$Pr ob _ SI = \frac{\sum_{i=1}^n Puntuación _ estimadore s}{Número _ estimadore s} / Valor _ máx \quad (Ec. 1)$$

Donde:

Prob_SI, es la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador

$\sum Puntuación_estimadores$, representa la suma de los valores otorgados a cada estimador de probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador

Número_estimadores, es el número de estimadores identificados para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador

Valor_máx, es el valor de la puntuación máxima que puede obtener un estimador

En la siguiente Tabla se muestra el esquema elegido para plasmar la categorización de los estimadores de probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores en este informe.

ACTIVIDAD CON PELIGRO ASOCIADO					
Suceso iniciador	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia (Categorización)			
Causas		menor mayor			
Causa 1	Estimador 1	valor/característica	valor/característica	valor/característica	valor/característica
Causa 2	Estimador 2	valor/característica	valor/característica	valor/característica	valor/característica
	Estimador 3	valor/característica	valor/característica	valor/característica	valor/característica
Causa...	Estimador...	valor/característica	valor/característica	valor/característica	valor/característica
Causa n	Estimador n	valor/característica	valor/característica	valor/característica	valor/característica

Tabla 8. Esquema del protocolo de asignación de la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador. Fuente: elaboración propia.

A continuación se exponen los diferentes estimadores identificados para cada suceso iniciador relativo a cada actividad o zona con peligro asociado.

En el marco de esta GM, se propone para cada estimador una categorización orientativa indicando los valores o características que indicarían una menor o mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. En los epígrafes siguientes el orden seguido coincide con el seguido en el Anejo I habiéndose asignado un código identificador único a cada suceso iniciador (indicado entre paréntesis) con el fin de facilitar la trazabilidad de la documentación generada. En este sentido, debe indicarse que en los escenarios que suponen un incendio se considera de forma conjunta la probabilidad de incendio y del vertido de sus correspondientes aguas de extinción.

La categorización que aquí se recoge se ha elaborado por el equipo técnico responsable de la GM específicamente para el sector al cual se dirige la misma.

VII.2.1.1. Probabilidad de inundación de la corta (SI1)

Las instalaciones que realizan una explotación a cielo abierto pueden necesitar un sistema de drenaje y reinyección de agua, que impida la inundación del hueco de la explotación por las aguas subterráneas, especialmente en los casos en que el nivel piezométrico es somero.

El drenaje se realiza normalmente mediante una red de sondeos de bombeo que facilitan las labores de extracción del mineral y evitan la contaminación del acuífero por aguas contaminadas por contacto con el mineral.

En ocasiones es necesario reinyectar el agua drenada en otro lugar mediante una red de sondeos de reinyección, de forma que no queden mermadas ni la cantidad ni la calidad de este recurso.

La inundación de la corta puede ocasionar que los sondeos de bombeo extraigan parte de las aguas contaminadas por contacto acumuladas en la corta, incorporándolas al sistema de reinyección pudiendo afectar de esta forma al suelo y a las aguas subterráneas.

En la tabla de causas y estimadores se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *inundación de la corta* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta orientativa de categorización para cada estimador.

Tal y como se expone en la siguiente Tabla, las causas atribuibles al suceso iniciador identificado son una eventual avenida ordinaria en un cauce cercano a la corta¹, un fallo en el sistema de drenaje de

¹ En este sentido, debe indicarse que el artículo 3 de la LRM excluye de su ámbito de aplicación a “un fenómeno natural de carácter excepcional, inevitable e irresistible”. Por lo tanto, el analista únicamente debería incluir en su análisis aquellos episodios causados por fenómenos naturales que no cumplan alguno de estos criterios.

la corta o en el sistema de drenaje y reinyección, el error humano y la ocurrencia de lluvias severas pero, de nuevo, consideradas no excepcionales.

SISTEMA DE DRENAJE Y REINYECCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA-SII					
Suceso iniciador: Inundación de la corta	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia (Categorización)			
Causas		menor mayor			
Avenida en cauce cercano Fallo en el sistema de drenaje de la corta Fallo en el sistema de drenaje y reinyección Lluvias severas Error humano	¿Existe un cauce cercano que pudiera inundar la corta?	No			Sí
	Experiencia de los empleados a cargo de los sistemas de drenaje	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados a cargo de los sistemas de drenaje	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
	Antigüedad de los sistemas de drenaje	El sistema tiene una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media superior a su vida útil
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Planes de inspección y mantenimiento de los sistemas de drenaje	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería.
	¿El sistema de drenaje dispone de dispositivos de medida de los caudales de extracción?	Sí			No
	Incidentes históricos asociados a inundación de la corta	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año
Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica			Precipitación media muy superior a la media autonómica	

Tabla 9. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *inundación de la corta*. Fuente: elaboración propia.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *inundación de la corta* se detallan a continuación:

❖ **Existencia de un cauce cercano a la corta**

Este estimador valora la posibilidad de que en un cauce fluvial cercano se produzca una avenida ordinaria que inunde la corta. De este modo, la existencia de un cauce cercano a la corta supondrá una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de los sistemas de drenaje**

La experiencia de los empleados valora la posibilidad de un error humano atribuido a los técnicos a cargo de los sistemas de drenaje que pueda originar la inundación de la corta. Una mayor experiencia en las labores que implica la operación disminuye la probabilidad de que se inunde la corta.

❖ **Formación de los empleados a cargo de los sistemas de drenaje**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta la posibilidad de un error humano.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo de los sistemas de drenaje han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de inundación de la corta debido a un error humano será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Antigüedad de los sistemas de drenaje**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los sistemas de drenaje influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de los sistemas de drenaje mayor será la probabilidad de que la corta se inunde.

De cara a categorizar este estimador puede considerarse la vida útil de los dispositivos que conforman los sistemas de drenaje de la instalación, 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).

❖ **Antigüedad de las conducciones**

Al igual que el anterior, en este estimador se ha considerado que la antigüedad de las conducciones influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de las conducciones mayor será la probabilidad de que la corta se inunde.

De cara a categorizar este estimador puede considerarse la vida útil de las conducciones, 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).

❖ **Frecuencia de las revisiones a las conducciones**

Se estima que si la frecuencia de las revisiones a las conducciones es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será menor.

❖ **Planes de inspección y mantenimiento**

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los sistemas de drenaje valorando así la posibilidad de un fallo en dichos sistemas.

Se entiende por mantenimiento correctivo como 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, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los sistemas de drenaje y cuya aplicación periódica es registrada tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca una inundación en la corta por fallo en los sistemas de drenaje, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de inundación de la corta por la misma causa.

❖ **Dispositivos de medida de los caudales de extracción**

Mediante este estimador se valora de forma positiva que el sistema de drenaje disponga de dispositivos de medida de los caudales de extracción. Es decir, las instalaciones que tengan dichos dispositivos tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca una inundación en la corta por fallo en el sistema de drenaje en comparación con las instalaciones que no dispongan de estos dispositivos.

❖ **Incidentes históricos asociados a inundación de la corta**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. Cabe destacar que este estimador hace referencia a incidentes ocurridos que, haciendo referencia la propia definición de incidente, no necesariamente hayan tenido que ocasionar un daño medioambiental, ya que se valora la simple ocurrencia de episodios asociados a incendio.

En la tabla de causas y estimadores, se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia será mayor cuando el número de incidentes asociados a una inundación de la corta, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

❖ **Régimen pluviométrico**

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de una inundación en la corta minera, valora la posibilidad de inundación de la corta debido a la ocurrencia de lluvias ordinarias que dificulten el funcionamiento de los sistemas de drenaje.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación

media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de inundación de la corta minera será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

VII.2.1.2. Probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje de la corta (SI2)

El sistema de drenaje de la corta impide la inundación del hueco de la explotación a cielo abierto por escorrentía de aguas pluviales y aportaciones de agua subterránea, favoreciendo así las labores de extracción minera. Normalmente las aguas contaminadas por el contacto con el mineral son bombeadas desde unas balsas situadas en el fondo de la corta a otras balsas situadas a mayor cota a través de conducciones.

El suceso iniciador descrito en este punto, tiene en cuenta únicamente la posibilidad de vertido desde las conducciones del sistema de drenaje.

En la tabla de causas y estimadores que se recoge en este epígrafe se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje de la corta* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

Las causas atribuibles al suceso iniciador identificado son el fallo del sistema de drenaje de la corta, el error humano, la ocurrencia de lluvias severas así como la fuga o rotura en una conducción debido al impacto de un objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso *vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje de la corta* se detallan a continuación:

❖ Experiencia de los empleados a cargo de los sistemas de drenaje de la corta

La experiencia de los empleados valora la posibilidad de un error humano atribuido a los técnicos a cargo del sistema de drenaje de la corta que pueda originar un vertido desde alguna de las conducciones. De esta forma, se estima que una mayor experiencia en las labores que implica la operación disminuye la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ Formación de los empleados a cargo de los sistemas de drenaje de la corta

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta la posibilidad de un error humano.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo del sistema de drenaje de la corta han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de vertido debido a un error humano será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ Antigüedad del sistema de drenaje de la corta

Con este estimador se considera que la antigüedad del sistema de drenaje de la corta influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad del

sistema de drenaje mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de aguas contaminadas.

De cara a categorizar este estimador puede considerarse la vida útil de los dispositivos que conforman el sistema de drenaje de la instalación, 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).

❖ **Antigüedad de las conducciones**

Al igual que el anterior, con este estimador se ha considerado que la antigüedad de las conducciones influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de las conducciones mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido.

De cara a categorizar este estimador puede considerarse la vida útil de las conducciones, 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).

❖ **Frecuencia de las revisiones a las conducciones**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a conducciones del sistema de drenaje de la corta.

De este modo se estima que si la frecuencia de las revisiones a las conducciones es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido será menor.

❖ **Planes de inspección y mantenimiento del sistema de drenaje de la corta**

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos al sistema de drenaje de la corta, valorando así la posibilidad de un fallo en dicho sistema.

Se entiende por mantenimiento correctivo al 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, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos al sistema de drenaje de la corta y cuya aplicación periódica es registrada tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del mismo suceso iniciador.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido desde conducciones**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la

probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia será mayor cuando el número de incidentes asociados a un vertido desde una conducción del sistema de drenaje de la corta, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

❖ **Régimen pluviométrico**

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde el sistema de drenaje de la corta, valora la posibilidad de vertido debido a la ocurrencia de lluvias severas pero ordinarias que dificulten el funcionamiento del sistema de drenaje.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de vertido será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

❖ **Señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria**

Valorar que la señalización de las zonas de paso de maquinaria en el recinto de la explotación minera, así como en las zonas donde se realizan maniobras de carga y descarga, es una señalización adecuada indica una mayor o menor probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde el sistema de drenaje de la corta debido a impactos con objetos móviles. En este contexto, se entiende por objeto móvil a toda clase de vehículos que hagan uso de dichas zonas de paso y que hagan labores de carga y descarga ya sean vehículos, camiones, excavadoras, etc.

De este modo, a las instalaciones que tengan una señalización adecuada de dichas zonas se les atribuye una menor probabilidad de vertido que a las instalaciones que no dispongan de una adecuada señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria.

❖ **Disposición de las conducciones respecto a estructuras**

La disposición de las conducciones del sistema de drenaje de la corta respecto a estructuras pertenecientes a la explotación minera que pudieran eventualmente ver comprometida su estabilidad estructural es un estimador de la probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde el sistema de drenaje de la corta.

Las conducciones pueden estar contenidas, atravesar, o descansar sobre estructuras que pueden perder su estabilidad estructural como pueden ser diques, presas, taludes, etc. Estas estructuras pueden experimentar movimientos que pueden producir fugas o roturas en las conducciones, por tanto, las instalaciones que tengan conducciones con este tipo de características tendrán una mayor probabilidad de vertido por fuga o rotura de una conducción.

SISTEMA DE DRENAJE DE LA CORTA-SI2					
Suceso iniciador: Vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje de la corta	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia (Categorización)			
Causas		menor	→		mayor
Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Fallo en el sistema de drenaje de la corta Error humano Lluvias severas	Experiencia de los empleados a cargo del sistema	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados a cargo del sistema	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
	Antigüedad del sistema	El sistema tiene una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media superior a su vida útil
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Planes de inspección y mantenimiento del sistema	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería.
	Incidentes históricos asociados a vertido de aguas contaminadas	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica			Precipitación media muy superior a la media autonómica
Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada	
Disposición de las conducciones respecto a estructuras que eventualmente puedan perder su estabilidad estructural (diques, presas, taludes, etc.)	Las conducciones no descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural			Las conducciones descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural	

Tabla 10. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje de la corta*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.3. Probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje interior (SI3)

En las explotaciones de interior cuando el nivel freático dificulta la extracción, es necesaria la instalación de un sistema de drenaje.

Dicho sistema está normalmente compuesto por una serie de sondeos de extracción que bombean agua hacia la superficie facilitando así la extracción del mineral.

En la tabla de causas y estimadores se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje interior* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

Las causas atribuibles al suceso iniciador identificado son el fallo del sistema de drenaje interior, el error humano, la ocurrencia de lluvias severas así como la fuga o rotura en una conducción debido al impacto de un objeto móvil, desgaste del material, etc.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje interior* se detallan a continuación:

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de los sistemas de drenaje interior**

La experiencia de los empleados valora la posibilidad de un error humano atribuido a los técnicos a cargo del sistema de drenaje interior que pueda originar un vertido de aguas contaminadas. De este modo, se estima que una mayor experiencia en las labores que implica la operación disminuye la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Formación de los empleados a cargo del sistema de drenaje interior**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo del sistema de drenaje interior han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de aguas contaminadas será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Antigüedad del sistema de drenaje interior**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad del sistema de drenaje interior influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad del sistema de drenaje mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de aguas contaminadas.

De cara a categorizar este estimador será adecuado considerar la vida útil de los dispositivos que conforman el sistema de drenaje interior, 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).

❖ **Antigüedad de las conducciones**

Al igual que el anterior, con este estimador se ha considerado que la antigüedad de las conducciones influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de las conducciones mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido.

De cara a categorizar este estimador puede considerarse la vida útil de las conducciones, 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).

❖ **Frecuencia de las revisiones a las conducciones**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a conducciones del sistema de drenaje interior.

De este modo se estima que si la frecuencia de las revisiones a las conducciones es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido será menor.

❖ **Planes de inspección y mantenimiento del sistema de drenaje interior**

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos al sistema de drenaje interior, valorando así la posibilidad de un fallo en dicho sistema.

Se entiende por mantenimiento correctivo al 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, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos al sistema de drenaje interior y cuya aplicación periódica es registrada tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de aguas contaminadas, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del mismo suceso iniciador.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido de aguas contaminadas**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de aguas contaminadas desde el sistema de drenaje interior, ocurridos durante el periodo en el que la

instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

❖ **Régimen pluviométrico**

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de vertido de aguas contaminadas, valora la posibilidad de que se produzca una inundación en las galerías. Dicha inundación provocaría una infiltración de aguas que han estado en contacto con el mineral debido a la ocurrencia de lluvias severas pero ordinarias que dificultaran el funcionamiento del sistema de drenaje interior.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de vertido será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

❖ **Señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria**

Valorar que la señalización de las zonas de paso de objetos móviles en el recinto de la explotación minera, así como en las zonas donde se realizan maniobras de carga y descarga, es una señalización adecuada indica una mayor o menor probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde el sistema de drenaje interior. En este contexto, se entiende por objeto móvil a toda clase de vehículos que hagan uso de dichas zonas de paso y que hagan labores de carga y descarga ya sean vehículos, camiones, excavadoras, etc.

De este modo, a las instalaciones que tengan una señalización adecuada de dichas zonas se les atribuye una menor probabilidad de vertido que a las instalaciones que no dispongan de una adecuada señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria.

❖ **Disposición de las conducciones respecto a estructuras que eventualmente puedan perder su estabilidad**

La disposición de las conducciones del sistema de drenaje interior respecto a estructuras pertenecientes a la explotación minera que pudieran eventualmente ver comprometida su estabilidad estructural es un estimador de la probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde el sistema de drenaje interior.

Las conducciones pueden estar contenidas, atravesar, o descansar sobre estructuras que pueden perder su estabilidad estructural como pueden ser diques, presas, taludes, etc. Estas estructuras pueden experimentar movimientos que pueden producir fugas o roturas en las conducciones, por tanto, las instalaciones que tengan conducciones con este tipo de características tendrán una mayor probabilidad de vertido por fuga o rotura de una conducción.

SISTEMA DE DRENAJE DE MINA DE INTERIOR-SI3					
Suceso iniciador: Vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje interior	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor	→		mayor
Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. . Fallo en el sistema de drenaje interior Error humano Lluvias severas	Experiencia de los empleados a cargo del sistema	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados a cargo del sistema	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
	Antigüedad del sistema	El sistema tiene una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media superior a su vida útil
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Planes de inspección y mantenimiento del sistema	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería.
	Incidentes históricos asociados a vertido de aguas contaminadas	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica			Precipitación media muy superior a la media autonómica
Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada	
Disposición de las conducciones respecto a estructuras que eventualmente puedan perder su estabilidad estructural (diques, presas, taludes, etc.)	Las conducciones no descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural			Las conducciones descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural	

Tabla 11. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje interior*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.4. Probabilidad de vertido de materiales desde camión (SI4)

En toda explotación minera gran parte del transporte de materiales se realiza mediante camiones que pueden transportar gran cantidad de materiales. El suceso iniciador *vertido de materiales* supone el vertido de materiales desde un camión debido a un accidente de tráfico causado por un fallo humano, un fallo mecánico, etc.

En la tabla de causas y estimadores se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de materiales desde camión* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de materiales desde camión*.

❖ Experiencia de los empleados a cargo de la operación

La experiencia de los conductores de los camiones valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano atribuido a los mismos, que pueda originar un accidente de tráfico y a su vez un vertido de materiales.

De esta forma, se estima que una mayor experiencia de los empleados en la conducción disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales.

❖ Formación de los empleados a cargo de la operación

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa del suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que si los conductores han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ Antigüedad de los camiones

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los camiones influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de los camiones, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales debido a un accidente de tráfico.

De cara a categorizar este estimador será interesante considerar la vida útil de los camiones, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que los camiones 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).

❖ Planes de inspección y mantenimiento de los camiones

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los camiones, valorando así la posibilidad de un fallo mecánico.

Se entiende por mantenimiento correctivo al 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, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los camiones y cuya aplicación periódica es registrada tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de materiales, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del mismo suceso iniciador.

❖ **Incidentes históricos asociados a accidente de tráfico**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia será mayor cuando el número de incidentes asociados a accidentes de tráfico, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

❖ **Señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria**

Valorar que la señalización de las zonas de paso de maquinaria en el recinto de la explotación minera, así como en las zonas donde se realizan maniobras de carga y descarga, es una señalización adecuada indica una mayor o menor probabilidad de vertido de materiales ocasionado por un accidente de tráfico.

De este modo, a las instalaciones que tengan una señalización adecuada de dichas zonas se les atribuye una menor probabilidad de vertido de materiales que a las instalaciones que no dispongan de una adecuada señalización.

❖ **Pendiente máxima del recorrido**

Con este estimador se tiene en cuenta la pendiente máxima, medida en porcentaje, del recorrido que realizan los camiones en la instalación.

De esta forma, se ha estimado que a mayor pendiente máxima la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales debido a un accidente de tráfico será mayor, ya que un trayecto con mayor pendiente se considera más propenso a la ocurrencia de un accidente de tráfico.

❖ **Distancia a la que hay visibilidad en el recorrido**

Este estimador se refiere a la distancia mínima a la que los conductores tienen visibilidad en todo el recorrido efectuado por los camiones en la instalación.

De tal forma, se ha estimado que cuanto menor sea la visibilidad en el itinerario recorrido por los camiones en una instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales ocasionado por un accidente de tráfico.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización en base a la clasificación indicada en la publicación de Elorrieta, *Vías de saca: construcción de caminos forestales*. Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 1995.

❖ **Número de camiones en uso/día**

El número de camiones que la instalación tiene en servicio al día se tiene en cuenta como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales desde camión, puesto que se considera que cuanto mayor sea el número de camiones en uso al día, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales.

TRANSPORTE DE MATERIALES-SI4					
Suceso iniciador: Vertido de materiales desde camión	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc.	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
	Antigüedad de los camiones	Los camiones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los camiones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los camiones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los camiones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Planes de inspección y mantenimiento de los camiones	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante pero no se hacen revisiones periódicas	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas
	Incidentes históricos asociados a accidente de tráfico	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año
	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada
	Pendiente máxima del recorrido	5%	8%	15%	20%
	Distancia a la que hay visibilidad en el recorrido (m)	100 m	55 m	75 m	25 m
Número de camiones en uso/día	Escaso número de camiones			Elevado número de camiones	

Tabla 12. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de materiales desde camión*.

Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.5. Probabilidad de vertido de combustible desde camión (SI5)

El suceso iniciador *vertido de combustible desde camión* está muy relacionado con el suceso iniciador *vertido de materiales desde camión*, anteriormente expuesto, ya que a ambos se les atribuye la misma causa —accidente de tráfico—.

El vertido de combustible al que se refiere dicho suceso iniciador es el vertido que se puede producir desde el circuito de combustible de un camión debido a un accidente de tráfico que produzca una fuga o rotura en dicho circuito.

En este apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de combustible desde camión* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de combustible desde camión*.

❖ **Experiencia de los conductores de los camiones**

La experiencia de los conductores de los camiones valora la posibilidad de un error humano atribuido a los conductores de los camiones que pueda originar un accidente de tráfico y a su vez un vertido de combustible. De esta forma, se estima que una mayor experiencia de los empleados en la conducción disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de combustible.

❖ **Formación de los conductores de los camiones**

Al igual que la experiencia, la formación de los conductores de los camiones también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al vertido de combustible desde camión.

Mediante esta variable se estima que si los conductores han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de combustible será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Antigüedad de los camiones**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los camiones influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de los camiones, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de combustible debido a un accidente de tráfico.

De cara a categorizar este estimador será conveniente considerar la vida útil de los camiones, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que los camiones 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).

❖ **Planes de inspección y mantenimiento de los camiones**

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los camiones, valorando así la posibilidad de un fallo mecánico.

Se entiende por mantenimiento correctivo al 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, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y

mantenimiento preventivos y correctivos a los camiones y cuya aplicación periódica es registrada tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de combustible, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del mismo suceso iniciador.

❖ **Incidentes históricos asociados a accidente de tráfico**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a accidentes de tráfico, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

❖ **Señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria**

Valorar que la señalización de las zonas de paso de maquinaria en el recinto de la explotación minera, así como en las zonas donde se realizan maniobras de carga y descarga, es una señalización adecuada indica una mayor o menor probabilidad de vertido de combustible ocasionado por un accidente de tráfico.

De este modo, a las instalaciones que tengan una señalización adecuada de dichas zonas se les atribuye una menor probabilidad de vertido de combustible desde camión que a las instalaciones que no dispongan de una adecuada señalización.

❖ **Pendiente máxima del recorrido**

Con este estimador se tiene en cuenta la pendiente máxima, medida en porcentaje, del recorrido que realizan los camiones en la instalación.

De este modo, se ha estimado que a mayor pendiente máxima la probabilidad de ocurrencia de un vertido de combustible debido a un accidente de tráfico será mayor, ya que un trayecto con mayor pendiente se considera más propenso a la ocurrencia de un accidente de tráfico.

❖ **Distancia a la que hay visibilidad en el recorrido**

Este estimador se refiere a la distancia mínima a la que los conductores tienen visibilidad en todo el recorrido efectuado por los camiones en la instalación.

De tal forma, se ha estimado que cuanto menor sea la visibilidad en el itinerario recorrido por los camiones en una instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia de un vertido de combustible ocasionado por un accidente de tráfico.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización en base a la clasificación indicada en la publicación de Elorrieta, *Vías de saca: construcción de caminos forestales*. Ed.

Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 1995.

❖ **Número de camiones en uso/día**

El número de camiones que la instalación tiene en servicio al día se tiene en cuenta como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido de combustible desde camión, puesto que se considera que cuanto mayor sea el número de camiones en uso al día, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de combustible.

TRANSPORTE DE MATERIALES-SI5					
Suceso iniciador: Vertido de combustible desde camión	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor	→		mayor
Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc. y Fuga o rotura del circuito de combustible del camión	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
	Antigüedad de los camiones	Los camiones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los camiones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los camiones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los camiones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Planes de inspección y mantenimiento de los camiones	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante pero no se hacen revisiones periódicas	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas
	Incidentes históricos asociados a accidente de tráfico	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año
	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada
	Pendiente máxima del recorrido	5%	8%	15%	20%
	Distancia a la que hay visibilidad en el recorrido (m)	100 m	55 m	75 m	25 m
Número de camiones en uso/día	Escaso número de camiones			Elevado número de camiones	

Tabla 13. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de combustible desde camión*.

Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.6. Probabilidad de incendio en camión (SI6)

Para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador *incendio en camión* se proponen varias posibilidades. La primera de ellas está condicionada a que las instalaciones tengan que cumplir la normativa ATEX. Si es así, se podrá tener en cuenta el análisis de riesgos realizado en el documento de protección contra explosiones (DPCE), que es de obligada elaboración para las instalaciones susceptibles de formar atmósferas explosivas (ATEX) según el Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

Según el citado Real Decreto, el DPCE debe considerar los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta al menos:

- i) La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas.
- ii) La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas.
- iii) Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones.
- iv) Las proporciones de los efectos previsibles.

De este modo, 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— y, a continuación, se determinan los focos de ignición que se pueden presentar. A cada uno de estos focos/fuentes se le atribuye una probabilidad en función de los datos de frecuencia que se tienen por registros de accidentes o datos bibliográficos. A partir del cruce de esta probabilidad y la probabilidad de formación de atmósfera explosiva, se obtiene la probabilidad de explosión que se expresa en un rango cualitativo como se muestra en la siguiente Figura.

Probabilidad de fuente de ignición	ALTA	Ocasional	A menudo	Frecuente
	MEDIA	Rara	Ocasional	A menudo
	BAJA	Improbable	Rara	Ocasional
	MUY BAJA	Prácticamente imposible	Improbable	Rara
		ZONA 2	ZONA 1	ZONA 0
		Probabilidad de atmósfera explosiva		

Figura 4. Probabilidad de explosión. Fuente: elaboración propia a partir del RD 281/2003.

De esta forma, para las instalaciones que tengan que cumplir la normativa ATEX, el estimador de la probabilidad de incendio propuesto es el valor de probabilidad de incendio reflejada en el DPCE correspondiente a la zona de tránsito de los camiones.

En la Tabla 14 se recoge, por un lado, las causas del suceso iniciador *incendio en camión* y, por otro,

una propuesta de categorización del estimador recomendado para las instalaciones que deban cumplir con la normativa ATEX.

TRANSPORTE DE MATERIALES-SI6					
Suceso iniciador: Incendio en camión	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Existencia de combustible Foco de ignición	Valor de la probabilidad de incendio reflejada en el documento de protección contra explosiones correspondiente al área de tránsito y almacén de los camiones	IMPROBABLE/ PRÁCTICAMENTE IMPOSIBLE	RARA	OCASIONAL	FRECUENTE/A MENUDO

Tabla 14. Causas y estimador de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en camión* para instalaciones que deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

Las instalaciones que no deben cumplir la normativa ATEX podrán basarse en otros estimadores para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

En la Tabla 15 se exponen los estimadores propuestos para el suceso iniciador *incendio en camión* para las instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX, así como las causas de dicho suceso iniciador.

TRANSPORTE DE MATERIALES-SI6					
Suceso iniciador: Incendio en camión	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Existencia de combustible	Experiencia de los conductores	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los conductores en riesgos de incendio	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones			Los empleados no reciben formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación
Foco de ignición	Presencia de sustancias inflamables	No hay presencia de sustancias inflamables			Sustancias inflamables presentes
Error humano	Existencia de focos de ignición	No existen focos de ignición en la zona			Existen focos de ignición
	Incidentes históricos asociados a incendio	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 15. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en camión* para instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *incendio en camión* para las instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX.

❖ **Experiencia de los conductores de los camiones**

La experiencia de los conductores de los camiones valora la posibilidad de un error humano atribuido a los conductores de los camiones que pueda originar un incendio.

Una mayor experiencia de los empleados en la conducción disminuye la probabilidad de que se produzca un incendio en el camión.

❖ **Formación de los conductores de los camiones en riesgos de incendio**

Al igual que la experiencia, la formación de los conductores de los camiones sobre los riesgos asociados a incendio también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al incendio de un camión.

Mediante esta variable se estima que si los conductores han recibido formación sobre los riesgos asociados a incendio que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un incendio será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Presencia de sustancias inflamables**

La presencia de sustancias inflamables 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 inflamables en los camiones otorgará una mayor probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

❖ **Existencia de focos de ignición**

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.

La existencia de focos de ignición en los camiones o en la zona por donde estos transitan aumentará la probabilidad de que se produzca un incendio en un camión.

❖ **Incidentes históricos asociados a incendio**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

VII.2.1.7. Probabilidad de vertido de materiales desde otros sistemas de transporte (SI7)

Este suceso iniciador se refiere a un vertido de materiales desde los sistemas que los transportan en la superficie de la mina como pueden ser cintas transportadoras, vagonetas, etc.

En la tabla de causas y estimadores se representan, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de materiales desde otros sistemas de transporte* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

Como puede verse en la tabla de causas y estimadores, las causas del suceso iniciador pueden ser un error humano, un fallo en el sistema, un impacto producido por un objeto móvil o un vuelco.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de materiales desde otros sistemas de transporte*.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de los sistemas de transporte valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano que pueda originar un vertido de materiales.

De esta forma, se estima que una mayor experiencia de los empleados disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales.

❖ **Formación de los empleados a cargo del sistema de transporte**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta la posibilidad de un error humano.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo del sistema de transporte han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de vertido debido a un error humano será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Antigüedad del sistema de transporte**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad del sistema de transporte influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad del sistema mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales.

De cara a categorizar este estimador será útil considerar la vida útil de los dispositivos que conforman el sistema, 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).

❖ **Planes de inspección y mantenimiento del sistema de transporte**

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos al sistema de transporte, valorando así la posibilidad de un fallo en dicho sistema.

Se entiende por mantenimiento correctivo al 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, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los sistemas de transporte y cuya aplicación periódica es registrada tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de materiales, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del mismo suceso iniciador.

❖ **Señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria**

Valorar que la señalización de las zonas de paso de maquinaria en las zonas colindantes a los sistemas de transporte de materiales, así como en las zonas donde se realizan maniobras de carga y descarga, es una señalización adecuada indica una mayor o menor probabilidad de vertido de materiales.

De este modo, a las instalaciones que tengan una señalización adecuada de dichas zonas se les atribuye una menor probabilidad de vertido de materiales desde otros sistemas de transporte de materiales que a las instalaciones que no dispongan de una adecuada señalización.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido de materiales**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de materiales desde sistemas de transporte de materiales, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

TRANSPORTE DE MATERIALES-SI7					
Suceso iniciador: Vertido de materiales desde otros sistemas de transporte (cintas transportadoras, etc.)	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Error humano	Experiencia de los empleados a cargo del sistema	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados	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
Fallo del sistema	Antigüedad del sistema	El sistema tiene una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	El sistema tiene una antigüedad media superior a su vida útil
Impacto de objeto móvil	Planes de inspección y mantenimiento del sistema	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería.
Vuelco	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada
	Incidentes históricos asociados a vertido de materiales	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 16. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador vertido de materiales desde otros

sistemas de transporte. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.8. Probabilidad de incendio en otros sistemas de transporte (SI8)

Para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador *incendio en otros sistemas de transporte* se proponen varias posibilidades. La primera de ellas está condicionada a que las instalaciones tengan que cumplir la normativa ATEX. Si es así, se podrá tener en cuenta el análisis de riesgos realizado en el documento de protección contra explosiones (DPCE), que es de obligada elaboración para las instalaciones susceptibles de formar atmósferas explosivas (ATEX) según el Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

Según el citado Real Decreto, el DPCE debe considerar los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta al menos:

- i) La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas.
- ii) La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas.
- iii) Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones.
- iv) Las proporciones de los efectos previsible.

De este modo, 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— y, a continuación, se determinan los focos de ignición que se pueden presentar. A cada uno de estos focos/fuentes se le atribuye una probabilidad en función de los datos de frecuencia que se tienen por registros de accidentes o datos bibliográficos. A partir del cruce de esta probabilidad y la probabilidad de formación de atmósfera explosiva, se obtiene la probabilidad de explosión que se expresa en un rango cualitativo.

De esta forma, para las instalaciones que tengan que cumplir la normativa ATEX, el estimador de la probabilidad de incendio propuesto es el valor de probabilidad de explosión reflejada en el DPCE correspondiente a los sistemas de transporte de materiales.

En la siguiente Tabla se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador incendio en otros sistemas de transporte y, por otro, una propuesta de categorización del estimador recomendado para las instalaciones que deban cumplir con la normativa ATEX.

TRANSPORTE DE MATERIALES-SI8					
Suceso iniciador: Incendio en otros sistemas de transporte (cintas transportadoras, vagonetas, etc.)	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Existencia de combustible	Valor de la probabilidad de incendio reflejada en el documento de protección contra explosiones correspondiente al área de sistemas de transporte de materiales	IMPROBABLE/ PRÁCTICAMENTE IMPOSIBLE	RARA	OCASIONAL	FRECUENTE/A MENUDO
Foco de ignición					

Tabla 17. Causas y estimador de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en otros sistemas de transporte* para instalaciones que deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

Las instalaciones que no deben cumplir la normativa ATEX podrán basarse en otros estimadores para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

En la siguiente Tabla se exponen los estimadores propuestos para el suceso iniciador *incendio en otros sistemas de transporte* para las instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX, así como las causas de dicho suceso iniciador.

TRANSPORTE DE MATERIALES-SI8					
Suceso iniciador: Incendio en otros sistemas de transporte (cintas transportadoras, vagonetas, etc.)	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Existencia de combustible	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados en riesgos de incendio	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones			Los empleados no reciben formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación
Foco de ignición	Presencia de sustancias inflamables	No hay presencia de sustancias inflamables en la zona			Sustancias inflamables presentes en la zona
Error humano	Existencia de focos de ignición en la zona	No existen focos de ignición en la zona			Existen focos de ignición en la zona
	Incidentes históricos asociados a incendio	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 18. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en otros sistemas de transporte* para instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el

suceso iniciador *incendio en otros sistemas de transporte* para las instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de los sistemas de transporte de materiales valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano atribuido a los empleados que origine un incendio.

Una mayor experiencia de los empleados en las labores asociadas al los sistemas de transporte de materiales disminuye la probabilidad de que se produzca un incendio en el camión.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados a cargo de los sistemas de transporte de materiales sobre los riesgos asociados a incendio también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al incendio.

Mediante esta variable se estima que si los empleados han recibido formación sobre los riesgos asociados a incendio que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un incendio será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Presencia de sustancias inflamables**

La presencia de sustancias inflamables 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 inflamables en los sistemas de transporte de materiales otorgará una mayor probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

❖ **Existencia de focos de ignición**

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.

La existencia de focos de ignición en los sistemas de transporte de materiales aumentará la probabilidad de que se produzca un incendio.

❖ **Incidentes históricos asociados a incendio**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

La probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a incendio en los sistemas de transporte, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

VII.2.1.9. Probabilidad de vertido de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria (S19)

El suceso iniciador *vertido de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria* se localiza en la zona de almacenamiento de sustancias del taller mecánico de la instalación y hace referencia a un vertido de sustancias debido a la fuga o rotura de un recipiente ya sea por impacto de un objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria*.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de las labores de mantenimiento de la maquinaria en el taller mecánico valora la posibilidad de un error humano atribuido a dicho empleados que pueda originar un vertido de sustancias.

Una mayor experiencia de los empleados en la conducción disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de sustancias.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al vertido de sustancias.

Mediante esta variable se estima que si los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de sustancias será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Antigüedad de los recipientes**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los recipientes influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de los recipientes, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de sustancias.

De cara a categorizar este estimador será aconsejable considerar la vida útil de los recipientes que albergan las sustancias para el mantenimiento de la maquinaria en el taller mecánico, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que los recipientes han superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de recipientes defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

❖ **Frecuencia de las revisiones a los recipientes**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan revisiones a los recipientes que albergan sustancias para el mantenimiento de la maquinaria en el taller mecánico.

De esta forma se estima que si la frecuencia de las revisiones a los recipientes es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido de sustancias será menor.

❖ **Señalización de las zonas de paso y carga y descarga**

Con este estimador se tiene en cuenta la posibilidad de que ocurra un vertido de las sustancias almacenadas en el taller mecánico 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 en el taller mecánico disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido de sustancias ocasionado por el impacto de un objeto móvil —p. ej. una carretilla—.

❖ **Iluminación**

Este estimador valora la existencia de una iluminación adecuada en la zona de almacenamiento de sustancias en el taller mecánico. De este modo, si la zona de almacenamiento tiene una iluminación adecuada disminuye la probabilidad de vertido de sustancias asociado a impactos de objetos móviles (carretillas).

En la tabla de causas y estimadores 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 vertido 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.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido de sustancias**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de sustancias en el taller mecánico, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

TALLER MECÁNICO: ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA-S19					
Suceso iniciador: Vertido de sustancias para mantenimiento de maquinaria	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fuga o rotura de recipiente por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
	Antigüedad de los recipientes	Los recipientes tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los recipientes tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los recipientes tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los recipientes tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a los recipientes	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	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
	Iluminación en la zona	La iluminación de la zona es ≥ 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.
	Incidentes históricos asociados a vertido de sustancias	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 19. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.10. Probabilidad de incendio en taller mecánico (SI10)

Para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador *incendio en taller mecánico* se proponen varias posibilidades. La primera de ellas está condicionada a que las instalaciones tengan que cumplir la normativa ATEX. Si es así, se podrá tener en cuenta el análisis de riesgos realizado en el documento de protección contra explosiones (DPCE), que es de obligada elaboración para las instalaciones susceptibles de formar atmósferas explosivas (ATEX) según el Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

Según el citado Real Decreto, el DPCE debe considerar los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta al menos:

- i) La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas.

- ii) La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas.
- iii) Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones.
- iv) Las proporciones de los efectos previsible.

De este modo, 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— y, a continuación, se determinan los focos de ignición que se pueden presentar. A cada uno de estos focos/fuentes se le atribuye una probabilidad en función de los datos de frecuencia que se tienen por registros de accidentes o datos bibliográficos. A partir del cruce de esta probabilidad y la probabilidad de formación de atmósfera explosiva, se obtiene la probabilidad de explosión que se expresa en un rango cualitativo.

De esta forma, para las instalaciones que tengan que cumplir la normativa ATEX, el estimador de la probabilidad de incendio propuesto es el valor de probabilidad de explosión reflejada en el DPCE correspondiente al área del taller mecánico.

En la Tabla 20 se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *incendio en taller mecánico* y, por otro, una propuesta de categorización del estimador recomendado para las instalaciones que deban cumplir con la normativa ATEX.

Las instalaciones que no deben cumplir la normativa ATEX podrán basarse en otros estimadores para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

TALLER MECÁNICO: REPARACIÓN/MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA -S110				
Suceso iniciador: Incendio en taller mecánico	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia		
Causas		menor		mayor
Existencia de combustible Foco de ignición	Valor de la probabilidad de incendio reflejada en el documento de protección contra explosiones correspondiente al área del taller mecánico	IMPROBABLE/ PRÁCTICAMENTE IMPOSIBLE	RARA	OCASIONAL FRECUENTE/A MENUDO

Tabla 20. Causas y estimador de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en taller mecánico* para instalaciones que deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

En la siguiente Tabla se exponen los estimadores propuestos para el suceso iniciador *incendio en taller mecánico* para las instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX, así como las causas de dicho suceso iniciador.

TALLER MECÁNICO: REPARACIÓN/MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA-SI10					
Suceso iniciador: Incendio en taller mecánico	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Existencia de combustible	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados en riesgos de incendio	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones			Los empleados no reciben formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación
	Foco de ignición	Presencia de sustancias inflamables en la zona	No hay presencia de sustancias inflamables en la zona		Sustancias inflamables presentes en la zona
	Error humano	Existencia de focos de ignición en la zona	No existen focos de ignición en la zona		Existen focos de ignición en la zona
	Incidentes históricos asociados a incendio	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 21. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en taller mecánico* para instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *incendio en taller mecánico* para las instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de la reparación y mantenimiento de la maquinaria valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano atribuido a los empleados que origine un incendio en el taller mecánico.

Una mayor experiencia de los empleados en las labores asociadas a la reparación y mantenimiento de la maquinaria disminuye la probabilidad de que se produzca un incendio en el taller mecánico.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados a cargo de la reparación y mantenimiento de la maquinaria sobre los riesgos asociados a incendio también tiene en cuenta el error humano como posible causa de incendio.

Mediante esta variable se estima que si los empleados han recibido formación sobre los riesgos asociados a incendio que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un incendio será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Presencia de sustancias inflamables**

La presencia de sustancias inflamables 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 inflamables en el taller mecánico otorgará una mayor probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

❖ **Existencia de focos de ignición**

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.

La existencia de focos de ignición en el taller mecánico aumentará la probabilidad de que se produzca un incendio.

❖ **Incidentes históricos asociados a incendio**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

La probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a incendio en el taller mecánico, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

VII.2.1.11. Probabilidad de vertido de aguas de lavado (SI11)

En función del volumen de la flota de maquinaria y del tipo de material de extracción las instalaciones podrán necesitar una zona dedicada al lavado de maquinaria.

En esta zona el peligro de afección al medio vendrá definido por la posibilidad de que se produzca un vertido de aguas de lavado.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de aguas de lavado de la maquinaria* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de aguas de lavado de la maquinaria*.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de las labores de lavado de la maquinaria valora la posibilidad de un error humano que pueda originar un vertido de aguas de lavado.

Una mayor experiencia de los empleados disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de aguas de lavado.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano

como posible causa atribuible al suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo de las labores de lavado de la maquinaria han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de aguas de lavado será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Antigüedad de los depósitos**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los depósitos pertenecientes a las instalaciones de lavado de la maquinaria influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de dichos depósitos, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de aguas de lavado.

De cara a categorizar este estimador será válido considerar la vida útil de los depósitos, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que los depósitos han superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de depósitos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

❖ **Tipo de depósitos**

El tipo de depósitos utilizados en el proceso de lavado de la maquinaria se ha considerado como un estimador de probabilidad ya que es un factor importante que influye directamente en la probabilidad de ocurrencia de un vertido de aguas de lavado.

Como puede observarse en la tabla de causas y estimadores, dependiendo de si los depósitos tienen pared simple o doble y de si disponen de cubeto de contención o no, se han propuesto 4 categorías para la estimación de la probabilidad del suceso iniciador. De esta forma, se ha considerado que un depósito que disponga de pared doble y cubeto de contención tendrá menor probabilidad de producir un vertido que un depósito de pared simple que no disponga de cubeto de contención.

❖ **Frecuencia de las revisiones a los depósitos**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan revisiones a los depósitos en la zona de lavado de la maquinaria.

De esta forma se estima que si la frecuencia de las revisiones a los depósitos es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido de aguas de lavado será menor.

❖ **Antigüedad de las conducciones**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de las conducciones de las instalaciones dedicadas al lavado de la maquinaria influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de las conducciones, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de aguas de lavado.

De cara a categorizar este estimador será conveniente considerar la vida útil de las conducciones, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que se ha superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de conducciones defectuosas con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

❖ **Frecuencia de las revisiones a las conducciones**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a conducciones de las instalaciones dedicadas al lavado de la maquinaria.

De este modo se estima que si la frecuencia de las revisiones a las conducciones es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido de aguas de lavado será menor.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido de aguas de lavado de la maquinaria**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de aguas de lavado de la maquinaria, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

LAVADO DE MAQUINARIA-SI11						
Suceso iniciador: Vertido de aguas de lavado de la maquinaria	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				
Causas		menor mayor				
Fuga o rotura en depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc.	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación	
	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	
	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior a su vida útil	
	Tipo de depósitos	Doble pared con cubeto de contención	Doble pared sin cubeto de contención	Pared simple con cubeto de contención	Pared simple sin cubeto de contención	
	Desbordamiento de depósito	Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
		Fallo durante la recogida de lixiviados	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones		La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Incidentes históricos asociados a vertido de aguas de lavado de la maquinaria		Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 22. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de aguas de lavado de la maquinaria*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.12. Probabilidad de vertido de mineral almacenado (SI12)

El suceso iniciador *vertido de mineral almacenado* hace referencia a la ocurrencia de un vertido de mineral desde cualquier zona asociada al almacenamiento de mineral.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de mineral almacenado* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de mineral almacenado*.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de las labores asociadas al almacenamiento de mineral valora la posibilidad de un error humano atribuido a los dichos empleados que pueda originar un vertido de mineral almacenado.

De esta forma, se estima que una mayor experiencia de los empleados disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de mineral.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo de las asociadas al almacenamiento de mineral han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de mineral será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Antigüedad de los depósitos**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los depósitos en los que pudiera almacenarse el mineral influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de dichos depósitos, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de mineral.

De cara a categorizar este estimador será útil considerar la vida útil de los depósitos, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que los depósitos han superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de depósitos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

❖ **Frecuencia de las revisiones a los depósitos**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a los depósitos utilizados para el almacenamiento del mineral.

De esta forma se estima que si la frecuencia de las revisiones a los depósitos es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido de mineral será menor.

❖ **Señalización de las zonas de paso y carga y descarga**

Con este estimador se tiene en cuenta la posibilidad de que ocurra un vertido de mineral almacenado 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 en el parque de mineral disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por el impacto de un objeto móvil —p. ej. un vehículo—.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido de mineral**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de mineral, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

ALMACENAMIENTO DE MINERAL (PARQUE DE MINERAL)- SI12					
Suceso iniciador: Vertido de mineral almacenado	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc .	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Desbordamiento de depósito	Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa		La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	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
	Incidentes históricos asociados a vertido de sustancias	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 23. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de mineral almacenado*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.13. Probabilidad de vertido de sustancias en almacén (SI13)

El suceso iniciador al que se refiere este punto es un vertido de cualquier sustancia en la zona de almacenamiento de sustancias producido por la fuga o rotura de un depósito ya sea por impacto de un objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de*

sustancias en almacén y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de sustancias en almacén*.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de las labores ligadas al almacenamiento de sustancias valora la posibilidad de un error humano atribuido a dichos empleados que pueda originar un vertido de sustancias.

De esta forma, se estima que una mayor experiencia de los empleados disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de las sustancias almacenadas.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo de las labores ligadas al almacenamiento de sustancias han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de sustancias será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Antigüedad de los depósitos**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los depósitos utilizados para el almacenamiento de sustancias influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de dichos depósitos, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de sustancias.

De cara a categorizar este estimador será adecuado considerar la vida útil de los depósitos, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que se ha superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de depósitos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

❖ **Tipo de depósitos**

El tipo de depósitos utilizados para el almacenamiento de sustancias se ha considerado como un estimador de probabilidad ya que es un factor importante que influye directamente en la probabilidad de ocurrencia de un vertido.

Como puede observarse en la tabla de causas y estimadores, dependiendo de si los depósitos tienen pared simple o doble y de si disponen de cubeto de contención o no, se han propuesto 4 categorías para la estimación de la probabilidad del suceso iniciador. De tal forma, se ha considerado que un depósito que disponga de pared doble y cubeto de contención tendrá menor probabilidad de producir un vertido que un depósito de pared simple que no disponga de cubeto de contención.

❖ **Frecuencia de las revisiones a los depósitos**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a los depósitos utilizados para el almacenamiento de sustancias.

De esta forma se estima que si la frecuencia de las revisiones a los depósitos es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido será menor.

❖ **Señalización de las zonas de paso y carga y descarga**

Con este estimador 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 en dicha zona disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido de sustancias ocasionado por el impacto de un objeto móvil.

❖ **Iluminación**

Este estimador valora la existencia de una iluminación adecuada en la zona de almacenamiento de sustancias. De este modo, si la zona de almacenamiento tiene una iluminación adecuada disminuye la probabilidad de vertido de sustancias asociado a impactos de objetos móviles (carretillas).

En la de causas y estimadores 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 vertido 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.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido de sustancias**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de sustancias, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS-SI13					
Suceso iniciador: Vertido de sustancias en almacén	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Tipo de depósitos	Doble pared con cubeto de contención	Doble pared sin cubeto de contención	Pared simple con cubeto de contención	Pared simple sin cubeto de contención
	Periodicidad de las revisiones a los depósitos	Elevada periodicidad en las revisiones			Escasa periodicidad en las revisiones
	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
	Iluminación en la zona	La iluminación de la zona es ≥ 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.
	Incidentes históricos asociados a vertido de sustancias	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 24. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de sustancias en almacén*.

Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.14. Probabilidad de incendio en almacén de sustancias (SI14)

Para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador *incendio en almacén de sustancias* se proponen varias posibilidades. La primera de ellas está condicionada a que las instalaciones tengan que cumplir la normativa ATEX. Si es así, se podrá tener en cuenta el análisis de riesgos realizado en el documento de protección contra explosiones (DPCE), que es de obligada elaboración para las instalaciones susceptibles de formar atmósferas explosivas (ATEX) según el Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

Según el citado Real Decreto, el DPCE debe considerar los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta al menos:

- i) La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas.
- ii) La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas.
- iii) Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones.
- iv) Las proporciones de los efectos previsible.

De este modo, 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— y, a continuación, se determinan los focos de ignición que se pueden presentar. A cada uno de estos focos/fuentes se le atribuye una probabilidad en función de los datos de frecuencia que se tienen por registros de accidentes o datos bibliográficos. A partir del cruce de esta probabilidad y la probabilidad de formación de atmósfera explosiva, se obtiene la probabilidad de explosión que se expresa en un rango cualitativo.

De esta forma, para las instalaciones que tengan que cumplir la normativa ATEX, el estimador de la probabilidad de incendio propuesto es el valor de probabilidad de explosión reflejada en el DPCE correspondiente al área de almacenamiento de sustancias.

En la siguiente Tabla se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *incendio en almacén de sustancias* y, por otro, una propuesta de categorización del estimador propuesto para las instalaciones que deban cumplir con la normativa ATEX.


ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS-S114					
Suceso iniciador: Incendio en almacén de sustancias	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor  mayor			
Existencia de combustible Foco de ignición	Valor de la probabilidad de incendio reflejada en el documento de protección contra explosiones correspondiente al área de almacenamiento de sustancias	IMPROBABLE/ PRÁCTICAMENTE IMPOSIBLE	RARA	OCASIONAL	FRECUENTE/A MENUDO

Tabla 25. Causas y estimador de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en almacén de sustancias* para instalaciones que deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

Las instalaciones que no deben cumplir la normativa ATEX podrán basarse en otros estimadores para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

En la siguiente Tabla se exponen los estimadores propuestos para el suceso iniciador *incendio en almacén de sustancias* para las instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX, así como las causas de dicho suceso iniciador.

ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS-S114					
Suceso iniciador: Incendio en almacén de sustancias	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Existencia de combustible	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados en riesgos de incendio	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones			Los empleados no reciben formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación
Existencia de foco de ignición	Presencia de sustancias inflamables en la zona	No hay presencia de sustancias inflamables en la zona			Sustancias inflamables presentes en la zona
Error humano	Existencia de focos de ignición en la zona	No existen focos de ignición en la zona			Existen focos de ignición en la zona
	Incidentes históricos asociados a incendio	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 26. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en almacén de sustancias* para instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *incendio en almacén de sustancias* para las instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de labores ligadas al almacenamiento de sustancias valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano atribuido a los empleados que origine un incendio en el almacén.

Una mayor experiencia de los empleados en dichas labores disminuye la probabilidad de que se produzca un incendio en el almacén de sustancias.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados a cargo de labores ligadas al almacenamiento de sustancias sobre los riesgos asociados a incendio también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al incendio.

Mediante esta variable se estima que si los empleados han recibido formación sobre los riesgos asociados a incendio que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un incendio será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Presencia de sustancias inflamables**

La presencia de sustancias inflamables 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 inflamables almacenadas otorgará una mayor probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

❖ **Existencia de focos de ignición**

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.

De esta forma, la existencia de focos de ignición en la zona de almacenamiento de sustancias aumentará la probabilidad de ocurrencia de un incendio en dicha zona.

❖ **Incidentes históricos asociados a incendio**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

La probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a incendio en la zona asociada al almacenamiento de sustancias, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

VII.2.1.15. Probabilidad de explosión e incendio en polvorín (SI15)

A menudo la extracción del mineral requiere la utilización de explosivos para facilitar la operación, por ello es común que las instalaciones del sector dispongan de polvorines donde se almacenan los explosivos.

El suceso iniciador tenido en cuenta en este punto es la posibilidad de que ocurra una explosión y un posterior incendio en el polvorín.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *explosión e incendio en polvorín* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

Como puede verse en la tabla de causas y estimadores, las causas que se le atribuyen a la posible explosión e incendio en polvorín pueden ser el error humano, el desgaste de los materiales y la alteración de las condiciones de almacenamiento de los explosivos.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *explosión e incendio en polvorín*.

❖ **Frecuencia de la revisiones a las condiciones de almacenamiento**

Mediante este estimador se tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a las condiciones de almacenamiento de los explosivos.

De esta forma, las instalaciones en las que la frecuencia de las revisiones es mayor tienen una menor probabilidad de ocurrencia de explosión e incendio y, por el contrario, las instalaciones en las que la frecuencia de las revisiones es menor o no se realizan revisiones tienen una mayor probabilidad de ocurrencia de explosión e incendio en polvorín.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de labores ligadas al almacenamiento de explosivos valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano atribuido a los empleados que origine una explosión y un consiguiente incendio.

Una mayor experiencia de los empleados en dichas labores disminuye la probabilidad de que se produzca una explosión en el polvorín.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados a cargo de labores ligadas al almacenamiento de explosivos sobre los riesgos asociados a explosión e incendio también tiene en cuenta el error humano como posible causa del suceso iniciador *explosión e incendio en polvorín*.

Mediante esta variable se estima que si los empleados han recibido formación sobre los riesgos asociados a explosión e incendio que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca una explosión y un consiguiente incendio será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Existencia de focos de ignición**

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.

De esta forma, la existencia de focos de ignición en la zona de almacenamiento de explosivos aumentará la probabilidad de ocurrencia de una explosión y un consiguiente incendio en dicha zona.

❖ **Incidentes históricos asociados a explosión e incendio**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

La probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a explosión e incendio en la zona asociada al almacenamiento de explosivos, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

Cabe indicar que, en el caso de que el polvorín de la instalación tuviera que cumplir la normativa ATEX, el analista podría utilizar la propuesta de estimación de la probabilidad de ocurrencia descrita en otros puntos de este apartado relativos a sucesos iniciadores asociados a incendio.

POLVORINES (SI15)					
Suceso iniciador: Explosión e incendio en polvorín	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Error humano	Periodicidad de las revisiones a las condiciones de almacenamiento	Elevada periodicidad en las revisiones			Escasa periodicidad en las revisiones
	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
Desgaste de los materiales	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
Alteración de las condiciones de almacenamiento	Existencia de focos de ignición en la zona	No existen focos de ignición en la zona			Existen focos de ignición en la zona
	Incidentes históricos asociados a explosión e incendio	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 27. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *explosión e incendio en polvorín*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.16. Probabilidad de explosión e incendio en el manejo de explosivos (SI16)

El suceso iniciador *explosión e incendio en el manejo de explosivos* se refiere a la ocurrencia de una explosión y un consiguiente incendio durante la manipulación de explosivos.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *explosión e incendio en el manejo de explosivos* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

Las causas atribuibles a una explosión y un consiguiente incendio durante la labores de manipulación de explosivos son el error humano y la existencia de un foco de ignición que provoque una explosión.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *explosión e incendio en el manejo de explosivos*.

❖ Experiencia de los empleados a cargo de la operación

La experiencia de los empleados a cargo de labores ligadas al manejo de explosivos valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano atribuido a los empleados que origine una explosión y un consiguiente incendio.

Una mayor experiencia de los empleados en dichas labores disminuye la probabilidad de que se produzca una explosión.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados a cargo de labores ligadas al manejo de explosivos sobre los riesgos asociados a explosión e incendio también tiene en cuenta el error humano como posible causa del suceso iniciador *explosión e incendio en el manejo de explosivos*.

Mediante esta variable se estima que si los empleados han recibido formación sobre los riesgos asociados a explosión e incendio que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca una explosión y un consiguiente incendio será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Procedimiento de operación con supervisión y registro**

Con este estimador se tienen en cuenta tres factores sobre el procedimiento para el manejo de explosivos. En primer lugar se tiene en cuenta la existencia de un procedimiento documentado para el manejo de explosivos, en segundo lugar, la presencia de personal propio de la instalación que se encargue de supervisar la operación y, en tercer lugar, la existencia de registros del cumplimiento del procedimiento.

Estos tres factores han sido combinados en la propuesta de categorización de este estimador que se muestra en la tabla de causas y estimadores. De este modo, 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 una explosión e incendio durante el manejo de explosivos y, por el contrario, las instalaciones que no cuenten con un procedimiento para el manejo de explosivos tienen una mayor probabilidad de ocurrencia asociada al mismo suceso iniciador.

❖ **Utilización de herramientas que eviten la generación de chispas**

Este estimador valora la posibilidad de generación de un foco de ignición durante el manejo de explosivos por la utilización de herramientas inadecuadas.

De tal forma, las instalaciones que disponen de herramientas que eviten la generación de chispas para el manejo de explosivos, tienen una menor probabilidad de ocurrencia de una explosión e incendio durante el manejo de explosivos en comparación con las instalaciones que no disponen este tipo de herramientas.

❖ **Señalización para las actividades de manejo de explosivos**

Este estimador se refiere a la existencia de una señalización adecuada que indique aviso, precaución, restricción, y prohibición específica para las actividades de manejo de explosivos.

De este modo, se estima que las instalaciones que dispongan de este tipo de señalización específica tienen una menor probabilidad de que se produzca una explosión y un incendio durante el manejo de explosivos.

❖ **Incidentes históricos asociados a explosión e incendio**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a explosión e incendio durante el manejo de explosivos, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

Cabe indicar que, en el caso de que las zonas donde se realiza el manejo de explosivos en la instalación tuvieran que cumplir la normativa ATEX, el analista podría utilizar la propuesta de estimación de la probabilidad de ocurrencia descrita en otros puntos de este apartado relativos a sucesos iniciadores asociados a incendio.

MANEJO DE EXPLOSIVOS (SI16)						
Suceso iniciador: Explosión e incendio en el manejo de explosivos	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				
Causas		menor mayor				
Error humano (iniciación involuntaria)	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación	
	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	
	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 y sin registros periódicos de su cumplimiento.	No se dispone de un procedimiento para la operación.	
	Existencia de foco de ignición	Utilización de herramientas que eviten la generación de chispas	Se utilizan herramientas que eviten la generación de chispas			No se utilizan herramientas que eviten la generación de chispas
		¿La instalación cuenta con una señalización de aviso, precaución, restricción, y prohibición para las actividades de manejo de explosivos?	Sí			No
		Incidentes históricos asociados a explosión e incendio	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 28. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *explosión e incendio en el manejo de explosivos*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.17. Probabilidad de vertido de mineral durante el proceso de trituración y molienda (SI17)

Después de que el mineral sea extraído y antes de ser procesado se le somete a un proceso de trituración y molienda.

El suceso iniciador tenido en cuenta en el análisis de este proceso se refiere a la posibilidad de que se produzca un vertido de mineral durante el proceso de trituración y molienda.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de mineral* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

Las causas atribuibles al suceso iniciador son, por un lado, la fuga o rotura de un depósito o conducción ya sea por impacto de objeto móvil, desgaste de material, error humano, etc. y, por otro, el desbordamiento de un depósito.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de mineral*.

❖ Experiencia de los empleados a cargo de la operación

La experiencia de los empleados a cargo de las labores ligadas al proceso de trituración y molienda del mineral valora la posibilidad de un error humano atribuido a dichos empleados que pueda originar un vertido de mineral.

En este estimador se ha considerado que si los empleados tienen una mayor experiencia en la operación la probabilidad de que se produzca un vertido de mineral disminuirá.

❖ Formación de los empleados a cargo de la operación

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo de las labores ligadas al proceso de trituración y molienda del mineral han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de mineral será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ Planes de inspección y mantenimiento

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los sistemas de trituración y molienda valorando así la posibilidad de un fallo en dichos sistemas.

Se entiende por mantenimiento correctivo como aquel 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, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los sistemas de trituración y molienda y cuya aplicación periódica es registrada tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de mineral, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de vertido de mineral.

❖ **Antigüedad de los depósitos**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los depósitos utilizados en el proceso de trituración y molienda del mineral influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de dichos depósitos, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de mineral.

De cara a categorizar este estimador será adecuado considerar la vida útil de los depósitos, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que se ha superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de depósitos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

❖ **Frecuencia de las revisiones a los depósitos**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a los depósitos utilizados en el proceso de trituración y molienda del mineral.

De esta forma se estima que si la frecuencia de las revisiones a los depósitos es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido de mineral será menor.

❖ **Señalización de las zonas de paso y carga y descarga**

Con este estimador se tiene en cuenta la posibilidad de que ocurra un vertido de mineral en la zona donde se realiza el proceso de trituración y molienda del mineral 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 en dicha zona disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido de mineral ocasionado por el impacto de un objeto móvil.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido de mineral**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

La probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de mineral, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

PROCESAMIENTO DEL MINERAL: TRITURACIÓN Y MOLIENDA DEL MINERAL (SI17)					
Suceso iniciador: Vertido de mineral	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
	Planes de inspección y mantenimiento	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería.
	Antigüedad de los depósitos	Depósitos de escasa antigüedad			Depósitos de elevada antigüedad
	Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada
	Incidentes históricos asociados a vertido de mineral	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 29. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de mineral*. Fuente: elaboración propia. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.18. Probabilidad de vertido de fluidos de proceso (SI18)

Este suceso iniciador se refiere a la ocurrencia de un vertido de fluidos generados en el procesamiento del mineral extraído.

Una vez analizados los procesos llevados a cabo en las instalaciones pertenecientes al sector, se diferencian varios tipos de procesos. Por un lado estaría el procesamiento de sulfuros polimetálicos y, por otro, el procesamiento de sales. Dentro del procesamiento de sulfuros polimetálicos se diferencian el procesamiento mediante hidrometalurgia y el procesamiento mediante flotación. El procesamiento de sulfuros polimetálicos mediante hidrometalurgia se divide principalmente en las siguientes fases: lixiviación atmosférica, lixiviación a presión, extracción por solventes y

electrodeposición. Por otro lado y de cara al análisis, el procesamiento de sulfuros polimetálicos mediante flotación se ha subdividido en dos fases principales, el proceso de flotación principal y el lavado.

En lo referente al procesamiento de sales, las fases del proceso identificadas han sido la separación de arcillas y el proceso de flotación.

En el análisis de riesgos realizado, se ha identificado un suceso iniciador que es el mismo para todas las fases identificadas. Este suceso iniciador es el *vertido de fluidos de proceso*, al que se le han asociado los mismos estimadores de probabilidad de ocurrencia en todas las fases, ya que todas las fases de procesamiento de mineral tienen lugar en depósitos e implican el transporte de fluidos de proceso mediante conducciones.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de fluidos de proceso* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para dicho suceso iniciador.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de las labores ligadas al procesamiento de sulfuros polimetálicos y sales valora la posibilidad de un error humano atribuido a dichos empleados que pueda originar un vertido de fluidos de proceso.

Una mayor experiencia de los empleados disminuye la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo de las labores ligadas al procesamiento de sulfuros polimetálicos y sales han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de fluidos de proceso será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Planes de inspección y mantenimiento**

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los sistemas de procesamiento del mineral valorando así la posibilidad de un fallo en dichos sistemas.

Se entiende por mantenimiento correctivo como aquel 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, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los sistemas de trituración y molienda y cuya aplicación periódica es registrada tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de mineral, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de vertido de mineral.

❖ **Antigüedad de los depósitos**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los depósitos utilizados en el procesamiento del mineral influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de dichos depósitos, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de fluidos de proceso.

De cara a categorizar este estimador puede considerarse la vida útil de los depósitos, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que los depósitos han superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de depósitos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

❖ **Tipo de depósitos**

El tipo de depósitos utilizados en el procesamiento del mineral se ha considerado como un estimador de probabilidad ya que es un factor importante que influye directamente en la probabilidad de ocurrencia de un vertido de fluidos de proceso.

Dependiendo de si los depósitos tienen pared simple o doble y de si disponen de cubeto de contención o no, se han propuesto 4 categorías para la estimación de la probabilidad del suceso iniciador. De tal forma, se ha considerado que un depósito que disponga de pared doble y cubeto de contención tendrá menor probabilidad de producir un vertido que un depósito de pared simple que no disponga de cubeto de contención.

❖ **Frecuencia de las revisiones a los depósitos**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a los depósitos utilizados en el procesamiento del mineral.

De esta forma se estima que si la frecuencia de las revisiones a los depósitos es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido de fluidos de proceso será menor.

❖ **Antigüedad de las conducciones**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de las conducciones asociadas a las instalaciones dedicadas al procesamiento del mineral influye en la probabilidad de ocurrencia de un

vertido de fluidos de proceso. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de las conducciones, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido.

De cara a categorizar este estimador será útil considerar la vida útil de las conducciones, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que se ha superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de conducciones defectuosas con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

❖ **Frecuencia de las revisiones a las conducciones**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a conducciones asociadas a las instalaciones dedicadas al procesamiento del mineral.

De esta forma se estima que si la frecuencia de las revisiones a las conducciones es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido de fluidos de proceso será menor.

❖ **Señalización de las zonas de paso y carga y descarga**

Con este estimador se tiene en cuenta la posibilidad de que ocurra un vertido de fluidos de proceso debido al impacto de un objeto móvil.

De esta forma, se considera que una adecuada señalización de las zonas de paso y carga y descarga en la zona de procesamiento del mineral disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por el impacto de un objeto móvil —p. ej. un vehículo—.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido de fluidos de proceso**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

La probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de fluidos de proceso, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

PROCESAMIENTO DE SULFUROS POLIMETÁLICOS Y SALES-SI18					
Suceso iniciador: Vertido de fluidos de proceso	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
	Planes de inspección y mantenimiento	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante pero no se hacen revisiones periódicas	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas
	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Tipo de depósito	Doble pared con cubeto de contención	Doble pared sin cubeto de contención	Pared simple con cubeto de contención	Pared simple sin cubeto de contención
	Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	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
	Incidentes históricos asociados a vertido	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 30. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de fluidos de proceso*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.19. Probabilidad de vertido de sustancias para el procesamiento de mineral (SI19)

El suceso iniciador indicado en este punto hace referencia a la posibilidad de que ocurra un vertido de sustancias utilizadas en el procesamiento de sulfuros polimetálicos y sales en el lugar donde se

almacenan.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido sustancias para el procesamiento del mineral* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para dicho suceso iniciador.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de las labores ligadas al almacenamiento de sustancias para el procesamiento del mineral valora la posibilidad de un error humano atribuido a dichos empleados que pueda originar un vertido de sustancias.

De esta forma, se ha estimado una mayor experiencia de los empleados disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de las sustancias almacenadas.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que si los empleados a cargo de las labores ligadas al almacenamiento de sustancias para el procesamiento del mineral han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de sustancias será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Antigüedad de los depósitos**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los depósitos utilizados para el almacenamiento de sustancias utilizadas en el procesamiento del mineral influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de dichos depósitos, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de sustancias.

De cara a categorizar este estimador será útil considerar la vida útil de los depósitos, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada *curva de bañera*, asumiendo que se ha superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de depósitos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

❖ **Tipo de depósitos**

El tipo de depósitos utilizados para el almacenamiento de sustancias utilizadas en el procesamiento del mineral se ha considerado como un estimador de probabilidad ya que es un factor importante que influye directamente en la probabilidad de ocurrencia de un vertido.

Como puede observarse en la tabla de causas y estimadores, dependiendo de si los depósitos tienen pared simple o doble y de si disponen de cubeto de contención o no, se han propuesto 4 categorías para la estimación de la probabilidad del suceso iniciador. De tal forma, se ha considerado que un depósito que disponga de pared doble y cubeto de contención tendrá menor probabilidad de producir un vertido que un depósito de pared simple que no disponga de cubeto de contención.

❖ **Frecuencia de las revisiones a los depósitos**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a los depósitos utilizados en el procesamiento del mineral.

De esta forma se estima que si la frecuencia de las revisiones a los depósitos es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido de sustancias será menor.

❖ **Señalización de las zonas de paso y carga y descarga**

Con este estimador 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 en la zona de procesamiento del mineral disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido de sustancias ocasionado por el impacto de un objeto móvil.

❖ **Iluminación**

Este estimador valora la existencia de una iluminación adecuada en la zona de almacenamiento de sustancias para el procesamiento del mineral. De este modo, si la zona de almacenamiento tiene una iluminación adecuada disminuye la probabilidad de vertido de sustancias asociado a impactos de objetos móviles.

En la tabla de causas y estimadores 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 vertido 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.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido de sustancias**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de sustancias en la zona de almacenamiento de sustancias utilizadas en el procesamiento del mineral, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS PARA EL PROCESAMIENTO DE MINERAL-SI19					
Suceso iniciador: Vertido de sustancias para el procesamiento de mineral	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc . Desbordamiento de depósito	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Tipo de depósitos	Doble pared con cubeto de contención	Doble pared sin cubeto de contención	Pared simple con cubeto de contención	Pared simple sin cubeto de contención
	Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	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
	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.
	Incidentes históricos asociados a vertido de sustancias	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 31. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de sustancias para el procesamiento del mineral*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.20. Probabilidad de incendio en el área de procesamiento de mineral (SI20)

Para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador *incendio en el área de procesamiento del mineral* se proponen dos posibilidades. La primera de ellas está condicionada a que las instalaciones tengan que cumplir la normativa ATEX. Si es así, se podrá tener en cuenta el análisis de riesgos realizado en el documento de protección contra explosiones (DPCE), que es de obligada elaboración para las instalaciones susceptibles de formar atmósferas explosivas (ATEX) según el Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

Según el citado Real Decreto, el DPCE debe considerar los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta al menos:

- i) La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas.
- ii) La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas.
- iii) Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones.
- iv) Las proporciones de los efectos previsibles.

De este modo, 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— y, a continuación, se determinan los focos de ignición que se pueden presentar. A cada uno de estos focos/fuentes se le atribuye una probabilidad en función de los datos de frecuencia que se tienen por registros de accidentes o datos bibliográficos. A partir del cruce de esta probabilidad y la probabilidad de formación de atmósfera explosiva, se obtiene la probabilidad de explosión que se expresa en un rango cualitativo.

De esta forma, para las instalaciones que tengan que cumplir la normativa ATEX, el estimador de la probabilidad de incendio propuesto es el valor de probabilidad de explosión reflejada en el DPCE correspondiente al área de procesamiento del mineral.

En la siguiente Tabla se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador incendio en el área de procesamiento del mineral y, por otro, una propuesta de categorización del estimador propuesto para las instalaciones que deban cumplir con la normativa ATEX.

ÁREA DE PROCESAMIENTO DE MINERAL-SI20					
Suceso iniciador: Incendio en área de procesamiento de mineral	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Existencia de combustible Foco de ignición	Valor de la probabilidad de incendio reflejada en el documento de protección contra explosiones correspondiente al área de procesamiento del mineral	IMPROBABLE/ PRÁCTICAMENTE IMPOSIBLE	RARA	OCASIONAL	FRECUENTE/A MENUDO

Tabla 32. Causas y estimador de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en el área de procesamiento del mineral* para instalaciones que deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

Las instalaciones que no deben cumplir la normativa ATEX podrán basarse en otros estimadores para asignar la probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

A continuación se exponen los estimadores propuestos para el suceso iniciador *incendio en el área de procesamiento del mineral* para las instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX, así como las causas de dicho suceso iniciador.

❖ **Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de las labores ligadas al procesamiento del mineral valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano atribuido a los empleados que origine un incendio.

De esta forma, se estima que una mayor experiencia de los empleados en las labores asociadas al procesamiento del mineral disminuye la probabilidad de que se produzca un incendio en este área.

❖ **Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados a cargo de las labores asociadas al procesamiento del mineral sobre los riesgos asociados a incendio también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al incendio.

Mediante esta variable se estima que si los empleados han recibido formación sobre los riesgos asociados a incendio que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un incendio será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

❖ **Presencia de sustancias inflamables**

La presencia de sustancias inflamables es un factor importante a tener en cuenta a la hora de valorar la probabilidad de ocurrencia de un incendio. De este modo, la presencia de sustancias inflamables en el proceso de transformación del mineral otorgará una mayor probabilidad de ocurrencia al suceso iniciador.

❖ **Existencia de focos de ignición**

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.

De este modo, se estima que la existencia de focos de ignición en el área de procesamiento del mineral aumentará la probabilidad de que se produzca un incendio.

❖ **Incidentes históricos asociados a incendio**

La ocurrencia de incidentes históricos en la instalación es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. A mayor frecuencia de incidentes ocurridos en la instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

La probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a incendio en el área de procesamiento del mineral, ocurridos durante el periodo en el que la instalación ha estado operativa, es superior a cinco incidentes al año, y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

ÁREA DE PROCESAMIENTO DE MINERAL-SI20					
Suceso iniciador: Incendio en área de procesamiento de mineral	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Existencia de combustible	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados en riesgos de incendio	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones			Los empleados no reciben formación sobre los riesgos de incendio que conlleva la operación
Existencia de foco de ignición	Presencia de sustancias inflamables en la zona	Sustancias inflamables presentes en la zona			No hay presencia de sustancias inflamables en la zona
Error humano	Existencia de focos de ignición en la zona	No existen focos de ignición en la zona			Existen focos de ignición en la zona
	Incidentes históricos asociados a incendio	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 33. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en el área de procesamiento de mineral* para instalaciones que no deban cumplir la normativa ATEX. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.21. Probabilidad de vertido de materiales desde escombrera (SI21)

Las escombreras son acumulaciones de materiales provenientes de la extracción y el tratamiento del mineral, que se disponen en las explotaciones mineras según el grado de peligrosidad de los materiales que las conforman.

En el análisis de riesgos realizado al sector y teniendo en cuenta las tipologías de escombreras de las instalaciones analizadas, se han distinguido varios tipos de escombreras atendiendo al tipo de materiales que almacenan.

En las instalaciones dedicadas a la extracción y procesamiento de sulfuros polimetálicos se han distinguido escombreras de inertes, escombreras de estériles de mina y escombreras de estériles de tratamiento. Por otro lado, en las instalaciones dedicadas a la extracción de sales sódicas y potásicas se ha distinguido un único tipo de escombreras que son las escombreras de depósitos salinos.

Después del análisis de los riesgos derivados de las escombreras se ha identificado un suceso iniciador que es susceptible de ocurrir en todos los tipos de escombreras identificados, al que se le ha denominado *vertido de materiales desde escombrera*.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de materiales desde escombrera* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

La causa principal de un vertido de materiales en una escombrera es el deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de materiales desde escombrera*.

❖ **Auscultación hidráulica de la escombrera**

La auscultación consiste en obtener la información necesaria para comprobar el comportamiento de la escombrera y detectar cualquier indicio sobre condiciones adversas que puedan comprometer su estabilidad, realizando de este modo una valoración continua de la seguridad.

En la auscultación hidráulica, los parámetros hidráulicos más importantes que deben controlarse son el caudal de filtraciones y la presión intersticial. Los equipos empleados en los sistemas de medida de los parámetros hidráulicos pueden variar desde unos sencillos pozos para observar el nivel freático hasta sofisticados sensores para medir presiones intersticiales que proporcionan registros en lugares concretos.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de los parámetros hidráulicos de la escombrera, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por un fallo en la auscultación hidráulica.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación hidráulica se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/no se realiza* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Auscultación deformacional y tensional de la escombrera**

La auscultación deformacional y tensional consiste en el control de los movimientos horizontales y verticales de la escombrera. Estos movimientos se controlan mediante diferentes técnicas topográficas utilizando dispositivos de medición como pueden ser los teodolitos de precisión, inclinómetros, distanciómetros, etc.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de los movimientos de la escombrera, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por un fallo en la auscultación deformacional.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación deformacional y tensional se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/no se realiza* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Auscultación sísmica de la escombrera**

La auscultación sísmica consiste en medir tanto las vibraciones naturales —terremotos— como las vibraciones provocadas por actividades humanas —voladuras— que pueden provocar procesos de licuefacción en los materiales que forman la escombrera. El desarrollo de procesos de licuefacción en la escombrera supondría una drástica disminución de la seguridad y un aumento de las filtraciones.

La auscultación sísmica se realiza principalmente mediante dispositivos que miden la actividad sísmica —sismógrafos— además de otros dispositivos que miden la aceleración del terreno en dos o más planos —acelerógrafos—.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de las vibraciones que afectan a la escombrera, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por un fallo en la auscultación sísmica de la escombrera.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación sísmica se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/no se realiza* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Voladuras**

La realización de voladuras cerca de las escombreras es un factor de riesgo a tener en cuenta, ya que las vibraciones que éstas producen pueden afectar a la estabilidad de las escombreras y provocar deslizamientos de materiales.

Por ello, se estima que una escombrera que se encuentra ubicada cerca de una zona en la que se realizan voladuras, tiene una mayor probabilidad de sufrir deslizamientos de materiales que otra escombrera ubicada en una zona en la que no se realicen voladuras.

❖ **Ubicación de la escombrera en zona sísmica**

Este estimador se refiere a la ubicación o no de la escombrera en una zona sísmica. La ubicación de la escombrera en una zona sísmica aumentará la probabilidad de ocurrencia de vertido de materiales ya que los sismos pueden provocar procesos de licuefacción que faciliten los deslizamientos de materiales. En este sentido, deberán contemplarse únicamente los movimientos que tengan un carácter ordinario y no excepcional.

❖ **Plan de mantenimiento**

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un plan de mantenimiento de las condiciones de la escombrera.

En la categorización propuesta el plan de mantenimiento de la escombrera se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador y *deficiente/inexistente* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del vertido de materiales.

❖ **Control periódico de la infiltración del agua de lluvia**

Con este estimador se valora el control periódico de la infiltración de agua de lluvia en la escombrera.

Si la infiltración del agua de lluvia no se controla adecuadamente, se pueden generar inestabilidades en los materiales que forman la escombrera que pueden producir deslizamientos de materiales.

De esta forma, se estima que si no se realiza un control periódico de la infiltración del agua de lluvia en la escombrera la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales será mayor que si se controla periódicamente dicha infiltración.

❖ **Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control**

Este estimador se refiere al establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación de la escombrera.

El establecimiento de niveles de alerta y alarma consiste en la instalación de un sistema automatizado que revisa la evolución de todos los controles o sensores de la auscultación de la escombrera, detectando si los niveles de alerta y alarma se sobrepasan. Estos niveles de alerta y alarma deben ser definidos por un equipo de técnicos altamente cualificado que, además haya analizado previamente el comportamiento la escombrera (Utrillas Serrano *et al.*, 2006).

De esta forma, se estima que el establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control de los parámetros de auscultación de la escombrera disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales.

❖ **Revisiones de las condiciones de la escombrera por observación directa**

Este estimador tiene en cuenta que las revisiones de las condiciones de la escombrera sean realizadas por observación directa por parte de personal responsable de la vigilancia de la misma.

La observación directa de las condiciones de la escombrera se valora positivamente, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales, frente a la centralización y automatización de

la auscultación que no debe sustituir nunca la observación directa por parte del personal responsable (Utrillas Serrano *et al.*, 2006).

❖ **Coeficiente de seguridad**

Mediante este estimador se tiene en cuenta el coeficiente de seguridad con el que se ha diseñado y construido la escombrera.

De esta forma, tal y como se muestra en la tabla de causas y estimadores, las escombreras construidas con el coeficiente de seguridad mínimo exigido por la Ley se les atribuye mayor probabilidad de ocurrencia de vertido de materiales que a las escombreras construidas con un coeficiente de seguridad mayor que el exigido por la Ley.

❖ **Sistema de drenaje**

Los sistemas de drenaje consisten en conducciones internas y/o externas a la escombrera que conducen las aguas pluviales evitando así cualquier infiltración en la escombrera que pueda comprometer la estabilidad de la misma.

De esta forma, se ha estimado que las escombreras que disponen de un sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido de materiales que las escombreras que no disponen de dicho sistema.

❖ **Pendiente máxima de la escombrera**

Este estimador tiene en cuenta la máxima pendiente de la escombrera, expresada mediante la relación entre la longitud y la altura del talud de máxima pendiente de la misma —proporción vertical:horizontal por ejemplo 1:2— o mediante un ángulo.

De esta forma, y tal y como se propone en la tabla de causas y estimadores, se estima que una escombrera cuyo ángulo de pendiente máxima coincide con el ángulo de reposo del material que conforma dicha escombrera tiene una mayor probabilidad de vertido de materiales que una escombrera cuya proporción vertical:horizontal sea por ejemplo 1:4.

❖ **Régimen pluviométrico**

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales desde escombrera, valora la posibilidad de deslizamiento de materiales debido a la ocurrencia de precipitaciones intensas ordinarias.

La infiltración de agua en la escombrera produce fuerzas desestabilizadoras en la misma, por ello la ocurrencia de lluvias severas, que los sistemas de drenaje no puedan asumir, pueden producir infiltraciones que comprometan la estabilidad de la escombrera. De hecho, gran parte de los deslizamientos producidos en acumulaciones de materiales sueltos se producen después de periodos lluviosos.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media

autonómica la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento de materiales será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

ESCOBRERAS-SI21					
Suceso iniciador: Vertido de materiales desde escombrera	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Auscultación hidráulica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza
	Auscultación deformacional y tensional	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza
	Auscultación sísmica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza
	Voladuras	No se realizan voladuras cerca de la escombrera			Se realizan voladuras cerca de la escombrera
	Ubicación de la escombrera en zona sísmica	No			Sí
	Plan de mantenimiento de la escombrera	Excelente	Adecuado	Suficiente	Deficiente/Inexistente
	Control periódico de la infiltración de agua de lluvia	Sí			No
	Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación de la escombrera	Sí			No
	Revisiones de las condiciones de la escombrera por observación directa del personal responsable de la vigilancia de la misma	Sí			No
	Coefficiente de seguridad	La escombrera se construyó con un coeficiente de seguridad mayor que el exigido por la Ley			La escombrera se construyó con el coeficiente de seguridad mínimo exigido por la Ley
	Sistema de drenaje	La escombrera dispone de un sistema de drenaje			La escombrera no dispone de un sistema de drenaje
	Pendiente máxima de la escombrera (proporción Vertical:Horizontal)	1:4			El ángulo de la pendiente máxima coincide con el ángulo de reposo del material
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica			Precipitación media muy superior a la media autonómica

Tabla 34. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de materiales desde escombrera*.

Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.22. Probabilidad de infiltración desde escombrera (SI22)

El suceso iniciador indicado en este punto se refiere a la infiltración en el terreno de lixiviados, aguas de contacto o sustancias disueltas en agua desde la escombrera por fallo en el sistema de impermeabilización con el agravante de la ocurrencia de precipitaciones intensas pero ordinarias.

Al igual que el suceso iniciador explicado en el punto anterior y según el análisis de riesgos realizado al sector, el suceso iniciador *infiltración desde escombrera* está asociado a todos los tipos de escombreras identificados en el análisis.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *infiltración desde escombrera* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *infiltración desde escombrera*.

❖ **Impermeabilización adecuada de la escombrera**

Con este estimador se tiene en cuenta si se realizó una impermeabilización adecuada de la escombrera en el momento de su construcción.

De esta forma, una escombrera que haya sido adecuadamente impermeabilizada tendrá una menor probabilidad de infiltración que una escombrera que no haya sido impermeabilizada adecuadamente en su construcción.

❖ **Sistema de drenaje**

Este estimador hace referencia a la disposición en la escombrera de un sistema de drenaje que ayude a recoger los lixiviados de forma que no se acumulen en el fondo de la escombrera.

De este modo, las escombreras que dispongan de un sistema de drenaje tendrán una menor probabilidad de infiltración de lixiviados en el terreno que las escombreras que no dispongan de dicho sistema.

❖ **Plan de mantenimiento del sistema de drenaje**

Con este estimador se valora positivamente que, si la escombrera tiene un sistema de drenaje, la instalación disponga de un plan de mantenimiento para dicho sistema.

De esta forma, se estima que las escombreras que disponen de un plan de mantenimiento del sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de que se produzcan infiltraciones de lixiviados hacia el terreno.

❖ **Revisiones del sistema de drenaje**

Este estimador valora positivamente que, si la escombrera dispone de un sistema de drenaje se realicen revisiones a dicho sistema de forma periódica.

De esta forma, si se realizan revisiones la probabilidad de infiltración será menor y, por el contrario, si

no se realizan revisiones la probabilidad de ocurrencia de infiltración será mayor.

❖ **Incidentes históricos asociados a infiltración**

La ocurrencia de incidentes históricos es un estimador muy importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes asociados a infiltración de lixiviados ocurridos mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a infiltración de lixiviados ocurridos en la escombrera es superior a cinco incidentes al año y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

❖ **Régimen pluviométrico**

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de que se produzca una infiltración de lixiviados desde escombrera, estima que a mayor precipitación la probabilidad de ocurrencia de una infiltración será mayor.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de ocurrencia de una infiltración de lixiviados será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

ESCOMBRERAS-SI22					
Suceso iniciador: Infiltración desde escombrera	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor			mayor
Fallo del sistema de impermeabilización Lluvias severas	Impermeabilización adecuada de la escombrera en su construcción	Sí			No
	Sistema de drenaje	La escombrera dispone de un sistema de drenaje			La escombrera no dispone de un sistema de drenaje
	Plan de mantenimiento del sistema de drenaje	Se dispone un plan de mantenimiento del sistema de drenaje			No se dispone un plan de mantenimiento del sistema de drenaje
	Revisiones del sistema de drenaje	Se realizan revisiones			No se realizan revisiones
	Incidentes históricos asociados a infiltración	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica			Precipitación media muy superior a la media autonómica

Tabla 35. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *infiltración desde escombrera*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.23. Probabilidad de vertido desde escombrera (SI23)

El suceso iniciador indicado en este punto se refiere al vertido de lixiviados formados por escorrentía superficial debido al desbordamiento del sistema de drenaje perimetral de la escombrera con el agravante de la ocurrencia de lluvias severas pero ordinarias.

Atendiendo al análisis de riesgos realizado al sector, el suceso iniciador *vertido desde escombrera* está asociado a todos los tipos de escombreras identificados en el análisis.

En el presente apartado se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido desde escombrera* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido de lixiviados desde escombrera*.

❖ **Sistema de drenaje**

Este estimador hace referencia a la disposición en la escombrera de un sistema de drenaje que ayude a recoger los lixiviados producidos por la escorrentía superficial.

De esta forma, se estima que las escombreras que dispongan de un sistema de drenaje tendrán una menor probabilidad de ocurrencia de un vertido de lixiviados que las escombreras que no dispongan de dicho sistema.

❖ **Plan de mantenimiento del sistema de drenaje**

Mediante este estimador se valora positivamente que, si la escombrera dispone de un sistema de drenaje, la instalación tenga y aplique un plan de mantenimiento para dicho sistema.

De esta forma, se estima que las escombreras que disponen de un plan de mantenimiento del sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de que se produzcan vertidos de lixiviados.

❖ **Revisiones del sistema de drenaje**

Con este estimador se valora positivamente que, si la escombrera dispone de un sistema de drenaje se realicen revisiones a dicho sistema de forma periódica.

De esta forma, si se realizan revisiones al sistema de drenaje la probabilidad de vertido de lixiviados será menor y, por el contrario, si no se realizan revisiones la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor.

❖ **Incidentes históricos asociados a vertido desde escombrera**

La ocurrencia de incidentes históricos es un estimador importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes asociados a vertido de lixiviados mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización de tal forma que la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a vertido de lixiviados ocurridos en la escombrera es superior a cinco incidentes al año y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes es inferior a un incidente al año.

❖ **Régimen pluviométrico**

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de que se produzca un vertido de lixiviados desde escombrera, estima que a mayor precipitación la probabilidad de ocurrencia de un vertido será mayor.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de ocurrencia de un vertido de lixiviados será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

ESCOMBRERAS-SI23					
Suceso iniciador: Vertido desde escombrera	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Desbordamiento del sistema de drenaje	Sistema de drenaje	La escombrera dispone de un sistema de drenaje			La escombrera no dispone de un sistema de drenaje
	Plan de mantenimiento del sistema de drenaje	Se dispone un plan de mantenimiento del sistema de drenaje			No se dispone un plan de mantenimiento del sistema de drenaje
	Revisiones del sistema de drenaje	Se realizan revisiones			No se realizan revisiones
Lluvias severas	Incidentes históricos asociados a vertido desde escombrera	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica			Precipitación media muy superior a la media autonómica

Tabla 36. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido desde escombrera*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.1.24. Probabilidad de vertido desde balsa (SI24)

Los residuos en fase líquida producidos en las explotaciones mineras pertenecientes al sector objeto de estudio son almacenados en balsas para su decantación o posterior tratamiento.

Dichas balsas se componen de un cierre perimetral —presa— y un espacio disponible para el vertido de residuos.

En el análisis de riesgos realizado al sector y teniendo en cuenta las tipologías de balsas que se encuentran en las instalaciones analizadas, se han distinguido varios tipos de balsas atendiendo al tipo de materiales contenidos en las mismas. En las instalaciones dedicadas a la extracción y procesamiento de sulfuros polimetálicos se han distinguido balsas de lixiviados, balsas de lodos, balsas de pasta seca, balsas asociadas a la planta de pasta y balsas de regulación. Por otro lado, en las instalaciones dedicadas a la extracción de sales sódicas y potásicas se han distinguido las balsas de regulación y evaporación.

A los tipos de balsas identificados cabría añadir las balsas dedicadas al abastecimiento de agua de las instalaciones, ya que, aunque no contengan residuos, las causas asociadas al suceso iniciador indicado para este tipo de balsas son comunes a los demás tipos de balsas descritos anteriormente.

Una vez analizados los riesgos derivados de las balsas, se ha identificado un suceso iniciador que es susceptible de ocurrir en todos los tipos de balsas identificados, al que se le ha denominado *vertido desde balsa*.

Cabe añadir que el suceso iniciador *vertido desde balsa* es también atribuible a las presas de control de aguas de las escombreras de depósitos salinos, ya que, parte de los estimadores de probabilidad del suceso iniciador *vertido desde balsa* hacen referencia a la rotura de la presa.

Las causas principales de un vertido desde una balsa son, por un lado, la rotura de la presa de contención y por otro lado, el desbordamiento de la balsa.

La rotura de una presa se produce normalmente por un deslizamiento o rotura de los materiales que con los que está construida la presa debido principalmente a una acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.

La ocurrencia de un desbordamiento en una balsa puede producirse por un fallo en la gestión de la seguridad (falta de mantenimiento, inexistencia de un sistema de desagüe de emergencia, falta de control del nivel de líquidos, etc.), un error humano, lluvias severas, etc.

Con respecto a los fenómenos naturales, se recuerda que en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental únicamente deben considerarse aquéllos que no tengan carácter excepcional en la zona objeto de estudio.

En la siguiente Tabla se expone una propuesta de categorización los estimadores de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador *vertido desde balsa* cuando la causa principal es la rotura de la presa.

BALSAS-SI24					
Suceso iniciador: Vertido desde balsa	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Antigüedad de la presa	La presa tiene una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	La presa tiene una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	La presa tiene una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	La presa tiene una antigüedad media superior a su vida útil
	El vertido de residuos a la balsa se realiza de tal forma que minimice las tensiones que pueden provocar la rotura de la presa	Si			No
	Auscultación hidráulica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza
	Auscultación deformacional y tensional	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza
	Auscultación sísmica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza
	Voladuras	No se realizan voladuras cerca de la presa			Se realizan voladuras cerca de la presa
	Ubicación de la balsa en zona sísmica	No			Si
	Plan de mantenimiento de la presa	Excelente	Adecuado	Suficiente	Deficiente/Inexistente
	Frecuencia de los controles de la infiltración del agua de lluvia en la presa	La frecuencia de los controles es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de los controles es igual a la mínima establecida por la normativa
	Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación de la presa	Si			No
	Revisiones de las condiciones de la presa por observación directa del personal responsable de la vigilancia de la misma	Si			No
	Coefficiente de seguridad de la presa	La presa se construyó con un coeficiente de seguridad muy superior al mínimo exigido por la normativa			La presa se construyó con el coeficiente de seguridad mínimo exigido por la normativa
	Control de la proporción sólido-líquido de los residuos vertidos en la balsa	Se controla la proporción sólido/líquido de los residuos vertidos en la balsa de forma que la permeabilidad de los residuos aumente desde el centro a los bordes de la misma			No se controla la proporción sólido/líquido de los residuos contenidos en la balsa
	Sistema de drenaje de la presa	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones del sistema de drenaje	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Pendiente del talud de la presa (proporción Vertical:Horizontal)	Igual o menor a 1:4			El ángulo del talud coincide con el ángulo de reposo del material
Estudio exhaustivo de las condiciones geológico-geotécnicas del emplazamiento	Antes de la construcción de la presa se realizó un estudio exhaustivo de las condiciones geológico-geotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales			Antes de la construcción de la presa no se realizó un estudio exhaustivo de las condiciones geológico-geotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales	
Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica			Precipitación media muy superior a la media autonómica	

Tabla 37. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido desde balsa* debido a la rotura de

la presa de contención. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia expuestos en la Tabla anterior.

❖ **Antigüedad de la presa**

Con este estimador se tiene en cuenta la antigüedad de la presa de contención de la balsa. De esta forma, se estima que las presas más antiguas tienen mayor probabilidad de producir un vertido por rotura que las presas de menor edad.

❖ **Disposición de los residuos en la balsa**

Este estimador se refiere a la gestión de la disposición de los residuos en la balsa valorando positivamente que los residuos se dispongan de tal forma que se minimicen las tensiones que favorecen la rotura de la presa.

La disposición de los de los residuos en la balsa influye directamente en las tensiones ejercidas sobre la presa y por lo tanto en la estabilidad de la misma. Por ello, si los residuos son vertidos de tal forma que minimicen las tensiones que pueden provocar la rotura del dique, la probabilidad de rotura del dique disminuirá y, por el contrario, si no se controla la disposición de los residuos o se realiza de tal forma que favorezca el aumento de las tensiones desestabilizadoras en el dique la probabilidad de rotura de dique aumentará.

Dicha disposición está muy relacionada con la situación del punto de vertido de los residuos a la balsa. Por ejemplo, el hecho de que el vertido se realice en la cola de la presa presenta una situación más desfavorable desde el punto de vista de la estabilidad de la presa, puesto que existe el empuje de agua o fase líquida del residuo contra la estructura (Cancela Rey *et al.*, 1987). Por ello, puede decirse que las balsas en las que el vertido de residuos se realiza desde la coronación de la presa tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido que las balsas en las que los residuos se vierten desde la cola de la presa.

❖ **Auscultación hidráulica**

La auscultación consiste en obtener la información necesaria para comprobar el comportamiento de la presa y detectar cualquier indicio sobre condiciones adversas que puedan comprometer su estabilidad, realizando de este modo una valoración continua de la seguridad.

En la auscultación hidráulica, los parámetros hidráulicos más importantes que deben controlarse son el caudal de las filtraciones y la presión intersticial. El equipo empleado en los sistemas de medida de los parámetros hidráulicos pueden variar desde unos sencillos pozos para observar el nivel freático hasta sofisticados sensores para medir presiones intersticiales que proporcionan registros en lugares concretos.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de los parámetros hidráulicos de la presa, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por una deficiente auscultación hidráulica de la presa.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación hidráulica se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/no se realiza* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Auscultación deformacional y tensional**

La auscultación deformacional y tensional consiste en el control de los movimientos horizontales y verticales de la presa. Estos movimientos se controlan mediante diferentes técnicas topográficas utilizando dispositivos de medición como pueden ser los teodolitos de precisión, inclinómetros, distanciómetros, etc.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de los movimientos de la presa, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por un fallo en la auscultación tensional y deformacional.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación deformacional y tensional se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/no se realiza* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Auscultación sísmica**

La auscultación sísmica consiste en medir tanto las vibraciones naturales —terremotos— como las vibraciones provocadas por actividades humanas —voladuras— que pueden provocar procesos de licuefacción en los materiales que forman la presa. El desarrollo de procesos de licuefacción en la presa supondría una drástica disminución de la seguridad y un aumento de las filtraciones.

La auscultación sísmica se realiza principalmente mediante dispositivos que miden la actividad sísmica —sismógrafos— además de otros dispositivos que miden la aceleración del terreno en dos o más planos —acelerógrafos—.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de las vibraciones que afectan a la presa, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por una auscultación sísmica insuficiente o inexistente.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación sísmica se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/no se realiza* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Voladuras**

La realización de voladuras cerca de las presas es un factor de riesgo a tener en cuenta, ya que las vibraciones que éstas producen pueden afectar a su estabilidad y provocar deslizamientos de materiales.

Por ello, se estima que una presa que se encuentre ubicada cerca de una zona en la que se realicen voladuras, tiene una mayor probabilidad de sufrir una rotura y provocar un vertido que otra presa ubicada en una zona en la que no se realicen voladuras.

❖ **Ubicación de la presa en zona sísmica**

La ubicación de la presa en una zona sísmica aumentará la probabilidad de ocurrencia de vertido ya que los sismos pueden provocar procesos de licuefacción que facilitan los deslizamientos de materiales que causarían la rotura de la presa.

❖ **Plan de mantenimiento**

Con este estimador se valora positivamente la existencia de un plan de mantenimiento adecuado de las condiciones de la presa.

En la categorización propuesta el plan de mantenimiento de la presa se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador y *deficiente/inexistente* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Frecuencia de los controles la infiltración del agua de lluvia**

Con este estimador se valora si la frecuencia de los controles de la infiltración de agua de lluvia en la presa es superior a la indicada por la normativa.

Si la infiltración del agua de lluvia no se controla adecuadamente, se pueden generar inestabilidades en los materiales que forman la presa que pueden producir deslizamientos de materiales.

De esta forma, se estima que si la frecuencia de los controles de la infiltración del agua de lluvia es superior a la mínima indicada por la normativa la probabilidad de que se produzca un vertido por rotura de la presa será menor que si, por el contrario, la frecuencia de los controles es igual a la mínima indicada por la normativa.

❖ **Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control**

Este estimador se refiere al establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación de la presa.

El establecimiento de niveles de alerta y alarma consiste en la instalación de un sistema automatizado que revisa la evolución de todos los controles o sensores de la auscultación de la presa, detectando si los niveles de alerta y alarma se sobrepasan. Estos niveles de alerta y alarma deben ser definidos por un equipo de técnicos altamente cualificado que, además haya analizado previamente el comportamiento la presa.

De esta forma, se estima que el establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control de los parámetros de auscultación de la presa disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura de la presa.

❖ **Revisiones de las condiciones de la presa por observación directa**

Este estimador tiene en cuenta que las revisiones de las condiciones de la presa sean realizadas por observación directa por parte de personal responsable de la vigilancia de la misma.

La observación directa de las condiciones de la presa se valora positivamente, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde la balsa por rotura de la presa, frente a la centralización y automatización de la auscultación que no debe sustituir nunca la observación directa por parte del personal responsable.

❖ **Coeficiente de seguridad**

Mediante este estimador se tiene en cuenta el coeficiente de seguridad con el que se ha diseñado y construido la presa.

De esta forma, tal y como se muestra en la tabla de causas y estimadores, las presas construidas con el coeficiente de seguridad mínimo exigido por la Ley se les atribuye mayor probabilidad de ocurrencia de vertido por rotura que a las presas construidas con un coeficiente de seguridad mayor que el exigido por la Ley.

❖ **Control de la proporción sólido-líquido de los residuos vertidos en la balsa**

En la mayoría de las balsas de residuos mineros, el manejo del agua dentro del vaso de la balsa es un factor determinante del nivel de seguridad con que se opera. Debido a la granulometría muy fina de los residuos mineros, el volumen de agua almacenado de forma capilar, a presión menor que la atmosférica, puede ser muy importante. Este volumen reduce considerablemente la capacidad de almacenamiento de agua en los poros del material y como resultado, la infiltración de cantidades relativamente pequeñas de agua de lluvia puede provocar una rápida elevación del nivel freático y la saturación de los residuos con el correspondiente descenso de la estabilidad del talud. La técnica más habitual para el control del agua freática es hacer que la permeabilidad de los residuos mineros aumente desde el centro del depósito hacia los bordes. La efectividad de esta técnica depende fundamentalmente de la relación sólido-líquido con que se vierten los residuos mineros (Oldecop et al., 2007).

Por ello, el control de la proporción sólido-líquido de los residuos que se vierten a la balsa se toma como estimador de la probabilidad de ocurrencia de vertido desde balsa por rotura de la presa.

De esta forma, se estima que el control de la proporción sólido/líquido de los residuos vertidos en la balsa, de forma que la permeabilidad de los residuos aumente desde el centro a los bordes de la misma, disminuye la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador *vertido desde balsa* debido a la rotura de la presa.

❖ **Sistema de drenaje**

Los sistemas de drenaje consisten en conducciones internas y/o externas a la presa que conducen las aguas pluviales evitando así cualquier infiltración que pueda comprometer la estabilidad de la misma.

De esta forma, se ha estimado que las presas que disponen de un sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido que las presas que no disponen de dicho sistema.

En la categorización propuesta el sistema de drenaje de la presa se valora mediante una escala

donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/inexistente* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Frecuencia de las revisiones a las conducciones del sistema de drenaje**

Con este estimador se valora si la frecuencia de las revisiones a las conducciones del sistema de drenaje de la presa es superior a la indicada por la normativa.

De esta forma, se estima que si la frecuencia de los controles es superior a la mínima indicada por la normativa la probabilidad de que se produzca un vertido por rotura de la presa será menor que si, por el contrario, la frecuencia de los controles es igual a la mínima indicada por la normativa.

❖ **Pendiente máxima del talud de la presa**

Este estimador tiene en cuenta la pendiente del talud de la presa cuando la presa es de tierras, expresada mediante el ángulo del talud o mediante la relación entre la longitud y la altura del talud —proporción vertical:horizontal p.ej. 1:2—.

De esta forma, tal y como se muestra en la tabla de causas y estimadores, se estima que una presa cuyo talud tiene un ángulo que coincide con el ángulo de reposo del material del que está hecho la presa tiene una mayor probabilidad de ocurrencia de vertido desde balsa que una presa cuya proporción vertical:horizontal es por ejemplo 1:4.

❖ **Estudio exhaustivo geológico-geotécnico del emplazamiento**

Con este estimador se tiene en cuenta la realización, antes de la construcción de una presa asociada a una balsa, de un estudio exhaustivo geológico y geotécnico del emplazamiento de la misma, incluyendo ensayos de laboratorio tanto de los materiales del subsuelo como de los materiales utilizados en su construcción.

De esta forma, las presas que dispongan de dicho estudio tendrán una menor probabilidad de rotura por fallo constructivo y, por tanto, de vertido del contenido de la balsa, que las presas que no dispongan el mencionado estudio.

❖ **Régimen pluviométrico**

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa, valora la posibilidad de la rotura de una presa de tierras asociada a la balsa debido a la ocurrencia de lluvias severas pero ordinarias.

La infiltración de agua en la presa produce fuerzas desestabilizadoras en la misma, por ello la ocurrencia de lluvias severas que los sistemas de drenaje no puedan asumir producirían infiltraciones que comprometerían la estabilidad de la presa. De hecho, gran parte de los deslizamientos producidos en acumulaciones de materiales sueltos, como son las presas de tierras, se producen después de periodos lluviosos.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media

autonómica la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa por rotura de la presa será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

En la siguiente Tabla se expone una propuesta de categorización los estimadores de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador *vertido desde balsa* y cuando la causa principal es el desbordamiento de la presa.

BALSAS-SI24					
Suceso iniciador: Vertido desde balsa	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Desbordamiento de la balsa por fallo en la gestión, lluvias, error humano, etc.	Existencia un curso de agua cercano	Existe un curso de agua cercano a la balsa o alguna conducción o canal que pudiera suponer un aporte de agua extra a la balsa			No existe un curso de agua cercano a la balsa o alguna conducción o canal que pudiera suponer un aporte de agua extra a la balsa
	Sistema de drenaje de la balsa	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente
	Plan de mantenimiento del sistema de drenaje de la balsa	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente
	Sistema de desagüe	La balsa dispone de un sistema de desagüe			La balsa no dispone de un sistema de desagüe
	Plan de mantenimiento del sistema de desagüe	Se dispone de un plan de mantenimiento del sistema de desagüe			No se dispone de un plan de mantenimiento del sistema de desagüe
	Revisiones a las canalizaciones del sistema de desagüe	Sí			No
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica			Precipitación media muy superior a la media autonómica
	Control del nivel de líquidos en la balsa	Se controla el nivel de líquidos en la balsa			No se controla el nivel de líquidos en la balsa
	Establecimiento de niveles de alerta y alarma para el sistema de control del nivel de líquidos en la balsa	Se han establecido niveles de alerta y alarma para el sistema de control del nivel de líquidos en la balsa			No se han establecido niveles de alerta y alarma para el sistema de control del nivel de líquidos en la balsa

Tabla 38. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido desde balsa* debido a desbordamiento. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *vertido desde balsa* expuestos en la Tabla anterior.

❖ **Existencia de un curso de agua cercano**

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un curso, conducción o canal cercano a la balsa que pudiera suponer un aporte de agua adicional a la balsa.

Ante la eventualidad de un aporte de una cantidad considerable de agua a la balsa, podría producirse un desbordamiento de la misma. Por ello, se estima que la existencia de un curso de agua cercano aumenta la probabilidad de vertido desde balsa por desbordamiento.

❖ **Sistema de drenaje**

Los sistemas de drenaje consisten en conducciones que conducen las aguas pluviales evitando así cualquier aporte de agua extra a balsas que contribuya al desbordamiento.

De esta forma, se ha estimado que las balsas que disponen de un sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido por desbordamiento que las balsas que no disponen de dicho sistema.

En la categorización propuesta el sistema de drenaje de la presa se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/inexistente* indica una mayor probabilidad de ocurrencia.

❖ **Plan de mantenimiento del sistema de drenaje**

Con este estimador se valora positivamente la existencia de un plan de mantenimiento adecuado del sistema de drenaje de la balsa.

En la categorización propuesta el plan de mantenimiento se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador y *deficiente/inexistente* indica una mayor probabilidad de ocurrencia.

❖ **Sistema de desagüe**

Este estimador se refiere a la existencia de un sistema de desagüe en la balsa que pueda liberar una cierta cantidad de líquidos a otras balsas o depósitos en caso de emergencia, impidiendo así un vertido por desbordamiento.

En la categorización propuesta el sistema de desagüe se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/inexistente* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Plan de mantenimiento del sistema de desagüe**

Un deficiente o inexistente plan de mantenimiento del sistema de desagüe de la balsa provocaría la obstrucción de las conducciones que lo forman limitando notablemente su funcionamiento.

Por ello, se estima que la existencia de un plan de mantenimiento del sistema de desagüe disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por desbordamiento de la balsa.

❖ **Revisiones a las canalizaciones del sistema de desagüe**

Este estimador valora positivamente que se realicen revisiones a las canalizaciones del sistema de desagüe de forma periódica.

De esta forma, si se realizan revisiones la probabilidad de vertido por desbordamiento de la balsa será menor y, por el contrario, si no se realizan revisiones la probabilidad de ocurrencia de vertido será mayor.

❖ **Régimen pluviométrico**

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa, valora la posibilidad de desbordamiento debido a la ocurrencia de lluvias severas pero ordinarias.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa por desbordamiento de la presa será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

❖ **Control del nivel de líquidos en la balsa**

Este estimador tiene en cuenta la realización de un control periódico del nivel que alcanzan los líquidos en balsa. De esta forma, se estima que una balsa en la que se controla periódicamente el nivel de líquidos tiene una menor probabilidad de vertido por desbordamiento que una balsa en la que no se realice este tipo de control.

❖ **Establecimiento de niveles de alerta y alarma**

El establecimiento de niveles de alerta y alarma consiste en la instalación de un sistema automatizado que revisa la evolución del nivel de líquidos en la balsa, detectando si los niveles de alerta y alarma se sobrepasan.

De esta forma, se estima que el establecimiento de dicho tipo de sistemas que detecten niveles de alerta y alarma en el nivel de líquidos contenidos en la balsa disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por desbordamiento.

VII.2.1.25. Probabilidad de infiltración desde balsa (SI25)

El suceso iniciador indicado en este punto se refiere a la infiltración en el terreno de lixiviados o sustancias disueltas en agua desde una balsa por fallo en el sistema de impermeabilización.

Al igual que el suceso iniciador explicado en el punto anterior y según el análisis de riesgos realizado al sector, el suceso iniciador *infiltración desde balsa* está asociado a todos los tipos de balsas y presas identificados en el análisis.

En la siguiente Tabla se exponen, por un lado, las causas del suceso iniciador *infiltración desde balsa* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

BALSAS-SI25					
Suceso iniciador: Infiltración desde balsa	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fallo del sistema de impermeabilización	Impermeabilización adecuada del vaso de la balsa en su construcción	Sí			No
	Sistema de drenaje	La balsa dispone de un sistema de drenaje			La balsa no dispone de un sistema de drenaje
	Plan de mantenimiento del sistema de drenaje	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente
	Revisiones a las canalizaciones del sistema de drenaje	Se realizan revisiones			No se realizan revisiones
	Incidentes históricos asociados a infiltración	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 39. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *infiltración desde balsa*. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *infiltración desde balsa*.

❖ **Impermeabilización adecuada del vaso de la balsa**

Con este estimador se tiene en cuenta si se realizó una impermeabilización adecuada del vaso de la balsa en el momento de su construcción.

De esta forma, una balsa que haya sido adecuadamente impermeabilizada tendrá una menor probabilidad de infiltración que una balsa cuyo vaso no se haya impermeabilizado adecuadamente en el proceso de construcción.

❖ **Sistema de drenaje**

Este estimador hace referencia a la disposición en la balsa de un sistema de drenaje que ayude a recoger los lixiviados, impidiendo que estos puedan infiltrarse en el terreno.

En la categorización propuesta el sistema de drenaje de la presa se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/inexistente* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Plan de mantenimiento del sistema de drenaje**

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un plan de mantenimiento del sistema de drenaje de la balsa. De esta forma, se estima que las balsas que disponen de un plan de mantenimiento del sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de que produzcan infiltraciones

hacia el terreno.

En la categorización propuesta el plan de mantenimiento del sistema de drenaje se valora mediante una escala donde *excelente* indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e *insuficiente/inexistente* indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

❖ **Revisiones a las canalizaciones del sistema de drenaje**

Este estimador valora positivamente que se realicen revisiones a las canalizaciones del sistema de desagüe de la balsa de forma periódica.

De esta forma, si se realizan revisiones la probabilidad de infiltración será menor y, por el contrario, si no se realizan revisiones la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor.

❖ **Incidentes históricos asociados a infiltración**

La ocurrencia de incidentes históricos es un estimador importante de la probabilidad de ocurrencia. A mayor frecuencia de incidentes asociados a vertido de infiltración desde balsa mayor será la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

En la categorización propuesta la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador será mayor cuando el número de incidentes asociados a infiltración ocurridos en la balsa sea superior a cinco incidentes al año y menor cuando la frecuencia de este tipo de incidentes sea inferior a un incidente al año.

VII.2.1.26. Probabilidad de vertido de pasta desde planta de pasta (SI26)

En algunas instalaciones puede ser necesaria la existencia de instalaciones de procesamiento de los residuos generados para facilitar la gestión de los mismos.

El suceso iniciador indicado en este punto, se refiere al vertido desde una instalación en la que se mezclan los residuos del procesamiento de sulfuros polimetálicos con cemento para hacerlos más estables. A la mezcla resultante se le denomina pasta y a la instalación donde se produce es la planta de pasta.

En la siguiente Tabla se muestran, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de pasta* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

GESTIÓN DE RESIDUOS DE EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE SULFUROS POLIMETÁLICOS: PLANTA DE PASTA-SI26						
Suceso iniciador: Vertido de pasta	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				
Causas		menor mayor				
Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación	
	Formación de los empleados	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	
	Planes de inspección y mantenimiento	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante pero no se hacen revisiones periódicas	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas	
	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior a su vida útil	
	Desbordamiento de depósito	Tipo de depósito	Doble pared con cubeto de contención	Doble pared sin cubeto de contención	Pared simple con cubeto de contención	Pared simple sin cubeto de contención
		Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
		Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
		Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
		Incidentes históricos asociados a vertido e infiltración	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 40. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de pasta*. Fuente: elaboración propia.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para este suceso iniciador ya han sido descritos en puntos anteriores de este apartado.

VII.2.1.27. Probabilidad de vertido desde conducciones asociadas a la gestión de residuos (SI27)

El suceso iniciador indicado en este punto se refiere al vertido de aguas de contacto, agua salada u otro tipo de residuo desde las conducciones asociadas a la gestión de residuos de extracción y procesamiento del mineral. Estas conducciones suelen ser subterráneas o perimetrales a las balsas y

escombreras descritas anteriormente.

En la siguiente Tabla se muestran, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido desde conducciones asociadas a gestión de residuos* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.


GESTIÓN DE RESIDUOS DE EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DEL MINERAL : CONDUCCIONES ASOCIADAS A GESTIÓN DE RESIDUOS-SI27					
Suceso iniciador: Vertido desde conducciones asociadas a gestión de residuos	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor  mayor			
Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Experiencia de los empleados a cargo de las conducciones	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados a cargo de las conducciones	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
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Incidentes históricos asociados a vertido	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año
	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada
	Disposición de las conducciones respecto a estructuras que eventualmente puedan perder su estabilidad estructural (diques, presas, taludes, etc.)	Las conducciones no descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural			Las conducciones descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural

Tabla 41. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido desde conducciones asociadas a gestión de residuos*. Fuente: elaboración propia.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para este suceso iniciador ya han sido descritos en puntos anteriores de este apartado por lo que no se procede a replicarlos nuevamente.

VII.2.1.28. Probabilidad de vertido desde conducciones de abastecimiento de agua

(SI28)

En el análisis de riesgos realizado al sector se ha estimado conveniente incluir el vertido desde las conducciones de abastecimiento de agua como suceso iniciador al que se ha denominado *vertido de agua desde conducciones*.

Un vertido de agua desde las conducciones de abastecimiento de una instalación podría provocar una inundación con consecuencias medioambientales.

En la siguiente Tabla se muestran, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de agua desde conducciones* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

ABASTECIMIENTO DE AGUA : CONDUCCIONES DE AGUA-SI28					
Suceso iniciador: Vertido de agua desde conducciones	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Experiencia de los empleados a cargo de las conducciones	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados a cargo de las conducciones	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
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Incidentes históricos asociados a vertido	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año
	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada
	Disposición de las conducciones respecto a estructuras que eventualmente puedan perder su estabilidad estructural (diques, presas, taludes, etc.)	Las conducciones no descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural			Las conducciones descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural

Tabla 42. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de agua desde conducciones*.

Fuente: elaboración propia.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para este suceso iniciador ya han sido descritos en puntos anteriores de este apartado por lo que no se procede a replicarlos nuevamente.

VII.2.1.29. Probabilidad de vertido de sustancias desde estación dosificadora de reactivos para el control de calidad de las aguas (SI29)

Es posible que algunas instalaciones necesiten disponer de una estación dosificadora que añada reactivos en el agua utilizada en el proceso productivo para mejorar su calidad. El suceso iniciador indicado en este punto se refiere a la posibilidad de vertido de las sustancias utilizadas en las instalaciones dosificadoras. En la siguiente Tabla se muestran, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de sustancias* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

ABASTECIMIENTO DE AGUA : ESTACIÓN DOSIFICADORA DE REACTIVOS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS-SI29					
Suceso iniciador: Vertido de sustancias	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados	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
	Planes de inspección y mantenimiento	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería.
	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Tipo de depósito	Doble pared con cubeto de contención	Doble pared sin cubeto de contención	Pared simple con cubeto de contención	Pared simple sin cubeto de contención
	Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Antigüedad de las conducciones	Conducciones de escasa antigüedad			Conducciones de elevada antigüedad
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Incidentes históricos asociados a vertido de sustancias	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 43. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de sustancias*. Fuente: elaboración propia.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para este suceso iniciador ya han sido

descritos en puntos anteriores de este apartado por lo que no se procede a replicarlos nuevamente.

VII.2.1.30. Probabilidad de vertido de efluentes ácidos (SI30)

Cabe la posibilidad de que algunas explotaciones mineras de sulfuros polimetálicos dispongan de instalaciones para el tratamiento de efluentes. El suceso iniciador que se indica en este punto se refiere al vertido desde los depósitos de almacenamiento de efluentes y las conducciones asociados a las mencionadas instalaciones de tratamiento. En la siguiente Tabla se muestran, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de efluentes ácidos* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE EFLUENTES ÁCIDOS-SI30					
Suceso iniciador: Vertido de efluentes ácidos	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
	Planes de inspección y mantenimiento	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante pero no se hacen revisiones periódicas	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas
	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Tipo de depósito	Doble pared con cubeto de contención	Doble pared sin cubeto de contención	Pared simple con cubeto de contención	Pared simple sin cubeto de contención
	Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	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
Incidentes históricos asociados a vertido	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año	

Tabla 44 Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de efluentes ácidos*. Fuente: elaboración propia.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para este suceso iniciador ya han sido descritos en puntos anteriores de este apartado por lo que no se procede a replicarlos nuevamente.

VII.2.1.31. Probabilidad de vertido de efluentes salinos (SI31)

En este punto se hace referencia a la posibilidad de vertido de agua salada desde las instalaciones de gestión y tratamiento de efluentes salinos. En la siguiente Tabla se muestran, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de efluentes salinos* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE EFLUENTES SALINOS-SI31					
Suceso iniciador: Vertido de efluentes salinos	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	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
	Planes de inspección y mantenimiento	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante pero no se hacen revisiones periódicas	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas
	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad superior a su vida útil
	Tipo de depósito	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	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
Incidentes históricos asociados a vertido	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año	

Tabla 45. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de efluentes salinos*. Fuente:

elaboración propia.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para este suceso iniciador ya han sido descritos en puntos anteriores de este apartado por lo que no se procede a replicarlos nuevamente.

VII.2.1.32. Probabilidad de vertido de combustible desde generador (SI32)

Es posible que las instalaciones pertenecientes al sector objeto de estudio dispongan de un sistema auxiliar de suministro eléctrico que requiera combustible para su funcionamiento. El suceso iniciador indicado en este punto hace referencia a la posibilidad de que se produzca un vertido de combustible desde un depósito o una conducción de un generador de energía eléctrica. En la siguiente Tabla se muestran, por un lado, las causas del suceso iniciador *vertido de combustible desde generador* y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.


SISTEMA AUXILIAR DE SUMINISTRO ELÉCTRICO : GENERADOR-SI32					
Suceso iniciador: Vertido de combustible	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor  mayor			
Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación
	Formación de los empleados	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
	Planes de inspección y mantenimiento	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería.
	Antigüedad de los depósitos	Los depósitos tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Los depósitos tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Tipo de depósito	Doble pared con cubeto de contención	Doble pared sin cubeto de contención	Pared simple con cubeto de contención	Pared simple sin cubeto de contención
	Frecuencia de las revisiones a los depósitos	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa
Incidentes históricos asociados a vertido	Menos de un incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año	

Tabla 46. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *vertido de combustible desde generador*.

Fuente: elaboración propia.

Los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para este suceso iniciador ya han sido descritos en puntos anteriores de este apartado por lo que no se procede a replicarlos nuevamente.

VII.2.1.33. Probabilidad de incendio en generador de energía eléctrica (SI33)

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador *incendio en generador* se propone atender a las opciones propuestas dentro del suceso iniciador “Incendio en taller mecánico”.

VII.2.1.34. Probabilidad de incendio en transformador de energía eléctrica (SI34)

De mismo modo que en el punto anterior, para estimar la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador *incendio en transformador* se propone adoptar las propuestas de estimación de la probabilidad descritas en el suceso iniciador “Incendio en taller mecánico”.

VII.2.1.35. Probabilidad de incendio en tendido eléctrico (SI35)

En ocasiones, las instalaciones objeto de estudio pueden disponer de un tendido eléctrico de uso exclusivo de la explotación. El suceso iniciador *incendio en tendido* eléctrico se refiere a la ocurrencia de un incendio en la vegetación adyacente al recorrido de dicho tendido eléctrico.

En el presente apartado se recogen, por un lado, las causas del suceso iniciador *incendio en tendido* eléctrico y, por otro, una serie de estimadores de la probabilidad de ocurrencia de dicho suceso iniciador con una propuesta de categorización para cada estimador.

A continuación se describen los estimadores de la probabilidad de ocurrencia propuestos para el suceso iniciador *incendio en tendido eléctrico*.

❖ **Tensión nominal de la línea**

Con este estimador se asume que las líneas de mayor tensión entrañan un mayor riesgo. Como referencia se ha tomado la clasificación establecida en el artículo 3 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión:

- b) Primera categoría: tensión nominal inferior a 220 kV y superior a 66 kV.
- c) Segunda categoría: tensión nominal igual o inferior a 66 kV y superior a 30 kV.
- d) Tercera categoría: tensión nominal igual o inferior a 30 kV y superior a 1 kV.

❖ **Antigüedad de la línea**

Se considera que una línea próxima al agotamiento de su vida útil causa más incidentes que otra de menor antigüedad.

❖ **Planes de inspección y mantenimiento**

Este estimador valora positivamente la realización de un mantenimiento preventivo sobre uno

exclusivamente correctivo. Adicionalmente, se valora de forma positiva que las inspecciones queden adecuadamente registradas.

❖ **Brigada de prevención y mantenimiento**

La disponibilidad de una brigada específica —ya sea propia o subcontratada— encargada de la prevención de accidentes y del mantenimiento de la línea se valora de forma positiva de cara al riesgo.

❖ **Frecuencia de las revisiones**

Se considera que cuanto más frecuentes son las revisiones menor es la probabilidad de ocurrencia de un accidente con consecuencias medioambientales.

❖ **Incidentes históricos asociados a incendio**

La existencia de un registro en el que se recojan los incidentes generados por el tendido eléctrico supone una valiosa fuente de información de partida con el fin de estimar la probabilidad de ocurrencia de nuevos incidentes. En concreto, el modelo asume que la existencia de un gran número de accidentes previos incrementa la posibilidad de que éstos vuelvan a ocurrir en el futuro.

SISTEMA AUXILIAR DE SUMINISTRO ELÉCTRICO : TENDIDO ELÉCTRICO-SI35					
Suceso iniciador: Incendio en tendido eléctrico	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		menor mayor			
Contacto de ramas con el tendido Caída de una torre Caída sobre una torre de un árbol Ramas próximas al tendido eléctrico	Tensión nominal de la línea	1-30Kv	31-66Kv	67-220Kv	>220Kv
	Antigüedad de la línea	La línea tiene una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	La línea tiene una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	La línea tiene una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	La línea tiene una antigüedad media superior a su vida útil
	Planes de inspección y mantenimiento	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante pero no hay registro de todo ello	Se hace un mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante pero no se hacen revisiones periódicas	Sólo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas
	Brigada propia de prevención y mantenimiento	Existe una brigada propia o subcontratada dedicada a la inspección y mantenimiento de la línea			No existe una brigada propia o subcontratada dedicada a la inspección y mantenimiento de la línea
	Frecuencia de las revisiones	Se realiza más de 1 revisión al año	Se realiza 1 revisión al año	Se realiza menos de 1 revisión al año	No se realizan revisiones
	Incidentes históricos asociados a incendios	Menos de 1 incidente al año	Entre 1 y 3 incidentes al año	Entre 3 y 5 incidentes al año	> 5 incidentes al año

Tabla 47. Causas y estimadores de la probabilidad del suceso iniciador *incendio en tendido eléctrico*. Fuente: elaboración propia.

VII.2.2. Estimación de probabilidades de los factores condicionantes

La probabilidad de ocurrencia de un determinado escenario accidental depende de las probabilidades asociadas a los diferentes factores condicionantes que desembocan en el mismo. De tal forma que los escenarios que requieren la existencia de circunstancias que se den con escasa frecuencia, reciban un valor estimado de probabilidad relativamente más bajo que aquéllos cuyos factores desencadenantes ocurren con mayor frecuencia.

En el marco de esta GM, se ofrecen una serie de estimadores en base a los cuales puede asignarse la probabilidad de ocurrencia a cada factor condicionante. Adicionalmente y para cada estimador, se propone una categorización orientativa indicando características y valores que indican una mayor o menor probabilidad de ocurrencia de cada factor condicionante.

Si bien los operadores pueden emplear este listado como una referencia para su análisis, deberán adaptarlo a sus circunstancias concretas con el fin de garantizar el buen ajuste del modelo a la realidad.

En todo caso, nótese que la presente GM no suministra unos árboles de sucesos comunes para el conjunto del sector (debido a su heterogeneidad) por lo que éstos deberán ser elaborados por cada operador concreto atendiendo a sus circunstancias de forma que se identifiquen sus escenarios accidentales y se calcule la probabilidad asociada a los mismos.

VII.2.2.1. Factores condicionantes relativos a la prevención y evitación de los daños

Los factores relativos a la prevención y evitación de los daños son propios de cada instalación, y hacen referencia a la probabilidad de que los sistemas de prevención y evitación funcionen correctamente evitando que se produzcan daños relevantes sobre los recursos naturales.

En el presente estudio se considera tanto la probabilidad de detección de una amenaza de daño como la probabilidad de que esta amenaza sea controlada eficazmente.

Señalar que 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 —a modo de ejemplo, una balsa de emergencia— actúa independientemente de que el suceso iniciador sea o no detectado —continuando con el ejemplo anterior, la balsa de emergencia retendría el volumen fugado independientemente de que el vertido fuera detectado por los operarios—.

A continuación se proponen una serie de estimadores en base a los cuales se puede evaluar la probabilidad de detección, contención y control de los diferentes sucesos iniciadores, tanto para los vinculados a incendios como para los sucesos iniciadores relacionados con el vertido de sustancias tóxicas.

a. Estimadores propuestos para evaluar la probabilidad de detección temprana de un vertido

En la siguiente Tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un vertido sea detectado antes de que pueda producir un daño, paso previo a la posibilidad de que el vertido sea contenido.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de detección temprana	
		menor \longrightarrow	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 instalación	Presencia no continua de personal en la instalación	Presencia continua de personal en la instalación
	Formación del personal	Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones
	Experiencia del personal	Empleados con poca experiencia	Empleados experimentados
	Existencia de un sistema de control de calidad de aguas superficiales	No existe un sistema de control	Existe un sistema de control
	Frecuencia de revisiones y controles	Revisiones y controles no planificados (realizados con baja frecuencia)	Revisiones y controles planificados (realizados con elevada frecuencia)
	Existencia de un plan de emergencia	No existe un plan de emergencia	Existe un plan de emergencia
	Actualización del plan de emergencia	El plan de emergencia no se encuentra actualizado	El plan de emergencia se encuentra actualizado

Tabla 48. Estimadores de la probabilidad de detección temprana de vertidos. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describe la categorización de cada uno de los estimadores propuestos.

❖ **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.

❖ **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.

❖ **Presencia de personal en la instalación**

Se considera 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 nula o discontinua.

❖ **Formación del personal**

La formación del personal incide en la posibilidad de que los empleados sean capaces de actuar de manera adecuada ante un posible incidente medioambiental. Para ello, pueden valorarse de manera positiva los cursos, simulacros, etc. que se organicen con este fin.

❖ **Experiencia del personal**

Conjuntamente con la formación, la experiencia previa con la 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.

❖ **Existencia de un sistema de control de de calidad de aguas superficiales**

La existencia de una red a través de la cual se realice un control y seguimiento de la calidad de las aguas superficiales, 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.

❖ **Frecuencia de revisiones y controles**

La frecuencia con la que se realizan las revisiones de las instalaciones y los equipos, es un indicador válido para estimar la probabilidad de detectar un funcionamiento anómalo de los mismos.

En caso de existir legislación o normas técnicas que obliguen a la realización de controles periódicos debería primarse a aquellas instalaciones que mejoren los mínimos exigidos por la normativa.

❖ **Existencia de un plan de emergencia**

Se considera que la existencia y conocimiento por parte del personal, de un plan emergencia ante accidentes con riesgos medioambientales, incrementa la probabilidad de que un incidente sea detectado de manera temprana, incrementando las posibilidades de evitar los potenciales daños.

❖ **Actualización del plan de emergencia**

El plan de emergencia debe encontrarse actualizado con el fin de asegurar que se adapta a la realidad de la instalación. En caso de encontrarse actualizado en los aspectos que impliquen riesgos para los recursos naturales, esta circunstancia deberá ser tomada en cuenta de manera positiva para evaluar la probabilidad de que el accidente sea detectado.

b. Estimadores propuestos para evaluar la probabilidad de detección temprana de infiltraciones

Los estimadores propuestos para evaluar la probabilidad de que una posible infiltración se detecte de forma temprana, son similares a los referentes a vertidos de sustancias químicas. No obstante, debe tenerse en cuenta que la valoración de estos indicadores debe estar específicamente referida a los daños causados por una hipotética infiltración.

En la siguiente Tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que una infiltración en el subsuelo sea detectada de forma temprana.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de detección temprana	
		menor	mayor
Detección temprana de infiltraciones	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 instalación	Presencia no continua de personal en la instalación	Presencia continua de personal en la instalación
	Formación del personal	Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones
	Experiencia del personal	Empleados con poca experiencia	Empleados experimentados
	Existencia de un sistema de control de calidad de aguas subterráneas	No existe un sistema de control	Existe un sistema de control
	Frecuencia de revisiones y controles	Revisiones y controles no planificados (realizados con baja frecuencia)	Revisiones y controles planificados (realizados con elevada frecuencia)
	Existencia de un plan de emergencia	No existe un plan de emergencia	Existe un plan de emergencia
	Actualización del plan de emergencia	El plan de emergencia no se encuentra actualizado	El plan de emergencia se encuentra actualizado

Tabla 49. Estimadores de la probabilidad de detección temprana de infiltraciones. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describe de cada uno de los estimadores propuestos.

❖ Sistema automático de detección

La existencia de sistemas automáticos de detección disminuye el riesgo de que las filtraciones no sean detectadas, permitiendo actuar contra las mismas de manera temprana.

❖ **Sistemas manuales de detección**

Los sistemas manuales de detección al igual que los automáticos, disminuyen el riesgo de que una infiltración cause efectos relevantes 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.

❖ **Presencia de personal en la instalación**

Se considera que la probabilidad de detección de infiltraciones es superior en las zonas que cuentan con presencia de personal continuada, frente a aquellas zonas en las cuales esta presencia es nula o discontinua.

❖ **Formación del personal**

La formación del personal incide en la posibilidad de que los empleados sean capaces de actuar de manera adecuada ante un posible incidente o accidente medioambiental. Para ello, pueden valorarse de manera positiva los cursos, simulacros, etc. que se organicen con este fin.

❖ **Experiencia del personal**

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.

❖ **Existencia de una red de control de aguas subterráneas**

La existencia de una red a través de la cual se realice un control y seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas, incrementa las posibilidades de que una posible filtración sea detectada de forma temprana, tomando las medidas oportunas para evitar los daños en la medida de lo posible.

❖ **Frecuencia de revisiones y controles**

La frecuencia con la que se realizan las revisiones de las instalaciones y los equipos, es un indicador válido para estimar la probabilidad de detectar un funcionamiento anómalo de los mismos.

En caso de existir legislación o normas técnicas que obliguen a la realización de controles periódicos debería primarse a aquellas instalaciones que mejoren los mínimos exigidos por la normativa.

❖ **Existencia de un plan de emergencia**

Se considera que la existencia y conocimiento por parte del personal, de un plan emergencia ante accidentes medioambientales, incrementa la probabilidad de que un incidente sea detectado de manera temprana, incrementando las posibilidades de evitar los potenciales daños.

❖ **Actualización del plan de emergencia**

El plan de emergencias debe encontrarse actualizado con el fin de asegurar que se adapta a la realidad de la instalación. En caso de encontrarse actualizado en los aspectos que impliquen riesgos

para los recursos naturales, esta circunstancia deberá ser tenida en cuenta de manera positiva para evaluar la probabilidad de que el accidente sea detectado.

c. Estimadores propuestos para evaluar la probabilidad de detección temprana de un incendio

En la siguiente Tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un incendio sea detectado de forma temprana.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de detección temprana	
		menor	mayor
Detección temprana de incendios	Existencia de sistemas automáticos de detección	Inexistencia de sistemas automáticos de detección	Existencia de sistemas automáticos de detección
	Existencia de sistemas manuales de detección	Inexistencia de sistemas manuales de detección	Existencia de sistemas manuales de detección
	Presencia de personal en la instalación	Presencia no continua de personal en la instalación	Presencia continua de personal en la instalación
	Formación del personal	Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones
	Experiencia del personal	Empleados con poca experiencia	Empleados experimentados
	Frecuencia de revisiones y controles	Revisiones y controles no planificados	Revisiones y controles planificados
	Existencia de un plan de emergencia	No existe un plan de emergencia	Existe un plan de emergencia
	Actualización del plan de emergencia	El plan de emergencia no se encuentra actualizado	El plan de emergencia se encuentra actualizado

Tabla 50. Estimadores de la probabilidad de detección temprana de incendios. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describe la categorización de cada uno de los estimadores propuestos.

❖ Sistema automático 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.

❖ 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.

❖ **Presencia de personal en la instalación**

La presencia de personal puede emplearse como un indicador para estimar la probabilidad de que el suceso iniciador sea detectado. De esta forma, a modo ejemplo, podría considerarse que la probabilidad de detección 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 presente los fines de semana o durante la noche.

❖ **Formación 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.

❖ **Experiencia del personal**

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.

❖ **Frecuencia de revisiones y controles**

La frecuencia con la que se realizan las revisiones de las instalaciones y los equipos, es un indicador válido para estimar la probabilidad de detectar un funcionamiento anómalo de los mismos.

En caso de existir legislación o normas técnicas que obliguen a la realización de controles periódicos debería primarse a aquellas instalaciones que mejoren los mínimos establecidos en dicha normativa.

❖ **Existencia de un plan de emergencia**

Se considera que la existencia y conocimiento por parte del personal, de un plan emergencias ante accidentes con riesgos medioambientales, incrementa la probabilidad de que un incidente sea detectado de manera temprana, incrementando las posibilidades de evitar los daños potenciales.

❖ **Actualización del plan de emergencia**

El plan de emergencias debe encontrarse actualizado con el fin de asegurar que se adapta a la realidad de la instalación. En caso de encontrarse actualizado en los aspectos que impliquen riesgos para los recursos naturales, esta circunstancia deberá ser tenida en cuenta positivamente para evaluar la probabilidad de que el accidente sea detectado.

En la siguiente tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un incendio sea detectado de forma temprana.

d. Estimadores propuestos para evaluar la probabilidad de contención de un vertido

A continuación se describe cada uno de los estimadores propuestos.

❖ **Sistemas automáticos de 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.

❖ **Sistemas manuales de 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.

❖ **Estanqueidad de las medidas de contención**

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.

❖ **Mantenimiento de los sistemas de contención de vertidos**

Los sistemas de contención únicamente pueden ser considerados favorablemente cuando sean objeto de un mantenimiento periódico, mediante el cual se asegure que funcionarían de manera eficaz en caso necesario. La realización de simulacros y de pruebas de fiabilidad también puede ser valorada de manera positiva por el analista.

❖ **Existencia de sistema de drenaje de aguas de escorrentía/contacto**

En caso de que la instalación disponga de una red de drenaje específica para las aguas de escorrentía y de contacto, 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.

❖ **Existencia de una red de drenaje con salida al exterior**

La existencia en la instalación de una red de drenaje con salida al exterior, condiciona la posibilidad de que el vertido quede retenido y controlado dentro de los límites de ésta o por el contrario que el vertido alcance el medio natural. Una red de drenaje con vertido al exterior se considera negativa desde el punto de vista de la posible contención de un hipotético vertido.

❖ **Existencia de un plan de emergencia**

Se considera que la existencia y conocimiento por parte del personal, de un plan emergencia ante accidentes con riesgos medioambientales, incrementa la probabilidad de que un vertido sea contenido, incrementando a su vez las posibilidades de evitar los potenciales daños.

❖ **Actualización del plan de emergencia**

El plan de emergencias debe encontrarse actualizado con el fin de asegurar que se adapta a la realidad de la instalación. En caso de encontrarse actualizado en los aspectos que impliquen riesgos para los recursos naturales, esta circunstancia deberá ser tenida en cuenta positivamente para evaluar la probabilidad de que el vertido sea contenido.

❖ **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 presente los fines de semana o durante la noche.

❖ **Formación 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.

❖ **Experiencia del personal**

Conjuntamente con la formación, la experiencia laboral del personal en la operación objeto de análisis puede emplearse como un indicador con el fin de conocer si en caso de producirse un vertido el personal actuaría de forma que se eviten los daños en la medida de lo posible.

❖ **Existencia de kits de emergencia**

La disponibilidad en la instalación de kits de emergencia ante vertidos aumenta la probabilidad de contención de vertidos de escasas dimensiones. Estos kits pueden componerse de barreras de contención, alfombrillas absorbentes, neutralizadores, etc.

❖ **Requerimiento de asistencia externa para la contención**

En el estudio puede evaluarse la probabilidad de que la contención del vertido de sustancias tóxicas no sea posible con los medios disponibles en el interior de la instalación, requiriéndose equipos externos. Este requerimiento disminuiría la probabilidad de que el vertido fuera contenido.

❖ **Distancia de los medios externos de contención más cercanos**

En el caso de que se determine la necesidad de acudir a medios externos para la contención del vertido, resultaría interesante introducir en el análisis de riesgos parámetros que indiquen la facilidad

o dificultad con la que estos medios pueden llegar a la instalación o a la zona en la que se produciría el daño.

❖ **Vías de comunicación**

La existencia de vías adecuadas comunicando la instalación con los equipos externos que prestarían su asistencia en caso de accidente medioambiental es un aspecto de notable importancia, ya que a través del mismo podría evaluarse la posibilidad de que los equipos acudan en un corto periodo de tiempo, logrando una evitación eficaz de los daños.

En la siguiente Tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un vertido se contenido de forma efectiva.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de contención	
		menor	mayor
Contención de vertidos	Sistemas automáticos de contención	Inexistencia de sistemas automáticos de contención	Existencia de sistemas automáticos de contención
	Sistemas manuales de contención	Inexistencia de sistemas manuales de contención	Existencia de sistemas manuales de contención
	Estanqueidad de las medidas de contención	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 sistema de drenaje de aguas de escorrentía/contacto	No existe un sistema que recoge el agua de escorrentía	Existe un sistema que recoge el agua de escorrentía
	Existencia de una red de drenaje con salida al exterior	No existe una red de una red de drenaje con salida al exterior	Existe una red de drenaje con salida al exterior
	Existencia de un plan de emergencia	No existe un plan de emergencia	Existe un plan de emergencia
	Actualización del plan de emergencia	El plan de emergencia no se encuentra actualizado	El plan de emergencia se encuentra actualizado
	Presencia de personal	Presencia no continua de personal en la instalación	Presencia continua de personal en la instalación
	Formación del personal	Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones
	Experiencia del personal	Empleados con poca experiencia	Empleados experimentados
	Existencia de kits de emergencia	Inexistencia de kits de emergencia para la contención de vertidos	Existencia de kits de emergencia para la contención de vertidos
	Requerimiento de asistencia externa para la contención	Se requeriría la participación de medios externos para contener el vertido	No se requeriría la participación de medios externos para contener el vertido
	Distancia de los medios externos de contención más cercanos	Medios externos de contención situados a larga distancia	Medios externos de contención situados a corta distancia
Vías de comunicación	Vías de comunicación de baja capacidad o en mal estado	Vías de comunicación de alta capacidad en buen estado	

Tabla 51. Estimadores de la probabilidad de contención de vertidos. Fuente: elaboración propia.

e. Estimadores propuestos para evaluar la probabilidad de contención de infiltraciones

En la siguiente Tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que una infiltración sea eficazmente contenida. Dichos estimadores se describen a continuación.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de contención	
		menor	mayor
Contención de infiltraciones	Sistemas automáticos de contención	Inexistencia de sistemas automáticos de contención	Existencia de sistemas automáticos de contención
	Sistemas manuales de contención	Inexistencia de sistemas manuales de contención	Existencia de sistemas manuales de contención
	Estanqueidad de las medidas de contención	Medidas de contención permeables a las sustancias infiltradas	Medidas de contención completamente estancas a las sustancias infiltradas
	Existencia de un sistema de drenaje de aguas de infiltración	No existe un sistema de drenaje de aguas de infiltración	Existe un sistema de drenaje de aguas de infiltración
	Mantenimiento de los sistemas de contención de infiltraciones	Mantenimiento deficiente	Mantenimiento adecuado
	Existencia de un plan de emergencia	No existe un plan de emergencia	Existe un plan de emergencia
	Actualización del plan de emergencia	El plan de emergencia no se encuentra actualizado	El plan de emergencia se encuentra actualizado
	Presencia de personal	Presencia no continua de personal en la instalación	Presencia continua de personal en la instalación
	Formación del personal	Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones
	Experiencia del personal	Empleados con poca experiencia	Empleados experimentados
	Requerimiento de asistencia externa para la contención	Se requeriría la participación de medios externos para contener la infiltración	No se requeriría la participación de medios externos para contener la infiltración
	Distancia de los medios externos de control más cercanos	Medios externos necesarios para el control situados a larga distancia	Medios externos necesarios para el control situados a corta distancia
	Vías de comunicación	Vías de comunicación de baja capacidad o en mal estado	Vías de comunicación de alta capacidad en buen estado
Presencia de grietas en el pavimento	Pavimento de escaso espesor y con grietas visibles	Pavimento de elevado espesor y sin grietas visibles	

Tabla 52. Estimadores de la probabilidad de contención de infiltraciones. Fuente: elaboración propia.

❖ **Sistemas automáticos de contención**

Con el fin de retener las infiltraciones de sustancias tóxicas, pueden existir sistemas automáticos como sería el caso geotextiles y otros sistemas de retención. En el caso de los depósitos de sustancias químicas puede valorarse de forma positiva la existencia de cubetos adicionales a los obligados por la normativa.

❖ **Sistemas manuales de contención**

Los sistemas manuales de contención hacen referencia a aquéllos que deben ser activados por el personal para que entren en funcionamiento —válvulas, trampillas, etc.—. Por regla general se consideran menos efectivos que los automáticos, ya que requieren la presencia y el adiestramiento de los encargados de accionarlos.

❖ **Estanqueidad de las medidas de contención**

Para que las medidas de contención de las aguas infiltradas 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 se infiltre disminuyendo la eficacia del sistema.

❖ **Existencia de sistema de drenaje de aguas de infiltración**

En caso de que la instalación disponga de una red de drenaje específica para las aguas de infiltración, ésta podrá valorarse de forma positiva siempre que la misma disponga de los medios necesarios para evitar un vertido de las aguas 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 las infiltraciones sean contenidas en esta red sin causar daños medioambientales.

❖ **Mantenimiento de los sistemas de contención de infiltraciones**

Los sistemas de contención únicamente pueden ser considerados favorablemente cuando sean objeto de un mantenimiento periódico, mediante el cual se asegure que funcionarían de manera eficaz. La realización de simulacros y de pruebas de fiabilidad también puede ser valorada de manera positiva por el analista.

❖ **Existencia de un plan de emergencia**

Se considera que la existencia y conocimiento por parte del personal de un plan de emergencia ante accidentes medioambientales, incrementa la probabilidad de que un incidente sea controlado de manera temprana, incrementando a su vez las posibilidades de evitar los daños potenciales.

❖ **Actualización del plan de emergencia**

El plan de emergencias debe encontrarse actualizado con el fin de asegurar que se adapta a la realidad de la instalación. En caso de encontrarse actualizado en los aspectos que impliquen riesgos

para los recursos naturales, esta circunstancia deberá ser tenida en cuenta positivamente para evaluar la probabilidad de que las infiltraciones sean detectadas.

❖ **Presencia de personal en la instalación**

La presencia de personal puede emplearse como un indicador para estimar la probabilidad de que la infiltración sea contenida de manera eficiente una vez que ésta se haya detectado. 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 presente los fines de semana o durante la noche.

❖ **Formación 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.

❖ **Experiencia del personal**

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.

❖ **Requerimiento de asistencia externa para la contención**

En el estudio puede evaluarse la probabilidad de que la contención de las infiltraciones no sea posible con los medios disponibles en el interior de la instalación, requiriéndose equipos externos. Dicho requerimiento disminuiría la probabilidad de que las infiltraciones fueran contenidas.

❖ **Distancia de los medios externos de control más cercanos**

En el caso de que se determine la necesidad de acudir a medios externos para la contención de la infiltración, resultaría interesante introducir en el análisis de riesgos parámetros que indiquen la facilidad o dificultad con la que estos medios pueden llegar a la instalación o a la zona en la habría que actuar para evitar el daño, como es el caso de la distancia a los medios.

❖ **Vías de comunicación**

La existencia de vías adecuadas comunicando la instalación con los equipos externos que prestarían su asistencia en caso de accidente medioambiental es un aspecto de notable importancia, ya que a través del mismo podría evaluarse la posibilidad de que los equipos acudan en un corto plazo de tiempo.

❖ **Presencia de grietas en el pavimento**

La presencia de grietas en el pavimento favorece la infiltración de sustancias en el suelo y por lo tanto disminuye la probabilidad de que ésta sea contenida.

f. Estimadores propuestos para evaluar la probabilidad de control de un incendio

En el presente apartado se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un incendio sea eficazmente controlado. Dichos estimadores se describen a continuación. Cabe destacar que es común que los incendios lleven asociado un vertido de aguas de extinción, cuya probabilidad de detección y contención se puede estimar utilizando los estimadores propuestos para la probabilidad de detección y contención de vertidos expuestos anteriormente.

❖ **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.

❖ **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.

❖ **Mantenimiento de los sistemas de extinción**

Se valora positivamente la realización de un mantenimiento periódico y adecuado de los sistemas de extinción, 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.

❖ **Existencia de un plan de emergencia**

Se considera que la existencia y conocimiento por parte del personal, de un plan emergencia ante accidentes con riesgos medioambientales, incrementa la probabilidad de que un incendio sea controlado de manera temprana, incrementando las posibilidades de evitar los daños potenciales.

❖ **Actualización del plan de emergencia**

El plan de emergencia debe encontrarse actualizado con el fin de asegurar que se adapta a la realidad de la instalación. En caso de encontrarse actualizado en los aspectos que impliquen riesgos para los recursos naturales, esta circunstancia debería ser tenida en cuenta de manera positiva para evaluar la probabilidad de que el incendio sea controlado.

❖ **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 presente los fines de semana o durante la noche.

❖ **Formación 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.

❖ **Experiencia del personal**

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.

❖ **Carga de fuego ponderada Q_s**

Existen varias Notas Técnicas de Prevención (NTP) —publicadas por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ministerio de Trabajo e Inmigración—, que pueden emplearse como referencia para evaluar los riesgos potenciales de un incendio en el interior de la instalación. Entre las cuales se pueden destacar la NTP-831 “Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RD 2267/2004) (I)” y la NTP-832 “Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RD 2267/2004) (II)”.

En estas NTP se ofrecen diferentes coeficientes e índices que permiten al analista estimar el riesgo y las consecuencias de un posible incendio.

A modo de ejemplo, el coeficiente de carga de fuego ponderada (Q_s) descrita en la NTP-831, considera el peso de cada una de las materias combustibles existentes en la instalación, el poder calorífico de las materias, la peligrosidad de los productos, la superficie construida, y el riesgo de activación en función de las actividades que se desarrollen.

❖ **Resistencia al fuego de las instalaciones**

La resistencia al fuego de las instalaciones puede ser empleada como un indicador de la probabilidad que tiene un posible incendio de propagarse fuera del recinto de la instalación, pudiendo afectar a las especies silvestres y a los hábitats.

En la NTP 599: Evaluación del riesgo de incendio: criterios, se ofrecen criterios para la estimación de la resistencia al incendio. Asimismo puede ser de utilidad acudir a la “NTP-832 Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RD 2267/2004) (II)”.

❖ **Velocidad y dirección del viento**

La velocidad del viento afecta a la probabilidad de extinción de un posible incendio. A igualdad del resto de variables, una mayor fuerza del viento implica una mayor dificultad para controlarlo.

La influencia del viento en la propagación es muy intensa porque activa la combustión al renovar más frecuentemente el aire, adelanta la ignición al aproximar las llamas a la vegetación aún no quemada y

lanza chispas más allá de los bordes del incendio.

La dirección hacia la que sería empujado el incendio por la acción del viento, puede ser un indicador para definir los recursos naturales que se verían afectados.

❖ **Temperatura del aire**

A una mayor temperatura ambiente puede considerarse que el control del incendio será más complicado. Usualmente las épocas del año en las que se dan altas temperaturas coinciden con los meses más secos, por lo que el riesgo se incrementa debido a la baja humedad de los combustibles presentes en el medio natural, lo que disminuiría la probabilidad de que el incendio sea controlado.

❖ **Humedad**

La humedad del combustible existente en las inmediaciones de la instalación —herbáceas, arbustos, restos de cortas de madera, etc.— es un parámetro que permite incrementar o disminuir la probabilidad de control de incendio. De tal forma que a menor humedad, más difícil sería su control.

❖ **Pendiente**

Las pendientes abruptas inciden sobre la seguridad de los medios de extinción de incendios, por las dificultades de movilidad, la rápida propagación, el trazado de vías de escape y la caída de material rodante. Por lo tanto, al igual que las restantes variables, puede establecerse que un incendio ocasionado en zonas de mayor pendiente será más difícil de controlar que uno ocasionado en zonas de baja pendiente.

❖ **Existencia de equipos contra incendios propios**

En caso de que la instalación cuente con un equipo contra incendios propio, podría incrementarse la probabilidad de que un posible incendio sea controlado de forma rápida y efectiva. De esta forma se valoraría positivamente el hecho de que la instalación no dependa —o dependa en menor medida— de la llegada de equipos externos.

❖ **Requerimiento de asistencia externa**

En el estudio puede evaluarse la probabilidad de que el control del incendio no sea posible con los medios disponibles en el interior de la instalación, requiriéndose equipos externos.

❖ **Distancia al parque de bomberos más cercano**

En el caso de que se determine la necesidad de acudir a medios externos para controlar el incendio, resultaría interesante introducir en el análisis parámetros que indiquen la facilidad o dificultad con la que estos medios pueden llegar a la zona en la que se causaría el daño.

❖ **Distancia a otros medios de control**

En el mismo sentido que el indicador “distancia al parque de bomberos más cercano”, puede ser interesante incorporar en el estudio otros medios que se consideren necesarios para el control efectivo del incendio: brigadas contra incendios, medios aéreos, etc.

❖ **Vías de comunicación**

La existencia de vías adecuadas que comuniquen la instalación con los equipos externos que prestarían su asistencia en caso de accidente medioambiental, es un aspecto de notable importancia, ya que a través del mismo podría evaluarse la posibilidad de que los equipos lleguen a la instalación en un corto periodo de tiempo, pudiendo controlar el incidente antes de causar efectos relevantes sobre los recursos naturales.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de control de incendios	
		menor →	mayor
Control 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
	Mantenimiento de los sistemas de extinción de incendios	Los sistemas de extinción tienen un mantenimiento deficiente	Los sistemas de extinción tienen un mantenimiento adecuado
	Existencia de un plan de emergencia	No existe un plan de actuación frente a emergencias medioambientales	Existe un plan de actuación frente a emergencias medioambientales
	Actualización del plan de emergencia	El plan de emergencia no se encuentra actualizado	El plan de emergencia se encuentra actualizado estando adecuado a la realidad actual de la instalación
	Presencia de personal	Presencia no continua de personal en la instalación	Presencia continua de personal en la instalación
	Formación del personal	Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones
	Experiencia del personal	Empleados con poca experiencia	Empleados experimentados
	Carga de fuego ponderada Qs	Baja carga de fuego ponderada	Alta carga de fuego ponderada
	Resistencia al fuego de las instalaciones	Instalaciones poco resistentes al fuego	Instalaciones muy resistentes al fuego
	Velocidad y dirección del viento	Fuerte velocidad del viento en dirección a zonas con alta carga de combustibles	Baja velocidad del viento
	Temperatura del aire	Elevada temperatura ambiente	Baja temperatura ambiente
	Humedad	Elevada humedad ambiental	Baja humedad ambiental
	Pendiente	Elevada pendiente	Baja pendiente
	Existencia de equipos contra incendios propio	La instalación no dispone de equipos contra incendio propios	La instalación dispone de equipos contra incendio propios
	Requerimiento de asistencia externa	Se requeriría la participación de medios externos para controlar el incendio	No se requeriría la participación de medios externos para controlar el incendio
	Distancia al parque de bomberos más cercano	Parque de bomberos situado a larga distancia	Parque de bomberos situado a corta distancia
	Distancia a otros medios externos de control	Otros medios externos necesarios para el control situados a larga distancia	Otros medios externos necesarios para el control situados a corta distancia
Vías de comunicación	Vías de comunicación entre la instalación y los medios de extinción de baja capacidad o en mal estado	Vías de comunicación entre la instalación y los medios de extinción de alta capacidad en buen estado	

Tabla 53. Estimadores de la probabilidad de control de incendios. Fuente: elaboración propia.

VII.2.2.2. Factores condicionantes relativos al entorno de la instalación

a. Posibilidad de infiltración en el suelo

La infiltración de agente contaminante en el suelo es un factor relevante a la hora de identificar los daños potenciales causados por vertidos de sustancias tóxicas. De tal manera que en los suelos más permeables los líquidos derramados tenderán principalmente a la infiltración —incrementándose el riesgo de afección al agua subterránea —mientras que en los suelos poco permeables primará la escorrentía superficial— incrementándose el riesgo de afección a las masas de agua superficiales—. Por lo tanto, dado que se trata de un aspecto que condiciona de manera relevante la posterior evolución del suceso iniciador —y por lo tanto, la identificación de los recursos naturales potencialmente afectados—, se recomienda considerar la posibilidad de infiltración en el suelo como un factor diferenciado.

❖ **Superficie pavimentada**

La existencia de un pavimento en buen estado y con un espesor suficiente en la hipotética superficie de suelo afectada por un vertido, permitiría asumir la impermeabilidad del mismo, representando una barrera de protección para el suelo. No obstante, debe considerarse la relación existente entre la superficie que se encuentra pavimentada y la superficie total que podría recibir un determinado agente causante del daño, con el fin de valorar la inclusión del presente indicador en del análisis.

❖ **Presencia de fisuras y grietas en el terreno**

La existencia de grietas y fisuras visibles en pavimento o en el terreno natural puede emplearse como indicador para determinar la probabilidad de que el vertido se infiltre hacia capas subsuperficiales.

❖ **Permeabilidad del suelo**

La permeabilidad del terreno es un parámetro en base al cual se podría estimar la infiltración del vertido en el suelo, obteniéndose por lo tanto un estimador de la probabilidad de infiltración en el suelo.

❖ **Grado de compactación**

En caso de producirse un vertido sobre un terreno que se encuentra previamente compactado el derrame tenderá a desplazarse en superficie, primando este efecto sobre la infiltración.

❖ **Litología**

Atendiendo a la litología se puede establecer que los suelos formados por arenas tienen un mayor grado de permeabilidad que los formados por arcillas, existiendo diferentes categorías intermedias.

❖ **Índice de poros**

La porosidad del suelo puede servir como indicador de la probabilidad de infiltración en combinación con otros parámetros como permeabilidad y litología.

En la siguiente tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un hipotético vertido infiltre en el suelo debido a la permeabilidad del terreno.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de infiltración en el suelo	
		menor \longrightarrow	mayor
Posibilidad de infiltración en el suelo	Superficie pavimentada	Superficie pavimentada	Superficie sin pavimentar
	Presencia de fisuras y grietas	Superficie sin grietas y fisuras	Superficie con grietas y fisuras
	Permeabilidad del suelo	Suelo impermeable	Suelo muy permeable
	Grado de compactación	Terreno compactado	Terreno sin compactar
	Litología (arcillas, limos, arenas, gravas, etc.)	Arcillas	Gravas
	Índice de poros	Suelo con un elevado número de poros de gran tamaño	Suelo con poros de pequeño tamaño

Tabla 54. Estimadores de la probabilidad de infiltración en el suelo. Fuente: elaboración propia.

b. Afección al suelo

Con el fin de evaluar la posibilidad de que el agente causante del daño llegue finalmente a afectar de manera relevante al recurso natural suelo, pueden considerarse los siguientes estimadores.

❖ Permeabilidad del suelo

Como se ha indicado anteriormente la permeabilidad del suelo es un parámetro en base al cual se podría estimar la infiltración del vertido en el suelo, por lo tanto, se estima que si el suelo es muy permeable la probabilidad de que el suelo quede afectado será mayor que si el suelo es poco permeable.

❖ Composición química del suelo, capacidad de neutralización

El suelo puede actuar como una barrera natural a la propagación del agente contaminante, y reducir los efectos que éste puede ocasionar. A modo de ejemplo, los metales pesados tienden a precipitar a pH neutro o básico, por esta razón se considera como un factor favorable en este caso que el suelo presente valores de pH relativamente elevados.

❖ Tasa de infiltración de agua de lluvia (lluvia útil)

Elevadas tasas de infiltración implican una mayor probabilidad de que las sustancias tóxicas se infiltren en el suelo afectando de manera relevante al suelo. En concreto, puede emplearse como un indicador válido para el análisis de los efectos causados por las aguas tóxicas sobre el suelo y las aguas subterráneas.

❖ Estado previo del suelo

La normativa exige que en caso de producirse un daño los recursos naturales sean devueltos a su estado original o estado básico. Por este motivo, sería deseable conocer cuál es el estado original de

los recursos y evaluar cómo podría verse alterado bajo las hipótesis de accidente que se contemplen.

❖ **Movilidad y afinidad de la sustancia vertida/infiltrada**

La movilidad (solubilidad, viscosidad, etc.) de los contaminantes en el suelo provoca que el daño se extienda, pudiendo llegar a afectar mayores extensiones. Por otra parte, la consideración de la afinidad del agente causante del daño, mediante los coeficientes de partición o de reparto, permite evaluar cómo se repartiría la sustancia vertida entre los diferentes vectores y receptores de la contaminación.

En la siguiente tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un daño medioambiental afecte de manera relevante al suelo.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de afección al suelo	
		menor → mayor	
Afección al suelo	Permeabilidad del suelo	Suelo impermeable	Suelo muy permeable
	Composición química, capacidad de neutralización	Alto poder de neutralización	Reducido poder de neutralización
	Tasa de infiltración	Baja tasa de infiltración	Elevada tasa de infiltración
	Estado previo del suelo	Suelo en mal estado	Suelo en buen estado
	Movilidad y afinidad de la sustancia vertida/infiltrada	Sustancia de baja movilidad. Sustancia de baja afinidad	Sustancia con elevada movilidad. Sustancia con elevada afinidad

Tabla 55. Estimadores de la probabilidad de afección al suelo. Fuente: elaboración propia.

c. Afección al agua subterránea

Con el objetivo de evaluar la probabilidad de que el agente causante del daño afecte al agua subterránea, pueden considerarse los siguientes estimadores.

❖ **Presencia de un acuífero**

La existencia de una masa de agua subterránea en la posible zona de influencia del foco emisor de la contaminación es determinante para evaluar la probabilidad de que ésta pueda verse afectada bajo las hipótesis de cada escenario accidental.

❖ **Permeabilidad del suelo**

Como se ha indicado anteriormente la permeabilidad del terreno es un parámetro en base al cual se podría estimar la infiltración del vertido en el suelo, obteniéndose un estimador de la probabilidad de que el agua subterránea se vea afectada.

❖ **Nivel piezométrico**

Los niveles piezométricos someros implican una probabilidad relativamente superior de que un hipotético vertido o infiltración contacte con el agua subterránea.

❖ **Movilidad y afinidad de la sustancia vertida/infiltrada**

Al igual que en el caso de la afección al suelo la movilidad (solubilidad, viscosidad, etc.) de los contaminantes en el suelo y el agua subterránea provoca que el daño se extienda, pudiendo llegar a afectar al agua subterránea. Igualmente, la consideración de la afinidad del agente causante del daño, mediante los coeficientes de partición o de reparto, permite evaluar cómo se repartiría la sustancia vertida entre los diferentes vectores y receptores de la contaminación.

❖ **Hidrodinámica de la masa de agua**

El conocimiento del funcionamiento del acuífero (mecanismos de recarga y descarga, dirección de flujo subterráneo, etc.) permite estudiar si un vertido se produce en una zona de recarga del acuífero, y la evolución que tendrá éste debido a las direcciones del flujo subterráneo, tendiendo a difundirse o a permanecer localizado. Estos parámetros podrán ser utilizados como estimadores de la probabilidad de afección al agua subterránea.

❖ **Perfil litológico y geometría del acuífero**

La presencia de horizontes impermeables entre la superficie y la masa de agua subterránea como una barreras naturales al paso de los contaminantes y la geometría del acuífero podrán ser tenidos en cuenta como estimadores de la probabilidad de afección a este recurso.

❖ **Características hidrogeológicas**

Se considera que una elevada transmisividad, implica una mayor probabilidad de que el vertido afecte a al agua subterránea. Además, otras características hidrogeológicas del acuífero como la capacidad de almacenamiento, el gradiente hidráulico y la difusividad podrán ser tenidas en cuenta para la estimación de la probabilidad de afección al agua superficial.

❖ **Calidad del agua subterránea**

La normativa exige que, en caso de producirse un daño, los recursos naturales sean devueltos a su estado original o estado básico. Por este motivo, sería deseable conocer cuál es el estado original de los recursos y evaluar cómo podría verse alterado bajo las hipótesis de accidente que se contemplen.

En este caso la calidad del agua subterránea se podría medir en términos de pH, conductividad, temperatura, componentes mayoritarios, contaminantes presente, etc.

En la siguiente tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que el agente causante del daño afecte de manera relevante al agua subterránea.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de afección al agua subterránea	
		menor \longrightarrow mayor	
Afección al agua subterránea	Presencia de un acuífero	No existe acuífero	Existe un acuífero en el subsuelo
	Permeabilidad del suelo	Suelo impermeable	Suelo permeable
	Nivel piezométrico	Nivel piezométrico profundo	Nivel piezométrico somero
	Movilidad y afinidad de la sustancia vertida/infiltrada	Sustancia de baja movilidad. Sustancia de baja afinidad	Sustancia con elevada movilidad. Sustancia con elevada afinidad
	Hidrodinámica de la masa de agua	Vertido alejado de un punto de recarga	Vertido próximo a un punto de recarga
	Perfil litológico y geometría del acuífero	Existencia de horizontes impermeables a escasa profundidad	Inexistencia de horizontes impermeables entre la superficie y el acuífero
	Características hidrogeológicas	Suelo con escasa capacidad de almacenamiento y baja difusividad	Suelo con elevada capacidad de almacenamiento y elevada difusividad
	Calidad del agua subterránea	Acuífero en mal estado	Acuífero en buen estado

Tabla 56. Estimadores de la probabilidad de afección al agua subterránea. Fuente: elaboración propia.

d. Afección a una masa de agua superficial

Para evaluar la posibilidad de que el agente causante del daño afecte de forma relevante a una masa de agua superficial se proponen los siguientes estimadores.

❖ **Distancia a la masa de agua**

La distancia desde el foco emisor del agente contaminante a la masa de agua superficial puede emplearse como un indicador de la probabilidad que tiene un determinado vertido de alcanzar la masa de agua.

❖ **Direcciones de flujo**

Las direcciones de flujo sirven como orientación para establecer la dirección hacia la cual se dirigiría un hipotético vertido.

❖ **Pendiente**

La pendiente del terreno por el cual discurriría el vertido es un factor a tener en cuenta a la hora de evaluar la velocidad con la que se desplazaría. Pudiendo establecerse que, en ausencia de barreras físicas, un vertido alcanzará una mayor velocidad en terrenos de mayor pendiente, siendo, por tanto, mayor la probabilidad de afección a una masa de agua superficial.

❖ **Calidad del agua superficial**

La normativa exige que, en caso de producirse un daño, los recursos naturales sean devueltos a su estado original o estado básico. Por este motivo, sería deseable conocer cuál es el estado original de los recursos y evaluar cómo podría verse alterado bajo las hipótesis de accidente que se contemplen.

❖ **Número de meses de sequía**

El estudio del régimen hidrológico de la zona puede aportar información relevante con el fin de evaluar la posibilidad de que el agua superficial se vea afectada de manera significativa, así como estimar la cantidad de este recurso que se vería dañada.

❖ **Época del año**

Conocido el régimen hidrológico, la consideración de las diferentes épocas del año en las cuales podría tener lugar el daño medioambiental permitiría introducir en el modelo estimadores de las probabilidades de ocurrencia.

En la siguiente tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un daño medioambiental afecte de manera relevante al agua superficial.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de afección al agua superficial	
		menor	mayor
Afección al agua superficial	Distancia a la masa de agua	Foco de contaminación alejado de la masa de agua	Foco de contaminación cercano a masa de agua
	Direcciones de flujo	Flujo dirigido a zonas sin masas de agua	Flujo dirigido a zonas con masas de agua
	Pendiente	Baja pendiente	Elevada pendiente en dirección a zonas con masas de agua superficial
	Calidad del agua superficial	Agua superficial de baja calidad	Agua superficial de alta calidad
	Número de meses de sequía	Zona con un elevado número de meses de sequía	Zona con un bajo número de meses de sequía
	Época del año	Daño ocasionado en época seca	Daño ocasionado en época húmeda

Tabla 57. Estimadores de la probabilidad de afección al agua superficial. Fuente: elaboración propia.

e. Afección a las especies silvestres

Con el fin de evaluar la posibilidad de que el agente causante del daño llegue finalmente a afectar de manera relevante a la especies silvestres, pueden considerarse los siguientes estimadores.

❖ **Distancia a espacios naturales protegidos**

La distancia que separa el foco emisor de los espacios naturales protegidos que pueden verse afectados por el daño medioambiental, puede utilizarse como un indicador de la probabilidad de que

estos espacios se vean afectados.

❖ **Presencia de especies**

El catálogo de especies presentes, su nivel de amenaza, categoría de protección, familia, etc. pueden ser datos útiles para realizar diversas hipótesis sobre la relevancia de los daños causados.

❖ **Población**

El conocimiento del número de individuos presentes de cada especie, permite evaluar distintas gradaciones de daño —perdida total o parcial de la población—.

❖ **Fluctuaciones estacionales de las poblaciones**

En la evaluación de daños, siempre que sea posible, deberían tenerse en cuenta las fluctuaciones naturales de las poblaciones. Esto es, el número de individuos no tiene que ser necesariamente constante a lo largo del tiempo, existiendo la posibilidad de introducir esta variabilidad en el modelo.

❖ **Estado previo de las especies**

La normativa exige que, en caso de producirse un daño, los recursos naturales sean devueltos a su estado original o estado básico. Por este motivo, sería deseable conocer cuál es el estado original de los recursos y evaluar cómo podría verse alterado bajo las hipótesis de accidente que se contemplen.

En la siguiente tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un daño medioambiental afecte de manera relevante a las especies silvestres.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de afección relevante a especies silvestres	
		menor →	→ mayor
Afección a las especies silvestres	Distancia a espacios naturales protegidos	Escasa distancia desde el foco emisor a un espacio protegido	Elevada distancia desde el foco emisor a un espacio protegido
	Presencia de especies	No existe presencia de especies protegidas	Existe presencia de especies protegidas
	Población	En la zona existe una baja población alejada del hipotético accidente	En la zona existe una elevada población próxima al hipotético accidente
	Fluctuaciones estacionales de las poblaciones	Daño ocasionado en una época del año no especialmente sensible para la población	Daño ocasionado en una época del año especialmente sensible para la población
	Estado previo	Poblaciones en mal estado	Poblaciones en buen estado

Tabla 58. Indicadores de afección relevante a las especies silvestres. Fuente: elaboración propia.

f. Afección a los hábitats

Con el objetivo de evaluar la posibilidad de que el agente causante del daño llegue a afectar de manera relevante a los hábitats, pueden considerarse los siguientes estimadores.

❖ **Distancia a espacios naturales protegidos**

La distancia que separa el foco emisor de los espacios naturales protegidos que pueden verse afectados por el daño medioambiental, puede emplearse como un indicador de la probabilidad de que estos espacios se vean afectados.

❖ **Superficie cubierta por herbáceas**

La fracción de la superficie ocupada por herbáceas puede ser empleada como un indicador de la afección que se produciría a este tipo de hábitat.

❖ **Superficie cubierta por matorral**

La fracción de la superficie ocupada por matorral puede ser empleada como un indicador de la afección que se produciría a este tipo de hábitat.

❖ **Superficie cubierta por arbolado**

La fracción de la superficie ocupada por arbolado puede ser empleada como un indicador de la afección que se produciría a este tipo de hábitat.

❖ **Densidad de la vegetación**

La densidad de la vegetación hace referencia al número de individuos de cada especie presentes por unidad de superficie, pudiendo ser empleada como un indicador de la cantidad de individuos de cada especie vegetal que podría verse dañada.

❖ **Tipo modelo de combustible**

La tipología de modelos de combustible permite prever el comportamiento de un hipotético incendio de la vegetación.

❖ **Estado previo de los hábitats**

La normativa exige que, en caso de producirse un daño, los recursos naturales sean devueltos a su estado original o estado básico. Por este motivo, sería deseable conocer cuál es el estado original de los recursos y evaluar cómo podría verse alterado bajo las hipótesis de accidente que se contemplen.

En la siguiente tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que un daño medioambiental afecte de manera relevante a los hábitats.

Factor condicionante	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de afección relevante a los hábitat	
		menor \longrightarrow mayor	
Afección a los hábitats	Distancia a espacios naturales protegidos	Escasa distancia desde el foco emisor a un espacio protegido	Elevada distancia desde el foco emisor a un espacio protegido
	Superficie cubierta por herbáceas	Escasa superficie cubierta por herbáceas	Elevada superficie cubierta por herbáceas
	Superficie cubierta por matorral	Escasa superficie cubierta por matorral	Elevada superficie cubierta por matorral
	Superficie cubierta por arbolado	Escasa superficie cubierta por arbolado	Elevada superficie cubierta por arbolado
	Densidad de la vegetación	Vegetación con escasa densidad	Vegetación con elevada densidad
	Tipo modelo de combustible	Modelos menos favorecedores de la propagación del incendio y salto a las copas de los árboles	Modelos favorecedores de la propagación del incendio y salto a las copas de los árboles
	Estado previo	Hábitat en mal estado de conservación	Hábitat en buen estado de conservación

Tabla 59. Estimadores de la probabilidad de afección relevante a los hábitats. Fuente: elaboración propia.

VIII. PAUTAS PARA ESTIMAR LA MAGNITUD DE LOS DAÑOS PREVISTOS EN LOS ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES EMPLEANDO EL IDM Y SELECCIONAR EL ESCENARIO ACCIDENTAL DE REFERENCIA

Las fases cubiertas anteriormente en la GM facilitarían al operador, por un lado, identificar sus correspondientes escenarios accidentales relevantes y, por otro, asignarles una determinada probabilidad de ocurrencia realizando los árboles de sucesos previstos en la norma UNE 150008 y considerando, si así lo considera, los criterios y pautas ofrecidos en la presente GM.

Adicionalmente, conforme con las disposiciones del Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo, dentro del procedimiento para el cálculo de la garantía financiera por responsabilidad medioambiental, los analistas deben estimar las consecuencias medioambientales asociadas a cada escenario accidental a través de un Índice de Daño Medioambiental (IDM). Este índice es de naturaleza semicuantitativa, permitiendo ordenar los escenarios relevantes de cada instalación en función de sus mayores o menores consecuencias medioambientales previstas (a mayor valor del IDM mayores son las consecuencias medioambientales previstas).

El IDM se calcula específicamente para cada escenario aplicando la siguiente ecuación:

$$IDM = \sum_{i=1}^n \left[(Ecf + A \times Ecu \times (B \times \alpha \times Ec) + p \times M_{acc}^q + C \times Ecr) \times (1 + Ecc) \right] + (\beta \times Eca) \quad \text{(Ec. 2)}$$

Donde:

IDM, es el Índice de Daño Medioambiental.

E_{cf} , 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_{A_j}) para cada combinación agente-recurso i . Su fórmula es:

$$A = \prod_{j=1}^l M_{A_j} \quad (\text{Ec. 3})$$

E_{cu} , 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_{B_j}) para cada combinación agente-recurso i . Su fórmula es:

$$B = \prod_{j=1}^m M_{B_j} \quad (\text{Ec. 4})$$

α , 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 igual al valor del modificador que afecta al estimador del coste de revisión y control (M_{C_j}) para cada combinación agente-recurso i . Su fórmula es:

$$C = M_{C_j} \quad (\text{Ec. 5})$$

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.

β , representa la distancia (Dist) desde la zona a reparar a la vía de comunicación más cercana.

Eca, es el estimador del coste de acceso a la zona potencialmente afectada por el daño medioambiental, siendo su valor igual a 6,14.

Como puede apreciarse en la ecuación de cálculo del IDM un aspecto clave de cara al cálculo de este índice es determinar qué combinaciones agente causante del daño-recurso natural afectado resultan relevantes en el sector. En concreto, en el presente sector se han seleccionado como relevantes los grupos agente-recurso sombreados en verde en la siguiente Tabla. En esta tabla se han sombreado en color gris otras combinaciones agente-recurso previstas en la normativa pero que, sin embargo, no se consideran relevantes en el sector objeto de estudio.

Agente causante de daño		Recurso								
		Agua				Lecho continental y marino	Suelo	Ribera del mar y de las rías	Especies	
		Marina	Continental		Vegetales				Animales	
			Superficial	Subterránea						
Químico	COV halogenados	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 5		Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 16	
	COV no halogenados									
	COSV halogenados									
	COSV no halogenados									
	Fueles y CONV									
	Sustancias inorgánicas				Grupo 7					
	Explosivos									
Físico	Extracción/Desaparición					Grupo 3		Grupo 12	Grupo 17	
	Vertido de inertes				Grupo 8					
	Temperatura									
Incendio								Grupo 14	Grupo 19	
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 60. Grupos de combinaciones agente causante del daño-recurso natural afectado representativas del sector. Fuente: Elaboración propia a partir del Reglamento.

Con respecto a la citada tabla merece la pena que, atendiendo al análisis realizado en la GM, se han considerado por defecto relevantes a nivel sectorial los agentes de tipo químico e incendio. Adicionalmente, se ha incorporado la posibilidad de daños por agentes inertes y por vertidos de Comisión técnica de prevención y reparación de daños medioambientales

grandes volúmenes de agua. En el caso de los inertes, se ha asumido tanto el posible daño al suelo como al lecho de las aguas continentales y marinas. Por otra parte, el caso de vertidos de grandes volúmenes de agua se ha asimilado a un posible daño por extracción o desaparición de hábitat y/o de especies animales.

En la actualidad existen diferentes documentos y herramientas que prestan un apoyo efectivo a los operadores a la hora de calcular el IDM de cada escenario. En concreto, desde la presente GM se recomienda la consulta de las siguientes referencias desarrolladas por el Ministerio para la Transición Ecológica y disponibles en su página web:

- 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. En esta Memoria se ofrece una descripción y una justificación detallada del IDM así como una serie de indicaciones útiles para la asignación de valores a cada una de las variables de entrada que requiere la ecuación de cálculo del IDM.
- Módulo de cálculo del IDM. Se trata de una aplicación incluida a su vez dentro de la aplicación informática MORA que facilita el valor del IDM una vez que el operador ha introducido los correspondientes parámetros de entrada
- Guía de usuario del módulo de cálculo del IDM. Es el manual de empleo del módulo de cálculo del IDM. Este manual incluye un caso práctico con objeto de ilustrar el procedimiento que debe seguirse para obtener el valor del IDM.

VIII.1. PAUTAS PARA LA SELECCIÓN DE LA COMBINACIÓN AGENTE CAUSANTE DE DAÑO-RECURSO NATURAL AFECTADO

Como se ha indicado, uno de los pasos iniciales y fundamentales para el correcto cálculo del IDM es identificar la combinación o combinaciones agente-recurso que se producen en el escenario a evaluar. En este sentido merece la pena recordar que el IDM se calcula para cada uno de los escenarios accidentales que se hayan declarado relevantes en el análisis.

Las combinaciones agente-recurso se definen a través de sus dos componentes:

- El agente causante del daño puede establecerse atendiendo a la Tabla 61, la cual ha sido extraída de la Guía de usuario del módulo de cálculo del IDM. A modo de ejemplo, si en el escenario que se está evaluando se asume la fuga de una sustancia química orgánica con un punto de ebullición comprendido entre 100 y 325°C y no presenta elementos halogenados en su formulación ésta sería catalogada como un COSV no halogenado.
- Por otra parte, debe establecerse cuáles serán los recursos naturales que se prevé que resultarían dañados por cada uno de los agentes.

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

Tabla 61. Esquema de asistencia para la selección del agente causante de daño. PE = Punto de ebullición. Fuente: Guía de usuario del módulo de cálculo del IDM

Merece la pena tratar con mayor detalle el caso en el que el agente causante del daño es una mezcla de productos químicos. En esta situación la mezcla puede no corresponderse directamente con uno de los grupos previstos en la normativa (a modo de ejemplo, podría tener componentes inorgánicos y orgánicos) debiendo ser el analista quien determine la forma de considerar el compuesto de cara al cálculo del IDM, siempre de forma justificada. En este sentido a continuación se realizan una serie de propuestas consideradas válidas para la introducción de mezclas en los análisis de riesgos medioambientales:

a) Selección como referencia de una sustancia similar

Bajo este enfoque se procedería a seleccionar el tipo de sustancia de la Tabla 61 que más se asemeje a la mezcla atendiendo a aspectos como: su comportamiento o potencial difusión (viscosidad, solubilidad en agua, etc.), su toxicidad, el coste de reparación que tendrían los posibles daños medioambientales que podría ocasionar, etc.

b) Selección como referencia de la sustancia más tóxica

Aplicando este criterio, el analista asumiría que el conjunto de la mezcla se comportaría, de cara a su manejo en el análisis de riesgos, como la sustancia más tóxica presente en la misma. Se trata por lo tanto de un enfoque conservador ya que, al menos a priori, podría afirmarse que los daños previstos

en el análisis serían superiores a los que ocurrirían en un accidente real.

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

Este criterio implicaría estimar a priori el coste que tendría la reparación de los daños medioambientales que ocasionarían por separado los diferentes componentes de la mezcla y seleccionar como sustancia de referencia aquella que supondría unos mayores costes. Se trata por lo tanto de nuevo de un enfoque conservador.

Con objeto de aplicar este enfoque el analista podrá acudir a la herramienta MORA —disponible en la web del MITECO—y hallar los costes de reparación vinculados a cada sustancia.

- d) Asignación a la mezcla de las características más desfavorables de cada uno de sus componentes.

Una posibilidad para caracterizar la mezcla en su conjunto consiste en asignar a cada una de sus características relevantes para el análisis de riesgos el valor dado por el componente más desfavorable. En este sentido, a modo de ejemplo para definir:

- El punto de ebullición de la mezcla, se seleccionaría el punto de ebullición de la sustancia menos volátil que la compone (asumiendo que las sustancias más volátiles, en general, causarían unos menores daños medioambientales dado que la atmósfera no es un recurso natural cubierto por la LRM).
- El punto de inflamación de la mezcla, se seleccionaría el punto de inflamación de su componente más inflamable.
- La biodegradabilidad de la mezcla, se seleccionaría la biodegradabilidad de su componente menos biodegradable.
- La solubilidad de la mezcla, se seleccionaría la solubilidad de su componente más soluble (asumiendo que las sustancias más solubles podrían producir daños más extensos).
- La toxicidad de la mezcla, se seleccionaría la toxicidad de su componente más tóxica.
- La viscosidad de la mezcla, se seleccionaría la viscosidad de su componente menos viscoso (asumiendo que las sustancias menos viscosas podrían producir daños más extensos).

Esta opción de caracterización de la mezcla arrojaría de nuevos valores conservadores en el análisis de riesgos al asignar a la misma los parámetros más desfavorables de cada uno de sus componentes.

- e) Selección como referencia de la sustancia tóxica que representa un mayor volumen en la mezcla.

Cabe la opción de asumir que la totalidad de la mezcla se comportaría como la sustancia tóxica que represente una mayor importancia relativa en su formulación evaluada a través del porcentaje en peso o en volumen.

- f) Selección únicamente de la fracción tóxica de la mezcla.

Por último, existe la posibilidad de considerar que únicamente la fracción contaminante de la mezcla causaría daños medioambientales. Esta opción, al ser la menos conservadora de las presentadas, deberá justificarse debidamente con base en, a modo de ejemplo, la escasa toxicidad de la sustancia evaluada.

En los apartados siguientes se recogen una serie de indicaciones con objeto de facilitar a los operadores la recopilación de los datos de entrada que requiere el cálculo del IDM.

VIII.1.1. Pautas para la estimación del coeficiente Ecf

El estimador de los costes fijos (Ecf) se encuentra predeterminado en el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre para cada una de las combinaciones agente causante del daño-recurso natural afectado.

VIII.1.2. Pautas para la estimación del coeficiente A

El multiplicador del coste unitario “A” requiere para su cálculo el conocimiento de los siguientes valores modificadores:

- *Modificador «Densidad de la vegetación».* *Densidad de la vegetación.* La densidad de la vegetación puede determinarse con mediciones sobre el terreno o acudiendo a referencias como el Inventario Forestal Nacional y el Mapa Forestal de España.
- *Modificador «ENP».* *Afección a un Espacio Natural Protegido.* La pertenencia o no de la zona dañada a un espacio natural protegido o a un espacio protegido Red Natura 2000 puede consultarse en la correspondiente Comunidad Autónoma o en la página web del MITECO.
- *Modificador «Pedregosidad».* *Pedregosidad del terreno.* El valor de este modificador debe establecerse atendiendo a la observación directa del terreno.
- *Modificador «Pendiente».* *Pendiente media del terreno.* La pendiente media del terreno puede medirse directamente en campo o bien acudir a la cartografía temática sobre la misma existente actualmente en internet. A modo de ejemplo, puede consultarse el Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios (SIGA) disponible en la web del MITECO.

VIII.1.3. Pautas para la estimación del coeficiente Ecu

El estimador del coste unitario (“Ecu”) viene predefinido por la normativa para cada combinación agente-recurso por lo que no resulta necesario acudir a información externa para su cumplimentación.

VIII.1.4. Pautas para la estimación del coeficiente B

El valor del multiplicador de la cantidad de recurso afectado “B” es función de los siguientes modificadores:

- *Modificador «Biodegradabilidad».* *Degradabilidad de la sustancia.* El grado de

biodegradabilidad de las sustancias químicas implicadas en el escenario puede consultarse en su correspondiente ficha de seguridad.

- **Modificador «Densidad de población».** *Densidad de población.* Este modificador hace referencia a la densidad de población de las especies animales pudiendo estimarse acudiendo a fuentes bibliográficas específicas de la zona afectada.
- **Modificador «Densidad de la vegetación».** *Densidad de la vegetación.* Como se ha indicado anteriormente la densidad de la vegetación puede estimarse mediante mediciones en campo o bien acudiendo a fuentes como el Mapa Forestal de España y el Inventario Forestal Nacional.
- **Modificador «Diferencia de temperatura».** *Diferencia de temperatura vertido-receptor.* El parámetro “diferencia de temperatura” se emplea en el caso de vertidos de agua a elevada temperatura, no siendo éste un episodio considerado relevante en el ámbito del sector objeto de estudio.
- **Modificador «Lago o embalse».** *Daño a un lago o embalse.* En caso de preverse un daño a un embalse el operador podrá consultar su capacidad en el Inventario de Presas y Embalses de España elaborado por el MITECO y disponible a través de Internet.
- **Modificador «Peligrosidad».** *Peligrosidad del agente biológico.* Se trata de un parámetro que debe ser evaluado en el caso de liberación de agentes biológicos debiendo ser obviado cuando se simulen los daños causados por otro tipo de agentes.
- **Modificador «Pendiente».** *Pendiente media del terreno.* Según se ha indicado anteriormente la pendiente del terreno puede medirse directamente en campo o bien consultar referencias cartográficas disponibles actualmente a través de internet.
- **Modificadores «Permeabilidad 1» y «Permeabilidad 2».** *Permeabilidad del suelo.* Con objeto de conocer la permeabilidad del suelo puede acudir a estudios específicos de los que disponga el operador, a la información publicada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) o consultar el visor cartográfico disponible en la aplicación informática MORA.
- **Modificador «Precipitación».** *Precipitación media anual.* Este dato puede ser consultado en diferentes fuentes como la Agencia Estatal de Meteorología, el Atlas Nacional de España elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) o el Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios (SIGA) del MITECO.
- **Modificador «Río».** *Daño a un río.* Este parámetro requiere conocer el caudal del río al que, en su caso, iría dirigido el vertido accidental. El dato puede tomarse de la red de estaciones de aforo del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) o de los diferentes organismos de cuenca.
- **Modificador «Solubilidad».** *Solubilidad de la sustancia.* El grado en que una determinada sustancia es soluble en agua puede consultarse en su correspondiente ficha de seguridad.

- *Modificador «Temperatura».* *Temperatura media anual.* La temperatura media anual de una determinada zona puede consultarse en la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), el Atlas Nacional de España o el Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios (SIGA) del MITECO.
- *Modificador «Tipo de fuga».* *Forma en la que se produce el vertido.* En el IDM se distinguen tres tipos posibles de fuga: creciente —se trata de vertidos cuyo caudal aumenta con el tiempo—, fuga continua —en las que el caudal fugado se mantiene constante— o fuga instantánea —si el tiempo que tarda en producirse el vertido se considera despreciable—. El analista, dentro de su análisis de riesgos, deberá asumir el tipo de fuga que se produciría indicándolo en dicho documento.
- *Modificador «Toxicidad».* *Toxicidad de la sustancia.* El grado en que una sustancia resulta tóxica para los recursos naturales puede consultarse en su correspondiente ficha de seguridad.
- *Modificador «Viento».* *Velocidad media del viento.* La velocidad media del viento puede consultarse en la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), el Atlas Nacional de España o en la cartografía facilitada por el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER).
- *Modificador «Viscosidad».* *Viscosidad de la sustancia.* El grado de viscosidad de la sustancia puede consultarse en su correspondiente ficha de seguridad.
- *Modificador «Volatilidad».* *Volatilidad de la sustancia.* La metodología del IDM vincula la volatilidad de la sustancia a su punto de ebullición por lo que, una vez conocido el punto de ebullición, puede catalogarse la sustancia en su correspondiente grupo de volatilidad. En todo caso, tanto el punto de ebullición como la volatilidad de la sustancia son datos que usualmente recogen las fichas de seguridad.

Merece la pena recordar que, en el caso de mezclas o preparados que combinen varias sustancias de diferentes propiedades, el analista podrá adoptar algunos de los criterios previamente enumerados en la GM con objeto de calcular el IDM. Esto es, entre otras opciones, podrá seleccionar una sustancia similar, seleccionar como referencia la sustancia más tóxica, seleccionar como referencia la sustancia que podría causar unos daños medioambientales cuyo coste de reparación fuera más elevado o seleccionar como referencia la sustancia tóxica que representa un mayor volumen en la mezcla.

VIII.1.5. Pautas para la estimación del coeficiente α

La cantidad de agente causante del daño asociada a cada escenario accidental se introduce en la ecuación del IDM a través del coeficiente " α ". El significado concreto de este coeficiente es función de la combinación agente-recurso que se esté evaluando, pudiendo corresponderse con las siguientes magnitudes:

- La masa vertida a los recursos naturales (Mvert)
- El volumen vertido a los recursos naturales (Vvert)

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

VIII.1.6. Pautas para la estimación del coeficiente Ec

Este coeficiente aparece prefijado por la normativa de forma que a cada combinación agente-recurso se le asigna un determinado valor de “Ec” que relaciona la cantidad de agente causante del daño liberada y la cantidad de recurso natural potencialmente afectado.

VIII.1.7. Pautas para la estimación del coeficiente p

Los valores de “p” vienen determinados por la normativa para cada combinación agente-recurso si bien, únicamente toman un valor diferente de cero cuando se evalúan daños al lecho de las aguas continentales o marinas.

VIII.1.8. Pautas para la estimación del coeficiente Macc

El coeficiente “Macc” únicamente se emplea cuando se prevé un daño al lecho de las aguas continentales o marinas y se corresponde con la cantidad de agente causante del daño que podría depositarse en el lecho, medida en toneladas.

VIII.1.9. Pautas para la estimación del coeficiente q

Los valores de “q” se encuentran fijados en la normativa siendo igual a 1 para todas las combinaciones agente-recurso salvo en los daños al lecho de las aguas marinas y continentales donde toma unos valores específicos.

VIII.1.10. Pautas para la estimación del coeficiente C

El coeficiente “C” es el multiplicador del estimador de los costes de revisión y control y su valor depende de la duración estimada de los daños desde que éstos se producen hasta que son reparados.

En el caso de daños a las especies (animales o vegetales) el valor de “C” aparece fijado en la normativa en función del recurso natural dañado: mamíferos, peces, arbolado, matorral, etc. Mientras, para el resto de recursos naturales, el operador deberá estimar la duración del daño.

Con objeto de conocer la duración del daño el analista podrá emplear el Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA) disponible en la web del MITECO. Este modelo solicita una serie de parámetros de entrada con el fin de proponer una técnica de reparación determinada que lleva asociada su duración expresada en meses o años. Como posible alternativa a la utilización de MORA puede recurrirse a fuentes bibliográficas de técnicas y proyectos de reparación como la base de datos de la *Federal Remediation Technologies Roundtable* (FRTR).

VIII.1.11. Pautas para la estimación del coeficiente Ecr

La normativa establece el valor del estimador de los costes de revisión y control (“Ecr”) para cada combinación agente causante del daño-recurso natural afectado.

VIII.1.12. Pautas para la estimación del coeficiente Ecc

Los costes de consultoría del proyecto de reparación se introducen en la ecuación del IDM a través de un porcentaje (“Ecc”) preestablecido en la normativa para cada combinación agente-recurso.

VIII.1.13. Pautas para la estimación del coeficiente β

El coeficiente “ β ” se corresponde con la distancia existente entre el lugar que resultaría dañado y la vía de comunicación más cercana. Esta distancia puede medirse o bien sobre el terreno o bien utilizando el visor cartográfico incluido en la aplicación informática MORA.

VIII.1.14. Pautas para la estimación del coeficiente Eca

El último coeficiente que interviene en la ecuación de cálculo del IDM es “Eca” que adopta un valor constante de 6,14 para todas las combinaciones agente-recurso y se corresponde con el estimador del coste que implicaría acceder a la zona dañada para su reparación.

VIII.1.15. Pautas para la estimación de varias combinaciones agente-recurso

En este momento merece la pena recordar que el IDM se debe calcular para cada escenario accidental. Esto es, cada escenario debe figurar con un solo valor de IDM. Sin embargo, un mismo escenario puede tener varias combinaciones agente-recurso (a modo de ejemplo, un escenario puede consistir en un incendio de la vegetación que implique adicionalmente el derrame de las aguas de extinción a una masa de agua próxima a la instalación).

En estos casos el IDM del escenario considerará las características de cada una de las combinaciones agente-recurso según establece la propia ecuación de cálculo del IDM.

VIII.2. SELECCIÓN DEL ESCENARIO DE REFERENCIA PARA EL CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA

El Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, modificado por el Real Decreto 183/2015 de 13 de marzo, en su artículo 37, indica que los siguientes operadores de las actividades enumeradas en el Anexo III de la LRM deberán disponer de una garantía financiera por responsabilidad medioambiental:

1. 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 (SEVESO) (actualmente Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas).

2. 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 (IPPC) (actualmente Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación).
3. 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.

El procedimiento para el cálculo de la garantía financiera por responsabilidad medioambiental se encuentra establecido en el artículo 33 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, consistiendo en las siguientes fases:

- 1) Identificar los escenarios accidentales que se consideran relevantes para la instalación analizada.
- 2) Asignar la probabilidad de ocurrencia a cada escenario.
- 3) Calcular el IDM de cada escenario.
- 4) Calcular el riesgo asociado a cada escenario multiplicando su 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.
 - 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 consista exclusivamente en una recuperación natural, se desestimará 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 cuya reparación no se base exclusivamente en la recuperación natural.

Por lo tanto, conforme con la normativa, de entre todos los escenarios identificados por el analista únicamente se debe seleccionar uno que será cuantificado y monetizado de forma que se exprese el daño ocasionado en términos económicos. Los apartados siguientes de la GM se dirigen exclusivamente a las operaciones a realizar con este escenario de referencia.

IX. PROTOCOLOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL DAÑO

Conforme con lo establecido en el artículo 7 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007

—aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre—, los operadores deben realizar las siguientes actuaciones con el fin de determinar el carácter significativo de los daños medioambientales que pudieran ocasionar:

- a) Identificar el agente causante del daño, y los recursos naturales y servicios afectados
- b) Cuantificar el daño, y
- c) Evaluar de la significatividad del daño

En los siguientes apartados se ofrecen una serie de pautas y orientaciones con el fin de facilitar el desarrollo de cada una de estas tareas.

IX.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS AGENTES CAUSANTES DEL DAÑO Y DE LOS RECURSOS NATURALES Y SERVICIOS AFECTADOS

IX.1.1. Identificación de los agentes causantes del daño

La normativa de responsabilidad medioambiental distingue tres grandes grupos de agentes causantes del daño:

- **Químicos**, los cuales se refieren a sustancias que llevan asociado un determinado umbral de toxicidad, a partir del cual se causan efectos negativos sobre los seres vivos. Ejemplos de este grupo de agentes serían los metales pesados presentes en el agua o en el suelo, los combustibles, determinados reactivos empleados en el procesamiento del mineral, etc.
- **Físicos**, los cuales se refieren al exceso o defecto de una sustancia que no tiene asociado un nivel de toxicidad, tales como el agua, los residuos inertes, la tierra, o la temperatura.
- **Biológicos**, entre los que se encuentran los organismos modificados genéticamente, las especies exóticas invasoras y los microorganismos patógenos.

Adicionalmente puede distinguirse un cuarto agente causante de daño, se trataría de los incendios, los cuales pueden considerarse como una combinación de agentes químicos —vertido de aguas de extinción y de sustancias químicas—, y de agentes físicos —desaparición de hábitat y especies—.

Las características del sector de la minería llevan a seleccionar de entre estos grupos a los agentes químicos, físicos e incendios, descartando en el estudio a los agentes biológicos.

Los agentes químicos deben ser tenidos en cuenta de manera detallada dada la amplia variedad de sustancias manejadas por el sector. Entre las cuales debería prestarse especial atención a aquellas que conlleven un mayor riesgo medioambiental —debido a su toxicología, cantidad almacenada, proximidad a receptores sensibles, etc.—.

Entre los agentes físicos cabe destacar los daños que se podrían ocasionar por vertido de materiales inertes y los daños que podrían producirse en caso de fallo en una estructura de contención de grandes volúmenes de agua —balsas, diques, lagunas artificiales, etc.—. Asimismo, pueden recibir la consideración de daños físicos los recursos naturales que pudieran desaparecer debido a hipotéticas

explosiones.

Cabe destacar que los incendios forestales deberían ser considerados en aquellas instalaciones que desarrollen su actividad en las proximidades de formaciones vegetales naturales —herbazales, matorrales y arbolado—, cobrando especial interés en caso de que la zona sea un espacio natural protegido o un hábitat de especies amenazadas.

La normativa exige que, una vez identificados los agentes químicos que potencialmente podrían ocasionar un daño medioambiental, éstos sean caracterizados a través de los siguientes parámetros:

- **Cantidad de sustancia derramada.** Dado que en la normativa no se especifica una cantidad estándar para la evaluación de la significatividad, el operador tiene la posibilidad de realizar los cálculos con el volumen que considere más adecuado a los accidentes medioambientales que puede ocasionar. No obstante, con carácter general se recomienda adoptar un enfoque de prudencia en la valoración y realizar la cuantificación con los mayores volúmenes que maneje cada operador.
- **Propiedades toxicológicas y ecotoxicológicas.** Las fichas de seguridad de las sustancias manejadas contienen información de interés sobre los efectos que causaría su liberación en el medio natural. Algunos de los parámetros más utilizados son el LC50 —concentración de una sustancia a cuya exposición se espera la mortalidad del 50% de los animales de experimentación en un tiempo determinado—, el NOEC —concentración a la cual no se observan efectos—, y el PNEC —concentración de una sustancia en un medio receptor determinado por debajo de la cual es poco probable que se produzcan efectos adversos en el medioambiente—. Dado que de entre los umbrales citados el PNEC es el que ofrece una mayor confiabilidad de que no se producirán efectos adversos sobre los recursos naturales, se recomienda prestar una especial consideración a este parámetro.
- **Otras propiedades físico-químicas que pudieran condicionar su peligrosidad, transporte y persistencia.** Adicionalmente a las características ecotoxicológicas de las sustancias debe recopilarse toda la información que se considere relevante para el estudio: punto de ebullición, temperatura de inflamación, densidad relativa, solubilidad en agua, volatilidad, viscosidad, miscibilidad, coeficiente de adsorción al suelo (Koc), coeficiente de partición octanol-agua (Kow), etc.

Con el fin de sistematizar la caracterización de los agentes químicos considerados en el estudio, se recomienda incluir una ficha técnica para cada uno de los mismos, en las cuales se recojan los parámetros anteriores.

En caso de que el agente sea de tipo físico, se identificará la cantidad, calidad o densidad del agente implicado en el daño, así como cualquier otra propiedad necesaria para caracterizarlo. Siendo recomendable, al igual que para los agentes químicos, la elaboración de una ficha resumen con las características que se tomarán como referencia para el análisis.

El contenido de las fichas de identificación de los agentes causantes del daño debe ser adaptado a

las circunstancias específicas de cada operador. No obstante, a continuación se propone un listado de referencia con la información que se considera relevante a nivel sectorial.

Información general

- Código de ficha. Código numérico o alfanumérico de identificación de cada ficha.
- Nombre del agente. Nombre común y/o científico del agente identificado.
- Fórmula química. En caso de tratarse de un agente químico es interesante mostrar la formulación química del mismo.
- Tipo de agente LRM. La LRM distingue tres grandes tipos de agentes causantes de daños —físicos, químicos y biológicos—. En el ámbito del sector, se consideran relevantes únicamente los agentes físicos y químicos, además de los incendios.
- Categoría de agente IDM-MORA. Entre los tipos de agentes considerados en el IDM y en el Modelo de Oferta de Responsabilidad Medioambiental elaborado por la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales, se consideran relevantes para el sector las siguientes categorías:
 - COVs halogenados
 - COVs no halogenados
 - COSVs halogenados
 - COSVs no halogenados
 - Fuegos
 - Sustancias inorgánicas
 - Explosivos
 - Extracción/desaparición de recursos
 - Vertido de inertes
 - Incendios

Información específica según el tipo de agente LRM

Agentes químicos

- Cantidades
 - Cantidad de sustancia manejada. Cantidad total existente en la instalación en un momento determinado. Con el fin de obtener un valor de referencia, puede estimarse el volumen máximo contenido en la instalación, el volumen medio, un porcentaje del volumen manejado, u otras medidas de naturaleza estadística.
 - Cantidad contenida en el mayor depósito. Cantidad total existente en el depósito, tanque

o balsa de mayores dimensiones en un momento determinado. Con el fin de obtener un valor de referencia, puede estimarse el volumen máximo contenido en el depósito, el volumen medio, un porcentaje del volumen manejado, u otras medidas de naturaleza estadística.

- Cantidad hipotéticamente vertida. Cantidad de la sustancia que se estima que podría ser potencialmente liberada al medioambiente.
- Toxicología
 - PNEC. Se define como la concentración de una sustancia en un medio receptor determinado, por debajo de la cual es poco probable que se produzcan efectos adversos en el medioambiente
 - NOEC. Mayor concentración a la cual no se observan efectos sobre las poblaciones de experimentación.
 - LC50. Es la concentración de una sustancia a cuya exposición se espera la mortalidad del 50% de los animales de experimentación en un tiempo determinado.
- Otras propiedades físico-químicas
 - Punto de ebullición. La temperatura o punto de ebullición es aquella temperatura a la cual la materia cambia de estado líquido a gaseoso.
 - Temperatura de fusión. La temperatura o punto de fusión es la temperatura a la cual la materia pasa de estado sólido a estado líquido.
 - Temperatura de inflamación. Se entiende por temperatura de inflamación, a aquella temperatura a la que un determinado combustible emite gases inflamables suficientes para alcanzar en su atmósfera el límite inferior de inflamabilidad, a partir del cual, con una fuente de calor externa puede producirse una combustión no automantenida.
 - Densidad. Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
 - Viscosidad. La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.
 - Miscibilidad. La miscibilidad es la propiedad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción con el agua, formando una solución homogénea.
 - Coeficiente de adsorción al suelo. El coeficiente de adsorción mide la capacidad del suelo para extraer el agente de una fase.
 - Coeficiente de partición octanol agua. El coeficiente de reparto octanol-agua de una sustancia, es el cociente o razón entre las concentraciones de esa sustancia en una mezcla bifásica formada por dos disolventes inmiscibles en equilibrio: octanol y agua.
 - Biodegradabilidad. La capacidad de una sustancia para ser descompuesta en otras más simples por la acción de seres vivos.

Agentes físicos

- Cantidad manejada. Cantidad total existente en la instalación en un momento determinado. Con el fin de obtener un valor de referencia, puede estimarse el volumen máximo contenido en la instalación, el volumen medio, un percentil del volumen manejado, u otras medidas de naturaleza estadística.
- Cantidad contenida en el mayor depósito. Cantidad total existente en el depósito, tanque o balsa de mayores dimensiones en un momento determinado. Con el fin de obtener un valor de referencia, puede estimarse el volumen máximo contenido en el depósito, el volumen medio, un percentil del volumen manejado, u otras medidas de naturaleza estadística.
- Cantidad hipotéticamente vertida. Cantidad de la sustancia que se estima que podría ser potencialmente liberada al medioambiente.
- Calidad. Descripción del estado cualitativo en que se encuentra el agente causante de daño.
- Densidad. Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

Identificación de los recursos naturales potencialmente afectados

- Vectores de transmisión. Elementos que pueden transportar el agente causante de daño poniéndolo en contacto con los receptores establecidos en la normativa de responsabilidad medioambiental. Principalmente pueden ser el agua y el aire.
- Recursos potencialmente afectados. Recursos naturales cubiertos por la LRM que podrían verse afectados de manera significativa por el agente causante de daño.
- Escenarios accidentales. Listado de escenarios accidentales en los que podría verse involucrado el agente causante de daño.

A continuación, en la Tabla 62, se expone un ejemplo modelo de ficha de identificación de agentes causantes del daño.

IDENTIFICACIÓN DE AGENTES CAUSANTES DE DAÑO	
1. Información general	
Código de ficha	
Nombre del agente	
Fórmula química	
Tipo de agente LRM	
Categoría de agente MORA	
2. Información específica según el tipo de agente LRM	
Agentes químicos	
Cantidades	
Cantidad de sustancia manejada	
Cantidad contenida en el mayor depósito	
Cantidad hipotéticamente vertida	
Toxicología	
PNEC	
NOEC	
LC50	
Otras propiedades físico-químicas	
Punto de ebullición	
Temperatura de fusión	
Temperatura de inflamación	
Densidad	
Solubilidad en agua	
Viscosidad	
Miscibilidad	
Coefficiente de adsorción al suelo	
Coefficiente de partición octanol agua	
Biodegradabilidad	
Agentes físicos	
Cantidad manejada	
Cantidad contenida en el mayor depósito	
Cantidad hipotéticamente vertida	
Calidad	
Densidad	
3. Identificación de los recursos naturales potencialmente afectados	
Vectores de transmisión	
Recursos potencialmente afectados	
Escenarios accidentales	

Nota: El operador deberá indicar las unidades de medida en cada campo.

Tabla 62. Ficha de identificación de los agentes causantes de daño. Fuente: elaboración propia a partir del Reglamento.

IX.1.2. Identificación de los recursos naturales y servicios afectados

Una vez definidos con la suficiente precisión los agentes causantes de daño, la siguiente fase consiste en identificar los recursos naturales afectados tanto de forma directa como indirecta. Para ello un paso previo consiste en analizar los medios de difusión a través de los cuales los agentes, una vez liberados al entorno, pueden contactar con los recursos naturales.

De esta manera, completando las fichas de identificación y caracterización de agentes causantes del daño, el operador podría incluir un campo en el que se indique el medio o los medios de difusión del agente, así como el receptor final que alcanzarían: agua, suelo, hábitat o especies. Cabe indicar que aunque la atmósfera no es un recurso natural cubierto por la LRM, sí debe ser tenido en cuenta como un posible vector de difusión de la contaminación.

Los vectores de difusión más frecuentes puede son los siguientes:

- **Atmósfera.** La generación de nubes tóxicas, la acción del viento y de la lluvia, etc. puede llevar a que las sustancias químicas transportadas por el aire se depositen sobre los recursos naturales, afectándoles de forma significativa.
- **Agua.** El agua —marina y continental, tanto superficial como subterránea— tiene la doble condición de medio de difusión de la contaminación, y recurso cubierto por la LRM, por lo que debe ser tenida en cuenta en ambas facetas del análisis.
- **Vegetación.** La existencia de una vegetación densa y con continuidad tanto vertical como horizontal, puede posibilitar que un incendio originado en una zona con escaso valor ecológico alcance espacios de especial valor desde el punto de vista medioambiental: espacios naturales protegidos, Red Natura 2000, hábitats de especies amenazadas, etc.

Con el fin de identificar los recursos naturales afectados por un hipotético daño medioambiental deben tenerse presentes las definiciones que se recogen en la LRM.

▪ Recurso natural agua

El recurso natural agua viene definido en la LRM como todas las aguas continentales, tanto superficiales como subterráneas, costeras y de transición definidas en el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio —RDL 1/2001—, así como los restantes elementos que forman parte del dominio público hidráulico.

Las aguas continentales se definen en el RDL 1/2001 —art. 40 bis— como todas las aguas en la superficie del suelo y todas las aguas subterráneas situadas hacia tierra desde la línea que sirve de base para medir la anchura de las aguas territoriales.

Las aguas superficiales son las aguas continentales —excepto las aguas subterráneas—, las aguas de transición y las aguas costeras, y, en lo que se refiere al estado químico, también las aguas territoriales.

Las aguas subterráneas son todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo.

El artículo 16 del RDL 1/2001, define tanto las aguas costeras como de transición: son aguas de transición, las masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce. Son aguas costeras, las aguas superficiales situadas hacia tierra desde una línea cuya totalidad de puntos se encuentra a una distancia de una milla náutica mar adentro desde el punto más próximo de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden, en su caso, hasta el límite exterior de las aguas de transición.

Por último, en cuanto a los elementos del Dominio Público Hidráulico (DPH), el RDL 1/2001, cita en su artículo 2, lo siguiente: Constituyen el dominio público hidráulico del Estado, con las salvedades expresamente establecidas en esta Ley:

- a) Las aguas continentales, tanto las superficiales como las subterráneas renovables, con independencia del tiempo de renovación.
- b) Los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas.
- c) Los lechos de los lagos y lagunas y los de los embalses superficiales en cauces públicos.
- d) Los acuíferos, a los efectos de los actos de disposición o de afección de los recursos hidráulicos.
- e) Las aguas procedentes de la desalación de agua de mar una vez que, fuera de la planta de producción, se incorporen a cualquiera de los elementos señalados en los apartados anteriores.

De este modo el recurso agua cubierto expresamente por la LRM incluye tanto las masas de agua continentales —superficiales y subterráneas—, como la fracción de las aguas marinas catalogadas como costeras y de transición; así como las aguas territoriales en lo que se refiere al estado químico de las mismas.

▪ **Recurso natural suelo**

El suelo es definido en la LRM como la capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso. No tendrán tal consideración aquellos permanentemente cubiertos por una lámina de agua superficial.

Conviene recordar en este punto que tanto los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas, como los lechos de los lagos y lagunas y los de los embalses están cubiertos por la LRM ya que forman parte del Dominio Público Hidráulico.

▪ **Recurso natural especies**

La LRM define las especies silvestres como las especies de la flora y de la fauna que estén mencionadas en el artículo 2.3 a) de la Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales o que estén protegidas por la legislación comunitaria, estatal o autonómica, así como por los Tratados Internacionales en que España sea parte, que se hallen en estado silvestre en el territorio español, tanto con carácter permanente como estacional. En particular, las especies incluidas en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas o en los catálogos de especies amenazadas establecidos por las Comunidades Autónomas en sus respectivos ámbitos territoriales. Quedan excluidas de la definición anterior las especies exóticas invasoras, entendiéndose por tales aquéllas introducidas deliberada o accidentalmente fuera de su área de distribución natural y que resultan una amenaza para los hábitats o las especies silvestres autóctonas.

Dentro de la Directiva 2004/35, se indica que las especies cubiertas por la misma son las mencionadas en el apartado 2 del artículo 4 o enumeradas en el anexo I de la Directiva 79/409/CEE, del Consejo, de 2 de abril de 1979, relativa a la conservación de las aves silvestres o enumeradas en los anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

En cuanto a la normativa estatal de conservación de la naturaleza, la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, establece en su artículo 52 la “Garantía de conservación de especies autóctonas silvestres”, especificando en su punto primero que las comunidades autónomas deben adoptar las medidas necesarias para garantizar la conservación de la biodiversidad que vive en estado silvestre, atendiendo preferentemente a la preservación de sus hábitats y estableciendo regímenes específicos de protección para aquellas especies silvestres cuya situación así lo requiera.

Quedando de nuevo reflejado este mandato de protección de las especies silvestres en el punto tercero, del mismo artículo 52. Mediante el cual queda prohibido dar muerte, dañar, molestar o inquietar intencionadamente a los animales silvestres, sea cual fuere el método empleado o la fase de su ciclo biológico. Incluyendo la prohibición su retención y captura en vivo, la destrucción, daño, recolección y retención de sus nidos, de sus crías o de sus huevos, estos últimos aun estando vacíos, así como la posesión, transporte, tráfico y comercio de ejemplares vivos o muertos o de sus restos, incluyendo el comercio exterior.

Por lo tanto, la Ley 42/2007 establece un amplio marco de protección para las especies silvestres. Asumiendo este marco de referencia, pueden considerarse objeto de cobertura por la LRM la totalidad de las especies silvestres presentes en el territorio nacional. Quedando excluidas las especies exóticas invasoras.

▪ **Recurso natural hábitat**

Los hábitats, en el ámbito de la LRM, son las zonas terrestres o acuáticas diferenciadas por sus características geográficas, abióticas y bióticas, y que estén mencionadas en el artículo 2.3 b) de la Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales, o que estén protegidas por otras normas comunitarias, por la legislación estatal o autonómica, o por los Tratados Internacionales en que España sea parte.

El artículo 2.3 b) de la Directiva 2004/35 determina como tal, los hábitats de especies mencionadas en el apartado 2 del artículo 4 o enumeradas en el anexo I de la Directiva 79/409/CEE o enumeradas en el anexo II de la Directiva 92/43/CEE, y los hábitats naturales enumerados en el anexo I de la Directiva 92/43/CEE y lugares de reproducción o zonas de descanso de las especies enumeradas en el anexo IV de la Directiva 92/43/CEE.

No obstante, dado que conforme con lo indicado en el apartado precedente, la totalidad de las especies silvestres son consideradas objeto de cobertura por la LRM, la totalidad de los hábitats deben considerarse protegidos a estos efectos, siempre que su degradación afecte de manera significativa a las especies. Esto es, siguiendo criterios técnicos, no se considera factible retornar una especie a su estado básico, si el hábitat que la sustenta no se encuentra a su vez en su correspondiente estado básico. De esta forma, la recuperación de una especie conlleva la recuperación, en caso necesario, de su hábitat.

▪ **Recurso natural ribera del mar y de las rías**

Este recurso es definido en la LRM como los bienes de dominio público marítimo-terrestre regulados en el artículo 3.1 de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. Según esta Ley, son riberas del mar y de las rías:

- a) La zona marítimo-terrestre o espacio comprendido entre la línea de bajamar escorada o máxima viva equinoccial, y el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos o, cuando lo supere, el de la línea de pleamar máxima viva equinoccial. Esta zona se extiende también por las márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas.
- b) Se consideran incluidas en esta zona las marismas, albuferas, marjales, esteros y, en general, los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua del mar.
- c) Las playas o zonas de depósito de materiales sueltos, tales como arenas, gravas y guijarros, incluyendo escarpes, bermas y dunas, tengan o no vegetación, formadas por la acción del mar o del viento marino, u otras causas naturales o artificiales.

La identificación de los recursos naturales que potencialmente podrían verse afectados por cada agente causante de daño, puede realizarse a través de una matriz de doble entrada en la cual se crucen ambos elementos convenientemente desglosados.

Como referencia puede tomarse la matriz propuesta por el Modelo de Oferta de Responsabilidad
Comisión técnica de prevención y reparación de daños medioambientales

Medioambiental (MORA) —elaborado por la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales—; si bien cada operador debería adaptar dicha matriz a sus circunstancias concretas señalando las afecciones que procedan.

El análisis de cada una de las combinaciones agente-recurso llevaría a identificar los recursos naturales que potencialmente podrían verse afectados por cada agente, pudiendo concluirse la ficha resumen de identificación de agentes, con los recursos a los que potencialmente podrían afectar.

A partir de esta matriz los operadores continuarían con el procedimiento establecido en la normativa, y abordar la cuantificación y la evaluación de la significatividad de los daños para cada uno de los cruces que se hayan señalado en la matriz.

Debe destacarse que concluido este punto, el operador dispondría de un listado de agentes en el cual figurarán los recursos a los que puede afectar cada uno, siendo necesario concretar posteriormente —a través de la cuantificación— si realmente se estima que ese agente llegaría a degradar significativamente cada uno de los recursos identificados.

IX.2. CUANTIFICACIÓN DEL DAÑO

Según establece la normativa de responsabilidad medioambiental, en el proceso de cuantificación los operadores deben evaluar la extensión, la intensidad y la escala temporal del daño asociado al escenario accidental de referencia. La extensión hace referencia a la cantidad de receptor afectado, por lo tanto sus unidades de medida son metros cúbicos de agua, toneladas de suelo, superficie de hábitat, número de individuos, etc. Mientras la intensidad se define como el grado de severidad de los efectos ocasionados sobre esa cantidad de recurso. A modo de ejemplo, una medida de la intensidad sería evaluar que en los metros cúbicos de agua que se consideren dañados, desaparecería un determinado porcentaje de las poblaciones animales y vegetales, ese porcentaje sería un indicador de la severidad de los daños.

Como regla general se recomienda que cuando no se disponga de suficiente información para evaluar la intensidad de forma precisa, se considere una intensidad de tipo letal —categoría que representa la desaparición 100% de las poblaciones existentes en la zona afectada—, asumiendo por lo tanto un criterio de prudencia en la valoración, al tomar como referencia para los cálculos las consecuencias más desfavorables de entre todas las posibles.

Por otra parte, en cuanto a los aspectos relativos a la escala temporal de los daños, la duración del daño debe estimarse para el escenario seleccionado. Para ello pueden emplearse como base datos bibliográficos, la experiencia previa de cada operador, o los datos propuestos en el Modelo de Oferta de Responsabilidad Medioambiental (MORA) elaborado por el MITECO. Una referencia válida serían los datos sobre el tiempo requerido para aplicar las técnicas de reparación que lleven asociadas cada escenario accidental. En la actualidad, existen diversas fuentes de información a las que es posible acudir con este fin: *Environmental Protection Agency, Federal Remediation Technologies Roundtable, Center for Public Environment Oversight, etc.*

Posteriormente, empleando los indicadores anteriores, los daños identificados deben ser declarados

Comisión técnica de prevención y reparación de daños medioambientales

como reversibles o irreversibles. Debiendo identificarse como reversibles aquéllos que puedan ser reparados en un plazo de tiempo razonable, y como irreversibles aquéllos que conllevan la imposibilidad de recuperar el estado original de los recursos y servicios naturales. Por lo tanto, la pregunta básica que debe responder el operador es si con las técnicas existentes en la actualidad se considera factible retornar los recursos afectados a su estado original, empleando para ello un tiempo y unos medios económicos razonables.

Aunque en la normativa de responsabilidad medioambiental no se establece un valor concreto a partir del cual se considera que el tiempo de reparación es desproporcionado, puede asumirse el siguiente criterio con carácter orientativo: como norma general se podrían considerar irreversibles todos los daños cuyo tiempo necesario de reparación requiera más de treinta años desde que tuvo lugar la emisión del agente que causó el daño.

Este criterio se fundamenta en el artículo 4 de la LRM, según el cual la LRM no es de aplicación a los daños medioambientales si han transcurrido más de treinta años desde que tuvo lugar la emisión, el suceso o el incidente que los causó. Esto es, asumiendo que la Ley es una manifestación de la voluntad de la sociedad, el artículo 4 de la LRM indicaría que la sociedad es indiferente a la reparación del daño, si ésta se lleva a cabo una vez pasados 30 años desde que se produjo la emisión.

No obstante, en caso de que exista alguna técnica que se esté aplicando en la actualidad de forma sistemática con el fin de recuperar un determinado recurso natural, cuyo horizonte temporal de reparación supere dichos 30 años, se debe tomar dicho periodo de tiempo como asumible. En concreto, esta situación se da en las repoblaciones forestales, las cuales se realizan con horizontes de reparación que usualmente superan los 30 años. De hecho atendiendo a la bibliografía especializada (Martínez 2005 y Serrada 2000), puede establecerse un periodo máximo aproximado para la recuperación de los hábitats de 65 años.

En la actualidad existe un amplio abanico de herramientas de asistencia para cuantificar los potenciales daños medioambientales en términos de extensión e intensidad.

En algunos casos estas herramientas se ofrecen en un soporte informático que facilita la labor del analista; mientras, en otros casos, se constituyen como una serie de ecuaciones, criterios y procedimientos que deben ser aplicados de forma específica por el usuario.

La Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales ha elaborado un informe disponible a través de Internet —“Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental”—, en el cual se recoge una serie de orientaciones sobre los posibles modelos que pueden emplearse con el fin de estimar la difusión de las sustancias químicas.

En el citado informe se enumeran las fases a seguir para cuantificar los daños medioambientales. A continuación se resume cada una de las mismas:

- Elaboración del Modelo Conceptual (MC) de la instalación. El MC es la base del proceso de

cuantificación, conteniendo las principales zonas y actividades llevadas a cabo por el operador, y los posibles sucesos iniciadores. El alcance de este modelo debe ser tal que se ajuste adecuadamente a las necesidades de cada operador, no consumiendo recursos innecesariamente.

- Consideración de las hipótesis de accidente. Partiendo de los sucesos iniciadores, deben establecerse una serie de hipótesis que caractericen el accidente evaluado. Esta caracterización debe ser lo suficientemente detallada como para poder abordar el proceso de cuantificación con garantías —determinación de la extensión, intensidad y escala temporal del daño—.
- Disponibilidad de datos de entrada. Diseñado el MC y establecidas las hipótesis bajo las cuales ocurriría cada accidente, la siguiente fase consiste en conocer los datos de partida disponibles, ya que usualmente se trata de un aspecto crítico a la hora de seleccionar los modelos a emplear. Merece la pena destacar que determinados modelos requieren información muy detallada sobre el proceso que se está simulando, siendo necesario en algunos casos recopilar datos de forma expresa.
- Selección del modelo. La selección del modelo más adecuado debe estar basada en los puntos anteriores. Por orden decreciente de importancia en relación al resultado final: la complejidad del modelo conceptual, la complejidad de la hipótesis de accidente y la disponibilidad de datos de entrada. La selección del modelo debe estar presidida por la costo-efectividad, es decir, la inversión de recursos debe ser proporcionada a la reducción de incertidumbre en los resultados.

Aunque el informe ofrece un catálogo exhaustivo sobre la oferta actual de modelos de difusión de sustancias químicas, no incluye determinados agentes e hipótesis accidentales que pueden darse en los sectores objeto de estudio —daños físicos y por incendio—. A modo de ejemplo, se puede plantear la situación producida por la rotura de un dique de contención. Por este motivo en el presente apartado se proponen tanto modelos recogidos en el mencionado informe como modelos específicamente seleccionados atendiendo la realidad del sector.

IX.2.1. Extensión de los daños

Los modelos de cuantificación se han agrupado en función de los escenarios accidentales a los cuales se pueden aplicar. En concreto, los mismos se han codificado desde el M1 al M14 atendiendo a las combinaciones agente-recurso que se han identificado como relevantes en el presente 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	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
		COV no halogenados									
		COSV halogenados									
		COSV no halogenados									
		Fueles y CONV									
		Sustancias inorgánicas									
		Explosivos									
	Físico	Extracción/Desaparición					M10		M12	M13	
		Vertido de inertes				M9	M11				
		Temperatura									
	Biológico	Incendio								M14	M15
		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

1) M1. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al agua marina

El criterio propuesto para determinar la extensión de los daños causados por vertidos al agua marina se fundamenta en el grado de solubilidad de la sustancia derramada.

En el caso de que la sustancia sea soluble en agua puede atenderse al elevado volumen de agua existente en los mares y océanos para plantear la dilución de la sustancia derramada hasta que se recupere el estado básico (estado en el que se encontraba el recurso natural antes de sufrir el daño). En concreto, el analista podría argumentar que se recurra a una recuperación natural o, incluso, que el daño causado al agua marina se considere no relevante.

La decisión que se adopte deberá encontrarse debidamente justificada y, en todo caso, no sería óbice para que se considere la aplicación de una técnica de reparación específica para otros recursos naturales vinculados al agua marina y que pudieran haber sufrido el impacto del vertido. A modo de ejemplo, el derrame de una sustancia soluble en el agua marina podría ser reparado mediante recuperación natural pero, en todo caso, debería analizarse de forma individualizada si dicho derrame podría causar un daño significativo a las especies marinas con objeto de que la misma sean reparadas si es necesario.

Cuando se acuda a la recuperación natural del agua marina se deben tener presentes los siguientes

aspectos:

- 1) Como se ha indicado, deberá justificarse la decisión adoptada.
- 2) La recuperación natural no es necesariamente una técnica libre de costes de reparación ya que la misma puede implicar costes de consultoría y costes de revisión y control atendiendo a la herramienta informática MORA.
- 3) Según establece el artículo 33 del Reglamento la cuantía de la garantía financiera nunca podrá estar estimada a partir de un escenario accidental cuyo daño es reparado íntegramente por recuperación natural. Por lo tanto, si en el escenario se propone únicamente la reparación natural para tratar los daños a la totalidad de los recursos naturales ese escenario deberá ser desestimado.
- 4) La realización de una recuperación natural no exime al operador de tener que calcular la extensión del daño ya que este dato tendrá por objeto, entre otros, dimensionar las medidas de reparación compensatoria (que persiguen compensar a la sociedad por el tiempo que el recurso natural permanece dañado).

La determinación de la extensión que alcanzaría el daño en el caso de sustancias solubles presenta complicaciones que deberán ser resueltas caso por caso. A modo de ejemplo, una posible alternativa a estudiar consistiría en calcular cuánto volumen de agua marina sería necesario para reducir la concentración de la sustancia vertida hasta niveles situados por debajo de su umbral de toxicidad.

Si la sustancia derramada es insoluble en agua podrá atenderse a la densidad de la misma para evaluar si la sustancia permanecerá sobrenadando en el agua (sustancias menos densas que el agua) o si, por el contrario, se hundiría hacia el fondo llegando a contactar con el lecho (sustancias más densas que el agua). Se debe ser consciente, no obstante, de que esta asunción es una simplificación ya que en la realidad una parte de la sustancia podría permanecer en la superficie o en el fondo (en función de su densidad) y, otra parte, podría ser transportada en suspensión; sin embargo, dicha simplificación podría considerarse válida atendiendo al carácter apriorístico de los análisis de riesgos medioambientales siempre que se introduzca en los cálculos del escenario accidental la totalidad del volumen de la sustancia derramada.

El dato de solubilidad en agua de cada sustancia así como su densidad figura en las fichas de seguridad. Como se ha indicado, el analista podrá asumir que cuanto más soluble sea la sustancia más probable es que se produzca una dilución efectiva de la misma y, para sustancias insolubles, cuanto menos densa sea mayor proporción de la misma quedará en superficie y cuanto más densa sea mayor proporción se precipitará al lecho.

Los daños ocasionados por la fracción del vertido que se asuma que queda depositada en el lecho podrán cuantificarse acudiendo al criterio M4. Mientras, para la cuantificación del daño de las sustancias insolubles menos densas que el agua podrá acudir a fuentes bibliográficas donde se ofrezca diferentes espesores medios de vertidos al agua marina (por ejemplo, USEPA (2001)). Conocido el espesor, dividiendo el volumen vertido entre el espesor promedio se obtendría la extensión de la mancha medida en unidades de superficie. El volumen de agua dañada, medido en

metros cúbicos, podría estimarse aplicando diferentes valores de la profundidad del agua a la que llegarían los efectos perjudiciales del vertido insistiendo en que, en caso de incertidumbre, se empleen valores conservadores.

2) M2. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al agua superficial

El criterio M2 se dirige a la cuantificación de los daños causados por sustancias químicas al agua continental superficial presentando ciertas analogías con las propuestas realizadas en el criterio M1. Esto es, bajo este criterio se asume que las sustancias solubles se verían sometidas principalmente a un procedimiento de dilución en el agua; mientras, las sustancias insolubles sobrenadarían en el agua o se hundirían hasta contactar con el lecho en función de que sean respectivamente menos densas o más densas que el agua.

Aquellos vertidos que se estime que llegarían al lecho (sustancias insolubles más densas que el agua) deberán ser cuantificados conforme con el criterio de cuantificación M4. En cuanto al resto de vertidos se propone atender a si los mismos se producirían sobre una masa de agua en movimiento (como ríos, arroyos, etc.) o en una masa de agua relativamente estática (como lagos, embalses, etc.).

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

En este caso, el vertido se produciría a un recurso natural que se encuentra en movimiento por lo que el mismo se desplazaría de manera solidaria con el agua hasta que alcance una masa de agua considerada relativamente estática como un embalse, un azud, etc. o, en su defecto, hasta desembocar en el mar.

Si aguas abajo del punto de vertido existe una estructura de contención de agua (o la misma puede construirse o desplegarse con carácter previo a la llegada del vertido) el analista puede asumir que el vertido quedaría retenido en esta estructura, cuantificándose el daño como un daño ocasionado a una masa de agua relativamente estática.

Por el contrario, si en el cauce no existen estructuras de retención del agua (o éstas no pueden construirse o desplegarse de forma previa a la llegada del vertido) el analista deberá establecer caso por caso el procedimiento de cuantificación que seguirá. A modo de ejemplo, puede establecerse el siguiente listado no exhaustivo de posibles opciones:

- 1) Una primera opción consistiría en estimar como volumen de agua contaminado la multiplicación del caudal del río (consultado, a modo de ejemplo, en la Red de estaciones de aforo del CEDEX accesible a través de internet) por el tiempo de permanencia del contaminante en el agua (estimado por el analista siguiendo en todo caso criterios de precaución).
- 2) Cuando la sustancia derramada sea soluble en agua y/o biodegradable en un corto espacio de tiempo cabe la opción de considerar una recuperación natural de este recurso de forma

similar a lo planteado en el criterio de cuantificación M1.

Según se ha expuesto en el criterio M1 la consideración de que el agua podría recuperar su estado básico de forma natural no exime al analista de considerar el posible daño medioambiental a otros recursos naturales como las especies animales y vegetales sobre los cuales deberán realizarse, en caso necesario, las técnicas de reparación que resulten más adecuadas.

- 3) En caso de que se estime que el vertido alcanzaría el mar, sin haberse podido detener y tratar previamente, se podrá atender a las indicaciones ofrecidas en el criterio M1 para cuantificar el daño ocasionado.

Adicionalmente a las pautas anteriores, merece la pena destacar la posibilidad de que el analista considere que no pueda reestablecerse el estado básico del recurso dañado. En este caso, no se podrían realizar medidas de reparación primaria, el daño se catalogaría como irreversible y, por lo tanto, no se podría emplear este escenario como referencia para el cálculo de la correspondiente garantía financiera.

Merece la pena indicar que, conforme con la normativa de responsabilidad medioambiental, las técnicas que se realicen para compensar a la sociedad por los daños irreversibles que podrían sufrir los recursos naturales se denominan medidas de reparación complementaria. El dimensionamiento y valoración económica de este tipo de medidas puede realizarse, en cualquier caso, acudiendo a la aplicación informática MORA.

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

Cuando el vertido se produce a una masa de agua relativamente estática como un embalse, un lago, etc. o la masa de agua en movimiento que ha sufrido el vertido puede ser retenida, el analista podrá utilizar esta masa de agua estática como su elemento objeto de reparación.

De nuevo, cuando la sustancia vertida sea soluble en agua deberá evaluarse la posible dilución de la misma de forma que se determine el volumen de agua que resultaría contaminado de forma significativa. Si, por el contrario, la sustancia no es soluble en agua se podrá determinar la posible afección al lecho cuando la sustancia sea más densa que el agua (aplicando el criterio M4) o la permanencia de la sustancia en la superficie si su densidad es menor que la del agua. La extensión ocupada por las sustancias insolubles menos densas que el agua podrá estimarse caso por caso atendiendo, entre otros factores, al posible despliegue de barreras flotantes. El volumen de agua afectado, expresado en metros cúbicos, podría estimarse aplicando diferentes valores de la profundidad del agua a la que llegarían los efectos perjudiciales del vertido adoptando siempre valores conservadores cuando exista una incertidumbre relevante.

Por último, merece la pena recordar que el analista podrá plantear de forma justificada la adopción de una recuperación natural o la declaración del daño como irreversible, siempre de forma justificada y atendiendo a la normativa de responsabilidad medioambiental.

3) M3. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al agua subterránea

El criterio de cuantificación propuesto para el vertido de agentes químicos a las aguas subterráneas se considera de forma conjunta con el vertido de agentes químicos al suelo ya que ambos recursos se encuentran estrechamente ligados de forma que puede asumirse que, para que un vertido alcance una masa de agua subterránea, previamente debe contactar con el suelo.

En el documento “Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental”, elaborado por la CTPRDM, se ofrecen diferentes alternativas de modelos de difusión a los que podrá recurrir el analista para cuantificar este tipo de daños justificando siempre su elección.

Como posible alternativa, puede recomendarse otro modelo de aplicación relativamente sencilla y que proporciona resultados de una precisión considerada asumible en el marco de los análisis de riesgos medioambientales. En concreto, se trata de un modelo desarrollado por autores de las Universidades de Udine (Italia) y Belfast (Reino Unido). Este modelo consiste en una serie de ecuaciones matemáticas que pueden consultarse en Grimaz et al. (2007) y Grimaz et al. (2008).

El modelo de Grimaz ofrece como resultado de salida una evaluación de la superficie que ocuparía el vertido y de la profundidad a la que éste llegaría en el suelo. El volumen de suelo dañado sería la multiplicación de la superficie dañada por la profundidad y podría expresarse en toneladas siempre que se conozca o pueda estimarse la densidad del suelo.

De esta forma, siempre que la profundidad estimada mediante el modelo iguale o supere la profundidad a la que se encuentra el nivel freático podría asumirse que el vertido alcanza y daña la masa de agua subterránea. En concreto, como una estimación aceptable en el marco de los análisis de riesgos medioambientales, podría asumirse que el volumen de agua subterránea afectado vendría dado por la profundidad (medida entre el nivel freático y la profundidad que alcanzaría el derrame con base en el modelo de Grimaz) y la superficie de suelo afectado conforme con el modelo de Grimaz, teniendo en cuenta su porosidad (espacio del suelo que ocuparía el agua contaminada por el vertido).

4) M4. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al lecho

Dado que para que un vertido de sustancias químicas alcance el lecho, generalmente, debe atravesar previamente la masa de agua continental o marina se recomienda evaluar el daño al lecho de forma conjunta con los daños al agua.

El planteamiento propuesto continúa basándose en recurrir a la solubilidad de la sustancia y la densidad de la misma con objeto de estimar la cantidad de la misma que se depositaría en el lecho, de forma que a menor solubilidad y a mayor densidad se podría asumir un mayor volumen depositado en el lecho.

Partiendo del volumen de agente depositado en el lecho el analista deberá concretar la cantidad de

recurso que resulta dañada. Esta estimación podrá basarse en aspectos como el poder de arrastre de la corriente y el grado de movilidad de la sustancia (fundamentada a su vez en su densidad y solubilidad). A modo de ejemplo, en caso de un vertido de sustancias insolubles y más densas que el agua en aguas lentas o embalsadas podrían asumirse superficies o volúmenes de lecho afectado relativamente reducidos debido a la escasa dispersión del contaminante aproximándose el volumen de lecho afectado al volumen de sustancia contaminante derramada. Por el contrario, los vertidos de sustancias en aguas rápidas con sustancias de mayor solubilidad (pero siempre poco solubles) y menor densidad (pero igualmente más densas que el agua) podrían recomendar asumir volúmenes y superficies de lecho contaminados superiores que deberán establecerse caso por caso.

5) M5. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al suelo

Los daños al suelo pueden ser considerados de forma conjunta con los daños a las aguas subterráneas según se ha descrito en el criterio de cuantificación M3. En este sentido, en el documento “*Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental*” pueden encontrarse diferentes modelos que facilitan la evaluación conjunta de los daños al suelo y a las aguas subterráneas.

Adicionalmente, resulta recomendable el modelo propuesto en Grimaz *et al.* (2007) y Grimaz *et al.* (2008) ya que el mismo permite estimar de una forma relativamente sencilla la cantidad de suelo afectado (medido en volumen) determinando la superficie y la profundidad que alcanzaría el vertido. La cantidad de suelo dañado podría expresarse en toneladas si se conoce la densidad del suelo o dicho parámetro puede estimarse a partir de bibliografía especializada. A modo de ejemplo, en Yu *et al.* (1993) se indica que la densidad de la mayoría de suelos se sitúa entre 1,1 y 1,6 g/cm³ donde los valores más elevados corresponden a suelos arenosos y los más bajos a suelos arcillosos.

6) M6. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas a la ribera del mar y de las rías

De cara a la cuantificación del daño, los efectos causados sobre el recurso natural ribera del mar y de las rías pueden descomponerse en los efectos causados sobre los restantes recursos naturales. De esta forma, la ribera del mar y de las rías podría considerarse como una combinación de suelo, agua, hábitats y especies, cuantificándose los daños según sus correspondientes criterios de cuantificación.

7) M7. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas a las especies vegetales

Dado que las especies vegetales se encuentran establecidas sobre el suelo existe la posibilidad de utilizar los mismos criterios para la cuantificación del suelo y para la cuantificación de las especies vegetales. En concreto, el modelo propuesto por Grimaz *et al.* permite estimar la superficie que ocuparía el vertido y, por lo tanto, la superficie de especies vegetales que se verían afectadas. A

modo de ejemplo, m² de herbazal, m² de bosque, etc. En este caso se debe tener en cuenta que los modelos de dispersión de contaminantes dirigidos al suelo no suelen considerar la presencia de vegetación y su efecto sobre la evolución del vertido (posible contención parcial del derrame, efectos sobre la capacidad y velocidad de percolación del contaminante en el suelo, etc.), sin embargo podría asumirse como una aproximación válida en el ámbito de los análisis de riesgos medioambientales dadas las hipótesis establecidas en los mismos.

Una vez conocida la superficie por la que se expande el derrame puede ofrecerse el dato de extensión del daño expresado en esas mismas unidades de superficie o bien expresarlo en número de individuos, empleando para ello el dato de densidad de la vegetación. En este sentido, referencias como el Mapa Forestal de España y el Inventario Forestal Nacional (ambas suministradas por el MITECO) pueden servir como soporte para la estimación de dicha densidad. Como alternativa podría medirse la densidad de la vegetación directamente sobre el terreno.

8) M8. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas a las especies animales

El caso de las especies animales presenta una dificultad añadida de cara a su cuantificación y es que se trata de un recurso cuya movilidad implica una notable incertidumbre de cara a su localización y vinculación al territorio concreto que ha sufrido el daño. Esta circunstancia se une a la escasez de inventarios de fauna y/o de cartografía sobre poblaciones o densidad poblacional de las especies animales existentes a nivel nacional. Por lo tanto, de cara a la cuantificación de este recurso merece la pena incidir en la necesidad de que el estudio realizado se sitúe en el lado de la precaución seleccionando valores conservadores siempre que sea necesario.

En el marco del presente análisis de riesgos se recomienda consultar la existencia de inventarios de fauna específicos para la zona que se esté evaluando. Estos inventarios pueden servir como fuente para determinar las especies presentes y la densidad de individuos de cada una de las mismas.

En cuanto a la información disponible a nivel nacional merece la pena destacar la existencia del Inventario Nacional de Biodiversidad en la página web del MITECO. Este inventario ofrece en un mapa, el listado de especies presentes en cada una de las celdas de 10 por 10 kilómetros en las que divide el territorio nacional indicando su grado de amenaza. Con objeto de estimar la densidad de población de cada especie el analista podrá basarse en las características biológicas de la especie y en su grado de amenaza para aplicar un criterio experto en los casos donde no existan datos bibliográficos u otros inventarios más precisos.

Cuando los vertidos por sustancias químicas se produzcan sobre el suelo, el analista podrá determinar de forma justificada que no se produce una afección relevante sobre las especies animales. Esta decisión podrá fundamentarse, entre otros criterios, en la superficie afectada por el vertido, la movilidad de las especies animales potencialmente afectadas y el grado de amenaza de las mismas. A modo de ejemplo, en caso de que se produjera un vertido de escasas dimensiones en una zona donde existen especies capaces de huir o de no aproximarse a la zona afectada y estas

especies se encuentren no amenazadas podría argumentarse la no relevancia de los efectos del agente químico sobre las especies animales.

Si los daños se producen sobre una masa de agua continental, generalmente, los daños revestirán una mayor relevancia dada la limitada capacidad de la fauna ligada al agua para escapar de un posible derrame y la capacidad de los agentes químicos para extenderse en este medio. Respecto a la información disponible merece la pena destacar la base de datos ID-TAX (facilitada en la página web del MITECO) donde pueden consultarse informes anuales sobre la presencia de determinadas especies piscícolas incluyendo valores de densidad de población. Los datos de ID-TAX se refieren a una serie de puntos de muestreo repartidos a nivel nacional.

Continuando con la información disponible para cuantificar el daño a las especies acuáticas debe indicarse la utilidad de recurrir a la página web de los organismos de cuenca ya que las mismas pueden contar con inventarios de esta fauna en sus correspondientes territorios. A modo de ejemplo, la Confederación Hidrográfica del Ebro ofrece varios informes con datos de densidad de población en varios de sus embalses.

Una vez conocida la densidad de peces y la extensión del agua afectada por el daño el analista podría determinar el número de individuos afectados por el daño operando con ambos valores.

En el caso de que no disponga de datos de densidad específicos para una zona concreta el analista podrá extrapolar, siempre de forma justificada, datos provenientes de otra zona considerada similar o, en último término, de nuevo de forma justificada y siguiendo un criterio conservador, aplicar un criterio de experto para estimar el número de individuos dañados.

9) M9. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por vertido de inertes al lecho

Dada la naturaleza inerte del agente liberado se considera que la extensión del daño en este caso podría hacerse coincidir con la cantidad vertida. No obstante, podría adoptarse un principio de precaución y asumir que se retirará tanto el volumen vertido como una cantidad adicional de lecho que podría ser definida por el propio analista, como se ha indicado, de forma justificada y adoptando decisiones conservadoras.

10) M10. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por extracción o desaparición de suelo

Se ha previsto que este tipo de episodios accidentales, en el ámbito del sector objeto de estudio, se deberían principalmente a la ocurrencia de explosiones accidentales. En este sentido, con el fin de estimar el volumen de suelo afectado, en la presente GM se recomienda realizar una evaluación específica del caso concreto del operador con el fin de determinar un radio de expansión medio y una profundidad media del suelo afectado. De esta forma, se determinaría el volumen de suelo a reparar. En todo caso, dada la incertidumbre asociada a estos cálculos se recomienda que se justifiquen las decisiones que se adopten y que se adopte el principio de precaución, encaminado a obtener

resultados conservadores.

11) M11. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por vertidos de inertes al suelo

De forma similar al modelo M9, dada la naturaleza inerte del agente liberado se considera que la extensión del daño en este caso podría hacerse coincidir con la cantidad vertida. No obstante, podría adoptarse el principio de precaución y asumir que se retirará tanto el volumen vertido como una cantidad adicional de suelo que podría ser definida por el propio analista, como se ha indicado, de forma justificada y adoptando decisiones conservadoras.

12) M12. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por extracción o desaparición de especies vegetales

En el sector objeto de estudio, la combinación daños por extracción o desaparición de las especies vegetales se encuentra vinculado principalmente a la posibilidad de explosiones accidentales y al posible vertido de grandes cantidades de agentes físicos, principalmente agua almacenada en balsas. La cuantificación de este tipo de daños iría asociada a la cuantificación del daño causado al suelo que recibe el agente. De esta forma, el procedimiento propuesto consistiría en definir la superficie que alcanzaría la explosión o el vertido y evaluar la vegetación existente en dicha superficie de cara a su reposición.

13) M13. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por extracción o desaparición de especies animales

En una línea similar al modelo M12 esta combinación se corresponde, en el sector objeto de estudio, con los daños a las especies animales por explosiones accidentales y vertido de grandes volúmenes de agentes físicos, principalmente agua almacenada en grandes balsas. Por lo tanto, de cara a cuantificar la extensión del daño, en primer lugar se debería estimar la superficie afectada por el mismo (con este fin se podrá atender al criterio M10) y, posteriormente, evaluar el tipo y la cantidad de animales que se podrían ver afectadas. En este sentido, el operador podrá acudir a lo expuesto en el modelo M8.

14) M14. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por incendio a las especies vegetales

La cuantificación de los daños causados por un incendio a las especies vegetales puede basarse en el empleo del modelo BEHAVE (disponible de forma pública y gratuita a través de internet). Este modelo permite estimar la dirección que seguiría el hipotético incendio y su extensión asimilada a una elipse con origen en el foco del incendio. Pueden realizarse las siguientes recomendaciones alternativas respecto al empleo de BEHAVE en el presente análisis de riesgos:

- Una primera opción con objeto de estimar la extensión del daño empleando BEHAVE sería asumir que la extensión del daño coincidiría con la elipse del daño planteada por BEHAVE.

No obstante, en este caso el analista deberá introducir en el modelo el tiempo en el cual se espera que los equipos de emergencia extinguirían el incendio siendo este dato, al menos en principio, difícil de estimar. Bajo estas circunstancias merece la pena insistir en que el operador seleccione valores conservadores con el fin de situar el estudio del lado de la precaución.

- Como posible alternativa (en principio más conservadora que la anterior), se propone tomar de BEHAVE únicamente la dirección que seguiría el incendio. Posteriormente, el analista asumiría que la superficie afectada sería la superficie situada entre el foco del incendio y la barrera física más próxima en la que se podría detener el incendio siguiendo la dirección dada por BEHAVE. Algunas posibles barreras físicas a tener en cuenta serían aquellas en las que se reduzca sensiblemente el material combustible o éste desaparezca por completo: cortafuegos, vías de comunicación, zonas de escasa o nula vegetación, masas de agua de determinada anchura o entidad, etc.

La extensión del daño podrá venir dada en términos de superficie afectada o en términos de números individuos utilizando los correspondientes datos de densidad de la vegetación.

15) M15. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por incendio a las especies animales

En el caso de daños por incendio a las especies animales el analista podrá recurrir, en primer lugar, a las propuestas recogidas en el criterio M14 con el fin de estimar la superficie de vegetación afectada por el incendio y, una vez estimada dicha superficie, definir la cantidad de animales que se consideran afectados empleando como base los criterios expuestos en el epígrafe M8.

Combinación de modelos y criterios

En algunos escenarios accidentales pueden aparecer varias combinaciones de agentes causantes del daño y recursos naturales afectados. A modo de ejemplo, un mismo vertido podría afectar al suelo y a las aguas subterráneas. En este sentido se recomienda acudir a cada uno de los criterios establecidos anteriormente y comprobar la coherencia entre los mismos de forma que se justifique de forma adecuada los resultados obtenidos.

IX.2.2. Intensidad de los daños

Conforme con el artículo 13 del Reglamento, la intensidad se corresponde con el grado de severidad de los efectos que ocasiona el agente causante del daño a los recursos naturales.

En la normativa de responsabilidad medioambiental se fijan las siguientes pautas para la estimación de la intensidad de los daños que potencialmente podrían causarse en el ámbito del presente sector (esto es, daños de tipo químico, físico e incendios):

a) Intensidad del daño causado por sustancias químicas

El epígrafe 1 del apartado III del Anexo I del Reglamento ofrece las pautas a seguir para estudiar el

daño causado por agentes químicos.

En este epígrafe se indica que la intensidad se debe medir en relación con la concentración que la sustancia alcanza en el medio receptor y el umbral de toxicidad de dicha sustancia. Generalmente, los umbrales de toxicidad figuran en las correspondientes fichas de seguridad asociados a una o varias especies concretas y a un determinado tiempo de exposición.

La normativa establece tres grados de intensidad de los daños:

1º «Agudo»: nivel de intensidad que representa efectos adversos claros y a corto plazo sobre el receptor, con consecuencias evidentes sobre los ecosistemas y sus hábitat y especies. Los efectos agudos suponen una afección sobre al menos el 50 por ciento de la población expuesta al agente causante del daño.

2º «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 por ciento.

3º «Potencial»: nivel de intensidad que corresponde a efectos que superan el umbral ecotoxicológico y afectan al menos al 1 por ciento de la población expuesta al daño, pero no alcanzan los efectos de los niveles crónicos o agudos.

La determinación del nivel de intensidad que corresponde al daño previsto se fundamenta en el estudio de los umbrales de toxicidad o curvas de distribución de la toxicidad (CTD, por sus siglas en inglés). En este sentido, los CTD que se recogen con mayor frecuencia en las fichas de seguridad y, por lo tanto, los más empleados, son los siguientes para cada nivel de intensidad:

- *Median Lethal Concentration (LC50)* o *Median Effect Concentration (EC50)*: suelen tomarse como referencia para evaluar los efectos agudos, esto es, aquellos que suponen la afección a, al menos, el 50% de la población.
- *No Observed Effect Concentration (NOEC)* o *No Observed Adverse Effects Level (NOAEL)*: suelen emplearse como referencia para evaluar los efectos crónicos, que suponen la afección a entre el 10% y el 50 % de la población.
- *Predicted No Effects Concentration (PNEC)*: se asume que dicho umbral no garantiza la ausencia de daños potenciales, esto es, que afecten a al menos el 1% de la población.

En los análisis de riesgos medioambientales, por criterios prácticos, suele incluirse un cuarto nivel de toxicidad y de intensidad del daño. Se trata de los daños de intensidad letal, que supondrían una pérdida completa de los individuos de la población (100% de bajas ante el contacto con un agente).

El estudio de la intensidad del daño requiere conocer la concentración que tendría la sustancia en el medio receptor (generalmente el agua o el suelo). A esta concentración esperada se le denomina *Predicted Environmental Concentration* o PEC y puede estimarse aplicando algunos de los criterios de cuantificación de la extensión expuestos en el apartado anterior. A modo de ejemplo, si se conoce la cantidad de sustancia vertida al agua y la extensión (o volumen) de agua afectada podría

obtenerse una aproximación a la concentración de la sustancia en el medio.

Una vez calculada la PEC este valor deberá compararse con los diferentes CTD que figuren en la ficha de seguridad de la sustancia para asignar el nivel de intensidad que corresponda. De esta forma si, a modo de ejemplo, la PEC supera el LC50 podría asumirse que se produce una afección significativa sobre al menos el 50% de la población expuesta al vertido y, por lo tanto, un daño de tipo agudo.

Respecto a este procedimiento merece la pena indicar que en ocasiones los modelos o criterios de dispersión empleados no permiten estimar una PEC con suficiente certidumbre y/o las fichas de seguridad no recogen valores de CTD aplicables a la situación evaluada. En estas circunstancias desde la presente GM se recomienda que los operadores asuman un nivel de intensidad letal para el escenario evaluado, situando su análisis de riesgos del lado de la precaución.

En el caso concreto de daños a las aguas corrientes superficiales continentales (ríos, arroyos, etc.) resulta especialmente recomendable emplear la metodología propuesta en la *Technical Guidance Document* (TGD) de la Comisión Europea (ECB, 2003) para calcular la PEC. Posteriormente, este dato de concentración podría compararse con las CTD ofrecidas en las fichas de seguridad para estimar la intensidad del daño siempre que, como se ha indicado, las fichas ofrezcan este dato.

a) Intensidad del daño ocasionado por agentes físicos

El epígrafe 2 del Anexo I del Reglamento se dedica a orientar sobre la evaluación de la intensidad de los daños ocasionados por agentes físicos. En este sentido, se indica que se utilizarán tanto índices como indicadores de calidad ambiental que permitan estimar la severidad de los efectos ocasionados sobre el receptor. La determinación de la intensidad del daño podrá establecerse a partir del coeficiente de variación de dicho indicador antes y después del daño. En dicha tarea el operador distinguirá, cuando sea posible, entre los efectos de tipo agudo, crónico y potencial, atendiendo, en el caso de las especies, al porcentaje de población expuesta al daño que se ha visto afectada.

b) Intensidad del daño ocasionado por un incendio

En la Memoria justificativa del Proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental se propone evaluar la intensidad del daño ocasionado por un incendio calculando el cociente entre la superficie incendiada y la superficie total que habría estado expuesta a dicho incendio. Atendiendo al resultado de este cociente pueden asignarse los siguientes valores de intensidad:

- Daño potencial, cuando el resultado del cociente sea inferior a 0,03
- Daño crónico, cuando el resultado del cociente se encuentre comprendido entre 0,03 y 0,25
- Daño agudo, cuando el resultado del cociente supere el valor de 0,25

No obstante, como se ha indicado en el apartado anterior, en caso de que se considere que existe una notable incertidumbre en la evaluación de la intensidad, se recomienda que el analista adopte un enfoque de precaución y declare el daño como letal.

IX.2.3. Escala temporal del daño

Atendiendo al artículo 14 del Reglamento el estudio de la escala temporal del daño debe incluir una evaluación de su duración, frecuencia y reversibilidad.

a) Duración del daño

La duración del daño es el periodo de tiempo que transcurre entre que éste sucede y el mismo es reparado. Este parámetro puede estimarse mediante la aplicación informática MORA, disponible en la página web del MITECO. En concreto, MORA propone una técnica de reparación concreta para las características del daño que introduzca el analista. Esta técnica lleva aparejada, entre otros datos, la duración prevista de la reparación.

El dato ofrecido por MORA puede ser asumido directamente por el analista o modificarse de forma justificada con objeto de que se adapte en la mayor medida posible a las características concretas de la situación que se esté evaluando.

b) Frecuencia del daño

La frecuencia se corresponde con las veces al año que se estima que puede producirse un suceso. En el presente análisis de riesgos la frecuencia se corresponde con la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental.

c) Reversibilidad del daño

Un daño medioambiental es reversible cuando los recursos naturales afectados por el mismo pueden devolverse a su estado original (estado básico en términos de la normativa de responsabilidad medioambiental) en un plazo de tiempo razonable y con un coste proporcionado.

Cuando un daño se cataloga como irreversible no procede la realización de medidas de reparación primaria si no de medidas de reparación complementaria. Ambos tipos de medidas deben llevar asociada una reparación compensatoria siempre que la reparación no sea inmediata y, por lo tanto, requiera una cantidad relevante de tiempo.

Por otra parte, en el Documento Metodológico del Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA), disponible en la página web del MITECO, se proponen una serie de criterios en los que puede basarse el analista para establecer la reversibilidad del daño:

- Atendiendo a la localización geográfica del daño. En MORA se asume, por defecto, que los daños ocasionados por agentes no biodegradables en zonas no accesibles serán irreversibles.
- Atendiendo al agente causante de daño y a la cantidad de recurso afectado. En la metodología del proyecto MORA se plantea la posibilidad de catalogar como irreversibles los daños para los cuales en la actualidad no se dispone de técnicas efectivas de reparación

IX.3.SIGNIFICATIVIDAD DEL DAÑO

La determinación de la significatividad del daño evaluado es un aspecto clave ya que la Ley de Responsabilidad Medioambiental únicamente puede aplicarse a los daños medioambientales significativos. Los restantes daños deberán ser objeto de tratamiento a través de la correspondiente normativa sectorial.

De esta forma el operador, dentro de su correspondiente análisis de riesgos medioambiental, deberá indicar si el escenario accidental seleccionado implicaría o no una afección significativa a los recursos naturales.

La normativa establece una serie de criterios a los que se debe atender de cara al estudio de la significatividad. En concreto, el artículo 2 de la Ley de Responsabilidad Medioambiental desglosa los criterios a seguir en función del tipo de recurso afectado: especies silvestres, hábitats, agua, ribera del mar y de las rías y suelo.

Adicionalmente, el Reglamento establece una serie de criterios adicionales a los que deberá atenderse:

- El artículo 15 del Reglamento recoge una serie de criterios generales de cara a determinar la significatividad.
- En el artículo 16 se disponen los criterios a seguir en función del tipo de recurso natural afectado.
- En el artículo 17 se recogen las disposiciones relativas al tipo de agente que causa el daño.
- Por último, el artículo 18 cita otros criterios para la estimación de la significatividad diferenciados de los anteriores.

En los análisis de riesgos medioambientales puede aparecer una notable incertidumbre a la hora de evaluar la significatividad de los daños ya que, merece la pena recordar, que en los mismos no se están evaluando daños ocurridos si no daños previstos o hipotéticos. Por este motivo, en el caso de que el analista considere que existe una incertidumbre relevante podrá declararse el daño como significativo, situando de esta forma su estudio del lado de la precaución.

IX.4.HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LOS DAÑOS

A continuación se recoge un listado específico de modelos de dispersión de contaminantes que puede ser tomado como referencia atendiendo a las características del sector objeto de estudio. En este sentido, debe incidirse en que el presente listado tiene un carácter meramente orientativo, no siendo obligatorio para los operadores, los cuales pueden aplicar estos u otros procedimientos para evaluar sus potenciales daños medioambientales siempre y cuando cumplan con las exigencias de la normativa.

Los modelos de cuantificación se han agrupado en función de los escenarios accidentales a los cuales se pueden aplicar:

Grupo 1: Vertido de sustancias procedente de un depósito o conducción

Grupo 2: Fuga de sustancias por avenidas, desborde de balsas o rotura de diques de contención

Grupo 3: Infiltración de sustancias por impermeabilización deficiente

Grupo 4: Deslizamiento de taludes en escombreras

Grupo 5: Vertido de sólidos desde camión u otros medios de transporte

Grupo 6: Inyección al acuífero o bombeo a una masa de agua superficial de agua contaminada

Grupo 7: Incendios forestales

Grupo 1: Herramientas para cuantificar los daños causados por un vertido procedente de un depósito o conducción

a) Recurso agua superficial

ENVIRONMENTAL FLUID DYNAMICS CODE (EFDC)

El *EFDC* es un software libre para modelado hidrodinámico de aguas superficiales —ríos, estuarios, lagos, zonas costeras y humedales— en una, dos y tres dimensiones. Es compatible con otras aplicaciones gratuitas diseñadas para la simulación de cambios en la salinidad, temperatura, sedimentos y concentración de contaminantes —modelos de transporte—.

La principal aplicación de *EFDC* es la generación de datos hidrodinámicos de entrada a otros programas gratuitos y de fácil uso como WASP, mediante los cuales se pueden calcular volúmenes de agua superficial con un post-procesamiento sencillo fuera del modelo.

Los principales parámetros de entrada en este modelo son:

- Batimetría
- Mareas
- Flujos de los ríos que entren en el dominio del modelo
- Velocidad y dirección del viento
- Velocidad de las corrientes y los niveles de agua para la calibración/validación
- Fuentes de contaminación puntual y/o difusa —si se vincula con otras aplicaciones que simulen calidad de las aguas—

El modelo puede descargarse de forma gratuita desde la web de la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (EPA):

<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/efdc.html>

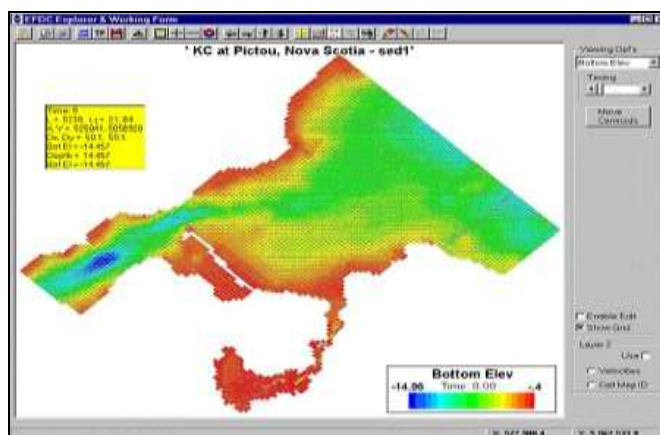


Figura 5. Salida gráfica de la aplicación Environmental Fluid Dynamics Code. Fuente: EPA.

RIVER AND STREAM WATER QUALITY MODEL (QUAL2K)

QUAL2K es un software libre de la EPA para la simulación de la calidad de las aguas superficiales. Permite la simulación de múltiples fuentes de contaminación —puntuales y difusas— en cualquier punto del sistema. Está diseñado para la simulación en agua superficial continental —fundamentalmente ríos y arroyos—.

Los resultados pueden emplearse para calcular el volumen de agua superficial con concentraciones por encima de los niveles de referencia surgente de una fuente de contaminación subsuperficial.

Entre los parámetros de calidad de las aguas caracterizados en *QUAL2K* se encuentra el pH y los sólidos en suspensión, por lo que puede tener especial interés dadas las características de los sectores objeto de estudio.

Los parámetros de entrada necesarios para los cálculos son:

- Caudal de los tramos de río considerados para la simulación, o cálculo del mismo previa introducción de pendiente del tramo y sección de paso
- Datos relacionados con estructuras con efecto significativo sobre el flujo, como presas
- Datos sobre el nivel de base de los parámetros de calidad del río

Indicar que para realizar una simulación de procesos de contaminación con metales pesados es necesario referirse a sólidos inorgánicos en suspensión.

El modelo se encuentra disponible de manera gratuita en la web de la EPA:

<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html>

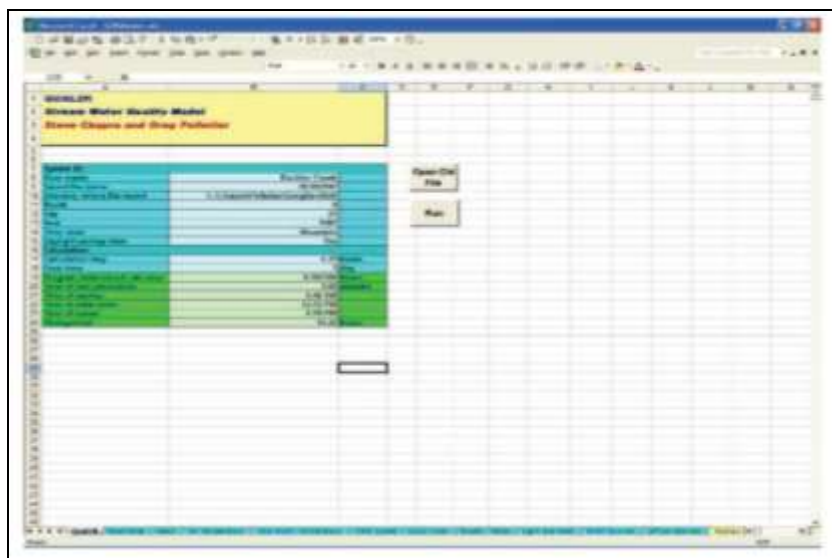


Figura 6. Salida gráfica de la aplicación River and Stream Water Quality Model. Fuente: EPA.

WATER QUALITY ANALYSIS SIMULATION PROGRAM (WASP)

WASP es un software libre de la USEPA que permite la simulación en una, dos y tres dimensiones de vertidos en sistemas acuáticos y la predicción de las afecciones a la calidad de las aguas de ríos, lagos, estuarios y zonas costeras. El programa no modela procesos hidrodinámicos, por lo que debe emplearse para ello otros modelos como el EFDC.

El modelo ofrece concentraciones tabuladas de los procesos simulados en los que se incluyen los volúmenes de las cajas o celdas en las que se divide el sistema objeto de simulación —definidos por el usuario—, por lo que la comparación con concentraciones de referencia y el cálculo posterior (fuera del modelo) de volumen de agua superficial afectado es relativamente sencillo. Además, WASP incluye un amplio rango de contaminantes y procesos asociados, incluyendo contaminantes orgánicos y metales. El modelo ofrece también salidas gráficas en dos dimensiones, gráficos XY de concentración-tiempo y mallados dónde se representa con escalas de colores las concentraciones alcanzadas.

Los principales parámetros de entrada necesarios para hacer los cálculos son los siguientes:

- Geometría de los segmentos o celdas empleados en la simulación (profundidad y volumen, velocidad del flujo, etc.)
- Concentraciones iniciales y tasas de descarga de contaminantes
- Parámetros físico-químicos de los contaminantes (coeficientes de reparto y factores de decaimiento)
- Parámetros para la simulación del transporte advectivo y difusivo

El modelo puede descargarse gratuitamente en la web de la EPA:

<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/wasp.html>

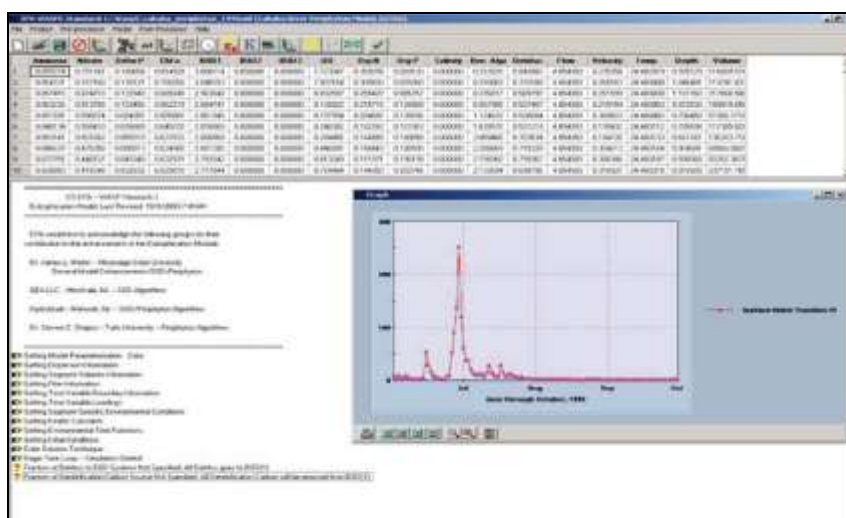


Figura 7. Salida gráfica de la aplicación Water Quality Analysis Simulation Program. Fuente: EPA.

VISUAL PLUMES

Visual Plumes es un software libre desarrollado por la EPA dirigido a la modelización de plumas de contaminación en aguas superficiales producidas por descargas de corrientes residuales en lagos, estuarios y zonas costeras.

El modelo permite la simulación de procesos de contaminación en aguas superficiales debido a vertidos de aguas residuales, permitiendo la simulación para uno o más contaminantes y ofreciendo como resultados perfiles de concentración verticales y horizontales. Como resultado, se obtiene la delimitación de la pluma horizontal y vertical pudiendo post procesarse estos resultados para calcular el volumen de agua afectada.

A priori, podría considerarse cualquier tipo de contaminante siempre que éste se encuentre en fase disuelta.

Las principales variables de entrada en el modelo son las siguientes:

- Variables del efluente: tasa de descarga, profundidad del vertido, temperatura, concentración del vertido, tasas de decaimiento del contaminante.
- Variables relacionadas con el difusor y la zona de mezcla: tamaño del puerto de salida de la tubería, ángulos de inclinación, distancia de las zonas de mezclado (para cada contaminante en relación con la evaluación de la toxicidad aguda y crónica)
- Condiciones ambientales: velocidad representativa de la corriente, salinidad del medio y concentración de fondo del contaminante.

El programa se encuentra accesible a través de la página web de la USEPA:

<http://www.epa.gov/ceampubl/swater/vplume/>

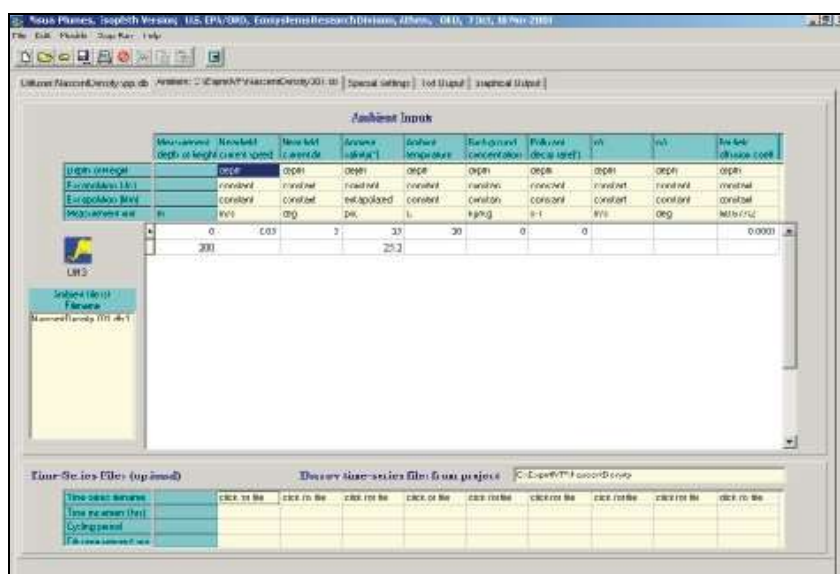


Figura 8. Salida gráfica de la aplicación Visual Plumes. Fuente: EPA.

TECHNICAL GUIDANCE DOCUMENT (TGD)

La segunda parte de la guía técnica elaborada por la Comisión Europea como soporte para la aplicación de la Directiva 93/67/EEC y la Directiva 98/8/EC, ofrece una serie de modelos matemáticos con el fin de estimar la concentración que alcanzarían los contaminantes en el suelo, el agua superficial y el agua subterránea, así como su evolución a lo largo del tiempo.

Se trata de un modelo relativamente sencillo, que permite tomar como referencia una serie de valores tabulados ofrecidos por defecto en la guía.

Las ecuaciones del modelo pueden descargarse de manera gratuita a través de la web:

http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_activities/health-env/risk_assessment_of_Biocides/doc/tgd

b) Recurso suelo y agua subterránea

BIOSCREEN

Bioscreen es un modelo de cribado que simula la atenuación natural de hidrocarburos en lugares de vertido de combustibles derivados del petróleo. El modelo está diseñado para simular la biodegradación debida a reacciones tanto aeróbicas como anaeróbicas. El sistema se basa en el modelo analítico de transporte *Domenico*. Permite simular procesos de advección, dispersión, absorción y decrecimiento aeróbico, así como reacciones anaeróbicas que constituyen procesos de biodegradación dominantes en muchos lugares de vertido de hidrocarburos.

La herramienta simula el comportamiento de plumas de contaminantes orgánicos, hidrocarburos en particular, aunque también puede considerar otros contaminantes.

Los datos de entrada que debe aportar el usuario son los siguientes:

- Parámetros hidrogeológicos (conductividad hidráulica, gradiente hidráulico, porosidad efectiva)
- Parámetros de transporte del contaminante (coeficientes de dispersión, coeficientes de partición, fracción de carbono orgánico en el acuífero)
- Parámetros de biodegradación (vida media de primer orden del contaminante, concentraciones de los aceptores de electrones disponibles)
- Características de la zona de vertido (anchura y profundidad de la zona de vertido, concentración de contaminante en la zona de vertido, masa de contaminante en la zona de vertido)
- Dimensiones del modelo (longitud y anchura de la zona modelizada y duración de la simulación)

Como salida, el programa retorna gráficos en dos ejes de concentración frente a distancia de la fuente a lo largo del eje central de la pluma para 10 intervalos temporales, y gráficos en tres ejes de concentración frente a distancia de la fuente a lo largo del eje central de la pluma y la distancia

transversal a la dirección del flujo de agua subterránea para 10 intervalos temporales.

La página a través de la que se puede descargar el modelo es la siguiente:

<http://www.epa.gov/ada/csmos/models/bioscrn.html>

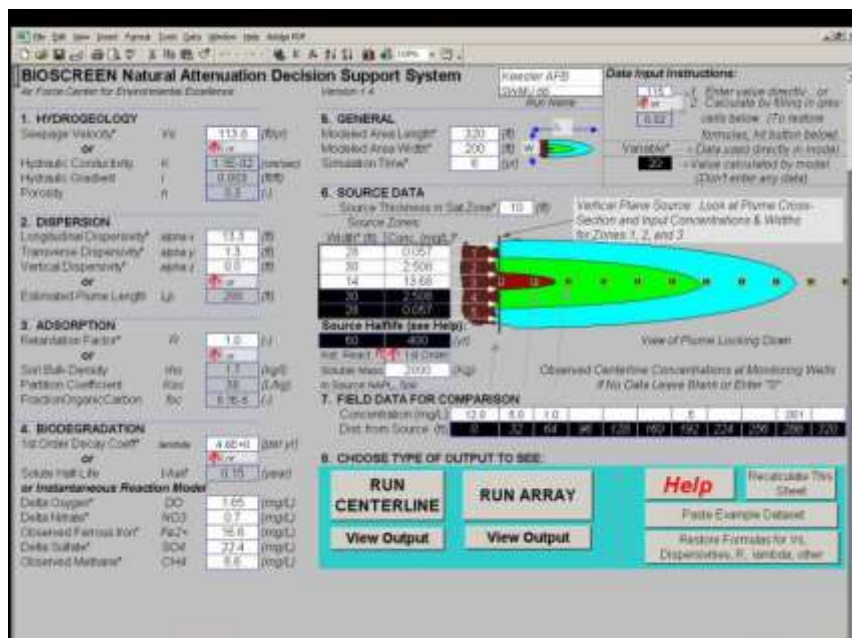


Figura 9. Salida gráfica de la aplicación Bioscreen. Fuente: EPA.

MODELO DE S. GRIMAZ

La Universidad de Udine (Italia) y la Universidad de Belfast (Reino Unido) han desarrollado un modelo matemático gratuito que permite estimar la superficie que ocuparía un hipotético vertido de líquidos viscosos, asimilando dicha superficie a una elipse. Asimismo ofrece una serie de ecuaciones con el fin de calcular la profundidad que alcanzaría dicho vertido.

La web a través de la cual puede consultarse la documentación de este modelo es la siguiente:

www.aidic.it/CISAP3/webpapers/21Grimaz.pdf

Grupo 2: Herramientas para cuantificar el daño causado por avenidas, desbordamiento de balsas y roturas de diques

HEC-RAS y HEC- GeoRAS

HEC-RAS es un programa gratuito desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos (USACE).

Existen dos versiones disponibles: *HEC-RAS* y *HEC-GeoRAS*, debiendo utilizarse esta última versión en caso de que el usuario desee trabajar sobre un sistema de información geográfica tipo *Arcview* o equivalente —opción recomendable con el fin de definir con la mayor claridad posible los receptores del potencial daño medioambiental—.

Para el funcionamiento del modelo deben aportarse datos geométricos y de caudales

—referidos al río o corriente que se esté analizando—.

El modelo retorna la altura que iría alcanzando la lámina de agua en cada sección, de tal forma que es posible evaluar las consecuencias de una hipotética avenida. Adicionalmente, *HEC-RAS* ofrece la posibilidad de simular la rotura de un dique o presa, pudiendo incorporar esta hipótesis en el análisis realizado.

La página de descarga de este programa es la siguiente:

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

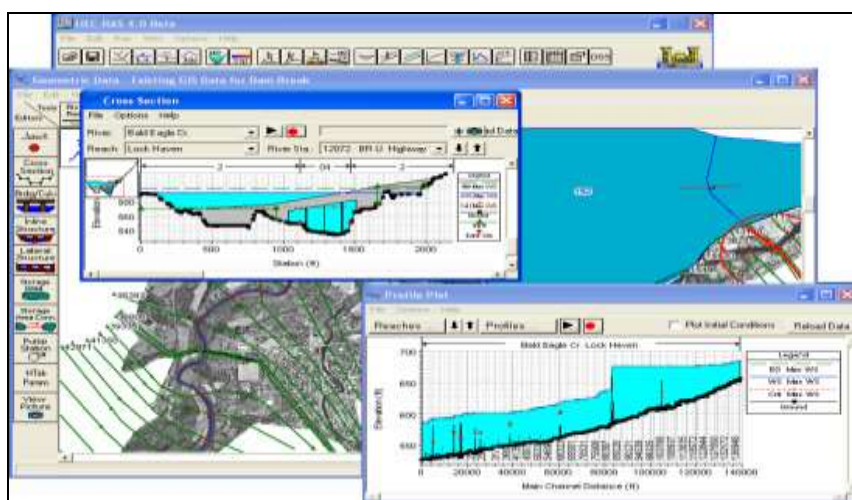


Figura 10. Salida gráfica de la aplicación HEC-RAS. Fuente: Cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos (USACE).

INFORMACIÓN PROCEDENTE DE DATOS HISTÓRICOS

Si bien el modelo *HEC-RAS* y *HEC-GeoRAS* ofrece al usuario la posibilidad de conocer el alcance de una avenida teórica —en términos de superficie—, restaría determinar el daño producido sobre el suelo y el acuífero. Esto es, deberían definirse los efectos causados por la infiltración. Con este fin, el analista podría basarse tanto en modelos matemáticos como en procedimientos de cálculo simplificados asumiendo justificadamente ciertos valores de referencia.

Existen diversas publicaciones sobre los modelos de infiltración disponibles en la actualidad. Una de las más citadas es *CHOW et al. (1994)*, donde el analista puede encontrar diferentes opciones de cálculo —entre ellas una aplicación concreta del modelo de *Green Ampt*—.

Como alternativa el analista puede realizar su estudio adoptando de manera justificada unos valores de referencia. Una posibilidad en este sentido es acudir a datos procedentes de accidentes reales que se consideren similares al evaluado.

En el caso de la rotura de un dique de contención, posiblemente el accidente medioambiental del que actualmente se dispone de un mayor volumen de información a nivel nacional, sea el ocurrido en abril de 1998 en la mina de Aznalcollar operada por la empresa Boliden Apirsa, S.L. Siendo multitud los artículos científicos publicados sobre este accidente y sus consecuencias; tomando como referencia

los de Ayora *et al.* (2001) y Arenas *et al.* (2001), pueden extraerse los datos recopilados en la Tabla 64 y 65.

Datos técnicos del accidente de Aznalcollar (1998)	
Causa	Rotura de la balsa de decantación
Datos de la balsa	
Capacidad proyectada (hm ³)	32
Volumen almacenado (hm ³)	26
Contenido	Lodos piríticos y estériles de mina
Datos del vertido	
Volumen de lodos (hm ³)	2
Volumen de agua ácida (hm ³)	4
pH	5,5
Principales metales disueltos	Fe, Pb, Cu

Tabla 64. Ejemplo de datos útiles sobre un accidente previo que se pueden tomar como referencia en la cuantificación (I). Fuente: elaboración propia a partir de Ayora *et al.* (2001) y Arenas *et al.* (2001).

Datos técnicos del accidente de Aznalcollar (1998)	
Afecciones	
Superficie total (ha)	4.630
Longitud de cauce (km)	62
Anchura media (m)	500
Afección al agua superficial	
Ríos afectados	Agrio y Guadiamar
Técnicas de reparación	Retención aguas abajo mediante diques
	Precipitación
	Traslado de lodos a vertedero
Afección al suelo	
Espesor mínimo del lodo	Milímetros
Espesor máximo del lodo	Superior a 1 m
Densidad mínima de lodo (m ³ /ha)	400
Densidad máxima de lodo (m ³ /ha)	1.560
Profundidad de suelo excavado	
Suelo con arena y/o grava (cm)	50
Suelo sin arena y/o grava (cm)	15
Técnicas de reparación	Traslado a vertedero
	Neutralización
	Fitorremediación
Afección al agua subterránea	
Zona	Localizada (entre balsa y confluencia de ríos)
Técnica de reparación	Barrera geoquímica
Afección a la vegetación	
Efecto	Transferencia de contaminación
Técnica de reparación	Retirada, eliminación y reposición
Afección a las especies	
Efecto	Desaparición
Técnica de reparación	Recuperación natural

Tabla 65. Ejemplo de datos útiles sobre un accidente previo que se pueden tomar como referencia en la cuantificación (II). Fuente: elaboración propia a partir de Ayora *et al.* (2001) y Arenas *et al.* (2001).

Grupo 3: Herramientas para cuantificar el daño causado por la infiltración de sustancias debido a una impermeabilización deficiente

Con el fin de cuantificar las consecuencias de este tipo de accidentes puede acudir de nuevo a modelos de simulación apoyados en plataformas informáticas, a sistemas de ecuaciones específicos de modelos de infiltración, o acudir a referencias bibliográficas de sucesos anteriores.

A este respecto, se recomienda que el analista consulte el catálogo elaborado para los daños causados al suelo y al agua subterránea por vertidos procedentes de depósitos y conducciones. Como alternativa puede estudiarse la posibilidad de emplear modelos matemáticos de infiltración, y datos de los que pudiera disponer el operador, los cuales deberían tener en cuenta aspectos clave como la precipitación, velocidad de infiltración, solubilidad, coeficientes de partición, etc.

Grupo 4: Herramientas para cuantificar el daño causado por un deslizamiento de taludes en escombreras

Dado que las escombreras almacenan materiales en estado sólido, es posible asumir que en caso de producirse un vertido de los mismos, éstos no se desplazarían más allá del sitio al que se precipitan. Por lo tanto, únicamente afectarían a los recursos naturales que se encuentren en el lugar alcanzado por el deslizamiento.

El reto técnico consiste en definir tanto el volumen de residuos que escaparían de los límites de la escombrera, como la superficie que ocuparían los mismos.

Con el fin de solventarlo el analista puede acudir a los estudios geotécnicos de los que disponga cada instalación, a partir de los cuales se prevean diferentes hipótesis de rotura y desplazamiento de los taludes. De esta forma, estimada la superficie y la longitud de rotura el analista podría estimar el volumen deslizado, y a partir del mismo proponer una superficie afectada por el desprendimiento —pudiendo tomarse como indicadores de base aspectos como la pendiente, la estabilidad, la cohesión de los materiales, la homogeneidad del talud a lo largo de la escombrera, etc.—.

Grupo 5: Herramientas para cuantificar el daño causado por vertido de sólidos desde camiones u otros medios de transporte

Conocida la capacidad de transporte de un camión o el volumen que transporta con determinada frecuencia, el analista podría calcular el volumen vertido sobre los recursos naturales.

Al igual que en el caso de las escombreras se considera que al tratarse de materiales sólidos, éstos permanecerán inmóviles sobre el lugar en el que caen por lo que el problema de difusión se minimizaría. No obstante, el analista debe definir tanto la cantidad que prevé que sería vertida como el lugar donde se estima que la misma quedaría depositada.

Con el fin de definir la cantidad vertida pueden emplearse los datos de operación de cada instalación. Esto es, el volumen transportado por los camiones, las cintas de transporte y restantes medios, puede emplearse como un dato de base para proponer la cantidad que se vertería.

Por lo que respecta a la definición del lugar en el cual caerían estos materiales, el analista podrá

basarse en las rutas y trazados seguidos por el transporte de materiales. De tal forma que conocido el recorrido realizado puedan identificarse tanto las zonas especialmente sensibles que podrían afectarse como las zonas que podrían verse afectadas con mayor probabilidad. A modo de ejemplo, si el recorrido de un camión o de una cinta, cruza sobre una corriente de agua, suelo desnudo, vegetación, etc. esta circunstancia debería ser tenida en cuenta al tratarse de recursos cubiertos por la LRM, asignando una probabilidad de que el daño afecte a cada uno de los mismos —esta probabilidad podría ser función de la distancia que recorre el camión o la cinta sobre cada recurso natural—.

Grupo 6: Herramientas para cuantificar el daño causado por inyección al acuífero o bombeo al agua superficial de agua contaminada

Dado que tanto la inyección como el bombeo de agua con calidad deficiente puede asimilarse con un vertido directo al acuífero o al agua superficial, el analista podría emplear los modelos propuestos para cuantificar el daño causado por un vertido procedente de un depósito o una conducción. Si bien, debería centrarse en los modelos indicados para los daños sobre el agua superficial y sobre el agua subterránea.

Grupo 7: Herramientas para cuantificar el daño causado por incendios forestales

BEHAVE

Como se ha indicado en apartados precedentes, el programa de simulación *Behave* se encuentra disponible de manera gratuita a través de Internet, y permite evaluar tanto la extensión —medida en hectáreas— como la intensidad —medida como el porcentaje de vegetación afectada— de un hipotético incendio forestal.

Los parámetros de entrada básicos del modelo hacen referencia a datos climáticos —viento, temperatura, humedad, etc.— y datos de la vegetación —especies, altura, cobertura, etc.—.

La simulación realizada con el programa *Behave* debe ser ajustada a la realidad empleando ortofotos de cada zona concreta, sobre las cuales, partiendo de la dirección que seguiría el incendio —proporcionada por *Behave*—, se determina la extensión real de la zona afectada. Esta zona podría no asumirse necesariamente como elíptica, si no que se consideraría limitada por barreras preexistentes que impedirían la expansión del incendio. Dichas barreras se podrían corresponder con caminos, barrancos, cursos de agua, y otras zonas sin combustible que pueden suponer la contención y extinción del incendio dentro del recinto que delimitan.

La aplicación informática funciona en entorno MS Windows y puede ser descargada desde la página web del *Rock Mountain Research Station*: <http://firemodels.fire.org/>.

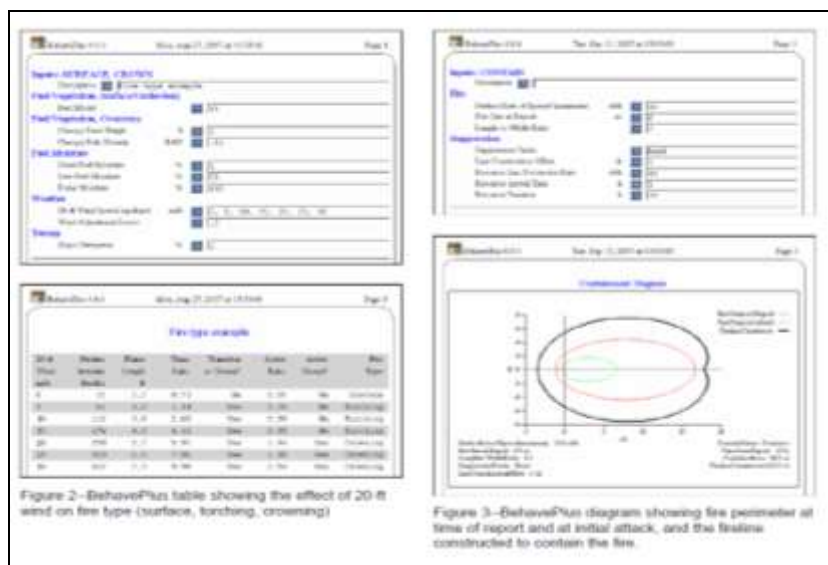


Figura 11. Salida gráfica de la aplicación Behave. Fuente: Rock Mountain Research Station.

IX.5.DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS ASOCIADOS A LA MINERÍA DE SULFUROS POLIMETÁLICOS

Los minerales sulfuros son estables y muy insolubles bajo las condiciones reductoras que existen en el subsuelo, sin embargo, en condiciones atmosféricas su estructura se desestabiliza mediante reacciones de oxidación. Dichas reacciones liberan metales pesados en forma de iones que pueden ser lavados por el agua o precipitar formando minerales secundarios que, en casos como el de la pirita, acidifican el medio con el que entran en contacto.

En general la presencia de metales pesados en los ecosistemas acuáticos o terrestres es habitual puesto que muchos de ellos son necesarios en el desarrollo de los seres vivos (Vílchez 2005). Elementos como el cromo, manganeso, cobre, zinc, molibdeno, vanadio o hierro participan en una serie de funciones catalíticas imprescindibles para la vida. Sin embargo, aunque su presencia sea necesaria, para que puedan ser aprovechados han de encontrarse en concentraciones muy reducidas que se denominan niveles traza. Todo aumento de sus concentraciones más allá de este nivel conlleva que estas sustancias pasen a convertirse en nocivas para el medio.

Los efectos tóxicos que se derivan de la contaminación por metales pesados se asocian a afecciones sobre los grupos funcionales, modificaciones estructurales de algunos lugares activos o la ruptura de membranas.

Como estos compuestos no se pueden eliminar por vías naturales tienden a bioacumularse y se introducen en la cadena trófica donde pueden alcanzar niveles tóxicos para los seres vivos afectando en sus procesos biológicos. Tal es el caso de las plantas, organismos en los que concentraciones contaminantes de metales pesados merman su capacidad de crecimiento e incluso pueden provocar necrosis. Asimismo, cabe resaltar que hay numerosa bibliografía y estudios realizados en los que queda constancia de los importantes daños a la salud humana que se producen en caso de que estas sustancias sean ingeridas o inhaladas.

Por todo lo anterior resulta muy interesante conocer los umbrales de toxicidad de estos agentes químicos en los distintos medios receptores. Estos valores, además, se pueden utilizar como punto comparativo de cara a estimar el grado de afección de los escenarios accidentales y, en consecuencia, determinar si los daños ambientales que se podrían causar serían significativos o no.

Una vez realizada la cuantificación de los daños, con los datos de intensidad que haya sido posible calcular, el siguiente paso es cotejar estos valores con los umbrales de toxicidad. A este respecto existe numerosa bibliografía y en general no es difícil encontrar información acudiendo a las fichas de seguridad de cada agente. En caso de que el operador considere que posee información más veraz en relación a estos compuestos químicos, podrá utilizarla siempre y cuando resulte debidamente justificado.

A modo de ejemplo, en las siguientes tablas se muestra un resumen de umbrales de toxicidad para distintos metales pesados.

CADMIO		
Especie	Umbral de toxicidad	Concentración
Crustáceo <i>Daphnia pulex</i>	EC50	0,122 mg/l
Peces (agua dulce)	NOEC	0,003 mg/l
Conejo	LC50	8 mg/l (inhalación)
Rata	LD50	2.330 mg/kg peso corporal

Tabla 66. Umbrales de toxicidad del cadmio para crustáceos, peces y mamíferos. Fuente: Elaboración propia a partir de fichas de seguridad.

COBRE		
Especie	Umbral de toxicidad	Concentración
Crustáceo <i>Daphnia pulex</i>	LOEC	0,01 mg/l
Pez <i>Gambusia affinis</i>	LC50	0,18 mg/l
Pez <i>Salmo gairdneri</i>	LC50	0,031 mg/l
Alga <i>Anacistis sp.</i>	LOEC	0,15 mg/l
Ratón	LD50	0,7 mg/kg peso corporal

Tabla 67. Umbrales de toxicidad del cobre para crustáceos, peces, algas y mamíferos. Fuente: Elaboración propia a partir de fichas de seguridad.

HIERRO		
Especie	Umbral de toxicidad	Concentración
Invertebrados (varias spp.)	LC50	0,300-2 mg/l
Insecto (<i>Leptophlebia marginata</i>)	LC50	73,1 mg/l (24h)
Rata	LD50	2.000 mg/kg peso corporal
Perro	LC50	20-60 mg/kg
Peces (<i>Cyprinus carpio</i>)	LC50	0,56-2,25 mg/l
Peces (<i>Salmo trutta</i>)	LC50	0,05 mg/l
Plantas acuáticas (<i>Lemna minor</i>)	EC50	3,7 mg/l
Alga (<i>Selenastrum capricornutum</i>)	NOEC	2,4 mg/l
Sapo (<i>Bufo boreas</i>)	LC50	20-30 mg/l

Tabla 68. Umbrales de toxicidad del hierro para invertebrados, mamíferos, peces, plantas, anfibios y algas.

Fuente: Elaboración propia a partir de fichas de seguridad.

MANGANESO		
Especie	Umbral de toxicidad	Concentración
Peces (<i>Colisa fasciatus</i>)	LC50	3,230 mg/l
Peces (<i>Agosia chrysogaster</i>)	LC50	130 mg/l
Peces (varias spp.)	LC50	33,8-4.540 mg/l (48-96h)
Crustáceo (<i>Daphnia magna</i>)	LC50	4,7 mg/l (48-96h)
Rana (<i>Microhyla ornata</i>)	LC50	14,3-16,6 mg/l (24-96h)
Rata	LD50	2.150 mg/kg peso corporal

Tabla 69. Umbrales de toxicidad del manganeso para peces, crustáceos, anfibios y mamíferos. Fuente: elaboración propia a partir de fichas de seguridad.

PLOMO		
Especie	Umbral de toxicidad	Concentración
Crustáceo <i>Daphnia magna</i>	LC50	12,26-83,01 µg/l
Ave <i>Cortunix cortunix</i>	LC50	>5000 mg/kg peso corporal
Plantas	Fitotoxicidad	>200 mg/Kg de suelo
Algas de agua dulce	LC50	500 µg/l
Perro	LD50	191 mg/kg peso corporal
Cerdo de guinea	LD50	313 mg/kg peso corporal
Rata	LD50	790 mg/kg peso corporal

Tabla 70. Umbrales de toxicidad del plomo para peces, aves, plantas, algas y mamíferos. Fuente: elaboración propia a partir de fichas de seguridad.

ZINC		
Especie	Umbral de toxicidad	Concentración
Crustáceo (varias spp.)	LC50	67,9 mg/l
Crustáceo (<i>Artenia franciscana</i>)	LC50	44,8 mg/l
Rata	LD50	1.374 mg/kg peso corporal
Peces (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LC50	63,98 mg/l
Algas (<i>Selenastrum capricornutum</i>)	EC50	0,030 mg/l
Algas verdes	EC50	200 mg/l (96h)

Tabla 71. Umbrales de toxicidad del zinc para crustáceos, mamíferos, peces y algas. Fuente: elaboración propia a partir de fichas de seguridad.

Una de las principales particularidades químicas que tienen los metales pesados en agua es que su grado de solubilidad se asocia al pH del medio con el que entran en contacto. Por norma general, a menor pH —mayor acidez—, los metales son más solubles que en pH más básicos. Este hecho plantea una metodología alternativa para evaluar la significatividad de los daños de estos vertidos a las masas de agua. Se puede deducir que cuanto más solubles sean las sales polimetálicas en el medio receptor —entornos más ácidos—, mayor movilidad alcanzarán y mayor será la extensión de la contaminación, mientras que, en masas de agua con pH más elevados los metales tenderán a precipitar, hecho que implica menores consecuencias ambientales.

A continuación se muestran los datos de pH de solubilidad mínima para diversos metales.

METAL DISUELTO	PH MÍNIMA SOLUBILIDAD
Fe ³⁺	~ 3.5
Al ³⁺	~ 4.5
Pb ²⁺	~ 6.5
Cu ²⁺	~ 7
Fe ²⁺	~ 8
Zn ³⁺	~ 8.5
Ni ²⁺	~ 9.3
Cd ²⁺	~ 10.0
Mn ²⁺	~ 10.6

Tabla 72. Valores de pH y solubilidad mínima para diversos hidróxidos metálicos. Fuente: elaboración propia a partir de “La Contaminación Minera de los ríos Tinto y Odiel”. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía).

Como se puede comprobar, la información sobre la toxicidad y el comportamiento de las sales polimetálicas es relativamente asequible. Se puede acudir, por tanto, a estos datos cuando se quiera valorar la significatividad de los daños de los distintos escenarios. Sin embargo, podrían darse casos en los que no resulte posible calcular la afección al medio en términos de intensidad del daño. En la presente GM se aconseja, tomando como base un criterio conservador, que en tales situaciones se asuman los daños como significativos. Esta recomendación no pretende ser vinculante, pudiendo el operador aplicar otra metodología de valoración de la significatividad, siempre y cuando ésta quede correctamente justificada.

IX.6. DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS ASOCIADOS A LA MINERÍA DE SALES SÓDICAS Y POTÁSICAS

Los principales escenarios accidentales que, *a priori*, se pueden asociar a la minería de sales son los vertidos de sustancias líquidas con alto grado de salinidad.

La posibilidad de evaluar la contaminación del medio por sales sódicas o potásicas es muy útil al tratarse de una de las principales amenazas fisiológicas para los ecosistemas. La adición de sales a corrientes de agua dulce reduce considerablemente su calidad y disminuye la absorción de nutrientes de las plantas, afectando con ello al desarrollo vegetal. Con respecto al suelo, un vertido de estas sustancias puede alterar el metabolismo de los microorganismos atenuando enormemente su fertilidad. Además un nivel alto de salinidad dificulta el crecimiento y la productividad vegetal aumentando el punto de marchitamiento debido al propio efecto tóxico de las sales y, principalmente, al estrés hídrico provocado por el incremento de la presión osmótica.

Como primer paso para determinar los daños en estos escenarios de vertido, se recomienda al operador la utilización de modelos de difusión como los expuestos en apartados anteriores de este informe, para así poder, en la medida de lo posible, obtener valores de extensión e intensidad. A partir de estas estimaciones se hallaría la significatividad mediante el cálculo de los efectos en el medio, para lo cual es muy útil manejar los diferentes umbrales de toxicidad, que en las sales pueden venir indicados en unidades de conductividad eléctrica o concentración.

Por ejemplo, en el caso del suelo, gracias a la bibliografía² consultada se han podido deducir grados de afección tomando como base los rendimientos en los cultivos. En la Tabla 73 se muestra una clasificación de suelos según su conductividad eléctrica.

Tipo de suelo	Conductividad a 25°C (µS/cm)	Concentración (mg/l)	Afección
Suelo normal	0 - 2.000	< 1.400 l	Sin afección
Suelo ligeramente salino	2.000 a 4.000	1.400 a 2.800	Afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles
Suelo salino	4.000 a 8.000	2.800 a 5.600	Afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos
Suelo fuertemente salino	8.000 a 16.000	5.600 a 11.200	Sólo rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes
Suelo extremadamente salino	>16.000	>11.200	Muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables

Tabla 73. Grados de afección de la salinidad en el suelo. Fuente: United States Salinity Laboratory.

Del mismo modo, también existe numerosa bibliografía sobre los límites de salinidad según el tipo de masa de agua (Calderón, 2002), de forma que si se conoce el estado original en el que éstas se encuentran se podría concluir si cambian significativamente.

²<http://es.scribd.com/doc/69652556/CONTAMINACION-DEL-SUELO-POR-SALES-Y-SU-REMEDIACION>

Tipo de agua	Conductividad a 25°C (µS/cm)	Concentración (mg/l)
Agua ultra-pura	0,05	0,04
Agua de alimentación a calderas	1 a 5	0,7 a 3,5
Agua potable	50 a 100	35 a 100
Agua de río	300	209,8
Solución de suelo	500 a 2.500	350 a 1.750
Agua de mar	53.000	36.400

Tabla 74. Valores de conductividad y concentración de algunas muestras típicas de agua. Fuente: Calderón, 2002.

En lo que concierne a las plantas, el laboratorio de salinidad de los Estados Unidos, ha establecido en 4.000 µS/cm el límite de toxicidad. Aunque igualmente si se precisa de información más concreta, se puede acceder a las fichas de seguridad de las sustancias, que en ocasiones ofrecen datos más específicos.

En cuanto a las especies animales, si se acude a las fichas de seguridad que facilitan organismos oficiales como es el European Chemical Substances Information System se pueden encontrar referencias de umbrales para invertebrados, e incluso para mamíferos.

En la Tabla 75, se presentan, a modo de ejemplo, algunos umbrales de toxicidad para el cloruro potásico (KCl), tanto de plantas como de animales, obtenidos de fichas de seguridad.

Especie	Umbral de toxicidad	Concentración
Pez <i>Gambusia affinis</i>	LC50	920 mg/l
Crustáceo <i>Orconectes limosus</i>	LC50	626-854 mg/l
Ratas	LD50	383 mg/kg peso corporal
Cerdo de guinea	LD50	2.500 mg/kg peso corporal
Perro	LDLo	85 mg/kg peso corporal
Rana	LDLo	2.210 mg/kg peso corporal
Invertebrado <i>Physa heterostropha</i>	LC50	940 mg/l
Alga <i>Scenedesmus subspicatus</i>	NOEC	600 mg/l

Tabla 75. Umbrales de toxicidad de KCl para peces, mamíferos, crustáceos, anfibios, invertebrados y plantas acuáticas. Fuente: Elaboración propia a partir de fichas de seguridad.

Por último, en relación al agua marina, hay numerosos estudios que indican que vertidos con elevadas concentraciones salinas pueden provocar daños importantes en determinadas especies marinas sensibles. En la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos.

Especie	Concentración (g/l)	Fuente ³
<i>Posidonia oceanica</i>	No superior a 39,6 en más del 25% de las observaciones	(1)
<i>Cimodocea nodosa</i>	No superior a 40,6 en más del 25% de las observaciones	(2)
<i>Caulerpa prolifera</i>	51,4 a 72	(3)
<i>Bivalvos</i>	51,4 a 72	(4)
<i>Paracentrotus lividus</i>	42,2	(5)
<i>Zostera noltii</i>	42,2	(6)

Tabla 76. Ejemplo de límites de tolerancia a la salinidad estimados en especies marinas sensibles del Mar Mediterráneo.

Como ha quedado plasmado existe numerosa información referente a las sales. Esta accesibilidad permitiría evaluar la significatividad de los daños en los casos en que se pudieran comparar estos valores con la intensidad de la afección en los diferentes medios.

X. CONSIDERACIONES PARA LA VALORACIÓN DEL DAÑO ASOCIADO A CADA ESCENARIO ACCIDENTAL

X.1. REPARACIÓN DEL DAÑO MEDIOAMBIENTAL

X.1.1. Tipos de medidas de reparación

La LRM distingue una serie de medidas con el fin de prevenir, evitar y en su caso reparar un daño medioambiental. En concreto, la normativa 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.

³ (1) Autores varios, 2003. (2) Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Valor recomendado por el CEDEX, justificado por la presencia de esta fanerógama en el Mar Menor (Murcia). (3) Terrados, 1991. (4) Iso *et al.*, 1994. (5) Lloret *et al.*, 2001. (6) Fernández y Sánchez Lizaso, 2006.

Por lo tanto, mediante las medidas de prevención se trataría de impedir que un daño ocurra, o en su defecto —una vez producido— que éste sea de la menor magnitud posible. Las medidas de evitación de nuevos daños, se llevarían a cabo después de producirse el daño medioambiental con el fin impedir que éste se extienda. Por último, la reparación se llevaría a cabo para retornar los recursos naturales afectados a su estado básico u original de tal forma que la sociedad no vea mermado su bienestar.

Indicar que los operadores recogidos en el anexo III de la LRM se encuentran obligados a la aplicación de estos tres tipos de medidas, aunque no exista dolo, culpa o negligencia —marco de responsabilidad objetiva—. Mientras, los operadores no contenidos en este anexo están sujetos a las siguientes obligaciones:

- a) Cuando medie dolo, culpa o negligencia, serán exigibles las medidas de prevención, de evitación y de reparación.
- b) Cuando no medie dolo, culpa o negligencia, serán exigibles las medidas de prevención y de evitación.

Esto es, todos los operadores económicos se encuentran obligados a prevenir y evitar sus potenciales daños medioambientales, y adicionalmente deben reparar los daños causados siempre que se demuestre la existencia de dolo, culpa o negligencia —salvo los operadores del anexo III, que como se ha indicado, se encuentran bajo un marco de responsabilidad objetiva por lo que estarían obligados a ejecutar los tres tipos de medidas—.

El anexo II de la LRM se dedica específicamente a la reparación del daño medioambiental exponiendo los conceptos y criterios relacionados con las medidas reparadoras a adoptar.

La reparación del daño medioambiental se consigue restituyendo el medioambiente a su estado básico mediante una serie de medidas reparadoras:

- a) Reparación primaria: Toda medida correctora que restituya o aproxime al máximo los recursos naturales o servicios de recursos naturales dañados a su estado básico.
- b) Reparación complementaria: Toda medida correctora adoptada 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.
- c) Reparación compensatoria: Toda acción adoptada 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. No consiste en una compensación financiera al público.

De esta forma, un determinado daño medioambiental podría ser reparado mediante una medida tipo primaria, y en caso de no poderse recuperar el estado básico adoptar adicionalmente las medidas complementarias que se consideren necesarias. Por otra parte, aparejadas a las medidas primarias y

complementarias se realizarían medidas compensatorias, con el fin de compensar por el tiempo transcurrido hasta que la reparación se haga efectiva.

La selección de las medidas reparadoras a adoptar con el fin de reparar los daños medioambientales debe realizarse considerando la totalidad de los siguientes criterios:

- a) El efecto de cada medida en la salud y la seguridad públicas
- 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

X.1.2. Los criterios de equivalencia

Los criterios de equivalencia permiten calcular los recursos naturales y servicios de recursos naturales que deben generarse mediante la reparación. Esto es, representan el enfoque que debe darse con el fin de dimensionar la reparación a realizar. Se distinguen cuatro tipos de criterios de equivalencia:

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.

Servicio-Servicio. Criterio que valora los recursos naturales o servicios de recursos naturales dañados a partir del 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.

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.

Valor-Coste. Valoración monetaria que presume que el valor social del daño medioambiental equivale al coste del proyecto de reparación.

La selección del criterio de equivalencia a aplicar en el análisis se encuentra regulada por la normativa, estableciéndose el siguiente orden de preferencia:

1º El criterio recurso-recurso o servicio-servicio.

2º El criterio valor-valor.

3º El criterio valor-coste.

La selección del criterio de equivalencia debe tener en cuenta los siguientes factores:

a) El tipo de los recursos naturales o servicios de los recursos naturales que se han perdido y se pueden ganar mediante la reparación.

b) La calidad de los recursos naturales o servicios de los recursos naturales que se han perdido y los que se pueden ganar mediante la reparación.

c) La posibilidad de utilizar la misma unidad de medida para estimar las pérdidas y las ganancias de los recursos naturales y los servicios de los recursos naturales.

d) El lugar donde se llevará a cabo la reparación.

e) El coste de la reparación.

En base a los factores anteriores, debe aplicarse un criterio de equivalencia de tipo recurso-recurso o servicio-servicio cuando sea posible proporcionar a través de la reparación el mismo tipo y la misma calidad, o una calidad ajustable, de recursos o servicios que los que se han perdido a consecuencia del daño medioambiental.

El criterio recurso-recurso es aplicable cuando exista un grado de sustitución pleno entre el tipo y la calidad de los recursos naturales dañados y los que podrán obtenerse a través de la reparación complementaria o compensatoria.

El criterio de equivalencia servicio-servicio debe emplearse en caso de que se dé alguna de las siguientes circunstancias:

a) Que los recursos naturales dañados y aquéllos que se obtengan a través de la reparación complementaria o compensatoria sean de calidad significativamente diferente o de calidad no ajustable.

b) Que la reparación complementaria o compensatoria genere recursos naturales o servicios de recursos naturales de distinto tipo pero comparables a los dañados.

Descartados los criterios recurso-recurso y servicio-servicio, el enfoque valor-valor puede aplicarse cuando se de alguno de los siguientes supuestos:

- a) Que su aplicación implique un coste desproporcionado.
- b) Que no se puedan estimar las tasas de intercambio entre los recursos naturales o servicios de los recursos naturales perdidos y los ganados a través de la reparación.

En última instancia, se acude a un criterio de equivalencia de tipo valor-coste en caso de que no sea posible estimar el valor social de los recursos naturales o los servicios de los recursos que podrán generarse a través del proyecto de reparación o cuando dicha valoración no pueda realizarse en un plazo o con unos costes razonables.

X.1.3. Valoración del daño ambiental

El valor de los daños —expresado en términos monetarios— se corresponde con la cuantía necesaria para hacer frente a la totalidad de las medidas de prevención, evitación y reparación. Siendo por lo tanto relevante seleccionar el criterio de equivalencia que se considere más adecuado a cada caso concreto.

Indicar que la aplicación de los criterios de equivalencia valor- valor y valor- coste requiere llevar a cabo técnicas de valoración propias del análisis económico. A estos efectos y en caso necesario, se puede aplicar el método de transferencia de resultados, que permite adaptar experiencias de valoración ya existentes al caso de estudio.

Las técnicas de valoración alternativas pueden ser directas, como es el caso de la valoración contingente, o indirectas, tales como las basadas en el coste de reposición, la función de producción, el coste de viaje y los precios hedónicos, entre otros.

Las técnicas de valoración indirecta o de preferencias reveladas permiten medir la importancia que se concede a la variación en la calidad de un determinado servicio ambiental, dependiendo de la relación entre los bienes y servicios ambientales objeto de valoración y otros bienes y servicios o insumos productivos que circulan en el mercado.

Las técnicas de valoración directa o de preferencias declaradas buscan acceder al valor de los servicios ambientales cuando no es posible determinar la relación entre la valoración que hace una persona de un bien o servicio ambiental y el comportamiento en mercados reales de los bienes y servicios con los que está relacionado dicho bien o servicio. Estas técnicas consisten en preguntar directamente a las personas afectadas por el valor que otorgan a los cambios en su bienestar asociados a la modificación en las condiciones de oferta de un bien o servicio ambiental.

X.2. MODELO DE OFERTA DE RESPONSABILIDAD MEDIOAMBIENTAL (MORA)

Con el fin de facilitar el cálculo del valor de los potenciales daños medioambientales, la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales, aprobó la metodología del Modelo de Oferta de Responsabilidad Medioambiental (MORA). Cuyo empleo es voluntario por parte de los operadores.

Este modelo, partiendo de un criterio de equivalencia recurso- recurso, ofrece como datos de salida el

coste que supondría la aplicación de las medidas primaria, compensatoria y en su caso complementaria; expresando por lo tanto el resultado en euros.

Los principales parámetros de entrada en el modelo son los siguientes:

a) Localización del daño

En el bloque de localización se pregunta al usuario sobre el lugar concreto que recibiría el daño medioambiental. Si bien MORA suministra una serie de datos precargados sobre la caracterización del territorio —los cuales proceden de la cartografía oficial—, el usuario puede modificarlos siempre de manera justificada. Algunos de los parámetros de este bloque son la accesibilidad, distancia a la vía más cercana, espacios naturales protegidos, permeabilidad del suelo, etc.

b) Agente causante de daño.

La herramienta MORA ofrece un catálogo de agentes causantes de daño —físicos, químicos, biológicos e incendio—, siendo los agentes químicos los que cuentan con un mayor nivel de desglose. En concreto, en el ámbito del presente sector pueden ser especialmente interesantes los agentes químicos inorgánicos, y en menor medida los fueles y compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles.

c) Cantidad de recurso dañado

Una vez definido dónde se produce el daño y con qué se produce, es necesario introducir cuál es el recurso dañado —agua, suelo, hábitat y/o especies—, así como la cantidad de recurso afectado medida en unidades biofísicas. En este sentido puede ser de especial interés recurrir al dato de extensión al que se haya llegado a través del proceso de cuantificación.

d) Reversibilidad del daño

Un daño se considera irreversible siempre y cuando no sea posible reestablecer el estado básico original en el cual se encontraba previamente a la ocurrencia del daño medioambiental. MORA ofrece dos módulos de cálculo uno para daños reversibles y otro para daños irreversibles, por lo que el usuario debe decidir si la medida de reparación primaria sería capaz o no de recuperar completamente los recursos afectados.

La aplicación informática de MORA se encuentra alojada en la página de internet del MITECO. En concreto, puede accederse a la misma a través de la siguiente dirección: <https://servicio.mapama.gob.es/mora/login.action>.

XI. CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA

El artículo 37 del Reglamento enumera los operadores que deberán tener constituida obligatoriamente una garantía financiera por responsabilidad medioambiental.

El cálculo de esta garantía se encuentra detallado en el artículo 33 del Reglamento. A continuación se

exponen las fases a seguir para realizar este cálculo:

1. Información de partida

La herramienta a partir de la cual los operadores deben fijar su garantía financiera es el análisis de riesgo de su instalación. Para elaborar este análisis pueden apoyarse en la presente GM o en otros estudios de evaluación del riesgo medioambiental que consideren adecuados a su situación concreta.

2. Identificación de los escenarios accidentales

La consulta del análisis de riesgos debe permitir al operador elaborar un listado con sus hipotéticos escenarios accidentales. Estos escenarios deben ser relevantes y representativos del riesgo medioambiental de su instalación y deben construirse con base en los árboles de sucesos especificados en la norma UN150008 o en otra norma que pueda considerarse equivalente a ésta.

3. Asignación de la probabilidad de ocurrencia a cada escenario accidental

Un aspecto clave del análisis consiste en asignar a cada escenario su probabilidad de ocurrencia. Esta probabilidad debe estimarse de tal forma que los escenarios sean comparables entre sí.

4. Cálculo del IDM asociado a cada escenario

El operador deberá calcular el IDM del daño asociado a cada uno de sus escenarios accidentales. Este índice tiene la consideración de estimador de la magnitud del daño ocasionado.

5. Cálculo del riesgo asociado a cada escenario

El riesgo asociado a cada escenario accidental es el producto de la probabilidad de ocurrencia del escenario por el valor del IDM.

6. Selección del escenario de referencia

En primer lugar se deben seleccionar los escenarios con menor índice de daño medioambiental asociado que agrupen el 95 por ciento del riesgo total. El escenario de referencia será aquel que tenga el IDM más alto de entre todos los escenarios seleccionados. En caso de que varios escenarios dispongan del mismo valor de IDM, desde la presente GM se recomendaría adoptar como referencia el que tenga asociado un mayor valor de probabilidad.

7. Garantía financiera propuesta

La garantía financiera se corresponde con el valor del daño medioambiental del escenario seleccionado. Para su cálculo se requiere:

- a. En primer lugar, cuantificar el daño medioambiental generado en el escenario seleccionado.
- b. En segundo lugar, monetizar el daño medioambiental generado en dicho escenario de referencia, cuyo valor será igual al coste del proyecto de reparación primaria.

8. Costes de prevención y evitación

Conforme con lo establecido en la normativa, una vez determinada la cuantía de la garantía financiera el coste de las medidas de prevención y evitación puede estimarse por dos vías:

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

En todo caso, la cuantía de los gastos de prevención y evitación del daño debe ser, como mínimo, el diez por ciento del importe total de la garantía determinada de acuerdo con los apartados precedentes.

XII. PROCEDIMIENTO TÉCNICO GENERAL PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGOS PARTICULARIZADO

Los análisis de riesgos medioambientales son una herramienta de evaluación y gestión del riesgo, cuya elaboración se encuentra regulada en el artículo 34 del Reglamento. Según dicho artículo estos análisis deben realizarse individualmente por cada operador siguiendo el esquema diseñado en la norma UNE 150008 u otras normas equivalentes, debiendo considerar, al menos, 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 —aspectos que en conjunto se denominan “cuantificación del daño”—.
- d) Una evaluación de la significatividad del daño.
- e) La identificación de las medidas de reparación primaria.

Adicionalmente, conforme con la normativa, los análisis de riesgos deben tener en cuenta los efectos de reducción del riesgo que suponen la adopción de medidas preventivas y de gestión.

En el presente apartado se pretende orientar al operador de cara a la realización de su análisis de riesgos individual, empleando como referencia la propia GM, la norma UNE 150008 y dando cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 34 del Reglamento.

La norma UNE 150008 plantea un proceso iterativo para la evaluación del riesgo medioambiental basado en el seguimiento de una serie de fases. Estas fases, si bien suponen un marco de referencia válido, deben completarse con los requerimientos establecidos en el Reglamento.

La Figura 12 muestra de forma esquemática el proceso a seguir.



Figura 12. Proceso recomendado para la elaboración de un análisis de riesgos individual. Fuente: elaboración

propia a partir de la norma UNE 150008 y del Reglamento.

A continuación se detalla el proceso que se sugiere seguir:

1. Factores ambientales

El análisis debe recoger una descripción del medio físico y biótico en el que se encuentra la instalación y que podría verse afectado por los hipotéticos accidentes medioambientales o que podría condicionar los mismos. En este sentido cobran especial interés elementos como la climatología, la geología, el suelo, el agua —superficial y subterránea—, la vegetación y la fauna. Siendo relevante determinar si existe riesgo de afección a un espacio natural protegido: Lugares de Interés comunitario (LIC), Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), Parques Naturales, Parques Nacionales, Monumentos Naturales, etc.

Atendiendo al estudio que se realice, el operador deberá definir el estado básico en el que se encuentran los recursos naturales. Se entiende por estado básico aquel en el que, de no haberse producido el hipotético daño medioambiental, se habrían hallado los recursos naturales y los servicios de recursos naturales en el momento en que sufrieron el daño, considerado a partir de la mejor información disponible.

La recomendación consiste en evaluar de forma individual el estado original en el que se encuentra cada uno de los recursos cubiertos por la LRM: suelo, agua, hábitat, especies y riberas del mar y de las rías. La opción deseable es disponer tanto de datos cuantitativos sobre la calidad de dichos recursos y de los servicios que prestan —por ejemplo: pH del agua y del suelo, concentración de sustancias tóxicas, número de individuos de cada especie, etc.—, como de datos cualitativos —estado de cada recurso, zonas degradadas, estado de conservación, etc.—. No obstante, existe la posibilidad de no disponer de parámetros cuantitativos del entorno —debido a la ausencia de registros previos, a la obsolescencia de los datos preexistentes, etc.—; en este caso el operador realizaría un estudio del estado básico de tipo cualitativo.

2. Identificación de causas y peligros

En esta fase se deben identificar, caracterizar y determinar las posibles fuentes de peligro existentes en la instalación. Con este fin el anexo B de la norma UNE 150008 propone una serie de técnicas de identificación de riesgos que puede emplear el operador para definir las posibles causas y peligros: índices de riesgos, análisis de *what if?*, análisis de riesgos y operatividad (HAZOP), análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (FMECA), árboles de fallos, árboles de sucesos, etc. La descripción de cada una de ellas puede consultarse en la propia norma UNE.

Con carácter general resulta útil realizar una zonificación de la instalación a evaluar. Esta zonificación debe identificar todas las zonas y procesos que con carácter preliminar se considere que pueden dar lugar a un incidente medioambiental —esto es, que pueda causar efectos adversos en el suelo, el agua, los hábitats, las especies y/o las riberas del mar y de las rías—.

En la presente GM se ofrece un catálogo de zonas a nivel sectorial que puede ser empleado por el operador como base para seleccionar las que se encuentren en su instalación (ver Anejo I). No

obstante, debe llamarse la atención sobre la posible existencia en una instalación de zonas o procesos no considerados en la GM. Estas zonas o procesos aun no siendo identificados a nivel sectorial sí deben ser objeto de estudio dentro del análisis de riesgos individual si se considera que tienen un riesgo relevante.

Concretadas las zonas y procesos objeto de evaluación se definirán los peligros y las causas que pueden desencadenar un incidente medioambiental. En la presente GM el operador puede encontrar una propuesta de causas de accidente asociadas a cada zona y proceso.

El operador deberá identificar —conforme con el artículo 34 del Reglamento— el tipo o los tipos de agentes que se liberarían en cada zona, los cuales en el ámbito del sector pueden ser físicos, químicos o incendios. Con el fin de facilitar la caracterización de los agentes químicos en la GM se suministra una ficha tipo con datos útiles de cara a realizar un análisis de riesgos individual.

3. Identificación de sucesos iniciadores

Conforme con la norma UNE 150008 un suceso iniciador es un hecho físico que puede generar un incidente o accidente en función de cuál sea su evolución en el espacio-tiempo.

En la presente GM se ofrece un catálogo de sucesos asociados a cada zona: inundación, vertido, infiltración, incendio, etc. El operador deberá seleccionar aquéllos que procedan, adaptarlos a sus circunstancias concretas y en caso necesario incluir otros sucesos que, aun no estando recogidos en la GM, sean relevantes en su instalación.

4. Postulación de escenarios de accidente

A partir de los sucesos iniciadores se debe diseñar la secuencia de eventos que puede dar lugar a los diferentes escenarios de accidente (árboles de sucesos). En la GM se recoge, a modo orientativo, una serie de escenarios accidentales básicos asociados a cada suceso iniciador. No obstante, los operadores individuales deberán tener en cuenta sus propios factores condicionantes con el fin de definir adecuadamente cada escenario a través de los árboles de sucesos —en cada escenario es necesario estimar al menos la probabilidad de ocurrencia, los recursos naturales afectados y el volumen de agente causante de daño que entraría en contacto con los recursos naturales—.

Los factores condicionantes son los aspectos que influyen en el desarrollo de los sucesos iniciadores, definiendo la secuencia de eventos que pueden dar lugar a los distintos escenarios accidentales.

En la GM se ha realizado un catálogo de posibles factores condicionantes a introducir en el análisis de riesgos; los cuales hacen referencia por un lado a las medidas de prevención y evitación de daños existentes en la instalación, y por otro a aspectos relativos al entorno de la instalación. Este catálogo puede reducirse o incrementarse con otros factores en función de las circunstancias de cada operador. En este sentido, las características del entorno y de la instalación son dos aspectos críticos a la hora de decidir los factores condicionantes a considerar.

La herramienta obligatoria para la identificación de escenarios accidentales es la construcción de árboles de sucesos, en los cuales partiendo de cada suceso iniciador y considerando los factores

condicionantes se alcanzan los diferentes escenarios.

Como se ha indicado anteriormente, una vez construidos los árboles, es necesario caracterizar cada escenario determinando para cada uno de ellos al menos su probabilidad de ocurrencia, el volumen liberado y los recursos naturales potencialmente afectados. En este sentido recordar que los recursos cubiertos por la LRM, y por lo tanto cuya afección debe evaluarse, son el suelo, el agua, los hábitats, las especies silvestres y las riberas del mar y de las rías.

5. Asignación de probabilidad

La metodología del análisis de riesgos medioambientales requiere asignar una probabilidad de ocurrencia a cada escenario accidental. Para ello, en la norma UNE 150008 se propone acudir a registros históricos de accidentes o, en su defecto, constituir un equipo de expertos.

En general, se recomienda emplear como base un registro histórico de accidentes siempre que éste se encuentre disponible y se considere válido. La validez del registro puede evaluarse atendiendo a la suficiencia de registros, la representatividad del mismo, la actualidad de los datos recogidos, la disponibilidad de datos sobre accidentes con efectos sobre los recursos cubiertos por la LRM, etc.

Si no se dispone de este tipo de registro será necesario acudir a datos bibliográficos o constituir un equipo de expertos que evalúe la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los sucesos. En esta GM se facilitan una serie de protocolos y tablas —basadas en el anexo F de la norma UNE 150008—, encaminadas a asignar una probabilidad de tipo semicuantitativo a los eventos que se describan en los análisis de riesgos individuales. Adicionalmente y en un contexto más específico de un análisis de riesgos medioambientales a nivel de instalación, la asignación de probabilidades puede seguir un método cuantitativo apoyándose en publicaciones de referencia en esta materia como *Purple Book* (2005) y *Bevi* (2009).

6. Cálculo del IDM

Conforme con lo establecido en el Reglamento, los operadores deben calcular el Índice de Daño Medioambiental asociado a cada escenario. Este cálculo debe realizarse atendiendo a lo recogido en el Anexo III del Reglamento.

7. Cálculo del riesgo

El riesgo medioambiental se define para cada escenario como el resultado de multiplicar su probabilidad de ocurrencia por el valor de su correspondiente IDM.

8. Selección del escenario accidental de referencia

De entre todos los escenarios identificados por el operador sólo uno es el seleccionado como referencia para la constitución de la garantía financiera por responsabilidad medioambiental. Este escenario se define a través del procedimiento establecido en el artículo 33 del Reglamento.

Los daños ocasionados bajo las hipótesis establecidas en el escenario accidental de referencia deben ser cuantificados en términos de extensión, intensidad y escala temporal (duración, frecuencia y reversibilidad). Los resultados obtenidos deben ser tomados en consideración a la hora de

determinar la significatividad de los daños ocasionados. En este sentido, debe indicarse que en el ámbito de la presente GM se recomienda que en caso de existir una incertidumbre relevante, se asuman los daños como significativos.

Una vez determinados los aspectos anteriores, el analista debe diseñar las medidas reparatoras y valorarlas económicamente.

La GM incluye, en un apartado específico, un catálogo de posibles modelos y criterios a los que puede atender el operador a la hora de cuantificar sus escenarios accidentales. Estos procedimientos —recomendados a nivel sectorial— deben validarse y en su caso adaptarse a las características concretas que se estén analizando.

9. Cálculo de la garantía financiera

El importe de la garantía financiera a constituir por el operador se corresponde con el valor de la reparación primaria asociada al escenario accidental de referencia incrementado en los correspondientes costes de las medidas de prevención y evitación.

Merece la pena recordar que, conforme con la normativa (artículo 28 de la LRM), quedarían exentos de constituir una garantía financiera los operadores que cumplan con alguno de los siguientes criterios:

- a) Los operadores que valoren sus daños potenciales en una cantidad inferior a 300.000 euros.
- b) Los operadores que valoren sus daños potenciales en una cantidad comprendida entre 300.000 y 2.000.000 de euros y acrediten, 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.

Por otra parte, debe indicarse que la cobertura de la garantía financiera obligatoria nunca será superior a 20.000.000 de euros conforme con lo dispuesto en el artículo 30 de la LRM.

10. Evaluación y gestión del riesgo

Una vez se dispone del riesgo asociado a cada escenario —y del valor de los hipotéticos daños—, el operador dispondría de la información necesaria para gestionar sus riesgos de la forma que considere más eficiente —eliminación, reducción y control, transferencia del riesgo, etc.—, y aplicar de esta forma las medidas preventivas más adecuadas.

La GM incluye un capítulo específico dedicado a asistir al operador en la toma de decisiones en este ámbito de su análisis de riesgos.

Con el fin de facilitar la aplicación de la GM en la elaboración de posibles MIRAT subsectoriales y en los análisis de riesgos individuales, en la Tabla 77 se recoge la correspondencia existente entre los requerimientos establecidos en el Reglamento y la norma UNE 150008 y los capítulos de la presente GM. Indicar que algunos de estos requerimientos reciben un tratamiento transversal en la GM, por lo

que en todo caso se recomienda al usuario la consulta del documento en su conjunto, y no una consulta aislada de epígrafes concretos.

Aspectos del Análisis de Riesgos Medioambientales	Epígrafe GM
Descripción de la actividad y caracterización del entorno donde ésta se realiza	IV
Identificación de escenarios accidentales relevantes	VI.4 y VII.1
Estimación de la probabilidad asociada a cada escenario	VII.2
Cálculo del índice de daño medioambiental (IDM)	VIII.1
Estimación del riesgo asociado a cada escenario	VIII.2
Selección del escenario accidental de referencia	VIII.2
Determinación y cuantificación del daño	IX
Monetización del daño	X
Evaluación de la necesidad de constituir una garantía financiera	XI
Posibilidad de evaluar la tolerabilidad del riesgo	XIII

Tabla 77. Relación existente entre los procesos descritos en la norma UNE 150008 y los aspectos indicados en el Reglamento para los análisis de riesgos medioambientales y los epígrafes de la presente GM. Fuente: elaboración propia a partir de la norma UNE 150008 y del Real Decreto 2090/2008.

XIII. ORIENTACIONES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL

La gestión de riesgos es el proceso en el que, a partir de los resultados del análisis de riesgos, se evalúan las posibles alternativas de actuación tendentes a controlar los riesgos analizados, se selecciona la más adecuada desde una perspectiva técnica, económica y ambiental, y se pone en práctica dicha alternativa (Kaifer *et al.*, 2004).

Conforme con la norma UNE 150008 de Análisis y evaluación del riesgo ambiental, el proceso de gestión de riesgos incluye:

- El tratamiento de los distintos riesgos evaluados, tanto en lo que se refiere a sus aspectos técnicos —implementación de medidas y sistemas para su eliminación, reducción y control— como financieros —transferencia al mercado asegurador, financiación, retención—, y
- La comunicación adecuada a los grupos de interés relevantes.

IX. 1. TRATAMIENTO DE LOS DISTINTOS RIESGOS EVALUADOS

IX. 1.1. Clasificación de escenarios de cara a la gestión del riesgo

Con el fin de clasificar los escenarios accidentales de cara a la gestión del riesgo, es recomendable representar en unos ejes cartesianos la probabilidad de ocurrencia y la magnitud de las

consecuencias medioambientales estimadas para cada uno de los escenarios identificados (DGPCE, 2004). A modo ilustrativo, en la Figura 13 se muestra el aspecto de esta representación.

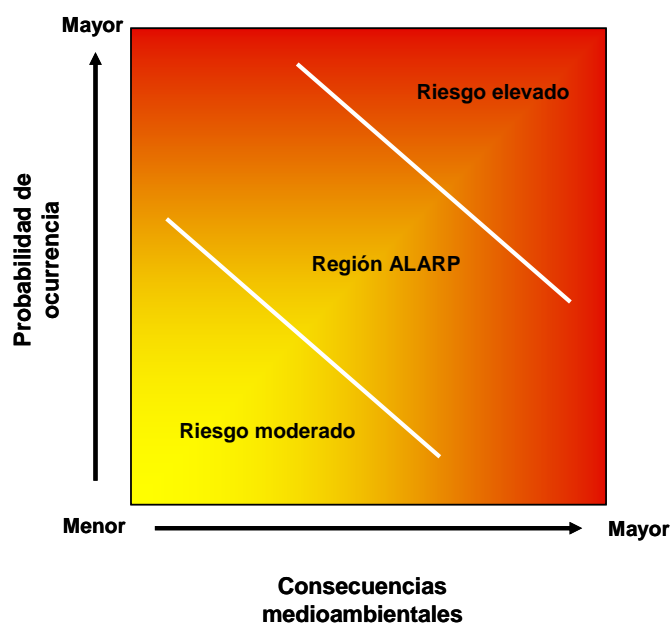


Figura 13. Distribución de escenarios accidentales sobre la matriz de riesgo. Fuente: elaboración propia a partir de DGPCE (2004).

El valor de las consecuencias medioambientales —eje de abscisas— puede ser introducido a partir de algún tipo de índice que evalúe las mismas, como puede ser el Índice de Daño Medioambiental. Mientras, el valor a representar en ordenadas puede tomarse del cálculo de probabilidades asociado a cada escenario.

A partir de la gráfica obtenida se diferencian 3 zonas de cara a la gestión del riesgo medioambiental:

- Región de riesgo elevado. En esta área la probabilidad de ocurrencia y las posibles consecuencias medioambientales son relativamente elevadas. Por lo tanto se recomienda que los operadores actúen de forma prioritaria sobre estos escenarios con el fin de reducir el nivel de riesgo —disminución de la probabilidad de ocurrencia y/o del valor de las consecuencias—.
- Región ALARP. (*As low as reasonably practicable*- tan bajo como sea factible). Si bien el riesgo medioambiental asociado a esta región se considera tolerable, se recomienda que el operador actúe reduciendo el riesgo hasta los niveles más bajos que sean factibles.
- Región de riesgo moderado. Se trata de la zona que representa un menor riesgo de afección significativa a los recursos naturales. Por lo tanto, si bien el operador podría actuar sobre estos escenarios con el fin de reducir su riesgo asociado, se considera una región de menor prioridad respecto a las dos anteriores.

IX. 1.2. Transferencia del riesgo

IX. 1.2.1. Transferencia técnica del riesgo

La transferencia técnica del riesgo consiste en trasladar el riesgo o una parte de éste a otra organización, mediante acuerdos contractuales que implican la subcontratación de parte de la actividad generadora de riesgo.

Es importante indicar que la transferencia del riesgo no implica la disminución de sus consecuencias para el entorno, si no que tiene por objeto la reducción de su impacto sobre la organización que lo transfiere. En este sentido, debe tenerse en cuenta que la transferencia técnica del riesgo no implica necesariamente la transferencia de las responsabilidades derivadas del mismo.

IX. 1.2.2. Financiación del riesgo

Se entiende por financiación del riesgo al hecho de hacer frente a los costes derivados de sus potenciales consecuencias.

En el artículo 26 de la LRM, se establecen una serie de modalidades de constitución de garantías financieras, que pueden ser alternativas o complementarias entre sí tanto en su cuantía, como en los hechos garantizados:

- a) La suscripción de una póliza de seguro con una entidad aseguradora autorizada para operar en España.
- b) La obtención de un aval, concedido por alguna entidad financiera autorizada a operar en España.
- c) La constitución de una reserva técnica mediante la dotación de un fondo «*ad hoc*» para responder de los eventuales daños medioambientales de la actividad con materialización en inversiones financieras respaldadas por el sector público.

IX. 1.3. Medidas recomendadas para la eliminación, disminución y control de los riesgos

A continuación se indican una serie de orientaciones a nivel general que pueden ayudar a gestionar los riesgos medioambientales de las instalaciones del sector objeto de estudio con el objetivo de minimizarlos:

- Establecimiento de programas de formación para los empleados de las instalaciones en temas relacionados con la prevención y evitación de accidentes de tipo medioambiental
- Establecimiento de planes de inspección y mantenimiento preventivo para asegurar el perfecto estado de las estructuras y equipos de las instalaciones
- Establecer procedimientos para las operaciones realizadas en las instalaciones que incluyan supervisiones y registros de las mismas
- Instalación de sistemas de alarma que permitan la detección temprana de vertidos o incendios

- Instalación de medidas de contención de vertidos adicionales a las obligadas por la normativa en las áreas de almacenamiento de sustancias
- Instalación de plantas de tratamiento que neutralicen y liberen de sólidos en suspensión y metales disueltos a los efluentes generados
- Reutilización de las aguas de proceso
- Instalación de balsas de sedimentación para capturar los materiales finos producidos por la erosión
- Proveer a la instalación de señalizaciones de aviso, precaución, restricción, y prohibición según las actividades que en ella se realizan

En el caso de los riesgos asociados a balsas, presas y escombreras se recomiendan las siguientes medidas:

- Estudio exhaustivo de las condiciones geológico-geotécnicas del emplazamiento
- Selección de los materiales más adecuados para la construcción de las estructuras
- Supervisión de la construcción por un especialista independiente cualificado en ingeniería geotécnica
- Control y registro de los datos de los análisis llevados a cabo a los materiales y estructuras durante la construcción
- Procurar que la construcción de las balsas se realice en emplazamientos en los que las condiciones hidrogeológicas propicien un flujo de agua subterránea hacia la balsa
- Realizar un control exhaustivo del balance hídrico de las estructuras
- Monitoreo del nivel freático mediante piezómetros adecuadamente situados
- Control periódico de la presión intersticial de los materiales que componen las estructuras
- Control periódico de infiltraciones, nivel de líquidos, y proporción sólido-líquido de los residuos contenidos en las balsas
- Control de la escorrentía superficial
- Instalación de sistemas de auscultación más sofisticados y sensibles en presas y escombreras
- Establecer niveles de alerta y alarma para los sistemas de control de parámetros de auscultación en presas y escombreras
- Proveer a las balsas y escombreras de sistemas de drenaje adecuados
- Establecer un mantenimiento adecuado del plan de emergencia de las instalaciones
- Establecer sistemas automáticos de descarga de emergencia en balsas

- Utilizar la avenida máxima de 100 años para el dimensionamiento de la capacidad de descarga de emergencia para las presas de bajo riesgo y la avenida máxima de 5.000-10.000 años para las presas de alto riesgo
- Revisiones de las condiciones de las presas y escombreras por observación directa del personal responsable de la vigilancia de la misma
- Establecer medidas mitigadoras ante un posible desbordamiento en las balsas

XIV. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Dada la propia naturaleza de la GM, que pretende exponer un marco general al que poderse adherir con facilidad, pero que carece de las concreciones que sí se dan en los análisis de riesgos particularizados, se han tenido que asumir una serie de premisas durante el desarrollo del documento. Estas decisiones no han quedado exentas de cierta subjetividad y por ello pueden generar incertidumbre a la hora de emplear el instrumento de análisis de riesgos sectorial.

En primer lugar, a la hora de identificar una posible zonificación de los peligros en las instalaciones, las limitaciones surgieron de la mano del número de visitas técnicas realizadas. Como se indica en el informe, durante la elaboración de la GM se visitaron tres instalaciones, dos instalaciones del subsector de la minería de sulfuros polimetálicos y una instalación del subsector de la minería de sales sódicas y potásicas. Si bien en el desarrollo del catálogo de zonas con peligro asociado y sucesos iniciadores se contó, junto a la información bibliográfica, con la asesoría de los responsables de dichas instalaciones y de un grupo de trabajo formado por expertos del sector, es cierto que, dada la variabilidad de procesos que se pueden llevar a cabo en estas instalaciones, algunos operadores podrían no considerarse representados. Igualmente, la dificultad de acceso a registros de accidentes ha sido un aspecto limitante en el desarrollo del análisis. Por tanto, aunque en la GM se hayan intentado abarcar todos los tipos de actividades y procesos, cabe la posibilidad de que algunos operadores tengan que adaptar la aplicación del análisis al no verse bien caracterizados dentro de la zonificación o la definición de los sucesos iniciadores.

Otro de los puntos importantes en que hubo que acudir, en cierta medida, a la subjetividad, fue en la definición de los estimadores de las probabilidades de ocurrencia de los sucesos iniciadores. A pesar de que, como se ha comentado anteriormente, junto a las visitas técnicas y la consulta de bibliografía, se dispuso de la asesoría de expertos de los sectores analizados, la imposibilidad de particularizar los estimadores de la probabilidad, dado el objeto y alcance de la GM, influyó de manera importante en este apartado. Como se puede consultar en el presente documento, se optó por exponer para cada uno de los sucesos iniciadores identificados una serie de estimadores con una propuesta de categorización de los mismos. Será dicha propuesta la que el analista deberá particularizar en el análisis de riesgos individual, basándose en un estudio exhaustivo de las características específicas de las fuentes de peligro de la instalación, escogiendo los estimadores y la categorización que mejor defina la probabilidad de ocurrencia de cada suceso iniciador.

Con respecto a la identificación de los factores condicionantes, la principal incertidumbre que presentan continúa en la línea de los puntos anteriores. Son parámetros generales definidos a partir de las visitas realizadas y se podría dar la situación de que el operador no se encontrase reflejado convenientemente. Sin embargo, hay que recalcar que la GM pretende ser una herramienta flexible que cada operador pueda adecuar a su instalación, y en consecuencia, en la particularización del análisis se podrán introducir los cambios que se estimen oportunos, siempre y cuando queden correctamente argumentados.

En la fase de determinación del daño, en primer lugar se han de identificar correctamente los agentes causantes del daño y a partir de ahí se realiza la cuantificación, obteniendo valores de cantidad de medio receptor afectado. Estos cálculos se deducen de la aplicación de diferentes modelos de difusión. La principal incertidumbre que se manifiesta en esta etapa es, de hecho, la decisión de a qué modelo o información recurrir. De esta forma, la utilización de un modelo u otro, puede conllevar diferentes matices en los resultados, por lo que en los informes de análisis de riesgos particularizados debe quedar perfectamente clara la motivación y la base bibliográfica sobre la que se sustenta dicha elección.

En este punto conviene resaltar los obstáculos que se pueden encontrar a la hora de evaluar la relevancia o significatividad de los daños. En la GM, se proponen pautas y orientaciones para esta tarea y, en la medida de lo posible, se deberá evaluar la relevancia o significatividad de los daños asociados a cada escenario accidental identificado en el análisis de riesgos particularizado. Desde la experiencia práctica en la realización de ésta GM se indica que, en caso de que el analista encontrara algún impedimento técnico claro que dificultara dicha evaluación, se recomienda asumir los daños como significativos.

Una vez realizada la determinación de los daños asociados a los escenarios accidentales, el siguiente paso consiste en calcular el valor de los daños en términos monetarios. Con el fin de facilitar este cálculo, la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales aprobó el Modelo de Oferta de Responsabilidad Medioambiental (MORA). Aunque este modelo permite la homogenización en la monetización de los daños, presenta una serie de incertidumbres intrínsecas asociadas; la principal es que en sí mismo no pretende devolver valores exactos de reparación si no que maneja órdenes de magnitud.

Como conclusión principal, siguiendo la pauta de los puntos anteriores, se puede resaltar que una de las incertidumbres de mayor importancia que plantea la GM es su aplicación práctica en los análisis de riesgos a nivel de individual. Al ser una herramienta orientativa para el análisis de riesgos particularizado, la mayoría de las decisiones durante su aplicación recaen sobre el analista. Es por ello que las determinaciones que se tomen han de quedar técnicamente justificadas y ser acordes con la realidad, con el objeto de poder desarrollar un análisis fiable que cumpla con lo expuesto en la normativa sobre responsabilidad medioambiental de referencia.

XV. PLAN DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL INSTRUMENTO DE ANÁLISIS

SECTORIAL

Conforme con lo establecido en el Reglamento, el operador debe actualizar el análisis de riesgos medioambientales siempre que lo estime oportuno y en todo caso, cuando se produzcan modificaciones sustanciales en la actividad, en la instalación o en la autorización sustantiva.

Por lo tanto, la presente GM deberá modificarse siempre que se produzca una variación en las características del sector lo suficientemente importante como para conducir a que la aplicación de la GM retorne resultados no acordes con la realidad. A modo de ejemplo, el desarrollo de un nuevo proceso de explotación del mineral o la concentración de todos los operadores en un contexto territorial muy concreto, pueden ser dos hechos que hagan recomendable —e incluso necesario— realizar ciertos ajustes en la GM.

Adicionalmente, debe prestarse especial atención a los posibles accidentes medioambientales que se produzcan en el futuro, tanto en el ámbito sectorial como en el ámbito individual de cada operador. El registro y análisis de estos accidentes puede ofrecer una valiosa información a medio y largo plazo, ya que a través de los mismos podría constituirse una base de datos representativa de los riesgos asociados a cada actividad. La disponibilidad de dicha base conllevaría una modificación notable del planteamiento expuesto en la presente GM; ya que, podría recurrirse a procesos estadísticos con el fin de correlacionar el riesgo de cada instalación o actividad —el cual debería ser función de las variables recogidas en el registro de accidentes—, con el coste que haya supuesto la reparación de los daños ocasionados —esto es, sería necesario que la base de accidentes recogiera el coste que ha supuesto la reparación de cada uno de los mismos—.

Dado que a corto plazo no se prevé que se disponga de esta base de datos, se propone realizar un seguimiento de la aplicación de la GM a los análisis de riesgos particularizados, y llevar a cabo un registro de posibles mejoras y modificaciones con el fin de ajustarla lo máximo posible a los requerimientos de los operadores, los cuales son los principales destinatarios de la misma. El objetivo último consiste en lograr el mayor ajuste posible de la GM a las situaciones reales de forma continua y progresiva.

XVI.BIBLIOGRAFÍA

AENOR, (2006). Norma UNE-ISO 14063 Gestión ambiental. Comunicación ambiental. Directrices y ejemplos.

AENOR, (2008). Norma UNE 150008 Análisis y evaluación del riesgo ambiental.

AITEMIN, 2009. Establecimiento de la garantía financiera de una industria extractiva según el nuevo Reglamento RD 2090/2008 de la Ley de Responsabilidad Medioambiental 26/2007. Ejemplo de aplicación: Complejo Minero Las Cruces (Gerena, Sevilla).

ANDERSON, Hal E., 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-122, 22p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah 84401.

AUTORES VARIOS, (2003). Estudio de los efectos de incrementos de salinidad sobre la fanerógama marina *Posidonia* oceánica y su ecosistema, con el fin de prever y minimizar los impactos que pudieran causar los vertidos de aguas de rechazo de plantas desaladoras. CEDEX, Aguas de la Cuenca del Segura. S.A., Universidades de Alicante y Murcia, Instituto Oceanográfico de Murcia, y Centro de Estudios Avanzados de Blanes-CSIC, 2001). Documento de síntesis.

AYORA, C., GUIJARRO, A., DOMÈNECH, C., FERNÁNDEZ, I., GÓMEZ, P., MANZANO, M., MORA, A., MORENO, L., NAVARRETE, P., SÁNCHEZ, M. Y SERRANO, J. (2001). Actuaciones para la corrección de la contaminación hídrica. *Boletín Geológico y Minero* Vol. Especial, 123-136. ISSN 0366-0176.

CANCELA REY, 1987, Tesis Doctoral: Comportamiento geotécnico de presas de residuos bajo acciones estáticas y dinámicas. Universidad Politécnica de Madrid.

CE (2001) Study on the valuation and restoration of damage to natural resources for the purpose of Environmental Liability. Final Report. Consejo General de Medio Ambiente. Comisión Europea.

CE (2001a) Study on the valuation and restoration of biodiversity damage for the purpose of Environmental Liability. Final Report (Annexes). Consejo General de Medio Ambiente. Comisión Europea.

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

COBRE LAS CRUCES, 2009. Memoria ambiental.

CREUS SOLÉ, 1995. Fiabilidad y seguridad de procesos industriales. Ed. Marcombo S.A.

CTPRDM 2010. Documento resumen de la funcionalidad del Modelo de Oferta de Responsabilidad Medioambiental (MORA). Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Ambientales.

DGPC, (2004). Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del Interior (2004). Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental [en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 (Seveso II)].

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. Comisión Europea. Joint Research Centre.

ELORRIETA, 1995. Vías de saca: construcción de caminos forestales. Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.

EUROPEAN COMMISSION, 2009. Reference Document on Best Available Techniques for Management Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities.

FERNÁNDEZ CALIANI, 2008. Conferencia: Una aproximación al conocimiento del impacto ambiental

de la minería en la Faja Pirítica Ibérica. Departamento de Geología. Universidad de Huelva.

FERNÁNDEZ TORQUEMADA Y., SÁNCHEZ LIZASO, J.L. (2006). Effects of salinity on growth and survival of *Cymodocea nodosa* and *Zostera noltii*.

FRTR - Federal Remediation Technologies Roundtable. United States Department of Defense, U.S. Department of Energy, U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Department of the Interior, National Aeronautics and Space Administration.

GRIMAZ, S., ALLEN S., STEWART J. y 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.

HAMED NEKOUBIN, H., GHAREDAASHI E., HOSSEINZADEH M. AND REZA IMANPOUR, M., 2012. Determination of LC50 of Lead Nitrate and Copper Sulphate in Common Carp (*Ciprinus carpio*).

IBERPOTASH,S.A., 2009. Memòria de medi ambient 2009, Centres de Súria i Sallent.

INSTITUT NATIONAL D'ETUDES DE LA SÉCURITÉ CIVILE, 2001. Défense extérieure contre l'incendie et rétentions. Guide pratique pour le dimensionnement des rétentions des eaux d'extinction Fédération Française des Sociétés d'Assurances, Centre National de Prévention et de Protection.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT). Ministerio de Trabajo e Inmigración, Gobierno de España. Notas técnicas de prevención: NTP-36, NTP-37, NTP-100, NTP-420, NTP-599. NTP-600, NTP-831, NTP-832.

ISO, S; SUIZU, S; MAEJIMA, A. (1994). The Lethal Effect of Hypertonic Solutions and Avoidance of Marine Organisms in relation to discharged brine from a Desalination Plant. *Desalination* 97, pp389-399. ELSEVIER.

KAIFER et al, (2004). Guía de análisis de riesgos para la salud humana y los ecosistemas/ M.J. Kaifer, A. Aguilar, E. Arana, G. Baleriola, I. Torá, E. Castillo, A. de la Torre, M.J. Muñoz, M. Carballo, J. Roset, S. Aguayo, B.Grønlund, E. Peace, D. Lud, aut; Madrid: Comunidad de Madrid, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. 2004.

LLORET, M.P; SÁNCHEZ, J.L. (2001). Bioensayo para la evaluación de los efectos producidos por un incremento de salinidad sobre la supervivencia del erizo de mar *Paracentrotus lividus*. II Congreso Nacional de Desalación. Alicante. Asociación Española de Desalación y Reutilización Alicante (2001).

MARTÍNEZ, E. (2005). "Manual de Valoración de Montes y Aprovechamientos Forestales, Valoración Ambiental". Mundi-Prensa.

MENDOZA-RODRÍGUEZ R., 2009. Toxicidad aguda del sulfato de cobre en postlarvas de camarón *Cryphiops caementarius*.

MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSAAT. Guidelines for quantitative risk assessment. Purple Book. Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3). Ministerie van Verkeer en Watersaat, 2005.

MIR (2002) Metodología para el análisis de riesgos ambientales en el marco de la Directiva Comunitaria 96/82/CE – SEVESO II. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio de Interior.

NATIONAL INSTITUTE OF PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT (RIVM), 2009. Reference Manual Bevi Risk Assessments. Centre for External Safety.

NUSSEY, C. (2006). Failure frequencies for major failures of high pressure storage vessels at COMAH sites: A comparison of data used by HSE and the Netherlands.

OLDECOP y RODRÍGUEZ, 2007. Mecanismos de fallas de las presas de residuos mineros, Ingeniería civil 148/2007, CEDEX.

REMEDE (2008). Deliverable No.13: Toolkit for Performing Resource Equivalency Analysis to Assess and Scale Environmental Damage in the European Union. Resource Equivalency Methods for Assessing Environmental Damage in the EU. Sixth Framework Programme of the European Commission.

RODRÍGUEZ Y OLDECOP, 2009. Los grandes desastres medioambientales producidos por la actividad minero-metalúrgica a nivel mundial: causas y consecuencias ecológicas y sociales. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, Vol. 12, Nº24, 7-25 (2009) UNMSM.

SELVI M., GUL A., YILMAZ M., 2003. Investigation of acute toxicity of cadmium chloride (CdCl₂ H₂O) metal salt and behavioral changes it causes on water frog (*Rana ridibunda* Pallas, 1771).

SERRADA, R. (2000). Apuntes de Repoblaciones Forestales. Fundación del Conde del Valle de Salazar.

TENORIO RIVAS, G, 2006. Tesis doctoral Universidad de Granada. Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna.

TERRADOS, J (1991). Crecimiento y producción de las praderas de macrófitos del Mar Menor, Murcia. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Aquatic Life Criteria for Cadmium: 2001 Update.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Aquatic Life Criteria for Mercury: 1984.

UTRILLAS y SÁNCHEZ CARO, 2006. Reflexiones sobre seguridad y auscultación en presas de materiales sueltos, Ingeniería civil 144/2006, CEDEX.

USEPA (2001) *Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments*. American Petroleum Institute. National Oceanic and Atmospheric Administration. U.S. Coast Guard. U.S. Environmental Protection Agency.

VÉLEZ, R. (2009). *La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias*. McGraw-Hill.

VILCHEZ R, 2005. Tesis doctoral Universidad de Granada. Eliminación de los metales pesados en aguas mediante sistemas de lechos sumergidos: estudio microbiológico en las biopelículas.

WEDEMEYER G. y J. WOOD. 1974. Stress as a predisposing factor in fish diseases. US Dept. Interior, FDL-38. Washington, USA.

WOODAL, C., MACLEAN, N., CROSSLEY, F., 1988. Responses of the trout fry *Salmo gairdneri* and *Xenopus laevis* tadpoles to cadmium and zinc. *Comp. Biochem. Physiol.* 89C, 93–99.

YILMAZ, M., GÜL, A., KARAKÖSE, E., 2004. Investigation of acute toxicity and the effect of cadmium chloride (CdCl₂.H₂O) metal salt on behavior of the guppy (*Poecilia reticulata*).

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:

- FRTR - Federal Remediation Technologies Roundtable.

<http://www.frtr.gov/default.htm>

- Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (USEPA). Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC).

<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/efdc.html>

- Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (USEPA). River and Stream Water Quality Model (QUAL2K).

<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html>

- Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (USEPA). Water Quality Analysis Simulation Program (WASP).

<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/wasp.html>

- Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (USEPA). Visual Plumes.

<http://www.epa.gov/ceampub/swater/vplume/>

- Universidad de Udine (Italia) y Universidad de Belfast (Reino Unido). Modelo de S. Grimaz.

www.aidic.it/CISAP3/webpapers/21Grimaz.pdf

- Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE). Modelo HEC-RAS y HEC Geo-RAS.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

- Rocky Mountain Research Station. Modelo Behave.

<http://firemodels.fire.org/>

- Center for Public Environmental Oversight (CPEO).

<http://www.cpeo.org/>

- Miliarium. Ingeniería Civil y Medio Ambiente.

<http://www.miliarium.com/>

- Environmental Protection Agency (EPA).

www.epa.gov

- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Panorama Nacional de producción minera de potasa.

www.igme.es/internet/PanoramaMinero/actual/POTASA%202010.pdf

- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Panorama Nacional de producción minera de sal

www.igme.es/internet/PanoramaMinero/actual/SAL2010.pdf

Propiedades del suelo

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO):

www.fao.org

Tasas de fallo

- Health and Safety Executive (HSE):

<http://www.hse.gov.uk/>

Cartografía geológica

- Instituto Geológico y Minero de España (IGME):

<http://mapas.igme.es/ServiciosWMS/default.aspx>

Técnicas de reparación de daños al suelo y al agua

- Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR):

www.frtr.gov

Recursos hídricos

- Libro digital del agua (LDA):

<http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/lda/>

- Sistema de Información de Recursos Subterráneos (SIRS):

<http://www.marm.es/es/cartografia-y-sig/temas/recursos-subterraneos/>

Datos climatológicos

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET):

www.aemet.es

Espacios naturales protegidos

- Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (MARM):

<http://www.marm.es/es/biodiversidad/servicios/banco-de-datos-biodiversidad/default.aspx>

Especies protegidas

- Inventario Nacional de Biodiversidad (INB):

<http://www.marm.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-nacional-de-biodiversidad/>

Hábitats forestales

- Mapa Forestal de España (MFE):

http://www.marm.es/es/biodiversidad/servicios/banco-de-datos-biodiversidad/informacion-disponible/index_mapa_forestal.aspx

- Inventario Forestal Nacional (IFN):

http://www.marm.es/es/biodiversidad/servicios/banco-de-datos-biodiversidad/informacion-disponible/index_inventario_forestal.aspx

- Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (MARM):

<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/>

- La conductividad eléctrica —CE— y la conductividad eléctrica a granel—CEG— del suelo como base para la medición de la humedad del suelo.

http://www.drcalederonlabs.com/Investigaciones/Conductividad/La_Conductividad_Electrica.htm

Cadmio

http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1194947375856

Hierro

http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/iron/iron_tech.pdf

<http://www.ryerson.com/en/Products/Metals/~//media/www/Files/MSDS%20Files/MSDS%20Stainless%20Steels.ashx>

http://www.cpchem.com/msds/100000013921_SDS_EU_ES.PDF

<http://www.esd.ornl.gov/programs/ecorisk/documents/m5520ata.pdf>

Manganeso

http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad63_rev_1.pdf

<http://www.epa.gov/hpv/pubs/summaries/mthmtri/c14889rt.pdf>

<http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/CICAD63.pdf>

<http://www.esd.ornl.gov/programs/ecorisk/documents/m5520ata.pdf>

Plomo

<http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/inorglea.htm>

Zinc

http://www.af.com.uy/sitio/pdf/p22_seguridad.pdf

<http://fagalab.com/Hojas%20de%20Seguridad/SULFATO%20DE%20ZINC.pdf>

<http://www.esd.ornl.gov/programs/ecorisk/documents/m5520ata.pdf>

http://www.pwrc.usgs.gov/infobase/eisler/CHR_26_Zinc.pdf

Anejo I: Zonificación e identificación de causas, sucesos iniciadores y escenarios básicos

TABLA DE ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

En el presente anejo se muestra la zonificación propuesta en la GM junto a los sucesos iniciadores y sus posibles causas y los escenarios accidentales identificados.

En la tabla se muestra el código identificador asignado a cada suceso iniciador (código "SI") y a cada escenario accidental básico ("E") con el fin de facilitar la trazabilidad entre la documentación incluida en la memoria y la suministrada en el presente Anejo.

Actividades/Zonas con peligro asociado			Causas	Sucesos Iniciares	Escenarios básicos	
MINA	Tipo de extracción	Cielo abierto	Sistema de drenaje y reinyección (SDR) de agua subterránea	Avenida en cauce cercano Fallo del sistema de drenaje de la corta Fallo del SDR Lluvias severas Error humano	Inundación de la corta (SI1)	Inyección de aguas contaminadas desde sistema de drenaje y reinyección (E1)
			Sistema de drenaje de aguas de contacto de la corta	Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Fallo del sistema de drenaje de la corta Lluvias severas Error humano	Vertido de aguas contaminadas (SI2)	Vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje de la corta (E2)
		Interior	Sistema de drenaje interior	Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Fallo del sistema de drenaje interior Lluvias severas Error humano	Vertido de aguas contaminadas (SI3)	Vertido de aguas contaminadas desde sistema de drenaje interior (E3)
	Trasporte de materiales	Camiones		Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc.	Vertido de materiales desde camión (SI4)	Vertido de materiales desde camión (E4)
				Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc. Rotura del circuito de combustible del camión	Vertido de combustible desde camión (SI5)	Vertido de combustible desde camión (E5)
				Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en camión (SI6)	Incendio en camión (E6) Vertido de aguas de extinción por incendio en camión (E7)
		Otros sistemas de transporte		Error humano Impacto de objeto móvil Fallo en el sistema de transporte Vuelco	Vertido de materiales desde otros sistemas de transporte (cintas transportadoras, etc.) (SI7)	Vertido de materiales desde otros sistemas de transporte (E8)
				Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en otros sistemas de transporte (SI8)	Incendio en otros sistemas de transporte (E9) Vertido de aguas de extinción por incendio en otros sistemas de transporte (E10)
	Taller mecánico	Almacenamiento de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria	Fuga o rotura de recipiente por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de sustancias (SI9)	Vertido de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria (E11)	
		Reparación/Mantenimiento de la maquinaria	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en taller mecánico (SI10)	Incendio en taller mecánico (E12) Vertido de aguas de extinción por incendio en taller mecánico (E13)	
	Lavado de maquinaria		Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito Fallo durante la recogida de lixiviados	Vertido de aguas de lavado de la maquinaria (SI11)	Vertido de aguas de lavado de maquinaria (E14)	
	Almacenamiento de mineral (Parque de mineral)		Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de mineral (SI12)	Vertido de mineral desde zona de almacenamiento del mineral (E15)	
	Almacenamiento de sustancias		Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de sustancias en almacén (SI13)	Vertido de sustancias en almacén (E16)	
			Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en almacén de sustancias (SI14)	Incendio en almacén de sustancias (E17) Vertido de aguas de extinción por incendio en almacén de sustancias (E18)	
	Polvorines		Error humano Desgaste de los materiales Alteración de las condiciones de almacenamiento	Explosión e incendio en polvorín (SI15)	Explosión e incendio en polvorín (E19) Vertido de aguas de extinción por explosión e incendio en polvorín (E20)	
	Manejo de explosivos		Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Explosión e incendio en el manejo de explosivos (SI16)	Explosión e incendio durante el manejo de explosivos (E21) Vertido de aguas de extinción por explosión e incendio durante el manejo de explosivos (E22)	
	PROCESAMIENTO DE MINERAL	Trituración y molienda del mineral		Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de mineral (SI17)	Vertido de mineral desde zona de trituración y molienda (E23)
		Procesamiento de sulfuros polimetálicos mediante hidrometalurgia	Lixiviación atmosférica	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso (SI18)	Vertido de fluidos de proceso de sulfuros polimetálicos (E24)
			Lixiviación a presión	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso (SI18)	
			Extracción por solventes	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso (SI18)	
			Electrodeposición	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso (SI18)	
Procesamiento de sulfuros polimetálicos mediante flotación		Flotación	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso (SI18)		
	Lavado	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso (SI18)			

Actividades/Zonas con peligro asociado		Causas	Sucesos Iniciaadores	Escenarios básicos	
PROCESAMIENTO DE MINERAL (continuación)	Procesamiento de sales	Separación de arcillas	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos salinos de proceso (SI18)	Vertido de fluidos de proceso de sales (E25)
		Flotación	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos salinos de proceso (SI18)	
	Almacenamiento de sustancias para el procesamiento de mineral		Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de sustancias para el procesamiento de mineral (SI19)	Vertido de sustancias para el procesamiento de mineral (E26)
	Área de procesamiento de mineral		Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en el área de procesamiento de mineral (SI20)	Incendio en el área de procesamiento de mineral (E27) Vertido de aguas de extinción por incendio en el área de procesamiento de mineral (E28)
GESTIÓN DE RESIDUOS DE EXTRACCIÓN Y DEL PROCESAMIENTO DE SULFUROS POLIMETÁLICOS	Escombreras	Escombreras de inertes	Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Vertido de materiales inertes (SI21)	Vertido de materiales inertes desde escombrera (E29)
		Escombreras de estériles de mina	Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Vertido de estériles de mina (SI21)	Vertido de estériles de mina desde escombrera (E30)
			Fallo sistema impermeabilización Lluvias severas	Infiltración de aguas de contacto (SI22)	Infiltración de aguas de contacto desde escombrera de estériles de mina (E31)
			Desbordamiento del sistema de drenaje Lluvias severas	Vertido de aguas de contacto (SI23)	Vertido de aguas de contacto desde escombrera de estériles de mina (E32)
		Escombreras de estériles de tratamiento	Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Vertido de estériles de tratamiento (SI21)	Vertido de estériles de tratamiento desde escombrera (E33)
			Fallo sistema impermeabilización Lluvias severas	Infiltración de aguas de contacto (SI22)	Infiltración de aguas de contacto desde escombrera de estériles de tratamiento (E34)
	Desbordamiento del sistema de drenaje Lluvias severas		Vertido de aguas de contacto (SI23)	Vertido de aguas de contacto desde escombrera de estériles de tratamiento (E35)	
	Balsas	Balsas de lixiviados	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de lixiviados (SI24)	Vertido de lixiviados desde balsa (E36)
			Fallo sistema impermeabilización	Infiltración de lixiviados (SI25)	Infiltración de lixiviados desde balsa (E37)
		Balsas de lodos	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de lodos (SI24)	Vertido de lodos desde balsa (E38)
			Fallo sistema impermeabilización	Infiltración de lodos (SI25)	Infiltración de lodos desde balsa (E39)
		Balsas de agua de contacto	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de aguas de contacto (SI24)	Vertido de aguas de contacto desde balsa (E40)
			Fallo sistema impermeabilización	Infiltración de aguas de contacto (SI25)	Infiltración de aguas de contacto desde balsa (E41)
		Balsa de pasta seca	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de pasta y agua ácida (SI24)	Vertido de pasta y agua ácida desde balsa (E42)
			Fallo sistema impermeabilización	Infiltración de agua ácida (SI25)	Infiltración de agua ácida desde balsa (E43)
		Balsas de regulación	Rotura de la presa de contención por deslizamiento, acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de efluentes ácidos (SI24)	Vertido de efluentes ácidos desde balsa de regulación (E44)
			Fallo sistema impermeabilización	Infiltración de efluentes ácidos (SI25)	Infiltración de efluentes ácidos desde balsa de regulación (E45)
		Planta de pasta	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de pasta y agua ácida (SI26)	Vertido de pasta y agua ácida desde planta (E46)
		Conducciones de aguas de contacto (perimetrales y subterráneas)	Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Vertido de aguas de contacto (SI27)	Vertido de aguas de contacto desde conducción (E47)

Actividades/Zonas con peligro asociado		Causas	Sucesos Inicadores	Escenarios básicos		
GESTIÓN DE RESIDUOS DE EXTRACCIÓN Y DEL PROCESAMIENTO DE SALES SÓDICAS Y POTÁSICAS	Escombreras (depósitos salinos)	Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Vertido de residuos salinos (SI21)	Vertido de residuos salinos desde escombrera (E48)		
		Fallo sistema impermeabilización	Infiltración de agua salada (SI22)	Infiltración de agua salada desde escombrera (E49)		
		Desbordamiento del sistema de drenaje Lluvias severas	Vertido de agua salada (SI23)	Vertido de agua salada desde escombrera (E50)		
	Presas de control de aguas (preescombrera)	Rotura de la presa de contención por deslizamiento, acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de agua salada (SI24)	Vertido de agua salada desde presa de control de aguas (E51)		
		Fallo sistema impermeabilización	Infiltración de agua salada (SI25)	Infiltración de agua salada desde presa de control de aguas (E52)		
	Balsas de regulación/evaporación	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de agua salada (SI24)	Vertido de agua salada desde balsa (E53)		
		Fallo sistema impermeabilización	Infiltración de agua salada (SI25)	Infiltración de agua salada desde balsa (E54)		
	Conducciones de agua salada (perimetrales y subterráneas)	Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Vertido de agua salada (SI27)	Vertido de agua salada desde conducción (E55)		
	PROCESOS E INSTALACIONES AUXILIARES	Abastecimiento de agua	Conducciones de agua	Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. .	Vertido de agua desde conducción (SI28)	Inundación por rotura en conducción (E56)
			Estación dosificadora de reactivos para el control de la calidad de las aguas	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de sustancias (SI29)	Vertido de sustancias desde estación dosificadora (E57)
Balsa de abastecimiento			Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de agua (SI24)	Inundación por rotura de balsa de abastecimiento (E58)	
Gestión y tratamiento de efluentes ácidos		Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de efluentes ácidos (SI30)	Vertido de efluentes ácidos (E59)		
Gestión y tratamiento de efluentes salinos		Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de efluentes salinos (SI31)	Vertido de efluentes salinos (E60)		
Sistema auxiliar de suministro eléctrico		Generador	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de combustible (SI32)	Vertido de combustible desde generador (E61)	
			Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en generador (SI33)	Incendio en generador (E62) Vertido de aguas de extinción por incendio en generador (E63)	
		Transformador	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en transformador (SI34)	Incendio en transformador (E64) Vertido de aguas de extinción por incendio en transformador (E65)	
			Contacto de ramas con el tendido Caída de una torre Caída sobre una torre de un árbol Ramas próximas al tendido eléctrico	Incendio en tendido eléctrico (SI35)	Incendio en tendido eléctrico (E66) Vertido de aguas de extinción por incendio en tendido eléctrico (E67)	

Tabla 1. Zonas con peligro asociado, causas de posibles accidentes, sucesos iniciadores con código identificador y escenarios básicos asociados con código identificador.

Fuente: Elaboración propia.

ANEJO II: Tabla resumen de modelos de difusión

TABLA RESUMEN DE MODELOS DE DIFUSIÓN

En el presente anejo se ofrece una tabla resumen con los principales modelos de dispersión de contaminantes que pueden ser de aplicación al sector objeto de estudio.

MODELO	TIPO AGENTE							RECURSO DAÑADO*					
	QUÍMICO						INCENDIO	S	Asup	Asub	Rmr	Hb	Sp
	COVs halogenados	COVs no halogenados	SCOVs halogenados	SCOVs no halogenados	FUELES	SUST. INORGÁNICAS							
BEHAVE							X					X	
BIOCHLOR	X	X								X			
BIOPLUME III					X					X			
BIOSCREEN	X	X	X	X	X	X				X			
CONSIM	X	X	X	X	X	X		X		X			
CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM (CORMIX)	X	X	X	X	X	X			X		X		
ENVIRONMENTAL FLUID DYNAMICS CODE (EFDC)	X	X	X	X	X	X			X		X		
GNOME					X				X				
HEC RAS Y HEC GEORAS	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	
HYDROCARBON SPILL SCREENING MODEL (HSSM)			X	X	X			X		X			
MIKE 3	X	X	X	X	X	X			X		X		
MIKE 11	X	X	X	X	X	X			X		X		
MIKE 21	X	X	X	X	X	X			X		X		
MODELO DE S. GRIMAZ	X	X	X	X	X	X		X					
MT3DMS	X	X	X	X	X	X		X		X			
RISK-BASED CORRECTIVE ACTION (RBCA)	X	X	X	X	X	X		X	X	X			
RISK-INTEGRATED SOFTWARE FOR CLEAN-UPS (RISC)	X	X	X	X	X	X		X	X	X			
RIVER AND STREAM WATER QUALITY MODEL (QUAL2K)	X	X	X	X					X				
TECHNICAL GUIDANCE DOCUMENT (TGD)	X	X	X	X	X	X		X	X	X			
VISUAL MODFLOW	X	X	X	X	X	X		X		X			
VISUAL PLUMES	X	X	X	X	X	X			X				
WATER QUALITY ANALYSIS SIMULATION PROGRAM (WASP)	X	X	X	X	X	X			X				

*RECURSO DAÑADO
Suelo (S)
Agua superficial (Asup)
Agua subterránea (Asub)
Ribera del mar y de las rías (Rmr)
Hábitat (Hb)
Especies (Sp)

Tabla 1. Resumen de los principales modelos de dispersión de contaminantes aplicables al sector objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.



COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS MEDIOAMBIENTALES