



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO

SECRETARÍA DE ESTADO
DE CAMBIO CLIMÁTICO

DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD
Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

MODELO DE INFORME DE RIESGOS AMBIENTALES TIPO (MIRAT)

-EJEMPLO MODELO-

COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS
MEDIOAMBIENTALES

IMPORTANTE:

Este documento constituye un Modelo de Informe de Riesgos Ambientales Tipo (MIRAT), elaborado en el seno de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales para ilustrar la metodología que debe abordarse en la realización de un MIRAT.

Su desarrollo no está inspirado en ningún sector profesional de forma concreta. Se ha partido de un sector ficticio, al cual se ha denominado *sector X*, y su elaboración ha supuesto un análisis con fines estrictamente ilustrativos, no habiendo pretendido desarrollar en ningún caso un análisis exhaustivo.

La información que se expone en el presente informe ha sido deducida estrictamente a partir de referencias bibliográficas, no habiendo realizado para su desarrollo ningún análisis *in situ* o visitas a alguna instalación concreta. Del mismo modo, los datos referentes a los escenarios de riesgos que han sido identificados a nivel sectorial y en el ejercicio práctico (Apartados VIII y XIV del documento) son absolutamente ficticios, tanto en relación con la cantidad de sustancia involucrada en cada escenario, como respecto a la probabilidad asociada a cada uno de ellos. Por extensión, la cobertura del daño que se ha estimado en el mencionado ejercicio práctico y que, según el caso, habría de ser cubierta por la garantía financiera por responsabilidad medioambiental, es sólo ilustrativa.

En el desarrollo de este documento se ha tomado como referencia el informe "Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental", elaborado en el seno de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales, el cual está a disposición del público en el portal de responsabilidad medioambiental del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino desde julio de 2010.

El presente documento podrá experimentar las modificaciones que se estimen oportunas a la luz de la experiencia práctica que se vaya adquiriendo en el desarrollo de estas herramientas en casos reales.

ÍNDICE

I. OBJETO Y ALCANCE DEL INFORME	0
II. EQUIPO RESPONSABLE DEL ESTUDIO	1
III. JUSTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO SECTORIAL SELECCIONADO.....	1
IV. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD.....	2
IV.1 Perfil ambiental del sector	2
IV.2 Descripción de la Actividad.....	3
V. DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO TERRITORIAL DEL SECTOR	6
VI. BREVE IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES DISPOSICIONES LEGALES	7
VII. METODOLOGÍA SEGUIDA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS	8
VIII. IDENTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES RELEVANTES DEL SECTOR....	9
VIII.1 Identificación de causas y peligros	9
1.1 Factor humano	9
1.2 Actividades e instalaciones	9
1.3 Elementos externos	10
VIII.2 Identificación de sucesos iniciadores y sus causas	13
VIII.3 Determinación de la tipología de escenarios accidentales en función del agente causante del daño y/o del medio receptor afectado.....	15
VIII.4 Definición de protocolos para asignar la probabilidad asociada a los escenarios accidentales	17
VIII.5 Medidas de prevención y mitigación que podrán ser adoptadas por los operadores del sector para cada tipo de escenario accidental.....	17
IX. PROTOCOLOS PARA CUANTIFICAR Y EVALUAR LA SIGNIFICATIVIDAD DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES.....	20
IX.1. Identificación de variables que determinan el daño medioambiental para cada tipología de escenario accidental.....	20
IX.2. Definición de protocolos para cuantificar el daño referente a cada tipología de escenario accidental y evaluar, por parte de cada operador, su significatividad	20
IX.2.1 Protocolo para cuantificar el daño generado al suelo y a las aguas subterráneas.....	21
IX.2.2 Protocolo para cuantificar el daño generado a las aguas superficiales	31
IX.2.3 Propuesta de modelo de difusión en caso de incendio.....	32
X. ORIENTACIONES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL.....	36
XI. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.....	37
XII. PUNTOS CRÍTICOS	38

XIII. PLAN DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS SECTORIAL	40
XIV. EJERCICIO PRÁCTICO: DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA DE LA GARANTÍA FINANCIERA PARA UN OPERADOR CONCRETO REPRESENTATIVO DEL SECTOR	40
XIV.1 Identificación de escenarios accidentales.....	41
XIV.2 Cuantificación del daño	48
XIV.2.1 Aplicación del modelo de difusión	48
XIV.2.2 Cálculo de la cantidad de receptor afectado.....	49
XIV.3 Evaluación de la significatividad del daño asociado a cada escenario accidental y selección de los escenarios significativos.....	50
XIV.4 Estimación de la probabilidad asociada a cada escenario significativo.....	53
XIV.5 Monetización del daño asociado a cada escenario accidental significativo	55
XIV.6 Cálculo del riesgo asociado a cada escenario accidental	58
XIV.7 Aplicación de los criterios del Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, para la fijación de la cuantía de la garantía financiera.....	59
XIV.8 Evaluación de la necesidad de constituir una garantía financiera	60
XV. REFERENCIAS.....	61

Lista de acrónimos

- BREF Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) (www.prtr-es.es/fondo-documental/documentos-de-mejores-tecnicas-disponibles,15498,10,2007.html)
- CENER Centro Nacional de Energías Renovables (www.cener.com)
- LC50 o EC50 Nivel de intensidad que representa efectos adversos claros y a corto plazo sobre el receptor, con consecuencias evidentes sobre los ecosistemas y sus afección sobre al menos el 50 por ciento de la población expuesta al agente causante del daño
- FRTR *Federal Remediation Technologies Roundtable* (www.frtr.gov)
- GM Guía Metodología (instrumento sectorial para el análisis del riesgo medioambiental conforme establece el reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de responsabilidad medioambiental)
- IPPC Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación
- LER Lista Europea de Residuos conforme a la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos (BOE 19/02/2003)
- MIRAT Modelo de Informe de Riesgos Ambientales Tipo (instrumento sectorial para el análisis del riesgo medioambiental conforme establece el reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de responsabilidad medioambiental)
- NOEC o NOAEL Nivel de intensidad del daño 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.
- MORA Modelo de Oferta de Responsabilidad Medioambiental
- PEC *Predicted Environmental Concentration*. Nivel de concentración que alcanza el agente causante del daño en el medio receptor. Se estimará, preferentemente, a través de la utilización de modelos de simulación del comportamiento del agente contaminante.
- PNEC 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. El término «nivel de concentración admisible» hace referencia al umbral ecotoxicológico.
- PRTR Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (www.prtr-es.es/)
- TB Tabla de Baremos (instrumento sectorial para el análisis del riesgo medioambiental conforme establece el reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de responsabilidad medioambiental)
- TGD *Technical Guidance Document on Risk Assessment, in support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for existing substances and Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market*. Part II. European Chemicals Bureau. European Commission. Joint Research Centre (2003)
- UICN Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (www.uicn.es)

I. OBJETO Y ALCANCE DEL INFORME

El objeto de este informe es la elaboración de un Modelo de Informe de Riesgos Ambientales Tipo — MIRAT— dirigida al sector X, el cual presenta una distribución geográfica dispar, que queda detallada en apartados posteriores.

El objetivo de este instrumento, tal como dispone el *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*, es facilitar a los operadores que componen el sector objeto de estudio la elaboración de los análisis de riesgo particularizados, así como minorizar el coste de los mismos tal y como se prevé en él. Este documento pretende identificar todos los escenarios de accidente relevantes de la actividad objeto de estudio, así como proponer protocolos que ayuden a los operadores de un mismo sector a cuantificar y evaluar la significatividad del daño asociado a cada escenario accidental con respecto al estado básico para su actividad concreta.

El presente informe busca ilustrar con un ejemplo práctico ficticio la estructura y las etapas que habría que abordar para diseñar un MIRAT. El contenido del documento es por tanto ilustrativo y no pretende ser exhaustivo. A tal fin se incluyen algunas consideraciones técnicas que ayudarán al analista a orientar sus decisiones de cara a identificar los aspectos que influyen en la identificación de escenarios de riesgo a nivel sectorial y a definir los protocolos que ayuden posteriormente a los operadores a cuantificar y a evaluar sus escenarios de riesgo particulares. En su elaboración se ha tenido en cuenta el documento “Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental”, elaborado en el seno de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales, el cual está a disposición del público en el portal de responsabilidad medioambiental del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino desde julio de 2010.

II. EQUIPO RESPONSABLE DEL ESTUDIO

Todo MIRAT real deberá incorporar un listado de los integrantes que componen el equipo responsable de su elaboración. Un modelo de formato es el que se indica en la siguiente tabla.

NOMBRE	CARGO/ORGANIZACIÓN	FORMACIÓN Y FUNCIONES
...
...
...

Tabla 1. Equipo responsable del estudio. Fuente: elaboración propia.

III. JUSTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO SECTORIAL SELECCIONADO

Con respecto a la homogeneidad de la actividad desde el punto de vista del riesgo ambiental y una vez analizadas —teóricamente, ya que se trata de un ejemplo modelo—: 1) el tipo y la complejidad del proceso productivo; 2) la capacidad de tratamiento y de producción; 3) la tipología y la cantidad de emisiones a las aguas, al suelo y/o al aire; 4) el tipo y la cantidad de residuos generados; 5) el contexto territorial donde se ubican las actividades del sector; 6) los receptores potencialmente afectados; y 7) la gestión del riesgo medioambiental; se ha asumido que el sector X posee una alta

homogeneidad desde el punto de vista de la variabilidad de la actividad con respecto a los parámetros que describen el riesgo ambiental.

Adicionalmente cabe mencionar que de cara a la elaboración de este ejemplo modelo se ha partido del supuesto de que una pequeña parte del sector X se ve afectado por el Apartado 1 del Anexo III de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, es decir, está sujeto a una autorización ambiental integrada de conformidad con la Ley 16/2002, de 1 de Julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación. En base a este criterio se puede deducir que esta parte del sector tiene asociado un mayor grado de peligrosidad.

En consecuencia, y dado que los MIRAT están indicados para sectores o grupos de actividades homogéneos desde el punto de vista del riesgo medioambiental, se ha optado por utilizar este tipo de instrumento para evaluar a nivel sectorial el riesgo de la actividad objeto de estudio.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Este apartado pretende realizar una breve descripción tanto del sector profesional objeto de estudio como de la actividad en sí, es decir, de las líneas de proceso, técnicas, instalaciones y unidades productivas que forman parte de las operaciones que realiza este sector y facilitar, de esta forma, la determinación tanto de los operadores que se pueden acoger a este MIRAT como de los riesgos medioambientales asociados a dicha actividad. A modo ilustrativo, se parte de la hipótesis de que el sector objeto del presente informe cuenta con un Documento BREF sobre Mejores Técnicas Disponibles en el sector X, en cuyo contenido se puede encontrar información detallada del sector. Esta referencia se debe completar con la revisión de otras fuentes de información que aporten datos relevantes adicionales referentes al sector en cuestión.

El sector X tiene aproximadamente un total de 80.000 instalaciones repartidas de forma desigual en el territorio español. En cuanto a dicha distribución, más del 70 por ciento de la producción se distribuye entre las Comunidades Autónomas de Galicia (50%), Castilla y León (25%), Extremadura (8%) y Andalucía (17%). Alrededor de 2.000 de esos complejos se ven sometidos a la normativa sobre prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), según datos recogidos del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes del MARM (PRTR).

Cabe señalar que, dado que se trata de un ejemplo modelo, no se aporta información sobre el número de complejos que han sido visitados a efectos de realizar un análisis del riesgo medioambiental a nivel sectorial. Tal como se ha indicado anteriormente, es de especial relevancia destacar que en los casos reales donde se seleccione un MIRAT como instrumento sectorial, se deberá incluir una descripción de la muestra de instalaciones que han sido visitadas con el fin de justificar la adecuación del instrumento seleccionado al sector objeto de estudio.

IV.1 Perfil ambiental del sector

En este apartado se abordan aspectos relacionados con el riesgo ambiental de la instalación en fase de explotación y no en fase de construcción.

La identificación de los principales aspectos ambientales comunes a la actividad desarrollada en las instalaciones pertenecientes al sector resulta un ejercicio interesante para abordar la caracterización de las variables influyentes en el riesgo medioambiental del sector. Por ello, en este apartado se deben plantear los aspectos relacionados con dicho riesgo durante la explotación de la actividad, tales como los siguientes:

- ❖ Emisiones a las aguas superficiales

- ❖ Emisiones al suelo y a las aguas subterráneas
- ❖ Emisiones de partículas contaminantes a la atmósfera
- ❖ Residuos peligrosos y no peligrosos generados
- ❖ Sustancias y preparados químicos utilizados y/o almacenados
- ❖ Movimiento de tierras
- ❖ Alteraciones en la fisiografía del terreno: ocupación del suelo; cambios en la estructura, textura y disposición de los materiales; disminución de la estabilidad y de la capacidad portante e incremento de los procesos erosivos

El principal problema ambiental al que se enfrenta el *sector X* es la generación de sustancias orgánicas que pueden actuar como elementos contaminantes para el medio, pudiendo verse afectados los suelos, las aguas superficiales y/o subterráneas. Por otro lado, la actividad llevada a cabo por la instalación perteneciente al *sector X* produce elementos residuales que generalmente se almacenan en las plantas a la espera de ser gestionados por un gestor autorizado de residuos, teniendo especialmente en consideración aquellos que son clasificados como peligrosos según la Lista Europea de Residuos (LER).

El *sector X* se caracteriza por un gran consumo energético como consecuencia del uso directo de sistemas de generación de calor y de equipos de refrigeración para el mantenimiento de la propia actividad. Los aspectos ambientales relacionados con el consumo y la transformación de la energía y de los recursos son tenidos especialmente en cuenta en la gestión ambiental llevada a cabo por los operadores a nivel individual en sus respectivas instalaciones.

IV.2 Descripción de la Actividad

Este apartado incluye una descripción general de la actividad que se está considerando a efectos de este ejemplo modelo, el cual no pretende ser exhaustivo puesto que no está dirigido de forma específica a ningún sector de actividad profesional. No obstante, en un caso real, la descripción de la actividad será tan detallada como requiera la evaluación del riesgo medioambiental que se realice a nivel sectorial.

El proceso llevado a cabo por el *sector X* incluye la gestión y el manejo de varias fases de producción que implican diferentes necesidades. El proceso productivo puede desarrollarse por completo en una misma instalación o puede tener distintas ubicaciones. Existen elementos comunes en las instalaciones pertenecientes al *sector X*, que pueden variar según el proceso de producción utilizado en cada unas de dichas instalaciones, pero que con carácter general son: 1) Recepción y almacenamiento de la materia prima; 2) Transformación de la materia prima; 3) Elaboración del producto final; 4) Sistemas de recogida de material contaminante; 5) Almacenamiento de residuos generados por la actividad; 6) Actividades de carga y descarga.

En la figura siguiente se muestra un diagrama de flujo que ilustra el modo en que se lleva a cabo el proceso de fabricación y que ayuda a explicar las distintas fases que éste comprende y que han sido mencionadas con anterioridad.

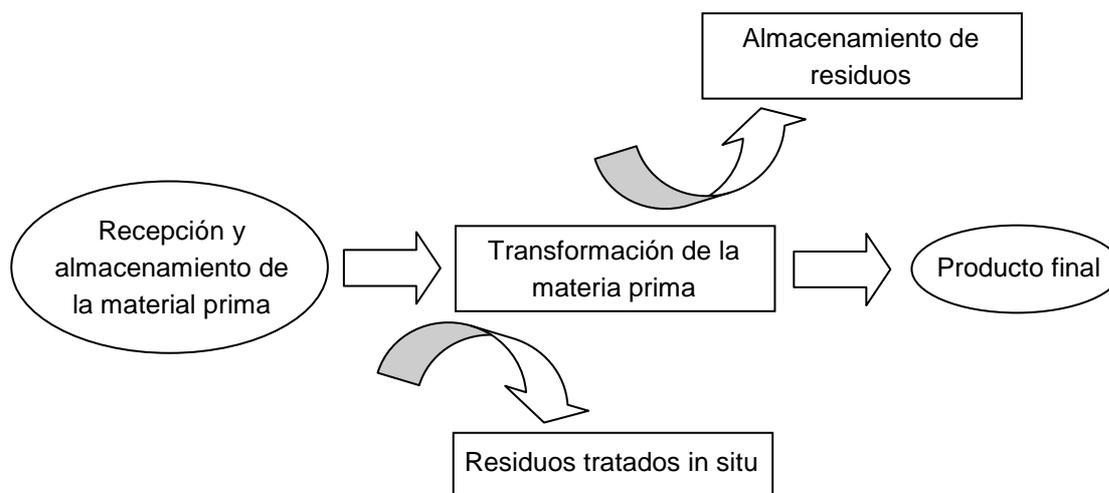


Figura 1. Proceso de producción estándar de una fábrica perteneciente al sector X. Fuente: elaboración propia

La Tabla 2 muestra las principales actividades y procesos auxiliares que tienen lugar en una explotación perteneciente al sector X.

ACTIVIDAD	DENOMINACIÓN
A. PROCESOS OPERACIONALES	
A1	Recepción y almacenamiento de materia prima
A2	Transformación de materia prima
A3	Elaboración del producto final
A4	...
B. PROCESOS AUXILIARES	
B1	Actividades de carga y descarga
B2	Sistemas de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante
B3	Almacenamiento de sustancias
B4	Sistemas de recuperación de productos y energía
B5	Producción de energía
B6	Captación de agua
B7	Actividades de mantenimiento
B8	...

Tabla 2. Tipos de actividades generales que pueden ser realizados en una industria perteneciente al sector X. Fuente: elaboración propia

Con el objetivo de pormenorizar la actividad o actividades desarrolladas en esta industria se procede a describir cada uno de los procesos que la componen de forma más detallada. En este apartado deberá describirse en detalle cada fase o etapa del proceso productivo, destacando las tecnologías empleadas, así como los productos o sustancias empleadas.

A1. Recepción y almacenamiento de materia prima

Cuando la materia se recibe se procede a su acondicionamiento y almacenamiento para su posterior uso en la cadena de producción y obtener de esta forma el producto final deseado.

A2/A3. Transformación de la materia prima y elaboración del producto final

Una vez preparada, la materia prima se pasa a las naves de proceso para que sea transformada y dé origen al producto final ya elaborado.

B1. Actividades de carga y descarga

Normalmente las instalaciones disponen de una zona donde se realizan operaciones de carga y descarga de material.

B2. Sistema de recogida, almacenamiento y retirada de material contaminante

La actividad llevada a cabo por el sector X conlleva la generación de diferentes sustancias y residuos procedentes de la propia actividad e igualmente de la limpieza de la maquinaria, instalaciones, etc. El almacenamiento de los residuos que no se tratan en la misma planta, principalmente residuos de tipo peligroso, se produce de forma temporal hasta que son recogidos por un gestor autorizado de residuos para su posterior tratamiento. De forma general en el proceso de producción, común a la mayor parte de las instalaciones pertenecientes al sector X se genera una *sustancia X* por adición de un *reactivo Y*. Este reactivo no se toma en consideración a la hora de establecer escenarios de riesgo puesto que las cantidades manejadas no resultan significativas.

En un caso real se procederá a describir detalladamente el tipo de sustancias y/o residuos generados durante el proceso de producción (peligrosos o no peligrosos) y el modo en el que se gestionan, bien sean tratados en la propia instalación o bien sean gestionados por un tercero (gestor autorizado de residuos). La información descrita en este apartado debe responder a las características que compartan la mayoría de las instalaciones, no a casos particulares de instalaciones concretas.

B3. Almacenamiento de sustancias

Las instalaciones disponen, en general, de un sistema de almacenaje de los productos que son necesarios para el desarrollo del proceso productivo. En un caso real se deberían detallar los productos que se almacenan en la planta y el modo en que están almacenados.

B4. Sistema de recuperación de productos y energía

El sistema de recuperación persigue una serie de objetivos, como son:

- ❖ La recuperación de los productos que sean susceptibles de reutilización para minimizar costes y reciclar lo máximo posible
- ❖ La destrucción del material innecesario
- ❖ La recuperación de subproductos que posean cierto valor

B5. Producción de energía

Las instalaciones disponen de un grupo electrógeno para la producción de la energía eléctrica que la instalación necesita, que incluirá, en la mayoría de los casos, un depósito de gasoil.

B6. Captación de agua

Las instalaciones cuentan con un punto de captación de agua para su uso en el proceso productivo de la actividad o como agua de limpieza.

La captación de agua se hace a través de sondeos o pozos dentro del perímetro de la instalación o bien de un cauce superficial próximo o directamente de la red de suministro. El agua captada se suele almacenar en depósitos para garantizar el suministro a la instalación.

B7. Actividades de mantenimiento

La mayoría de las instalaciones disponen de un pequeño taller de mantenimiento central donde el propio personal de la empresa realiza pequeñas reparaciones o trabajos propios del mantenimiento general de la instalación.

Es importante aclarar que las fases de actividad para las que se realiza este MIRAT son únicamente las de operación y explotación, quedando fuera del mismo los riesgos en las fases de diseño, construcción y puesta en marcha de la instalación que desarrolla la actividad.

V. DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO TERRITORIAL DEL SECTOR

El contexto territorial de cada operador condicionará el tipo de escenarios de riesgo medioambiental que puedan tener lugar en las distintas instalaciones pertenecientes a un mismo sector. En esta línea y al tratarse de un caso modelo, no se procede a realizar dicha descripción; no obstante a continuación se enumeran una serie de variables que tratan de ejemplificar el tipo de cuestiones que pueden abordarse para describir la localización y el entorno de una determinada instalación.

- ❖ Situación geográfica y emplazamiento
- ❖ Marco geológico (situación geológica, litología, características hidrogeológicas, características geomorfológicas)
- ❖ Edafología: en la caracterización de suelos se podrán tener en cuenta algunas características físicas tales como la profundidad, la porosidad, la textura, la estructura, la pedregosidad y la capacidad de retención de agua. También algunas propiedades químicas como son el pH y el contenido de materia orgánica
- ❖ Cursos fluviales y masas de agua: se reflejarán todos los cauces superficiales y masas de aguas subterráneas que puedan verse afectados por la explotación
- ❖ Flora y fauna: se puede realizar una identificación de las especies más relevantes susceptibles de ser afectadas por la actividad, teniendo en cuenta sus características dinámicas. Si existe información sobre alguna especie protegida se deberá tener en cuenta para la elaboración del estudio
- ❖ Hábitats protegidos: se indicará si existe alguna zona dotada de protección medioambiental especial
- ❖ Calidad del entorno
- ❖ Paisaje y cuencas visuales

Cabe recordar que los operadores pertenecientes al sector deberán realizar una descripción pormenorizada del contexto territorial propio de cada instalación, que habrán de incluir en el informe

de análisis de riesgos particularizado para cada actividad. Para ello, algunas de las fuentes de información disponibles para caracterizar dicho entorno o ubicación, son:

- Mapa Forestal de España a escala 1:50.000 (MFE50), publicado por el MARM
- Inventario Forestal Nacional (IFN), publicado por el MARM
- Base Cartográfica Nacional a escala 1:200.000, publicada por el Ministerio de Fomento
- Espacios Red Natura 2000¹
- Mapa de Permeabilidades de España a escala 1:200.000, publicado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME)
- Mapa de acuíferos, publicado por la Subdirección General de Planificación Hidrológica y Uso Sostenible del Agua, perteneciente a la Dirección General del Agua del MARM
- Coberturas temáticas de ríos, lagos y embalses, publicado por el MARM en colaboración con el Ministerio de Fomento

Cabe mencionar que el modelo MORA ofrece información sobre el entorno basada en la cartografía que utiliza para su funcionamiento. En relación con esto, se recomienda consultar el apartado 3 del documento de 'Estructura y contenidos generales de los análisis sectoriales del riesgo medioambiental' sobre los aspectos a considerar en dicho análisis.

VI. BREVE IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES DISPOSICIONES LEGALES

Este apartado debe incluir la relación de las principales disposiciones legales a nivel estatal que afectan o pueden afectar al sector en relación con el régimen de responsabilidad medioambiental y que puedan influir o ayudar en la caracterización de sus riesgos, incidiendo especialmente en los límites operativos marcados por las autorizaciones preceptivas. De forma general, se deben incluir los desarrollos normativos especificados en los epígrafes del anexo III de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, siempre y cuando le sean de aplicación al sector objeto de estudio, añadiendo, además, cualquier otra normativa derivada de dichas normas específicas que incluya en su ámbito de aplicación a la actividad objeto del estudio. Todo ello sin perjuicio de que exista legislación comunitaria, autonómica o sectorial que deba tenerse en cuenta en la elaboración de un estudio real, en cuyo caso deberá, también, ser especificada en el presente apartado.

A modo de ejemplo se enumeran a continuación algunas de las disposiciones que afectan al *sector X*:

- ❖ 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.
- ❖ Reglamento (CE) Nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) nº 1907/2006
- ❖ Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental

¹ <http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/rednatura2000/>

- ❖ Real Decreto 509/2007, de 20 de abril, por el que aprueba el Reglamento de desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación
- ❖ Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, que regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas
- ❖ Reglamento (CE) nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) nº 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) nº 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión
- ❖ Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas
- ❖ Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos
- ❖ Acuerdo internacional de Naciones Unidas por el que se aprueba el Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA), 2003
- ❖ Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación
- ❖ Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos
- ❖ Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas
- ❖ Real Decreto 1254/1999, de 16 de diciembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas
- ❖ Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos
- ❖ Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas
- ❖ Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios

En un caso real esta lista debería ser completada con la legislación que sea de aplicación, incluida en su caso la normativa sectorial y autonómica. La amplitud de la lista de la normativa ambiental aplicable al sector que se lleve a cabo en este apartado será argumentada por el sector.

VII. METODOLOGÍA SEGUIDA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS

La elaboración de este documento se basa principalmente en el esquema metodológico recogido en la norma UNE 150.008:2008 sobre "Análisis y evaluación del riesgo ambiental", metodología

propuesta por el Real Decreto 2090/2008 y cuya estructura y contenido obedece a la necesidad de establecer un marco de referencia para que una verificación por una tercera parte sea posible.

Dicha metodología divide el proceso de análisis de riesgos en dos partes generales, por un lado, la definición de los *escenarios causales* y, por otro, de los *escenarios consecuenciales*; conectados entre sí por los *sucesos iniciadores* —definidos como el hecho físico generado por un escenario causal que da lugar a la primera de las consecuencias—.

Para la identificación de los escenarios accidentales relevantes del sector objeto de estudio se ha procedido, en primer lugar, a la identificación de las causas y peligros más comunes a nivel sectorial con el fin de establecer los sucesos iniciadores que pueden ocurrir con mayor frecuencia en las instalaciones pertenecientes al sector. Posteriormente, y a partir de los sucesos iniciadores identificados, se han establecido los escenarios accidentales relevantes del sector en función del agente causante del daño y del medio receptor afectado.

VIII. IDENTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES RELEVANTES DEL SECTOR

VIII.1 Identificación de causas y peligros

El operador debe identificar a nivel particular todas las fuentes de peligro de daño medioambiental existentes en su instalación que están relacionadas principalmente con las sustancias utilizadas; las condiciones y actividades de almacenamiento; los procesos; las fuentes de energía empleadas; la gestión de las instalaciones y de los residuos; las emisiones a las aguas y a la atmósfera; las instalaciones e infraestructuras auxiliares; la gestión de los recursos humanos y los elementos del entorno.

De cara a describir las principales fuentes de peligro se recomienda hacer de forma previa un proceso de cribado aplicando técnicas de identificación más generales al conjunto de las diferentes unidades productivas de la instalación con el objetivo de realizar una zonificación y jerarquización de estas unidades, en función de su riesgo potencial.

Se identificarán las fuentes de peligro relacionadas con los siguientes factores o aspectos:

1.1 FACTOR HUMANO

En este apartado se identificarán las fuentes de peligro asociadas, por un lado, al factor humano organizativo, y por el otro, al factor humano individual. Debe contemplar la estructura organizativa, los sistemas de gestión ambiental, la cultura preventiva, los procedimientos en caso de accidente, la comunicación ambiental interna o externa y las condiciones ambientales del puesto de trabajo (factor humano de tipo organizativo), y la formación, el entrenamiento, la capacitación y los errores humanos (factor individual).

1.2 ACTIVIDADES E INSTALACIONES

Se contemplarán actividades tales como el almacenamiento de sustancias, los procesos productivos, y las instalaciones productivas y auxiliares.

1.2.1 Almacenamiento

El operador deberá identificar, en la particularización que haga del MIRAT, las características de las sustancias presentes en su instalación (fichas de datos de seguridad), así como las cantidades y/o volúmenes almacenados.

Se propone la utilización de tablas como la que se incluye a continuación, las cuales persiguen ayudar al operador a definir las fuentes de peligro asociadas al almacenamiento de las diferentes sustancias.

ALMACENAMIENTO DE:		DESCRIPCIÓN DEL ALMACENAMIENTO					FRASE R	Código LER
		VOLUMEN ALMACENADO	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	NATURALEZA DEL ALMACENAMIENTO	MEDIDAS PREVENTIVAS	MEDIDAS CORRECTORA		
MATERIAS PRIMAS	MP.1							
	MP.2							
MATERIAS AUXILIARES	MA.1							
	MA.2							
COMBUSTIBLE	CN.1							
	CN.2							
PRODUCTOS TERMINADOS	PT.1							
	PT.2							
PRODUCTOS INTERMEDIOS	PI.1							
	PI.2							
RESIDUOS	R.1							
	R.2							

Tabla 3. Fuentes de peligro en actividades e instalaciones. Fuente: elaboración propia

1.2.2 Procesos e instalaciones productivas

Se deberán reconocer aquellos procesos y operaciones que puedan suponer o generar fuentes de peligro. Para ello se prestará atención a los equipos; al trasiego y manejo de sustancias; a la disposición de procesos e infraestructuras; a las medidas de seguridad; a las condiciones de contorno; a las condiciones de proceso; a la gestión del mantenimiento; etc.

1.2.3 Procesos e instalaciones auxiliares

Es posible que la instalación objeto de análisis de riesgos cuente con algún proceso o instalación auxiliar que pueda generar peligros para el medio ambiente que deban ser analizados. Algunas de las instalaciones auxiliares que pueden tenerse en cuenta en este apartado son:

- ❖ Generación de energía eléctrica: posiblemente en este tipo de instalaciones existan generadores eléctricos que contengan aceites de diferentes tipos que puedan considerarse como una fuente de peligro
- ❖ Tratamiento de agua para procesos e instalaciones
- ❖ Sistemas de producción de calor (calderas, combustibles)
- ❖ Sistema de protección contra incendios
- ❖ Taller de mantenimiento

1.3 ELEMENTOS EXTERNOS

Se indicarán los elementos externos a la instalación que puedan generar o influir en la evaluación de las posibles fuentes de peligro para el medio ambiente.

Dichos elementos pueden ser:

- ❖ Naturales: los elementos externos naturales pueden ser tanto físicos (inundaciones, rayos, etc.) como biológicos (plagas, enfermedades, etc.).
- ❖ Figuras de protección administrativa. Caben destacar las siguientes: espacios naturales protegidos (Zonas de Especial Protección para las Aves, Lugares de Interés Comunitario, Parques Nacionales, Parques Naturales, etc.), zonas vulnerables, y presencia de especies protegidas, endémicas, vulnerables, etc.
- ❖ Infraestructuras e instalaciones próximas a la instalación tales como suministros, caminos, carreteras, ferrocarril, vías pecuarias, parques, etc.
- ❖ Núcleos de población cercanos

Por último y con el fin de facilitar al operador la identificación de las fuentes de peligro de su instalación, y posteriormente la zonificación de la instalación en unidades operativas según la potencialidad del riesgo, se muestra una tabla a modo de ejemplo, recomendada para identificar las fuentes de peligro por unidad operativa o área.

FUENTES DE PELIGRO. Unidad operativa / área		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
...
...
...

Tabla 4. Fuentes de peligro de elementos externos. Fuente: elaboración propia

A continuación se exponen las diferentes fuentes de peligro más comunes por unidad operativa identificadas a nivel sectorial para el sector hipotético analizado en el presente MIRAT:

FUENTES DE PELIGRO. Sistema de recogida, almacenamiento y retirada de material contaminante		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
<i>Sustancia X</i>	Canalización / Depósitos	Errores humanos
<i>Reactivo Y</i>	Almacén	Mantenimiento
<i>Residuo 1</i>	Depósito de residuos	Personal con poca formación ambiental
...	...	Sistema contra incendios
...	...	Valorar riesgo de inundación

Tabla 5. Fuentes de peligro de elementos externos: Sistema de recogida, almacenamiento y retirada de material contaminante. Fuente: elaboración propia

FUENTES DE PELIGRO. Grupo electrógeno		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
Gasoil	Depósito de gasoil	Cubeto de contención
...	...	Mantenimiento
...	...	Sistema contra incendios
...	...	Errores humanos
...	...	Personal con poca formación ambiental

Tabla 6. Fuentes de peligro de elementos externos: Grupo electrógeno. Fuente: elaboración propia

FUENTES DE PELIGRO. Almacenamiento de gas natural y conducciones asociadas		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
Gas Natural	Depósitos	Elementos de contención
...	Conducciones	Mantenimiento
...	...	Sistema contra incendios
...	...	Errores humanos
...	...	Personal con poca formación ambiental

Tabla 7. Fuentes de peligro de elementos externos: Almacenamiento de gas natural y conducciones asociadas. Fuente: elaboración propia

FUENTES DE PELIGRO. Zonas de carga y descarga de cisternas		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
<i>Sustancia X</i>	Cisternas	Tipo de pavimento
Gasoil	Líneas de conexión	Elementos de contención
Gas natural	...	Errores humanos
...	...	Personal con poca formación ambiental

Tabla 8. Fuentes de peligro de elementos externos: Zonas de carga y descarga de cisternas. Fuente: elaboración propia

FUENTES DE PELIGRO. Almacenamiento de residuos y productos químicos		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
Sustancia X	Depósito	Tipo de pavimento
Aceites usados	Elementos de almacenamiento (contenedores, bidones, etc.)	Elementos de contención y recogida
Textiles impregnados	...	Procedimientos de trasiego
	...	Errores humanos

Tabla 9. Fuentes de peligro de elementos externos: Almacenamiento de residuos y productos químicos. Fuente: elaboración propia

FUENTES DE PELIGRO. Taller de Mantenimiento		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
Aceites	Elementos de almacenamiento (contenedores, bidones, etc.)	Tipo de pavimento
Textiles impregnados	Recipientes vacíos	Elementos de contención y recogida
...	...	Posibles mezclas y sinergias
...	...	Errores humanos

Tabla 10. Fuentes de peligro de elementos externos: Taller de mantenimiento. Fuente: elaboración propia

VIII.2 Identificación de sucesos iniciadores y sus causas

Los sucesos iniciadores son hechos físicos identificados a partir del análisis de las causas que pueden generar un accidente en función de su evolución en el espacio y en el tiempo. Es importante tener en cuenta que cualquier hecho producido con anterioridad a un suceso iniciador podrá considerarse como su causa y que cualquier hecho posterior podrá tratarse como un factor condicionante que derive en la identificación de un escenario de accidente.

Una vez identificadas las fuentes de peligro, el operador deberá determinar los sucesos iniciadores de su instalación a partir de la información obtenida en el apartado anterior.

En ocasiones, es posible que la identificación del suceso iniciador se produzca de forma previa a la de sus causas, ya que puede ser un episodio muy habitual y conocido o que pueda determinarse por intuición. Por ello, el operador podrá a su vez utilizar para la identificación de los sucesos iniciadores otras fuentes de información como fuentes bibliográficas, análisis estadísticos, registros de accidentes, etc.

Cabe recordar que a nivel sectorial no será posible estimar (en la inmensa mayoría de los estudios sectoriales) la probabilidad asociada a cada tipo de escenario accidental, dado que dicha probabilidad depende en buena parte de las características y del contexto territorial, entre otros factores, de cada instalación en particular. No obstante y en relación con el análisis del riesgo medioambiental que el operador deberá realizar a nivel individual, se pueden avanzar algunas orientaciones al respecto en relación con la identificación de los sucesos iniciadores y sus causas, y la estimación de dicha

probabilidad. En esta línea y tras haber identificado dichos sucesos iniciadores, se asociará a cada uno de ellos una única probabilidad que podrá ser la propia del suceso identificado, o bien, la combinación de las probabilidades de las causas que producen dicho suceso.

Para la asignación de probabilidades a nivel particular, el operador podrá hacer uso de diferentes criterios o fuentes, tales como datos históricos de la actividad, bases de datos de accidentes, bibliografía especializada, información de fabricantes y proveedores o criterios semicuantitativos, como por ejemplo el que se recoge en la Tabla 13.

A continuación se enumeran algunos de los sucesos que podrían ocurrir en una de las instalaciones pertenecientes al sector X:

ACTIVIDAD	SUCESO INICIADOR	CAUSAS
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante (B2)	Fuga depósito de <i>sustancia X</i>	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto Movimiento de tierras Fallo en la operación Desbordamiento
	Fuga en conducción de la <i>sustancia X</i>	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Movimiento de tierras Aumento de presión Fallo en válvula y aumento del caudal Fallo de los sistemas de detección temprana
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga en cisterna de <i>sustancia X</i>	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto Fallo en el sistema de detección
	Fuga conexión carga cisterna de <i>sustancia X</i>	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto Sobrellenado Rotura de válvula
Producción de energía (B5)	Fuga depósito gasoil	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto Sobrellenado Fallo en el sistema de detección
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga cisterna gasoil	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto Sobrepresión interna por incendio en el exterior de la cisterna Sobrellenado Rotura de válvula
	Fuga conexión carga cisterna gasoil	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto Sobrellenado Rotura de válvula

Instalación	Incendio	Cortocircuito Explosión de equipos Fugas de productos inflamables con posterior ignición Operaciones de mantenimiento (corte, soldadura, etc.) Imprudencias (cigarrillos, mecheros, etc.) Fenómenos atmosféricos (rayos, etc.)
-------------	----------	---

Tabla 11. Identificación de sucesos iniciadores y sus causas. Fuente: elaboración propia

VIII.3 Determinación de la tipología de escenarios accidentales en función del agente causante del daño y/o del medio receptor afectado

En este apartado se deben determinar los escenarios accidentales relevantes y comunes para el conjunto del sector X que se derivan de los sucesos iniciadores identificados en el apartado anterior.

Para esta determinación se tienen en consideración los factores condicionantes que puedan actuar sobre cada suceso iniciador. Para ello hay que tener en cuenta tanto los factores ambientales, fundamentalmente del medio físico y biótico, como los de tipo operacional, que puedan condicionar el comportamiento de la instalación y/o puedan producir un efecto multiplicador o dispersor del peligro.

A continuación se enumeran algunos de los posibles escenarios de riesgo relevantes o potencialmente significativos al sector X. Cada operador deberá identificar los escenarios más comunes que puedan presentarse en su instalación, teniendo en cuenta las características de su actividad y los factores condicionantes que caracterizan el contexto territorial (Tabla 12).

IDENTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES RELEVANTES DE LA ACTIVIDAD			
ACTIVIDAD	SUCESO INICIADOR	Nº Escenario	ESCENARIO ACCIDENTAL
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante (B2)	Fuga parcial depósito <i>sustancia X</i>	1	Vertido de <i>sustancia X</i> a aguas superficiales por fuga parcial en el depósito
		2	Vertido de <i>sustancia X</i> al suelo y/o aguas subterráneas por fuga parcial en el depósito
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante (B2)	Fuga total depósito <i>sustancia X</i>	3	Vertido de <i>sustancia X</i> a aguas superficiales por fuga total en el depósito
		4	Vertido de <i>sustancia X</i> al suelo y/o aguas subterráneas por fuga total en el depósito
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante (B2)	Fuga parcial contención de <i>sustancia X</i>	5	Vertido de <i>sustancia X</i> a aguas superficiales por fuga parcial en el sistema de contención
		6	Vertido de <i>sustancia X</i> al suelo y/o aguas subterráneas por fuga parcial en el sistema de contención
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante (B2)	Fuga total contención de <i>sustancia X</i>	7	Vertido de <i>sustancia X</i> a aguas superficiales por fuga total en el sistema de contención
		8	Vertido de <i>sustancia X</i> al suelo y/o aguas subterráneas por fuga total en el sistema de contención
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante (B2)	Fuga total en conducción de <i>sustancia X</i>	9	Vertido de <i>sustancia X</i> al suelo y/o aguas subterráneas por fuga total en conducción
		10	Vertido de <i>sustancia X</i> a aguas superficiales por fuga total en conducción
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante (B2)	Fuga parcial en conducción de <i>sustancia X</i>	11	Vertido de <i>sustancia X</i> al suelo y/o aguas subterráneas por fuga parcial en conducción
		12	Vertido de <i>sustancia X</i> a aguas superficiales por fuga parcial en conducción
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga parcial en cisterna de <i>sustancia X</i>	13	Vertido de <i>sustancia X</i> al suelo y/o aguas subterráneas por fuga parcial en cisterna
		14	Vertido de <i>sustancia X</i> a aguas superficiales por fuga parcial en cisterna
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga conexión carga cisterna <i>sustancia X</i>	15	Vertido de <i>sustancia X</i> al suelo y/o aguas subterráneas por fuga en conexión con cisterna
Producción de energía (B5)	Fuga parcial depósito gasoil	16	Vertido de gasoil al suelo y/o aguas subterráneas por fuga parcial depósito gasoil
		17	Vertido de gasoil a aguas superficiales por fuga parcial depósito gasoil
Producción de energía (B5)	Fuga total depósito gasoil	18	Vertido de gasoil al suelo y/o aguas subterráneas por fuga total depósito gasoil
		19	Vertido de gasoil a aguas superficiales por fuga total depósito gasoil
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga parcial cisterna gasoil	20	Vertido de gasoil al suelo y/o aguas subterráneas por fuga parcial cisterna gasoil
		21	Vertido de gasoil a aguas superficiales por fuga parcial cisterna gasoil
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga conexión carga cisterna gasoil	22	Vertido de gasoil al suelo y/o aguas subterráneas por fuga en conexión carga cisterna
		23	Vertido de gasoil a aguas superficiales por fuga en conexión carga cisterna
Procesos operacionales y auxiliares	Incendio	24	Incendio exterior por propagación
		25	Incendio exterior por propagación y vertido de aguas de extinción peligrosas al suelo y/o aguas subterráneas
		26	Incendio exterior por propagación y vertido de aguas de extinción peligrosas a aguas superficiales

Tabla 12. Identificación del tipo de escenarios accidentales relevantes de la actividad. Fuente: elaboración propia

VIII.4 Definición de protocolos para asignar la probabilidad asociada a los escenarios accidentales

El MIRAT deberá sugerir a nivel sectorial un mismo método para que los operadores estimen la probabilidad asociada a los escenarios accidentales que se den en sus respectivas instalaciones. De esta forma, el operador deberá atribuir a cada escenario accidental una única probabilidad, que será una composición de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador correspondiente a cada escenario y de las probabilidades de ocurrencia de los diferentes factores condicionantes que influyen en la definición de los mismos. El resultado de dicha probabilidad se expresará en términos cuantitativos o semicuantitativos y para ello el operador podrá utilizar diferentes criterios complementarios tales como bases de datos de accidentes, datos históricos de la actividad, bibliografía, consulta a expertos, información de fabricantes y proveedores, etc.

La técnica seleccionada a nivel de operador deberá responder a la fiabilidad exigida para satisfacer el objeto y alcance del estudio, debiendo estar siempre justificada técnicamente. La Norma UNE 150.008 ofrece una visión muy simplificada de la manera de valorar la probabilidad asociada a cada escenario de riesgo (Tabla 13). Se trata de una valoración semicuantitativa cuyos valores pueden tomarse de muestra para la asignación de las probabilidades. Este método no deberá necesariamente restringirse a las cinco bandas de probabilidad que establece el ejemplo, siendo también necesario que el operador justifique técnicamente a nivel particular, ya sea en base a la consulta de un panel de expertos o mediante el método que se estime conveniente, los valores de probabilidad que se asigne a cada escenario.

Probabilidad o frecuencia		Puntuación
<1 vez / mes	Muy probable	5
<1 vez / mes - 1 vez / año	Altamente probable	4
<1 vez / año - 1 vez / 10 años	Probable	3
<1 vez / 10 años - 1 vez / 50 años	Posible	2
> 1 vez / 50 años	Improbable	1

Tabla 13. Criterio de asignación de probabilidad de ocurrencia. Fuente: Norma Une 150.008

VIII.5 Medidas de prevención y mitigación que podrán ser adoptadas por los operadores del sector para cada tipo de escenario accidental

A continuación se exponen, con carácter orientativo, una serie de medidas de prevención y mitigación de daños a adoptar para cada tipo de escenario accidental relevante identificado previamente. En este caso dichas medidas se expondrán para cada suceso iniciador con el fin de simplificar la información.

ACTIVIDAD	SUCESO INICIADOR	MEDIDAS DE PREVENCIÓN	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante (B2)	Fuga instantánea o continua depósito de <i>sustancia X</i>	Formación del personal Señalización de la zona Establecimiento de piezómetros de control Uso de bidones y materiales homologadas Programa de mantenimiento (vaciados, estanqueidad, etc.) Control de acceso a la zona	Implantación de sistemas de alerta y detección Protocolo de actuación en caso de accidente Disposición de medios para la contención y retirada del vertido
	Fuga total o parcial en conducción de <i>sustancia X</i>	Formación del personal Uso de conducciones homologadas Programa de mantenimiento Control estanqueidad y posibles fugas	Implantación de un sistema de alerta y detección Disposición de medios para la contención y retirada del vertido
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga parcial en cisterna de <i>sustancia X</i>	Formación del personal Señalización de la zona Programa de mantenimiento Pavimento impermeabilizado	Implantación de sistemas de alerta y detección Disposición de medios para la contención y retirada del vertido
	Fuga conexión carga cisterna de <i>sustancia X</i>	Formación del personal Uso de conducciones homologadas Programa de mantenimiento Pavimento impermeabilizado	

ACTIVIDAD	SUCESO INICIADOR	MEDIDAS DE PREVENCIÓN	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga instantánea cisterna gasoil	Formación del personal Señalización de la zona Control de acceso	Implantación de sistemas de alerta y detección Disposición de medios para la contención y retirada del vertido
	Fuga conexión carga cisterna gasoil	Programa de mantenimiento Uso de cisternas y dispositivos homologados Pavimento impermeabilizado	
Producción de energía (B5)	Fuga instantánea depósito gasoil	Formación del personal Uso de depósitos homologados Programa de mantenimiento Control de acceso a la zona	Implantación de sistemas de alerta y detección Disposición de medios para la contención y retirada del vertido
	Fuga continua depósito gasoil	Sistemas de prevención contra incendios Control estanqueidad y posibles fugas	
Procesos operacionales y auxiliares	Incendio	Formación del personal Programa de mantenimiento Revisión periódica y cumplimiento del plan contra incendios Señalización e información sobre la prohibición de fumar en toda la instalación Cortafuegos en zonas próximas a la instalación Protocolos para la manipulación de sustancias ignífugas	Implantación de sistemas de alerta contra incendios Provisión de medios de extinción de incendios Provisión de equipos de protección individual contra incendios Plan de emergencia

Tabla 14. Medidas de prevención y mitigación. Fuente: elaboración propia

IX. PROTOCOLOS PARA CUANTIFICAR Y EVALUAR LA SIGNIFICATIVIDAD DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES

IX.1. Identificación de variables que determinan el daño medioambiental para cada tipología de escenario accidental

Algunas de las variables que determinarán la cuantificación de los daños asociados a los escenarios relevantes que se pueden derivar de la actividad en el sector X que hacen referencia al vertido de sustancias contaminantes serán las siguientes:

- ❖ Cantidad de sustancia involucrada
- ❖ Peligrosidad de la sustancia
- ❖ Receptor potencialmente afectado
- ❖ Cantidad de receptor potencialmente afectado
- ❖ Calidad del entorno
- ❖ Temporalidad del daño (reversibilidad)

Para el caso de incendio —que ha sido uno de los escenarios considerados en pasos anteriores— las variables que determinarán la cuantificación de los daños serán las siguientes:

- ❖ Receptor potencialmente afectado
- ❖ Cantidad de receptor potencialmente afectado
- ❖ Calidad del entorno
- ❖ Temporalidad del daño (reversibilidad)
- ❖ Proximidad de la instalación a zonas combustibles
- ❖ Riesgo de incendio dentro de la instalación

En un caso real este apartado podría ir acompañado de una descripción en profundidad de las sustancias generadas en las instalaciones enmarcadas en el sector de estudio y que supongan un riesgo para el medio. Para ello, se puede considerar relevante establecer su composición química con el objeto de obtener una fiel representación de los posibles escenarios de accidente comunes para el sector y la concentración a la que se encuentran.

IX.2. Definición de protocolos para cuantificar el daño referente a cada tipología de escenario accidental y evaluar, por parte de cada operador, su significatividad

El objetivo de este apartado es orientar a los operadores del sector objeto de estudio a cuantificar los daños potenciales derivados de los escenarios de riesgo identificados en su instalación. En esta línea los operadores deberán evaluar, en la medida de lo posible, la extensión, la intensidad, y la temporalidad del daño en cada uno de los mencionados escenarios de riesgo para posteriormente identificar los escenarios significativos a efectos del cálculo de la garantía financiera.

El tipo de agente causante del daño y el cálculo de la cantidad de recurso afectado son determinantes para hallar el valor del daño (coste de reparación primaria) asociado a cada escenario. Este cálculo

se obtendrá a partir de la aplicación de unos modelos de difusión seleccionados en base a estas variables, considerando para ello las propiedades físico-químicas de las sustancias que se encuentran presentes en las instalaciones y que son susceptibles de generar un daño al medio ambiente. En este caso, teniendo en cuenta que la mayor parte de las sustancias manejadas poseen una viscosidad superior a la del agua, se propone a nivel teórico una serie de modelos que podrán ser utilizados a nivel individual por los operadores con el fin de estimar la cantidad de receptor dañado que se desprende de cada escenario accidental. Cabe recordar que la selección del modelo de difusión más adecuado es una tarea compleja que merece una especial atención y que la conveniencia de utilizar un modelo concreto en un caso real debe ser evaluada y comprobada caso por caso.

Hasta el momento, casi la totalidad de modelos de dispersión desarrollados en la bibliografía consultada —tanto los de acceso público como privado— se desarrollan de forma específica para un único tipo de recurso afectado. Debido a este motivo, a pesar de existir amplia literatura disponible al respecto, no están accesibles modelos que relacionen los daños causados por un mismo agente a los distintos recursos contemplados en la Ley 26/2007, de Responsabilidad Medioambiental. Es decir, resulta complicado estimar qué cantidad de un determinado daño —p.e. vertido— afecta al suelo, y qué cantidad puede afectar, vía este receptor, al agua superficial o subterránea. Por otro lado y como resulta previsible, apenas existen modelos que aborden la estimación de la cantidad de hábitat o de especies que han sido afectadas, sólo algunos modelos de incendios.

Por todo ello, las propuestas de modelos que se indican a continuación hacen mayormente referencia a cada recurso (o compartimento) de forma aislada; a excepción del modelo de suelo, que sirve para estimar de forma conjunta los daños al suelo y a las aguas subterráneas.

Dado que este ejemplo modelo se trata de un caso no real que no pretende la revisión exhaustiva de los modelos de difusión disponibles, merece la pena destacar que el MARM está trabajando en un informe para el análisis de las herramientas de difusión y la evaluación del comportamiento de agentes químicos en el marco del régimen de responsabilidad medioambiental.

IX.2.1 PROTOCOLO PARA CUANTIFICAR EL DAÑO GENERADO AL SUELO Y A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

El presente protocolo tiene por objeto estimar la cantidad de recurso que se vería afectado por un eventual daño —cuantificación de la extensión del daño— al suelo y a las aguas subterráneas.

2.1.1 Cálculo de la superficie

En el caso de los daños al suelo son dos los parámetros que van a determinar la extensión del daño, por un lado la superficie de suelo afectada, y por otro, la profundidad hasta la cual se infiltra la sustancia contaminante.

Para el cálculo de la superficie de la mancha que ocasionaría un posible vertido, se propone utilizar la metodología desarrollada por Grimaz *et al.* (2007). En dicho trabajo, los autores se basan en los documentos elaborados por Huppert (1982), Lister (1992), Acton *et al.* (2001), Spannuth *et al.* (2006) y Keller *et al.* (2005), para diseñar una herramienta que permita estimar la extensión del daño —medida en cantidad de superficie de suelo afectada—. El modelo ha sido desarrollado con el objeto de evaluar tanto las afecciones sobre las personas como aquéllas que tienen lugar sobre el medio ambiente.

En el marco del convenio establecido entre la universidad italiana de Udine y la universidad inglesa de Belfast, los autores de dicho estudio tratan de responder a la necesidad de contar con una herramienta sencilla de predicción de la extensión de los daños al suelo causados por un eventual

vertido. Dicho modelo parte de la teoría gravitacional y es aplicable tanto a medios permeables como impermeables —aunque funciona mejor para estos últimos— y tanto en terrenos llanos como con una cierta pendiente.

Como es lógico, la extensión del daño va a estar condicionada por la capacidad de absorción del suelo así como por la dinámica del flujo superficial, por lo que las variables principales que determinarán el área serán la cantidad de sustancia derramada y la infiltración en el suelo.

Es importante resaltar que este modelo es un modelo teórico que deberá contrastarse con casos prácticos a fin de afinar más los resultados. Asimismo, merece la pena hacer hincapié en que una de sus principales ventajas es su sencillez de aplicación; no obstante, esto es debido a que no precisa determinados parámetros de entrada relacionados con los procesos de volatilización y biodegradación que, si bien introducirían una gran complejidad en el modelo, también permitirían ajustar más los resultados al reflejar fielmente los procesos que eliminan una pequeña parte de la cantidad vertida al suelo.

Por último, merece la pena destacar que aunque el modelo se ha desarrollado en base a las características específicas de los vertidos de fuel, en principio dicho modelo es válido para cualquier tipo de sustancia que lleve asociada cierta viscosidad.

En Grimaz *et al.* (*ibid.*) se distinguen dos modelos para los vertidos puntuales en terrenos impermeables —uno para terreno llano y otro para terrenos con pendiente— y se indican una serie de particularidades que deben hacerse para adaptar el modelo a terrenos permeables. Cada una de estas variantes del modelo se expone con detalle a continuación.

2.1.1.1 Modelo para el cálculo de la extensión de vertidos puntuales sobre superficies impermeables y horizontales

Suponiendo un vertido puntual, el modelo se simplifica mucho dado que se puede estimar el área de la mancha de vertido como la superficie del círculo que tiene como centro el foco de vertido y como radio la distancia de difusión de Huppert. Así, el área ocupada se calculará conforme a la siguiente ecuación:

$$A_{pool} = \pi \cdot s(t)^2 \quad [\text{Ec.1}]$$

Donde:

A_{pool} = superficie de la mancha de vertido [m^2].

$s(t)$ = distancia de difusión [m].

La ecuación propuesta por Huppert (Huppert, 2006) para dimensionar la distancia de difusión viene dada por la siguiente expresión:

$$s(t) = \zeta_N(\alpha, n) (Rq^3)^{1/(5+3n)} t^{(3\alpha+1)/(5+3n)} \quad [\text{Ec.2}]$$

Donde:

– $s(t)$ = coordenada espacial que define la extensión del área (para $n=1$; s =radio).

- $\zeta_N(\alpha, n)$ = coeficiente adimensional definido por Huppert, que varía en función del valor que tomen los parámetros α^2 y n según se muestra en la Tabla 17.
- R = difusión efectiva, y se calcula a partir de la aceleración de la gravedad (g) [m/s^2], la densidad (ρ) [kg/m^3] y la viscosidad dinámica (μ)³ [$kg \cdot m/s$] mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho g}{3 \mu} = \frac{g}{3 \nu} \quad [\text{Ec.3}]$$

- q = caudal de vertido [m^3/s]
- t = tiempo [s]

Tipo de vertido	$n = 0$	$n = 1$
$\alpha=0$	1,411	0,894
$\alpha=1$	1,01	0,715
$\alpha=2$	0,85	0,623

Tabla 17. Valores del coeficiente $\zeta_N(\alpha, n)$ en la ecuación de Huppert, en función de los parámetros α y n . Fuente: Grimaz *et al.*, 2007 (AIDIC)

2.1.1.2. Modelo para el cálculo de la extensión de vertidos puntuales ($n=1$) sobre superficies inclinadas impermeables

En este caso el cálculo del área afectada por el daño se estimará a partir de la siguiente ecuación, que se basa en las ecuaciones desarrolladas por Lister (1992):

$$A_{pool} = \pi \cdot (L_D + L_U) \cdot c_M \quad [\text{Ec.4}]$$

Donde:

- A_{pool} = superficie de la mancha de vertido [m^2].
- $L_D(t)$ = extensión del vertido medido aguas abajo desde la fuente, y se calcula —para fuentes puntuales— mediante la expresión:

$$L_D(t) = \zeta_N \left(\frac{R_\gamma^3 q^4 t^{4\alpha+3} \text{sen}^5 \gamma}{\cos^2 \gamma} \right)^{1/9} \quad [\text{Ec.5}]$$

Dicha expresión deriva, para el caso particular de vertidos instantáneos, en esta otra:

$$L_D(t) = \lambda_N \cdot \frac{q^{4/9} R_\gamma^{1/3} t^{1/3}}{\left[\cot^2 \gamma \ln \left(\frac{t q^{1/3} R_\gamma}{\cot^{5/3} \gamma} \right) \right]} \quad [\text{Ec.6}]$$

Donde:

² Los valores de α indican el comportamiento del vertido a lo largo del tiempo, así: $\alpha=0$ indica que el vertido es instantáneo; $\alpha=1$ que se trata de un vertido de flujo constante; y $\alpha=2$ que el flujo de vertido sigue una tendencia lineal.

³ La viscosidad cinemática (ν) [m^2/s] es el resultado de dividir la viscosidad dinámica (μ) [$kg \cdot m/s$] entre la densidad (ρ) [kg/m^3].

- ζ_N = coeficiente que varía en función de α según la Tabla 18.
- R = difusión efectiva, y se calcula a partir de la aceleración de la gravedad (g) [m/s^2], la densidad (ρ) [kg/m^3], la viscosidad dinámica (μ)⁴ [$kg\cdot m/s$] y el ángulo de inclinación respecto a la horizontal (γ) mediante la siguiente ecuación:

$$R_\gamma = \frac{\rho g \text{ sen } \gamma}{3\mu} = \frac{g}{3\nu} \text{ sen } \gamma \text{ [Ec.7]}$$

- q = caudal de vertido [m^3/s].
- t = tiempo [s].
- α = parámetro que indica el comportamiento del vertido a lo largo del tiempo, así: $\alpha=0$ indica que el vertido es instantáneo; $\alpha=1$ que se trata de un vertido de flujo constante; y $\alpha=2$ que el flujo de vertido sigue una tendencia lineal.
- γ = ángulo de inclinación respecto a la horizontal [$^\circ$].
- λ_N = coeficiente para vertidos instantáneos, cuyo valor es 1,773.

Tipo de vertido	ζ_N
$\alpha=0$	-
$\alpha=1$	0,82
$\alpha=2$	0,70

Tabla 18. Valores del coeficiente $\zeta_N(\alpha)$ en función del parámetro α . Fuente: Grimaz *et al.*, 2007 (AIDIC).

- $L_U(t)$ = extensión del vertido medido aguas arriba desde la fuente, y se calcula mediante la ecuación:

$$L_U \approx \left(\frac{q \cot^{2\alpha+1} \gamma}{R_\gamma^\alpha} \right)^{1/\alpha+3} \text{ [Ec.8]}$$

En el caso de vertidos instantáneos, se utilizará esta otra expresión:

$$L_U \approx (q \cot \gamma)^{1/3} \text{ [Ec.9]}$$

Donde:

- q = caudal de vertido [m^3/s].
- α = parámetro que indica el comportamiento del vertido a lo largo del tiempo, así: $\alpha=0$ indica que el vertido es instantáneo; $\alpha=1$ que se trata de un vertido de flujo constante; y $\alpha=2$ que el flujo de vertido sigue una tendencia lineal.
- γ = ángulo de inclinación respecto a la horizontal [$^\circ$].

⁴ La viscosidad cinemática (ν) [m^2/s] es el resultado de dividir la viscosidad dinámica (μ) [$kg\cdot m/s$] entre la densidad (ρ) [kg/m^3].

- R = difusión efectiva, y se calcula a partir de la aceleración de la gravedad (g) [m/s^2], la densidad (ρ) [kg/m^3], la viscosidad dinámica (μ)⁵ [$kg\cdot m/s$] y el ángulo de inclinación respecto a la horizontal (γ) mediante la siguiente ecuación:

$$R_{\gamma} = \frac{\rho g \operatorname{sen} \gamma}{3\mu} = \frac{g}{3\nu} \operatorname{sen} \gamma \quad [\text{Ec.10}]$$

- $c_M(t)$ = semi-ancho de la mancha del vertido, y se calcula a través de la expresión:

$$c_M(t) = \eta_M \left(\frac{qt^{\alpha} \cos \gamma}{\operatorname{sen} \gamma} \right)^{1/3} \quad [\text{Ec.11}]$$

Para vertidos instantáneos ($\alpha=0$) la expresión anterior se particulariza en:

$$c_M(t) = \chi_N \left[q \cot \gamma \ln \left(\frac{t q^{1/3} R_{\gamma}}{\cot^{5/3} \gamma} \right) \right]^{1/3} \quad [\text{Ec.12}]$$

Donde:

- η_M = coeficiente que varía en función de α según la Tabla 19.
- q = caudal de vertido [m^3/s]
- t = tiempo [s]
- α = parámetro que indica el comportamiento del vertido a lo largo del tiempo, así: $\alpha=0$ indica que el vertido es instantáneo; $\alpha=1$ que se trata de un vertido de flujo constante; y $\alpha=2$ que el flujo de vertido sigue una tendencia lineal.
- γ = ángulo de inclinación respecto a la horizontal [$^{\circ}$]
- R = difusión efectiva, y se calcula a partir de la aceleración de la gravedad (g) [m/s^2], la densidad (ρ) [kg/m^3], la viscosidad dinámica (μ) [$kg\cdot m/s$] y el ángulo de inclinación respecto a la horizontal (γ) mediante la ecuación Ec.10
- χ_N = coeficiente para vertidos instantáneos, cuyo valor es 0,825.

Tipo de vertido	η_M
$\alpha=0$	-
$\alpha=1$	1,00
$\alpha=2$	0,94

Tabla 19. Valores del coeficiente $\eta_M(\alpha)$ en función del parámetro α . Fuente: Grimaz *et al.*, 2007 (AIDIC)

⁵ La viscosidad cinemática (ν) [m^2/s] es el resultado de dividir la viscosidad dinámica (μ) [$kg\cdot m/s$] entre la densidad (ρ) [kg/m^3].

2.1.1.3. Modelo para el cálculo de la extensión de vertidos puntuales ($n=1$) en superficies permeables

Grimaz *et al.* (2008) propone una serie de adaptaciones de las ecuaciones para suelos impermeables para su aplicación a suelos permeables. Dichas adaptaciones son las siguientes:

Fuente puntual en terreno llano	s (t) con $t = t_w$	
	$\alpha = 0$	$0 < \alpha < 3$
Flujo puntual en terreno inclinado	L_D (E.6.) con $t = t_w$ L_U (E.9.) c_M (E.12.) con $t = t_w$	L_D (E.5.) con $t = t_w$ L_U (E.8.) c_M (E.11.) con $t = t_w$

Tabla 20. Adaptación para la determinación del área de vertido en zonas permeables. Fuente: Grimaz *et al.* (*ibid.*)

Donde t_w se calculará teniendo en cuenta los siguientes criterios:

1. Si el vertido es instantáneo ($\alpha=0$), $t_w = t_T$.
2. Si el flujo de vertido sucede durante un determinado tiempo (t_{vertido}), hay dos casos posibles:
 - a. Si $t_{\text{vertido}} \geq t_T$ ($0 < \alpha < 3$), $t_w = t_T$ ($0 < \alpha < 3$)
 - b. Si $t_{\text{vertido}} < t_T$ ($0 < \alpha < 3$), es necesario tener en cuenta el cambio de régimen tras el t_{vertido} (antes del t_{vertido} : $\alpha \neq 0$, después del t_{vertido} : $\alpha=0$), así como imponer la condición de continuidad a la velocidad de propagación en el cambio entre los dos regímenes.
3. En el caso de vertidos en suelo poroso será necesario tener en cuenta tanto el flujo multifase como la permeabilidad relativa del suelo. Dicha permeabilidad se introducirá en el cálculo a través del parámetro k —permeabilidad del suelo, que condiciona el valor del t_T —. La expresión que se utilizará para la estimación de dicho parámetro es:

$$k = k_{\text{roil}}(S_w) \cdot k_i \quad [\text{Ec.13}]$$

Donde:

- k = permeabilidad del suelo [m^2]
- $k_{\text{roil}}(S_w)$ = permeabilidad relativa en función del grado de saturación del agua (S_w). Este parámetro toma valores comprendidos entre 0,9 y 1 cuando el grado de saturación del agua es mínimo (es decir, cuando el vertido tiene lugar en una zona donde no ha llovido y el suelo está prácticamente seco). Sin embargo, cuando el grado de saturación del agua está próximo a uno (S_w tiende a 1), la permeabilidad del suelo tiende a cero y se trata, por tanto, de un suelo prácticamente impermeable —este es el caso de un vertido que ocurra justo después de una fuerte lluvia, cuando los poros del suelo están completamente saturados—. Por último, en condiciones de saturación intermedias entre las condiciones expuestas en los casos anteriores, se tomarán valores de Kroil (S_w) entre 0 y 1.
- k_i = permeabilidad intrínseca del suelo [m^2]

La ecuación que permite el cálculo del tiempo de transición (t_T)⁶ es la siguiente:

$$t_T = 0,697^n \left[3^{1-n} \left(\frac{6}{\pi} \right)^n \frac{q^{2-n} \nu^{6-n}}{g^{6-n} k^{5-n}} \right]^{\frac{1}{(6-n)-(2-n)\alpha}} \quad \text{para } \alpha < 3 \quad [\text{Ec.14}]$$

Donde:

- t_T = tiempo de transición [s]
- n = parámetro que indica el tipo de fuente que origina el daño, así, se utiliza: $n=0$ para fuentes lineales; y $n=1$ para fuentes puntuales.
- q = caudal de vertido [m^3/s]
- ν = viscosidad cinemática (ν) [m^2/s]. Es el resultado de dividir la viscosidad dinámica (μ) entre la densidad (ρ) [kg/m^3]
- g = aceleración de la gravedad [m/s^2]
- k = permeabilidad del suelo [m^2]
- α = parámetro que indica el comportamiento del vertido a lo largo del tiempo, así: $\alpha=0$ indica que el vertido es instantáneo; $\alpha=1$ que se trata de un vertido de flujo constante; y $\alpha=2$ que el flujo de vertido sigue una tendencia lineal.

2.1.2 Cálculo de la profundidad

El vertido no tenderá sólo a expandirse en superficie, sino que también se evaporará y se infiltrará —salvo que el suelo sea impermeable—. Existen tres casos en los que se frenará la penetración del vertido en el suelo (Grimaz *et al.*, *ibid.*):

- ❖ Si el umbral de saturación residual no se ha alcanzado
- ❖ Si el vertido alcanza en su recorrido una capa impermeable
- ❖ Si se alcanza la capa freática

A diferencia del cálculo de la superficie de la mancha de vertido, y tal y como manifiestan los autores del modelo, para el cálculo de la profundidad dicho modelo sólo es aplicable si se trata de vertidos viscosos. Por lo tanto, en caso de tratarse de un vertido de una determinada sustancia con viscosidad parecida a la del agua, habría que recurrir a otro tipo de modelos como el *Green Ampt*.

Los autores proponen la siguiente expresión para la estimación de la profundidad que alcanza el vertido en el suelo:

$$D_{MP} = \frac{V_{spill} - V_E}{A_{pool} R \xi} \quad [\text{Ec.15}]$$

Donde:

- D_{MP} = profundidad máxima de la sustancia contaminante en la zona insaturada [m].

⁶ Siempre que la tangente del ángulo de inclinación respecto a la horizontal sea inferior a 1 ($\text{tg } \gamma \ll 1$) la ecuación E.14. puede utilizarse para estimar el tiempo de transición para un flujo de vertido sobre una superficie inclinada. Si $\gamma \leq 30^\circ$ la aproximación sigue siendo razonable.

- V_{spill} = volumen vertido [m^3].
- V_E = volumen evaporado [m^3].

Una forma de estimar el volumen evaporado sería en base al parámetro k_{volat} que se puede calcular conforme a la ecuación 58 de la TGD (ECB, 2003). En general, la k_{volat} toma valores muy pequeños, por lo que en muchos casos el V_E podrá considerarse despreciable. La k_{volat} es un parámetro que mide la tasa de evaporación diaria de una determinada sustancia, por tanto, aplicándole un tiempo de evaporación t_e se podría estimar el volumen evaporado para ese tiempo concreto.

El tiempo de evaporación se estima a partir de la ecuación propuesta en Grimaz *et al.* (*ibid.*):

$$t_{ep} = \frac{V_{spill} \vartheta_e \nu_{sust}}{A_{pool} k_r K \nu_w} \quad [\text{Ec.16}]$$

Donde:

- t_{ep} = duración estimada del proceso de evaporación [s]
- V_{spill} = volumen de vertido [m^3]
- ϑ_e = porosidad del suelo [-]
- ν_{sust} = viscosidad de la sustancia [m^2/s]
- A_{pool} = superficie de la mancha de vertido [m^2]
- k_r = permeabilidad relativa [-]. Se estimará conforme a la Tabla 21, en función de la situación en la que se encuentre el suelo en el momento del accidente.
- K = conductividad hidráulica [m/s]
- ν_w = viscosidad del agua [m^2/s]

Situación del suelo	k_r
Seco - largo periodo sin lluvias en regiones templadas y en las estaciones cálidas	1,0
Ligeramente húmedo – largo periodo sin lluvias en otras regiones o en otras estaciones	0,9
Muy húmedo – entre dos horas y dos días después de una fuerte lluvia	0,3
Completamente saturado – durante una fuerte lluvia con charcos en la superficie del suelo	0,0

Tabla 21. Permeabilidad relativa para los diferentes escenarios accidentales de vertido. Fuente: Grimaz *et al.*, 2008.

Por otro lado, la k_{volat} se calcula conforme a la citada ecuación de la TGD:

$$\frac{1}{k_{volat}} = \left(\frac{1}{k_{air} l_{air-water}} + \frac{1}{k_{soilair} l_{air-water} + k_{soil-water}} \right) k_{soil-water} D_{soil} \quad [\text{Ec.17}]$$

Donde:

- k_{volat} = tasa de volatilización desde el suelo [d^{-1}].
- ka_{slair} = coeficiente de transferencia de masa parcial al aire del interfaz aire-suelo [m/d]. La TGD (ECB, 2003) recomienda para este coeficiente un valor de 120.
- $K_{\text{air-water}}$ = constante de distribución de equilibrio entre aire y agua [-]. Su valor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K_{\text{air-water}} = \frac{C_H}{R \cdot T}; \quad C_H = \frac{VP \cdot W_{\text{MOL}}}{S} \quad [\text{Ec.18}]$$

Donde:

- C_H = Constante de Henry, que se calcula como el cociente entre el producto de la presión de vapor (VP) [Pa], el peso molecular (W_{MOL}) [g/mol]; y la solubilidad de la sustancia (S) [mg/l]. Existen bases de datos y fichas de seguridad de sustancias en las que se puede consultar el valor de la constante de Henry para determinadas sustancias.
 - R = Constante de los gases [$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]. Su valor es 8,314.
 - T = Temperatura en la superficie de contacto agua-aire [K]. Su valor es 285 K.
- $ka_{\text{slsoilair}}$ = coeficiente de transferencia de masa parcial al suelo-aire del interfaz aire-suelo [m/d]. La TGD (ECB, 2003) recomienda para este coeficiente un valor de 0,48.
 - $K_{\text{soil-water}}$ = constante de distribución de equilibrio entre suelo y agua [-]. Su valor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K_{\text{soil-water}} = F_{\text{airsoil}} K_{\text{air-water}} + F_{\text{watersoil}} + F_{\text{solidsoil}} \frac{F_{\text{ocsoil}} K_{\text{oc}}}{1000} RHO_{\text{solid}} \quad [\text{Ec.19}]$$

Donde:

- F_{airsoil} = Fracción de aire en el suelo [-]. LA TGD (ECB, 2003) propone el valor de 0,2.
- $K_{\text{air-water}}$ = constante de distribución de equilibrio entre aire y agua [-].
- $F_{\text{watersoil}}$ = Fracción de agua en el suelo [-]. LA TGD (ECB, 2003) propone, igualmente, el valor de 0,2.
- $F_{\text{solidsoil}}$ = Fracción de sólidos en el suelo [-]. LA TGD (ECB, 2003) propone el valor de 0,6.
- F_{ocsoil} = Fracción en peso del carbono orgánico en el suelo [-]. LA TGD (ECB, 2003) propone el valor de 0,1.
- K_{oc} = Coeficiente de partición carbono orgánico-agua [$\text{l} \cdot \text{kg}^{-1}$].
- RHO_{solid} = Densidad de la fase sólida [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]. La TGD (ECB, 2003) propone el valor de 2.500.
- $ka_{\text{slsoilwater}}$ = coeficiente de transferencia de masa parcial al suelo-agua del interfaz agua-suelo [m/d]. La TGD (ECB, 2003) recomienda para este coeficiente un valor de $4,8 \cdot 10^{-5}$.

- o D_{soil} = profundidad del suelo [m]. Si se conoce, debería utilizarse la profundidad del acuífero; en caso contrario, se puede utilizar la Tabla 22 para estimar la profundidad del suelo.

	D_{soil} [m]	Tiempo [d]	Sedim. [kgdwt.m ⁻² .a ⁻¹]	Punto final
PEC_{localsoil}	0,20	30	0,5	Ecosistema terrestre
PEC_{localagr. soil}	0,20	180	0,5	Cereales para consumo humano
PEC_{localgrassland}	0,10	180	0,1	Hierba para ganado

Tabla 22. Características del suelo en función de los posibles fines. Fuente: TGD (ECB, 2003).

- R = capacidad de retención, cuyo valor se estimará en función del tipo de suelo en base a lo indicado en la Tabla 23.

Tipo de suelo	R [m ³ _{sust} /m ³ _{suelo}]
Roca-Grava gruesa	5×10^{-3}
Grava-Arena gruesa	8×10^{-3}
Arena gruesa-Arena media	15×10^{-3}
Arena media-Arena fina	25×10^{-3}
Arena fina-Limo	40×10^{-3}

Tabla 23. Coeficiente de capacidad de retención (R) para los diferentes tipos de suelo. Fuente: Grimaz *et al.*, 2008

- ξ = parámetro que depende de la viscosidad de la sustancia vertida y cuyo valor se estimará conforme a la Tabla 24.

Sustancia	ξ
Viscosidad baja	0,5
Viscosidad media	1,0
Viscosidad alta	2,0

Tabla 24. Valores del parámetro ξ en función de la viscosidad de la sustancia. Fuente: Grimaz *et al.*, 2008

2.1.3 Cálculo de la afección a las aguas subterráneas

Cuando en una determinada zona exista una masa de agua subterránea y no haya constancia de la existencia de alguna capa impermeable que pueda detener el vertido, se podrá decir que existe riesgo de afección a las aguas subterráneas siempre que la profundidad que alcance el vertido (D_{MP}) sea superior a la profundidad del suelo (D_{soil}) —profundidad a la que se encuentra el nivel freático—. En caso contrario, se considerará que el vertido no llega a la masa de agua subterránea ni, por tanto, a las aguas subterráneas.

Si existe una masa de agua subterránea el daño a las aguas subterráneas podrá estimarse como un porcentaje del daño estimado al suelo —establecido en función de la profundidad de vertido—. Este porcentaje de daño al suelo se podrá estimar con la siguiente expresión:

$$\%_{\text{daño suelo}} = \frac{D_{\text{soil}}}{D_{\text{MP}}} \cdot 100 \quad [\text{Ec.20}]$$

Por tanto, el porcentaje de daño a las aguas subterráneas será el complementario hasta 100 del porcentaje estimado para el suelo.

2.1.4 Algunas consideraciones para determinar la afección al hábitat a partir de la afección al suelo

A efectos de la valoración del daño asociado a un escenario de riesgo, se entenderán como daños al hábitat los daños a las especies vegetales en su conjunto, de acuerdo con el criterio adoptado en el *Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental* (MORA) promovido por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

Las medidas de reparación consistirán en las acciones necesarias para restituir a su estado básico las especies presentes en la superficie afectada. Dicho área de afección corresponderá a la superficie de suelo afectada, la cual puede estimarse conforme a las indicaciones del apartado «cálculo de la superficie» del Apartado IX.2.1.

IX.2.2 PROTOCOLO PARA CUANTIFICAR EL DAÑO GENERADO A LAS AGUAS SUPERFICIALES

Entre los distintos modelos de difusión disponibles para la evaluación de la cantidad de recurso afectado en un eventual daño a las aguas superficiales, se propone la utilización del modelo desarrollado en la *Technical Guide Document* (TGD) (ECB, 2003). Dicho modelo es de fácil aplicación y no requiere unos parámetros de entrada excesivos ni complejos, por lo que permite estimar de forma relativamente sencilla el nivel de exposición de una masa superficial de agua a la contaminación por la *sustancia X*, presente en la mayor parte de las instalaciones pertenecientes al *sector X*.

Merece la pena hacer mención a las hipótesis en las que se basa este modelo. Éstas son:

- ❖ Se asume que existe una mezcla completa en el agua, como situación representativa del grado de exposición del ecosistema acuático
- ❖ La volatilización, la degradación y la sedimentación no se tienen en cuenta debido a que la distancia existente entre el punto de vertido y la zona de exposición es muy pequeña

Sin embargo, el modelo sí incluye los efectos de dilución y de eliminación de la sustancia contaminante del medio acuoso por adsorción a la materia suspendida en el agua en el cálculo de la concentración de la sustancia en la masa de agua.

La expresión matemática del modelo viene dada por la siguiente ecuación:

$$C_{\text{local agua}} = \frac{C_{\text{local efluente}}}{(1 + K_{p_{\text{susp}}} \cdot \text{SUSP}_{\text{agua}} \cdot 10^{-6}) \cdot \text{DILUCION}} \quad [\text{Ec.21}]$$

Donde:

- $C_{\text{local agua}}$ = Concentración de la sustancia que origina el daño en el medio acuático [mg/l]
- $C_{\text{local efluente}}$ = Concentración de la sustancia que origina el daño en el efluente [mg/l]

- $K_{p_{susp}}$ = Coeficiente de partición sólido-líquido de la materia suspendida [l/kg]
- $SUSP_{agua}$ = Concentración de materia suspendida en el medio acuático [mg/l]
- DILUCION = Factor de dilución [-]. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$DILUCION = \frac{EFLUENTE + CAUDAL}{EFLUENTE} \quad [Ec.22]$$

En la que:

- $DILUCION$ = Factor de dilución [-].
- $EFLUENTE$ = Producto de la tasa de emisión del efluente o caudal de vertido [l/d] y el tiempo de control [d]. Representa el volumen total de vertido que llega a la masa de agua.
- $CAUDAL$ = Caudal de la masa de agua [l/d].

Como puede observarse en la ecuación Ec.21, la TGD (ECB, 2003) incorpora la capacidad de dilución de la sustancia contaminante en el medio acuoso como parámetro principal condicionante de la dispersión de la contaminación en el agua.

Siguiendo las indicaciones de la TGD (ECB, 2003), se recomienda tomar el valor de 15 mg/l para la concentración suspendida en el medio acuático ($SUSP_{agua}$). Por otro lado, se ha realizado un análisis de sensibilidad con objeto de determinar si el valor del coeficiente de partición sólido-líquido de la materia suspendida ($K_{p_{susp}}$) tenía una influencia significativa en el resultado, habiendo comprobado que variaciones significativas de este parámetro no influyen de manera importante en el resultado. No obstante, se propone tomar en todo caso un valor promedio para el tipo de compuesto que se esté analizando; en este caso, de 25,1 l/kg.

IX.2.3 PROPUESTA DE MODELO DE DIFUSIÓN EN CASO DE INCENDIO

Los modelos predictivos del comportamiento del fuego ofrecen una valiosa información de cara a cuantificar los daños que se producirían en caso de incendio.

En concreto, se propone emplear con este fin el programa de simulación *Behave*; ya que se trata de un *software* libre, de sencillo empleo por parte de los usuarios, y que ofrece la información necesaria para la cuantificación de los daños, tanto respecto a su extensión como a su intensidad. *Behave* es en la actualidad el modelo más extendido a nivel mundial (Vélez, 2009), y cuenta con el respaldo de una entidad de prestigio internacional como es el 'United States Department of Agriculture' (USDA).

La aplicación informática *Behave* funciona en entorno MS Windows y puede ser descargada gratuitamente desde la página *web* del *Rocky Mountain Research Station*⁷.

En la actualidad existe abundante bibliografía en la que se describen las características y el funcionamiento del programa. A modo indicativo, se recomienda la revisión de algunos trabajos de Andrews, como el artículo en el que se analiza la evolución del modelo a lo largo de su historia (Andrews, 2007), el manual de usuario elaborado por el mismo autor (Andrews, *et al.* 2008) y la pormenorizada descripción de las variables de entrada y salida (Andrews, 2009).

⁷ <http://firemodels.fire.org/>

El programa informático se estructura en una serie de módulos, cada uno de los cuales permite calcular una serie de datos sobre la extensión e intensidad del daño. En concreto, los módulos a emplear para cuantificar el daño son SURFACE, SIZE y MORTALITY; los dos primeros permiten conocer la extensión estimada del incendio medida en hectáreas, mientras el tercero ofrece una estimación de la probabilidad de que los árboles afectados mueran a causa del incendio, siendo por lo tanto una aproximación a la determinación de la intensidad de los daños.

2.3.1 Variables de entrada en el modelo

A continuación se describen cada uno de los parámetros requeridos por el modelo para la realización de los cálculos, así como las fuentes de información a las cuales es posible acudir con el fin de disponer de estos datos.

❖ Modelo de combustible

En *Behave* se diferencian 13 modelos básicos de combustibles. La descripción detallada de los mismos puede consultarse en Anderson (1982), si bien con el fin de realizar una primera aproximación puede emplearse la descripción recogida en la Tabla 25.

Modelo	Descripción
Pastizales	
Modelo 1	Pastizales puros, bajos y secos
Modelo 2	Pastizales con matorral disperso
Modelo 3	Pastizales puros, altos y secos
Matorrales	
Modelo 4	Matorrales altos y repoblaciones jóvenes
Modelo 5	Matorrales bajos
Modelo 6	Matorrales medios y secos con cubierta arbórea o no
Modelo 7	Formaciones de palmáceas bajo bosques de frondosas
Bosques	
Modelo 8	Hojarasca de bosques adultos cerrados
Modelo 9	Hojarasca de bosques de frondosas
Modelo 10	Matorrales y hojarasca bajo bosques adultos
Restos	
Modelo 11	Desechos ligeros de explotación o tratamientos silvícolas
Modelo 12	Desechos medios de explotación o tratamientos silvícolas
Modelo 13	Desechos pesados de explotación o tratamientos silvícolas

Tabla 25. Modelos de combustible (Anderson, 1982). Fuente: Vélez (2009)

Adicionalmente a los modelos anteriormente citados, la versión 5.0.1 del programa, ofrece al usuario la posibilidad de introducir un nivel de detalle superior en la definición de los combustibles, ya que esta versión incorpora los 40 modelos definidos en Scott *et al.*, 2005. En total, el usuario podrá seleccionar, entre 53 posibles modelos de combustible, el que más satisfactoriamente se ajuste a su entorno (13 definidos por Anderson, 1982 y 40 identificados en Scott, 2005).

❖ Fracción de cabida cubierta

Se define como el porcentaje de suelo cubierto por la proyección horizontal de las copas de la vegetación. Este dato puede ser consultado en el Mapa Forestal de España 1:50.000 publicado por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

❖ Altura de las copas

Este parámetro hace referencia a la altura media de la masa arbolada, medida desde el suelo hasta el ápice. Como referencia para su estimación podrán emplearse los datos publicados en el Inventario Forestal Nacional (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino), encontrándose disponible en la actualidad su tercera edición.

❖ Ratio copa-árbol

Es la proporción que representa la longitud de la copa sobre la longitud total del árbol. Su valor puede estimarse visualmente a través de la representación gráfica recogida en la Figura 2.

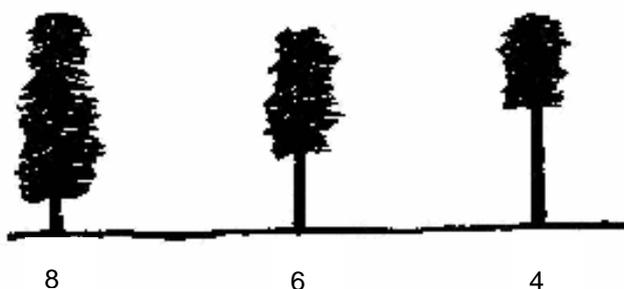


Figura 2. Estimación del ratio de copa. Fuente: Documentación de ayuda incluida en *Behave Plus 5.0.1*.

❖ Tipo de especie según mortalidad

La probabilidad de mortalidad es función del tipo de especie que se ve afectada por el incendio. A este respecto, el programa ofrece un listado predefinido de especies a las cuales les aplica un modelo específico. Dado que el listado se centra en especies estadounidenses, es necesario seleccionar una especie similar a la que se esté estudiando, desde el punto de vista taxonómico dentro del catálogo ofrecido por *Behave*.

❖ Diámetro normal del arbolado

Es el diámetro medio de los árboles, medido a la altura normal (1,4 m desde el suelo). Este dato puede ser consultado en el Inventario Forestal Nacional.

❖ Escenario de humedad

El modelo requiere información sobre el contenido de humedad de los distintos tipos de combustible existentes en el terreno. En concreto, es necesario introducir el porcentaje que representa el agua respecto del peso total de los combustibles muertos, tanto finos como medios y gruesos; y de los combustibles vivos tanto herbáceos como leñosos. Con el fin de facilitar esta labor, el programa ofrece al usuario la posibilidad de seleccionar uno de los 19 escenarios de humedad predefinidos. La clasificación de escenarios más sencilla dispone únicamente de tres categorías: humedad baja, media y alta.

❖ Velocidad y dirección del viento

La velocidad del viento empleada como referencia en el modelo, es aquella medida a 10 m de altura. Tanto esta información, como la dirección seguida por el viento puede consultarse en

la página web del Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)⁸, disponiendo a su vez de cartografía y de datos estadísticos.

❖ Temperatura del aire

Como dato de referencia para determinar la temperatura del aire en la zona objeto de estudio, puede acudirse a los valores publicados por la Agencia Estatal de Meteorología⁹ para las estaciones meteorológicas más próximas.

El MARM también ofrece en su página web información climatológica, a través del visor SIGA¹⁰.

❖ Pendiente y orientación del terreno

La pendiente media del terreno y su orientación pueden consultarse en un mapa de pendientes o en un modelo digital del terreno. En caso de no disponerse de un modelo digital del terreno o de un mapa topográfico, en el visor SIGA (MARM) se incorpora un mapa de pendientes accesible de forma gratuita. No obstante, con el fin de disponer de datos más precisos, adicionalmente es posible realizar una medición de estas variables sobre el terreno.

❖ Tiempo de simulación

Es el periodo de tiempo durante el cual el fuego continúa avanzando. El modelo permite introducir valores comprendidos entre 0,1 y 8 h. La proximidad de los medios de extinción y la accesibilidad del territorio, pueden emplearse como criterios básicos con el fin de establecer este parámetro.

2.3.2 Información de salida del modelo

Behave ofrece salidas de tipo alfanumérico y gráfico. En cuanto a las salidas alfanuméricas (Tabla 26), el programa muestra la dirección de máximo avance del incendio, el área dañada, el perímetro del incendio y la probabilidad de mortalidad de los árboles. Estos datos alfanuméricos son representados gráficamente por el programa a través del diagrama recogido en la Figura 3. Ambos tipos de datos pueden servir como fundamento para la evaluación de la vegetación dañada sobre un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para ello, una vez representado el incendio sobre el SIG, deberán superponerse las coberturas digitales de caracterización de la vegetación necesarias para monetizar el daño causado.

Dirección de máxima propagación (desde el norte)	181 deg
Área	2,0 Ha
Perímetro	505 m
Probabilidad de mortalidad	78 %

Tabla 26. Salida alfanumérica de *Behave*. Fuente: *Behave Plus 5.0.1*

⁸ <http://www.globalwindmap.com/VisorCENER/mapviewer.jsf>

⁹ www.aemet.es

¹⁰ <http://www.mapa.es/es/sig/pags/siga/intro.htm>

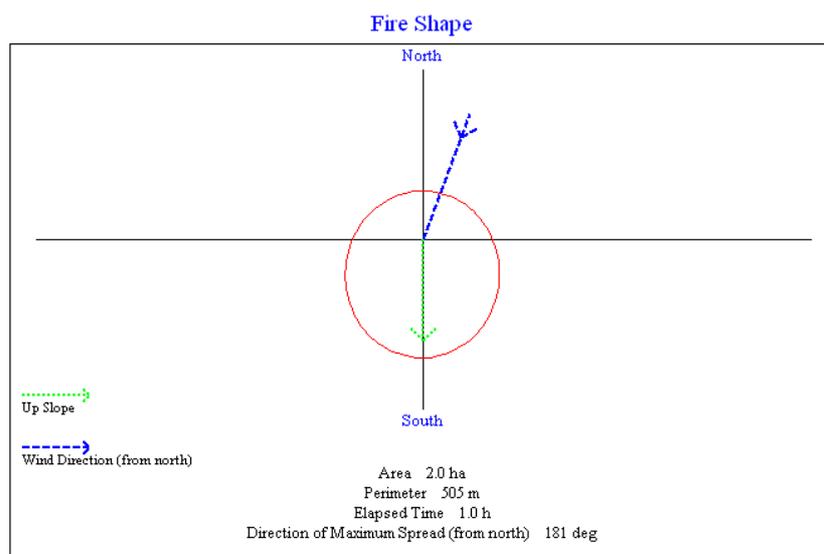


Figura 3. Salida gráfica de *Behave*. Fuente: *Behave Plus 5.0.1*

El modelo planteado por *Behave* presenta una serie de limitaciones, las cuales deben ser tenidas en cuenta por el usuario a la hora de realizar las simulaciones (Vélez, 2009). Éstas son las más relevantes:

- ❖ En primer lugar indicar la carencia de un soporte geográfico que permita interactuar automáticamente a *Behave* con los SIG, debiéndose realizar las consultas cartográficas de forma manual
- ❖ El modelo asume una elevada homogeneidad en las condiciones de la simulación, considerando uniforme la velocidad de difusión, los combustibles y las condiciones climatológicas y fisiográficas, no existiendo variación espacial ni temporal
- ❖ No se considera la existencia de focos secundarios
- ❖ *Behave* asume una superficie incendiada de forma elíptica
- ❖ En el módulo de mortalidad, el listado predefinido de especies suministrado por el programa, recoge en su mayoría especies forestales estadounidenses

Cabe añadir que la disponibilidad de diversos modelos de difusión¹¹ permite al usuario escoger entre un amplio abanico el simulador que mejor se adapte a sus condiciones particulares. A modo de ejemplo se pueden citar los siguientes modelos de referencia, disponibles todos ellos a través de Internet: FARSITE, FLAMMAP, NEXUS, ente otros.

X. ORIENTACIONES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL

Tal y como expresa la Norma UNE 150.008, la gestión del riesgo tiene como finalidad orientar en la toma de decisiones para que éstas estén fundamentadas en criterios de seguridad y de eficiencia económica. Esta política de gestión debe ser adoptada y desarrollada por cada operador de forma concreta para la actividad que desempeña. Esta misma norma establece metodologías para el apoyo en la toma de decisiones, ofreciendo distintas opciones para el tratamiento del riesgo.

¹¹ <http://www.fire.org/>

No obstante, se presentan algunas indicaciones a nivel general para el sector que ayudan a gestionar el riesgo inherente a la actividad:

- ❖ Establecimiento de mejoras en las instalaciones y en las operaciones
- ❖ Diseño de un sistema de monitorización ambiental
- ❖ Definición de un plan de contingencia
- ❖ Establecimiento y aplicación de programas de educación y formación del personal de la explotación
- ❖ Mantenimiento de registros de consumo de agua, energía y residuos generados
- ❖ Desarrollo de un Protocolo de Emergencia para hacer frente a emisiones e incidentes imprevistos
- ❖ Establecimiento de un programa de reparación y mantenimiento para asegurar que las estructuras y los equipos permanezcan en perfecto estado de funcionamiento y que las instalaciones se mantengan limpias
- ❖ Planificación adecuada de las actividades de explotación, como la entrega de materiales y la eliminación de los productos y residuos

Con esto se pretende que el operador logre obtener un mayor rendimiento de sus instalaciones así como establecer un marco seguro para el desarrollo de las actividades. La mayor parte de las indicaciones se han obtenido del Resumen Ejecutivo del documento BREF del sector X.

XI. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

De forma casi inevitable el proceso de análisis de riesgos lleva asociado cierto grado de incertidumbre relacionado con la técnica utilizada o con la falta de conocimiento científico existente en el momento del análisis. Sin embargo, para obtener mayor fiabilidad es deseable determinar dicha incertidumbre, que vendrá asociada a cada uno de los escenarios de accidente previamente establecidos.

Este apartado pretende mostrar las posibles fuentes de incertidumbre observadas durante el desarrollo del análisis que pueden intervenir en el resultado final. En su mayoría están relacionadas con las asunciones que inevitablemente han de considerarse durante la realización de un trabajo de estas características. Aunque el hecho de tratarse de un ejemplo modelo permite asumir un número mayor de hipótesis, se avanzan algunas de las fuentes de incertidumbre más destacadas que previsiblemente podrán aparecer en un MIRAT de estas características.

Cabe destacar la dificultad, en primera instancia, de precisar la tipología de escenarios de riesgo a nivel sectorial puesto que, a pesar de la condición de homogeneidad asumida inicialmente al tratarse de un ejemplo modelo, es previsible que existan asimetrías en cuanto a la información disponible en las instalaciones que componen el sector. Es importante recordar que dicha condición de homogeneidad habrá de ser evaluada y justificada debidamente en un caso real. La identificación de escenarios-tipo a nivel sectorial exige igualmente un ejercicio de abstracción teórica con el objetivo de alcanzar tipos de escenarios comunes a todas las instalaciones que engloba el sector, lo que en ocasiones puede ser fuente de incertidumbre asociada a la subjetividad del analista a la hora de interpretar o analizar la información.

Durante el transcurso del trabajo se han advertido ciertas dificultades en la estimación de los parámetros de entrada necesarios para cuantificar y prever el comportamiento del agente causante del daño una vez es liberado en el medio receptor. Esto se asocia en gran medida a que se trata de

una valoración *ex ante* y no *ex post*, con la consiguiente incertidumbre que ello conlleva al no haber necesariamente evidencias de daños que ya hayan tenido lugar. Los aspectos más relevantes que son fuentes de incertidumbre están relacionados con los parámetros de entrada de los modelos de difusión y las hipótesis de las que parte cada uno de ellos. Algunos ejemplos pueden ser: la cantidad de vertido que llega a las aguas a través del subsuelo (aguas superficiales y subterráneas), así como la asunción de un caudal constante de vertido, en función del cual varía, según el modelo incluido en este documento, la profundidad que abarca la pluma de contaminación mientras que la superficie se mantiene constante.

Otro aspecto vinculado a la incertidumbre es la estimación de probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental que el operador habrá de establecer a nivel particular; probabilidad que se estima, según este caso, en base a una escala semi-cuantitativa que induce inevitablemente a subjetividad (ver Tabla 5). De forma añadida, para el cálculo de dicha probabilidad se ha percibido que el tipo y el número de factores condicionantes seleccionados para establecer los escenarios de riesgo-tipo juegan, en la mayoría de los casos, un papel determinante en el cálculo de la probabilidad final de cada escenario accidental; en consecuencia, la selección de estos factores es determinante en cuanto al resultado y ha de ser sensible a la variabilidad de situaciones que represente cada escenario.

Cabe decir que la incertidumbre relativa al valor del daño que se podrá deducir para cada escenario irá asociada al método de monetización elegido por cada operador. En el *Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental* (MORA) elaborado en el seno de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales, se incorporan las fuentes de incertidumbre propias de esta herramienta; esto incluye el tipo de técnica de reparación que la herramienta MORA selecciona de forma automática y que parece prudente que sea objeto de evaluación para asegurar su idoneidad.

Por último, resulta especialmente relevante mencionar que la aplicación de los criterios que establece el artículo 33 del Real Decreto 2090/2008 para fijar la cuantía de la garantía financiera induce automáticamente a dejar fuera de los escenarios de menor coste asociado que agrupan el 95 por ciento de la probabilidad, al escenario de riesgo que presenta mayor coste de reparación. Este escenario será normalmente el que lleve asociada una mínima probabilidad; no obstante, esto no necesariamente ha de ser así, por lo que el operador deberá prestar especial atención a este punto del análisis, ya que de ello dependerá la cuantía en la que se fije la cobertura del daño o la garantía financiera a nivel particular.

Algunas nociones sobre la información de la variación del resultado en función de algunos parámetros concretos se ilustran en el siguiente apartado.

XII. PUNTOS CRÍTICOS

A continuación se realiza un breve análisis de los puntos críticos que pudieran ocasionar divergencias importantes en los resultados obtenidos por distintos operadores del sector, durante cualquiera de las fases necesarias para la fijación de la garantía financiera —análisis de riesgos, cuantificación y monetización—. Es especialmente importante la fuente de información que se utilice como base en cada una de las fases, por lo que es recomendable la utilización de fuentes oficiales frente a las de cualquier otro tipo.

En la realización del análisis de riesgos los principales puntos críticos derivan de la selección de escenarios a incluir en el mismo, así como de los factores condicionantes que se consideren en su elaboración.

En la fase de cuantificación, los puntos clave varían en función de los recursos naturales que puedan verse afectados por un eventual daño, y por tanto, del modelo de difusión que se utilice para estimar

su extensión. A continuación, se señalan los puntos críticos más relevantes para la aplicación de cada uno de los modelos de difusión identificados en el Epígrafe IX.2.

Se han identificado diversos puntos críticos que pueden afectar de forma importante a los resultados proporcionados por el modelo propuesto para la cuantificación del daño al suelo y a las aguas subterráneas (Grimaz *et al.*, 2007 y Grimaz *et al.*, 2008). Estos son:

- ❖ Caudal: el caudal de vertido deberá ser estimado por el operador, y en función de éste se obtendrán daños mayores conforme dicho caudal aumenta, ya que éste y el área de vertido son directamente proporcionales.
- ❖ Tiempo de vertido: al igual que en el caso anterior, a mayor tiempo de vertido, mayor será el daño, puesto que la profundidad de vertido guarda una proporcionalidad directa con este parámetro.
- ❖ Viscosidad: algunas sustancias tienen un rango de variabilidad en su viscosidad cinemática muy amplio, razón por la cual se obtendrán valores del daño mayores o menores en función del valor que se le conceda a este parámetro. Así, para viscosidades mayores, el valor del daño es también mayor.
- ❖ Localización del daño: el rigor a la hora de ubicar la zona afectada por el daño permitirá determinar de forma adecuada parámetros relacionados con el entorno tales como la permeabilidad del suelo, la existencia de acuíferos o de cursos fluviales, etc.

En el caso de daños a las aguas superficiales el principal punto crítico del modelo propuesto —modelo de difusión en aguas superficiales de la *Technical Guide Document* (TGD)— es el caudal del medio receptor, ya que a mayor caudal la dilución de la sustancia contaminante será mayor y por tanto el daño será menor.

En los escenarios en los que el agente causante del daño sea el incendio, y en caso de que se utilice el modelo propuesto en el apartado IX.2.3., destaca la influencia en el resultado del tiempo de simulación, y de la velocidad y la dirección del viento. Conforme aumente el tiempo de exposición al agente causante del daño, la superficie afectada será mayor. Por otro lado, la velocidad y la dirección del viento van a determinar tanto la cantidad de superficie afectada como el tipo de vegetación o de suelo dañado —en función de la dirección del viento un fuego puede moverse por ejemplo hacia el interior de una zona urbana o, por el contrario hacia el exterior, llegando a alguna zona forestal o agrícola—, por lo que la cuantificación y la monetización puede variar mucho en función de los valores que se consideren para estos dos parámetros.

Asimismo, un punto crítico a considerar en la fase de establecimiento de la significatividad del daño es la composición química de la sustancia causante del daño. Como ejemplo, en este caso se considera que el componente más contaminante del gasóleo sería el antraceno, por lo que su concentración va a ser determinante para la estimación del valor del cociente de riesgo, y por tanto para la existencia o no de daño significativo.

Por último, existen algunos puntos críticos relacionados con la utilización del proyecto MORA —*Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental*—. Éstos son los siguientes:

- ❖ Localización del daño: es importante obtener una localización del daño lo más exacta posible para que el modelo proporcione las características reales del entorno, con objeto de identificar correctamente los receptores afectados por dicho daño. En todo caso, si las coberturas base del MORA reflejasen una situación del entorno distinta a la que se observa en la realidad, el operador deberá variar los parámetros que considere oportunos.

- ❖ Clasificación del agente causante del daño: MORA adopta la clasificación de sustancias químicas recogidas en el *Federal Remediation Technologies Roundtable* (FRTR)¹². En este sentido, resulta importante definir adecuadamente la categoría a la que pertenece la sustancia química en cada caso concreto, ya que esto va a determinar que la reparación lleve asociada una determinada técnica, y por tanto influirá en la cuantía del coste de reparación primaria.

XIII. PLAN DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS SECTORIAL

Este apartado se acompañará de un protocolo de actualización de datos que permitirá ir perfeccionando y afinando la herramienta, en la medida en que los operadores vayan adquiriendo experiencia práctica en el análisis del riesgo medioambiental de sus respectivas instalaciones.

Este análisis deberá ser revisado y, en caso de resultar necesario, actualizado, cuando ocurra alguna de las circunstancias siguientes (de forma orientativa):

- ❖ Incorporación de nuevas actividades al sector, siempre que no se hayan tenido en cuenta en el estudio inicial
- ❖ Modificaciones sustanciales en las actividades que componen este sector
- ❖ Aprobación de nuevos requisitos legales o modificaciones de la legislación aplicable que pudieran afectar a la evaluación de riesgos medioambientales
- ❖ A petición del sector o de la autoridad competente

En cualquier caso deberá ser revisado cada 5-8 años contados desde la última fecha de revisión vigente en ese momento, incorporando tanto las modificaciones sustanciales como aquellos datos que permitan perfeccionar y afinar este instrumento.

XIV. EJERCICIO PRÁCTICO: DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA DE LA GARANTÍA FINANCIERA PARA UN OPERADOR CONCRETO REPRESENTATIVO DEL SECTOR

En este apartado se aplica la metodología expuesta en el documento para una instalación hipotética perteneciente al *sector X*, con el objetivo de que pueda servir de ejemplo de cara a la realización de informes de análisis de riesgos medioambientales particularizados para cada operador a partir de un MIRAT.

Para la aplicación del protocolo de cuantificación que se expone en el apartado IX, se asumen los siguientes datos de partida: la instalación cuenta con un depósito de *sustancia X* cuyo volumen total es de 60 m³. Dicho depósito es vaciado cada día extrayendo un volumen comprendido entre los 30 y los 60 m³. Es importante de cara a la realización de este análisis señalar que esta instalación no cuenta con sistemas de contención que eviten un posible derrame o vertido de la *sustancia X* al medio receptor. Asimismo, la instalación dispone de un depósito de gasoil utilizado para el funcionamiento del grupo electrógeno y cuya capacidad total es de 1200 litros. Por último, y de forma particular para este ejercicio, la planta dispone, a su vez, de un bidón de aceite hidráulico de 90 litros

¹² <http://www.frtr.gov/matrix2/>

almacenado en el taller de mantenimiento. Cabe resaltar que para el desarrollo del ejercicio práctico se ha considerado como escenario accidental singular el vertido de aceite hidráulico, de cara a ilustrar que los operadores deberán evaluar, además de los escenarios comunes al sector, aquéllos propios de sus instalaciones.

Por otro lado, y con el mismo fin, en el caso desarrollado se considera que los escenarios relacionados con residuos peligrosos no son relevantes para el análisis de riesgos de la instalación, ya que los maneja en cantidades muy pequeñas y su eliminación está subcontratada a un gestor de residuos autorizado.

Dado que se trata de un ejemplo modelo se ha optado por incidir en la parte práctica relativa a la identificación de los escenarios accidentales y la estimación de su probabilidad; en la cuantificación y evaluación de la significatividad de los daños y en la monetización de los mismos de cara a la determinación de la garantía financiera por responsabilidad medioambiental; todo esto con independencia de que, en los casos de aplicación real de este instrumento, se deba justificar correctamente, acompañando el informe con toda la información y documentación fehaciente que el operador estime oportuna.

XIV.1 Identificación de escenarios accidentales

XIV.1.1 Identificación de fuentes de peligro

Parece adecuado, con el fin de facilitar la identificación de las fuentes de peligro asociadas a un daño potencial que pudiera ocurrir en la instalación perteneciente al *sector X*, que se zonifique dicha instalación hipotética en unidades operativas según su potencialidad de riesgo medioambiental.

A continuación y a modo de ejemplo se identifican algunas de las fuentes de peligro por unidad operativa. En un caso real estas tablas deberán desarrollarse más detalladamente, tras una observación exhaustiva de la planta, indicando todas las sustancias y equipos empleados en cada zona.

FUENTES DE PELIGRO. Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
<i>Sustancia X</i>	Depósito	Errores humanos
...	Canalización de recogida de <i>sustancia X</i>	Mantenimiento
...	Conexión con el depósito	Personal con escasa formación
...		Sistema contra incendios
...	...	Valorar riesgo de inundación

Tabla 27. Fuentes de peligro de elementos externos: Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante. Fuente: elaboración propia

FUENTES DE PELIGRO. Grupo electrógeno		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
Gasoil	Depósito de gasoil	Cubeto de contención
...	...	Mantenimiento
...	...	Sistema contra incendios
...	...	Errores humanos
...	...	Personal con escasa formación

Tabla 28. Fuentes de peligro de elementos externos: Grupo electrógeno. Fuente: elaboración propia

FUENTES DE PELIGRO. Zonas de carga y descarga de cisternas		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
Sustancia X	Cisternas	Tipo de pavimento
Gasoil	Líneas de conexión	Elementos de contención
...	...	Errores humanos
...	...	Personal con escasa formación

Tabla 29. Fuentes de peligro de elementos externos: Zonas de carga y descarga de cisternas. Fuente: elaboración propia

FUENTES DE PELIGRO. Taller de Mantenimiento		
SUSTANCIAS	EQUIPOS	OTRAS FUENTES
Aceites	Elementos de almacenamiento (contenedores, bidones, etc.)	Tipo de pavimento
Textiles impregnados	Recipientes vacíos	Elementos de contención y recogida
...	...	Posibles mezclas y sinergias
...	...	Errores humanos

Tabla 30. Fuentes de peligro de elementos externos: Taller de mantenimiento. Fuente: elaboración propia

XIV.1.2 Identificación de sucesos iniciadores y sus causas

La información obtenida en el apartado anterior ha permitido identificar los sucesos iniciadores, es decir, los hechos físicos que pueden generar un accidente en la instalación y cuyas consecuencias podrían dar lugar a un daño medioambiental.

Los sucesos iniciadores deben ser determinados a partir de un análisis exhaustivo de las posibles causas que los producen. Estas causas han sido recogidas en la siguiente tabla para nuestra instalación modelo:

ACTIVIDAD	SUCESO INICIADOR	CAUSAS
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante (B2)	Fuga depósito de <i>sustancia X</i>	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto o un vehículo Movimiento de tierras Fallo en la operación Desbordamiento
	Fuga en conducción de <i>sustancia X</i>	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto o vehículo Movimiento de tierras Fallo en válvula de entrada y aumento del caudal Fallo en el sistema de detección y alerta
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga en cisterna de <i>sustancia X</i>	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto o vehículo Sobrellenado Rotura de válvula
	Fuga conexión carga cisterna <i>sustancia X</i>	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto o vehículo Sobrellenado Rotura de válvula
Producción de energía (B5)	Fuga depósito gasoil	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto o vehículo Sobrellenado Fallo en válvula / sistema de alerta
Carga y descarga de cisternas (B1)	Fuga cisterna gasoil	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto o un vehículo Sobrepresión interna por incendio exterior Sobrellenado de la cisterna Rotura de la válvula de cierre
	Fuga conexión carga cisterna gasoil	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto Sobrellenado Rotura de válvula Colisión de vehículos realizando operaciones de carga y descarga
Mantenimiento (B7)	Fuga depósito aceite hidráulico	Fallo del material por defecto, fatiga o corrosión (interna o externa) Impacto de un objeto Sobrellenado Rotura de válvula cierre del depósito Rotura de válvula cierre del depósito y fallo en el sistema de alarma y detección Colisión de vehículos realizando operaciones de carga y descarga

Tabla 31. Identificación de sucesos iniciadores y sus causas. Fuente: elaboración propia

XIV.1.3 Postulación de escenarios accidentales

Los escenarios accidentales se generan como consecuencia de la evolución del suceso iniciador, condicionado por una serie de factores entre los que habrá que tener en especial consideración factores del entorno, fundamentalmente de tipo ambiental, así como los sistemas de transporte de contaminantes y los posibles medios receptores que pudieran verse afectados.

Por ello, en un caso real resulta importante describir las características (hipotéticas) más relevantes del medio físico en el que se encuentra ubicada la explotación, tales como:

- Geología del medio
- Presencia de masas de agua superficiales o subterráneas que se puedan ver afectadas
- Fauna o flora significativa que pueda sufrir daños

A estos efectos cabe destacar que la instalación perteneciente al sector X se sitúa en una zona semiárida, caracterizada por un terreno de tipo arenoso. Atendiendo al conocimiento geológico de la zona se puede afirmar que no puede verse afectada ninguna masa de agua subterránea ni superficial por una fuga o un derrame accidental procedente de la instalación. Como resultado de los estudios consultados, se conoce la existencia de una Especie A, herbácea y vulnerable, según la clasificación de la *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)*; por otro lado, no consta la presencia de especies de fauna de especial interés en el área. En consecuencia, debido a estas condiciones del entorno, se han identificado para el ejercicio práctico escenarios con afección al suelo o a la especie A.

La metodología de árbol de sucesos permite la determinación de los escenarios de riesgo, evaluando las posibles consecuencias asociadas a una alteración en el proceso. En base a este esquema, se han identificado once escenarios modelo, de los cuales se exponen los diferentes esquemas de árbol de sucesos que se derivan de cada actividad o proceso.

Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante

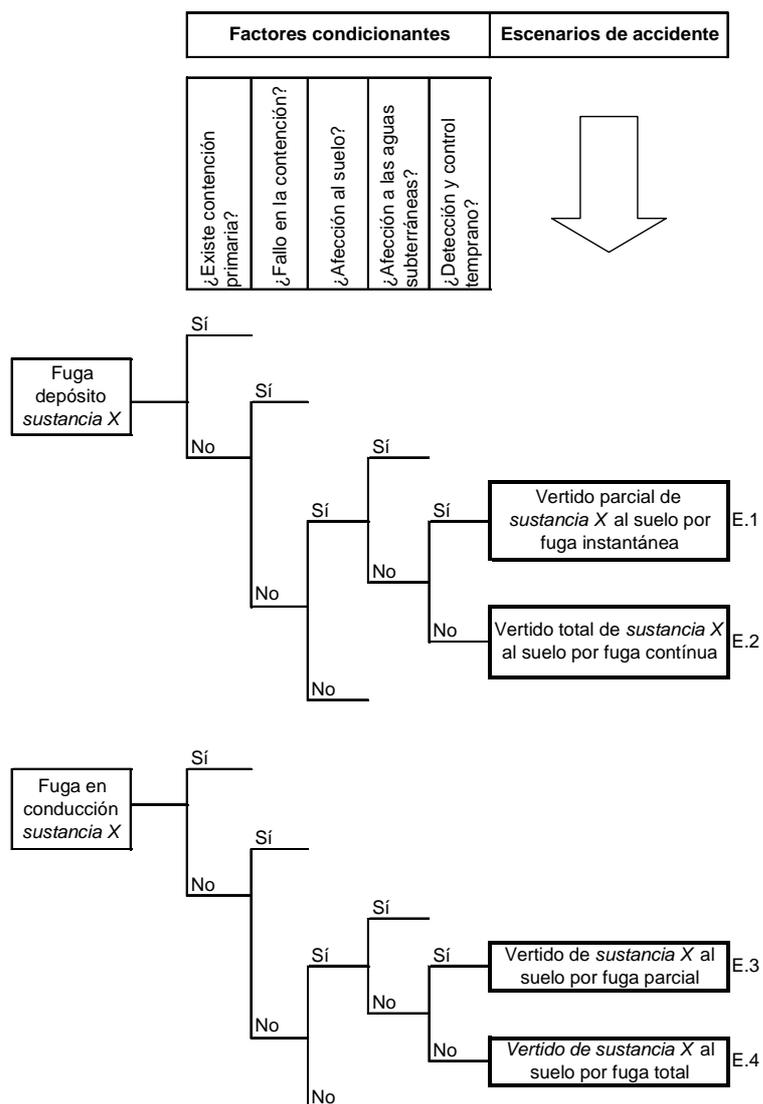


Figura 5. Postulación de accidentes: Sistema de recogida, almacenamiento y retirada del material contaminante.
Fuente: elaboración propia

Carga y descarga de cisternas

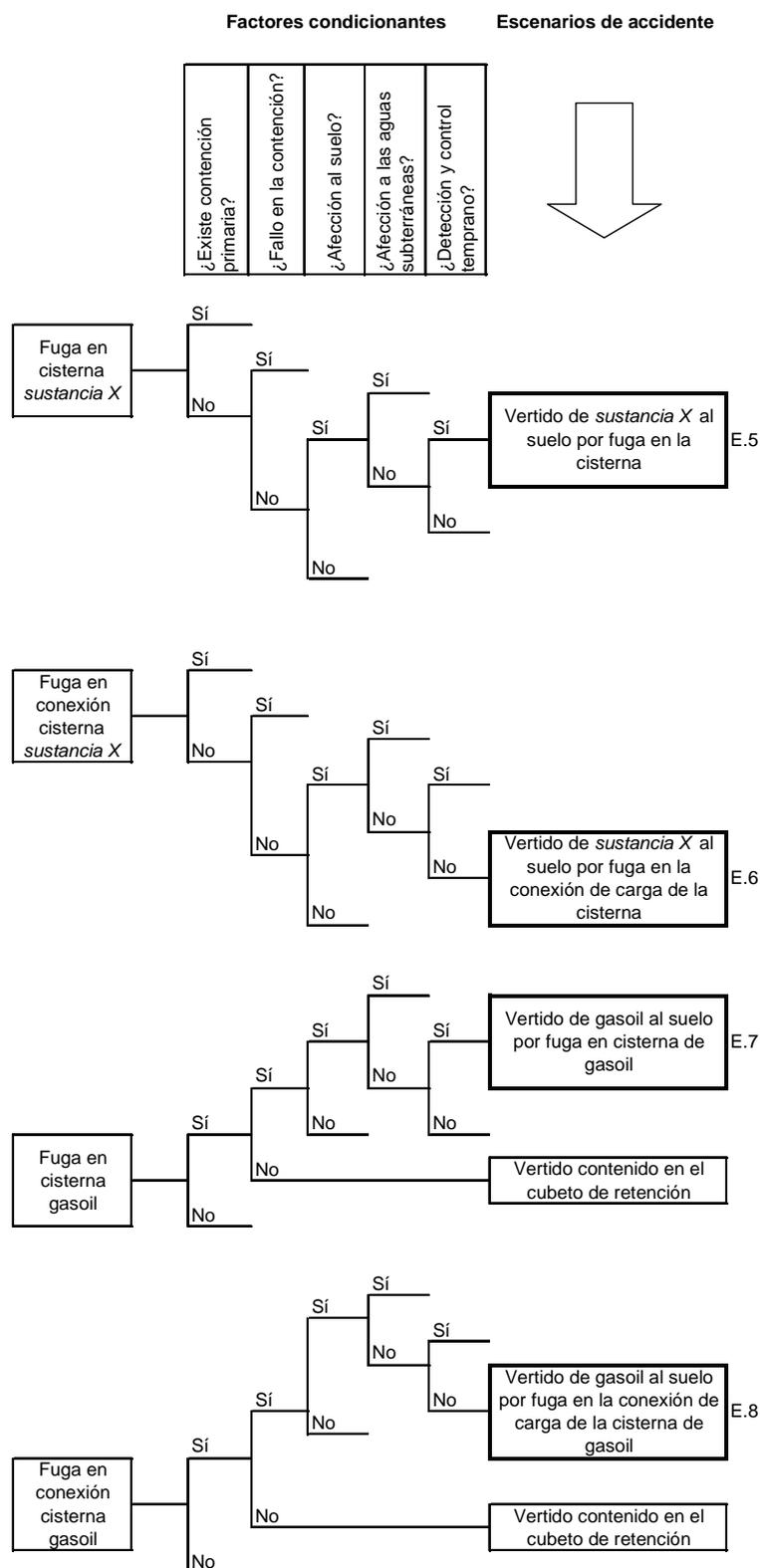


Figura 6. Postulación de accidentes: Carga y descarga de cisternas. Fuente: elaboración propia

Producción de energía

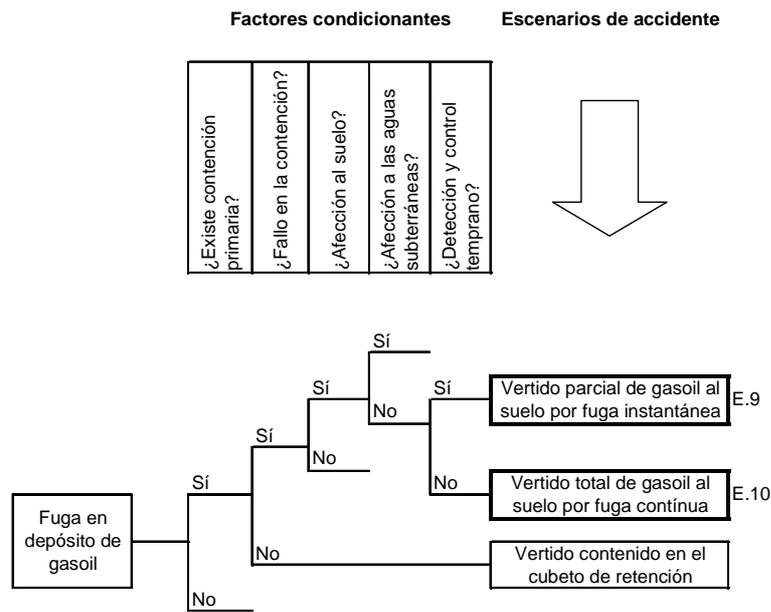


Figura 7. Postulación de accidentes: Producción de energía. Fuente: elaboración propia

Mantenimiento

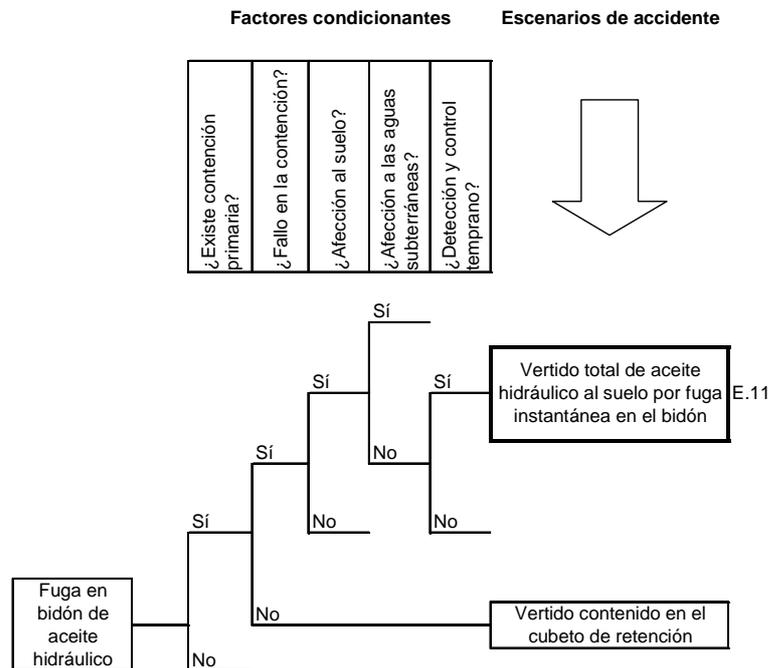


Figura 8. Postulación de accidentes: Mantenimiento. Fuente: elaboración propia

Una vez que se han elaborado los árboles de sucesos para las diferentes etapas productivas de la actividad y dependiendo del suceso iniciador que participa en el accidente, se deberán seleccionar los diferentes tipos de escenarios que se consideran relevantes para esta actividad hipotética. Cada uno de estos escenarios se desglosará en subescenarios —en función de los rangos de probabilidad de que se viertan diferentes cantidades de sustancia (agente causante del daño)—, cuyos respectivos

daños deberán ser cuantificados y de los que habrá que evaluar su significatividad. Cabe destacar que sólo se considerarán aquellos escenarios que resulten potencialmente significativos.

IDENTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES DE LA ACTIVIDAD				
ACTIVIDAD	SUCESO INICIADOR	Nº Escenario	ESCENARIO ACCIDENTAL	Relevante
Sistema de recogida, almacenamiento y retirada de material contaminante	Fuga parcial en depósito de sustancia X	1	Vertido de sustancia X al suelo por fuga parcial en depósito	SI
	Fuga total en depósito de sustancia X	2	Vertido de sustancia X al suelo por fuga total en depósito	SI
	Fuga parcial en conducción de sustancia X	3	Vertido de sustancia X al suelo por fuga parcial en conducción	NO
	Fuga total en conducción de sustancia X	4	Vertido de sustancia X al suelo por fuga total en conducción	NO
Carga y descarga de cisternas	Fuga parcial en cisterna de sustancia X	5	Vertido de sustancia X al suelo por fuga parcial en cisterna	SI
	Fuga conexión carga cisterna de sustancia X	6	Vertido de sustancia X al suelo por fuga total en cisterna	SI
	Fuga parcial cisterna gasoil	7	Vertido de gasoil al suelo por fuga parcial en cisterna gasoil	NO
	Fuga total carga cisterna gasoil	8	Vertido de gasoil al suelo por fuga total en cisterna gasoil	NO
Producción de energía	Fuga parcial depósito gasoil	9	Vertido de gasoil al suelo por fuga parcial en depósito gasoil	SI
	Fuga total depósito gasoil	10	Vertido de gasoil al suelo por fuga total en depósito gasoil	SI
Mantenimiento	Fuga parcial en bidón de aceite hidráulico	11	Vertido de aceite hidráulico al suelo por fuga parcial en bidón de aceite	SI

Tabla 32. Identificación de escenarios accidentales de la actividad. Fuente: elaboración propia

Por último, mencionar que sólo se han considerado los escenarios potencialmente significativos o relevantes aquéllos relativos al depósito de *sustancia X* y los depósitos de gasoil y aceite hidráulico (Tabla 32) puesto que para que ocurriese alguno de los demás escenarios indicados en la tabla anterior debería darse una concatenación de sucesos tal, que la probabilidad de fallo de los mismos resulta demasiado baja, debido a la existencia de una gran cantidad de medidas de contención (cubetos de retención, pavimento hormigonado, etc. para el caso del gasoil y del aceite hidráulico) en las áreas en las que se sitúan las cisternas y las tuberías de conducción de los contaminantes, no considerándose, por tanto, dichos escenarios como potencialmente significativos.

XIV.2 Cuantificación del daño

XIV.2.1 APLICACIÓN DEL MODELO DE DIFUSIÓN

Para la cuantificación del daño es necesario calcular tanto el área de vertido como la profundidad a la que dicho vertido puede llegar en el suelo.

2.1.1 Cálculo del área de vertido

Puesto que se ha partido de la hipótesis de que la zona es permeable, se ha recurrido a la ecuación Ec.23 del capítulo de cuantificación —ecuación para vertidos puntuales en terrenos impermeables y horizontales—, particularizada para el caso de suelos permeables por el autor del modelo —es decir, con $t = t_w$ —.

$$A_{pool} = \pi \cdot s(t)^2 \quad [\text{Ec.23}]$$

Donde, la distancia de difusión — $s(t)$ — se ha estimado a partir de la ecuación propuesta por Huppert (Huppert, 2006):

$$s(t) = \zeta_N(\alpha, n)(Rq^3)^{1/(5+3n)} t^{(3\alpha+1)/(5+3n)} \quad [\text{Ec.24}]$$

En esta ecuación merece la pena destacar los siguientes aspectos:

- ❖ Se ha considerado para todos los agentes causantes del daño se trata de un vertido puntual ($n=1$) y continuo ($\alpha = 1$), por lo que en todos los casos $\zeta_N(\alpha,n)$ toma el valor 0,715, conforme a la Tabla 17
- ❖ El tiempo se ha estimado a partir de la expresión de t_T —al cumplirse dos condiciones, que sea un vertido continuo ($\alpha \neq 0$) y que $t_T \leq t_{\text{vertido}}$ —:

$$t_T = 0,697^n \left[3^{1-n} \left(\frac{6}{\pi} \right)^n \frac{q^{2-n} v^{6-n}}{g^{6-n} k^{5-n}} \right]^{\frac{1}{(6-n)-(2-n)\alpha}} \quad \text{para } \alpha < 3 \quad [\text{Ec.25}]$$

- ❖ Se ha estimado una permeabilidad $k = 10^{-10} \text{ m}^2$
- ❖ Tanto la ecuación Ec.24 como la ecuación Ec.25 se han calculado de forma específica para cada uno de los tres contaminantes —sustancia X gasóleo y aceite hidráulico— introduciendo en cada caso la cantidad vertida, el tiempo de vertido y las propiedades físico-químicas de cada uno de ellos. Todos estos parámetros pueden consultarse en la Tabla 33

	v [m ² /s]	V^{13} [m ³]	t^{18} [s]	q [m ³ /s]
Sustancia X	$3,93 \cdot 10^{-6}$	6 / 30 / 45 / 60	60 / 300 / 450 / 600	0,10
Gasóleo	$3,00 \cdot 10^{-6}$	0,6 / 1,2	300 / 600	0,002
Aceite hidráulico	$3,32 \cdot 10^{-5}$	0,09	180	0,0005

Tabla 33. Parámetros por tipo de contaminante —sustancia X, gasóleo y aceite hidráulico—.

Fuente: elaboración propia

2.1.2 Cálculo de la profundidad de vertido

Para el cálculo de la profundidad se ha utilizado la ecuación Ec.26, en la que, con objeto de facilitar el cálculo y al tratarse de sustancias no volátiles (aceite hidráulico) o semivolátiles (gasóleo y sustancia X), se ha considerado despreciable el volumen de evaporación.

$$D_{MP} = \frac{V_{spill} - V_E}{A_{pool} R \xi} \quad [\text{Ec.26}]$$

Al ser la viscosidad de los tres agentes contaminantes del orden de $10^{-5} - 10^{-6}$, se ha tomado un valor de ξ para viscosidad media en todos los casos, que conforme a la Tabla 16, se corresponde con un valor de 1.

El resto de parámetros necesarios para resolver la ecuación Ec.26 son los valores especificados en la Tabla 33.

XIV.2.2 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE RECEPTOR AFECTADO

Por último se ha obtenido la cantidad de recurso afectado en función del tipo de recurso:

¹³ Tanto en el caso de la sustancia X como en el del gasóleo se indican los volúmenes de vertido de cada uno de los distintos escenarios de vertido —6, 30, 45 y 60 m³ en el caso de la sustancia X, y 0,6 y 1,2 m³ en el caso del gasóleo—, y los tiempos de vertido necesarios para cada uno de estos —120, 600 y 1.200 s, respectivamente, en el caso de la sustancia X; y 300 y 600, respectivamente en el caso del gasóleo—.

- ❖ Suelo: se multiplica el área afectada por la profundidad de vertido alcanzada, obteniendo así los metros cúbicos de suelo dañado. A continuación se multiplica el volumen de suelo dañado por la densidad media del suelo —se ha tomado una densidad de 1,5 t/m³—.
- ❖ Especies vegetales: se toma el área afectada como medida de la cantidad de superficie a repoblar con la especie de flora amenazada. Al ser la técnica de reparación la repoblación, se ha estimado el coste a partir de la superficie dañada siguiendo las indicaciones para daños al hábitat descritas en el Apartado 2.1.4.

La Tabla 34 muestra el área de suelo afectada —necesaria tanto para la monetización del daño al suelo como a las especies vegetales—, la profundidad que alcanza el vertido y el volumen de suelo afectado.

Escenario	Área [m ²]	Profundidad [m]	Volumen [m ³]	Masa [t]
Vertido de <i>sustancia X</i> (10%)	401	0,6	240	360
Vertido de <i>sustancia X</i> (50%)	401	3,0	1.200	1.800
Vertido de <i>sustancia X</i> (75%)	401	4,5	1.800	2.700
Vertido de <i>sustancia X</i> (100%)	401	6,0	2.400	3.600
Vertido de gasóleo (50%)	6	3,9	24	36
Vertido de gasóleo (100%)	6	7,8	48	72
Vertido de aceite hidráulico	17	0,2	3,6	5,4

Tabla 34. Cuantificación del daño a las especies y al suelo. Fuente: elaboración propia

Merece la pena destacar que el área afectada permanece constante en todos los escenarios de un mismo agente contaminante al haber supuesto que el caudal es constante para un vertido de una misma sustancia. Sin embargo, el tiempo de vertido sí varía afectando a la profundidad de infiltración de cada escenario. Por esta razón, ambos parámetros deberán ser considerados como puntos críticos del modelo.

Por último, incidir en que en los casos de contaminación por gasóleo o aceite hidráulico, al ser ínfima la superficie afectada, se ha considerado que existe daño al suelo y no a la especie de flora amenazada existente en la zona, al significar el coste de repoblación una cantidad muy pequeña (comprendida entre 5 y 25 euros) en comparación con el coste general de reparación —resultante de sumar el coste de limpieza del suelo más el coste de eliminación de la vegetación afectada y repoblación de la misma, que varía en un rango entre 4.500 y 9.000 euros—.

Los aspectos relacionados con la significatividad del daño ocasionado al suelo se desarrollan en el apartado que se expone a continuación.

XIV.3 Evaluación de la significatividad del daño asociado a cada escenario accidental y selección de los escenarios significativos

La significatividad del daño asociado a sustancias químicas puede estimarse a partir del cálculo del cociente de riesgo, para lo cual es necesario conocer la concentración esperada de contaminante en

el recurso que ha sido dañado —PEC—, así como el valor umbral a partir del cual se observan efectos agudos (EC50 o LC50), crónicos (NOEC o NOAEL) o potenciales (PNEC).

Tomando esto como referencia se ha procedido a calcular en primer lugar la concentración estimada del contaminante (PEC) en el recurso afectado. Para su determinación se ha realizado el cociente entre la cantidad de sustancia vertida y el volumen de suelo afectado obtenido mediante la aplicación del modelo de difusión explicado en el Apartado IX relativo a la cuantificación. Debido a la escasez de información que existe en materia de umbrales de toxicidad para cualquiera de los niveles de intensidad que vienen estipulados en la Ley 26/2007, de 23 de octubre y en el Real Decreto 2090/2008 que la desarrolla parcialmente, se ha recurrido a los umbrales que presentan los compuestos más contaminantes de la *sustancia X*, el gasóleo y el aceite hidráulico. Por esta razón el PEC se ha calculado igualmente para los componentes principales de cada uno de los contaminantes, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tipo de contaminante	Compuesto	Concentración
<i>Sustancia X</i>	Y	1,64 g Y/kg <i>sustancia X</i>
Gasóleo	Antraceno	2,59 mg antraceno/l gasóleo
Aceite hidráulico	Aceite mineral	60%

Tabla 35. Selección de compuestos para cada contaminante y su concentración en el agente causante del daño.
Fuente: elaboración propia

Cabe destacar que dado que existe una alta variabilidad de aceites hidráulicos y tras consultar varias fuentes bibliográficas, se ha considerado la concentración del 60 por ciento como la más adecuada para el estudio puesto que, con carácter conservador, se ha optado por admitir el caso más desfavorable. Por otro lado, la *sustancia X* es una sustancia orgánica con una viscosidad superior a la del agua y cuyo componente mayoritario y más tóxico es Y. Por ello, de cara a este ejercicio práctico se ha tomado para el cálculo de la significatividad de los escenarios relacionados con la *sustancia X* el dato de concentración de Y (g Y/kg *sustancia X*) de la Tabla 35.

De esta forma, conocida la cantidad de contaminante vertida se puede establecer la proporción del compuesto que corresponda (según Tabla 35) en el vertido, todo ello medido en unidades de masa y asumiendo una distribución homogénea del compuesto en el contaminante. Si esto se divide entre la cantidad de suelo contaminado —a su vez transformado en unidades de masa—, se obtiene la concentración estimada del compuesto principal del contaminante (PEC). Dichas concentraciones vienen reflejadas en la Tabla 36.

Contaminante		$m_{\text{contaminante}}$ [kg]	$m_{\text{compuesto}}$ [kg]	$m_{\text{suelo dañado}}$ [kg]	PEC [$\text{mg}_{\text{comp}}/\text{kg}_{\text{suelo}}$]
Sustancia X	Compuesto Y (10%)	6.120	10,0	360.000	27,88
	Compuesto Y (50%)	30.600	50,2	1.800.000	27,88
	Compuesto Y (75%)	45.900	75,3	2.700.000	27,88
	Compuesto Y (100%)	61.200	100,4	3.600.000	27,88
Gasóleo	Antraceno (50%)	510	$1,6 \cdot 10^{-3}$	36.000	0,04
	Antraceno (100%)	1.020	$3,1 \cdot 10^{-3}$	72.000	0,04
Aceite hidráulico	Aceite mineral	80	48,1	5.400	8,90

Tabla 36. Cálculo del PEC (I). Fuente: elaboración propia

La masa de cada contaminante se ha obtenido mediante la multiplicación de la densidad del contaminante por el volumen del mismo, obtenido este último del producto entre el caudal de vertido y la duración del mismo. Asimismo, la masa de suelo afectada se ha calculado a través del producto de la densidad media del suelo por el volumen de suelo dañado —estimado a través del modelo Grimaz (Grimaz *et al.* 2007 y Grimaz *et al.*, 2008) mediante, a su vez, el producto del área de la mancha por la profundidad de la misma—.

Es importante destacar que los distintos escenarios de un mismo contaminante tienen idéntico valor de concentración, debido fundamentalmente a que el modelo propuesto por Grimaz (*ibid.*) para estimar la mancha de vertido —multiplicando el área por la profundidad del vertido— considera que el contaminante abarca más o menos espacio de forma proporcional a la cantidad de sustancia vertida. Por esta razón, si bien el modelo es muy sencillo de utilizar, no discrimina distintos valores de concentración en función de la cantidad vertida, ya que siempre mantiene la misma proporción entre la cantidad vertida y la cantidad de receptor dañado.

El último paso consiste en establecer el cociente de riesgo entre el PEC y el valor umbral asociado a un determinado nivel de intensidad de los efectos, ya sean agudos, crónicos o potenciales. De esta forma, cuando el cociente de riesgo supere la unidad se podrá afirmar que existe riesgo de que aparezcan efectos negativos sobre el receptor afectado, para esa concentración de sustancia (PEC) y ese tiempo de exposición concretos. Con carácter conservador se han transformado todos los valores umbrales obtenidos a valores de PNEC, seleccionando el menor de ellos con objeto de contemplar cualquier daño potencial al recurso suelo.

En la tabla siguiente se muestran los valores de PEC y PNEC, así como el cociente de riesgo y el resultado de aplicar el razonamiento expuesto para la determinación de la significatividad de cada escenario particularizado. En dicho razonamiento se han utilizado las ecuaciones y los factores de conversión que propone la TGD para hallar el PNEC de los contaminantes en el suelo a partir de umbrales de toxicidad referidos al agua o a diferentes niveles de intensidad para una sustancia en concreto (Ec. 72 y Tabla 16; EGB, 2003). Por otro lado, cabe añadir que, en ausencia de un valor de PNEC referido específicamente al aceite mineral, dicho valor se ha obtenido a partir de la media del valor de PNEC de varios aceites obtenidos a partir de sus fichas de seguridad.

Contaminante		PEC [mg _{comp} /kg _{suelo}]	PNEC [mg _{comp} /kg _{suelo}]	Cociente de riesgo [-]	Significatividad
Sustancia X	Compuesto Y (10%)	27,880	0,018	>1	Significativo
	Compuesto Y (50%)	27,880	0,018	>1	Significativo
	Compuesto Y (75%)	27,880	0,018	>1	Significativo
	Compuesto Y (100%)	27,880	0,018	>1	Significativo
Gasóleo	Antraceno (50%)	0,043	0,020	>1	Significativo
	Antraceno (100%)	0,043	0,020	>1	Significativo
Aceite hidráulico	Aceite mineral	8,900	0,323	>1	Significativo

Tabla 37. Cálculo del PEC (II). Fuente: elaboración propia

XIV.4 Estimación de la probabilidad asociada a cada escenario significativo

La probabilidad asignada a cada escenario accidental tendrá un valor único y será una composición de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador correspondiente a ese escenario y de las probabilidades de ocurrencia de los diferentes factores condicionantes que influyen en la definición del mismo.

Para la asignación de la probabilidad a cada escenario identificado en la instalación objeto de estudio se ha utilizado un criterio semicuantitativo definido en la Tabla 5.

A continuación se exponen las figuras que representan los escenarios que han generado un daño medioambiental con carácter significativo y la probabilidad asociada a cada uno de ellos.

La probabilidad del escenario es el valor resultante de multiplicar o de sumar, según el caso, las probabilidades asociadas a la ocurrencia del suceso iniciador y de los factores condicionantes cuya concatenación da lugar a cada escenario accidental. En este caso se ha asumido que cada escenario accidental requiere la ocurrencia de todos los sucesos que le preceden, es decir, que es consecuencia de la ocurrencia de todos y cada uno de los factores condicionantes anteriores —relación y/y—, no bastando, para que dicho escenario tenga lugar, la ocurrencia de tan sólo alguno de dichos factores —relación o/o—. Dicha asunción justifica que la probabilidad de cada escenario de riesgo se haya calculado a través del producto de las probabilidades parciales atribuidas a sus sucesos precedentes, entre ellos, el suceso iniciador. Finalmente, el valor de probabilidad de cada escenario, obtenido a través del producto de las probabilidades parciales de los sucesos que lo preceden, se ha normalizado a una escala de 1 a 5. Cabe resaltar que, dado que se trata de un ejemplo modelo, las probabilidades asignadas son ficticias.

Escenario	Probabilidad	Prob. normalizada	Características
1	4.000	5	Muy probable
2	3.000	4	Altamente probable
3	2.000	3	Probable
4	1.000	1	Improbable
5	4.000	5	Muy probable
6	3.200	4	Altamente probable
7	4.000	5	Muy probable

Tabla 38. Probabilidad asociada a cada escenario accidental. Fuente: elaboración propia

La tabla superior hace alusión a las probabilidades calculadas para cada escenario accidental según la metodología expuesta en este apartado. En virtud de los resultados obtenidos se advierte que los escenarios más probables, caracterizados con la máxima probabilidad (5) según el criterio de asignación de probabilidades tomado de la Norma UNE 150.008, corresponden a un vertido de *sustancia X* por fuga del 10 por ciento del depósito donde se almacena dicha sustancia (escenario 1), un vertido de gasoil al suelo por fuga parcial del 50% (escenario 4), y a un vertido al suelo del cien por cien de aceite hidráulico debido a una fuga en el bidón en el que éste es almacenado (escenario 6). En este resultado han influido de manera determinante factores condicionantes tales como menor presencia de sistemas de contención —en comparación con otras áreas de la instalación— que eviten el desencadenamiento del suceso iniciador, o el hecho de que la instalación cuente con sistemas de alarma y detección temprana de una posible fuga. Es importante aclarar que las probabilidades asociadas a cada factor condicionante se han asignado de acuerdo al mismo criterio explicado en este apartado para el cálculo de las probabilidades de ocurrencia de cada escenario accidental.

XIV.5 Monetización del daño asociado a cada escenario accidental significativo

Para la monetización del daño de cada escenario se ha utilizado el *Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental* (MORA) —cobertura de costes de reposición de ámbito nacional elaborada por la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales, con objeto de facilitar la aplicación de la Ley 26/2007—. Esta herramienta presenta una metodología de valoración económica acorde con la normativa de responsabilidad medioambiental, ofreciendo como principal salida las coberturas cartográficas digitales del valor —expresado en unidades monetarias— de la reparación de cada uno de los daños tipificados en el Real Decreto 2090/2008.

La Memoria justificativa del RD 2090/2008 proporciona un listado detallado de los costes que se deben considerar de cara a definir la necesidad de suscribir la garantía financiera. En MORA dichos costes se han estructurado en las siguientes partidas:

- ❖ Costes de consultoría. Incluyen los costes de planificación y diseño del proyecto
- ❖ Ejecución. Hace referencia a los costes de implantación, puesta en marcha y gestión del proyecto: acceso al lugar dañado y aplicación de la técnica reparadora
- ❖ Control y verificación. En esta categoría se incluyen los costes de revisión y verificación de los resultados obtenidos

- ❖ Porcentaje de seguridad por contingencia. En el procedimiento de ejecución del proyecto pueden aparecer circunstancias imprevistas que supondrán un incremento del coste de entre un 20 y un 40%

El presupuesto de restauración de cada escenario accidental, se ha elaborado conforme al esquema que se muestra en la Tabla 39.

PRESUPUESTO DE RESTAURACIÓN
Coste base (CB)
Costes indirectos del proyecto (1%)
Subtotal
Control de calidad (1%)
Presupuesto de ejecución material
Costes de consultoría
Presupuesto de ejecución material total del proyecto (PEM)
Seguridad y salud (3%)
Presupuesto general
Gastos generales y Beneficio Industrial (19%)
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)
Porcentaje de seguridad por contingencia (20%)
Presupuesto total Sin IVA
IVA (18%)
Coste total (€)

Tabla 39. Desglose de presupuesto de restauración. Fuente: MORA

Así, cada uno de los costes que ofrece MORA, se ha introducido en el apartado que corresponde del esquema anterior, en función de las indicaciones facilitadas en MORA sobre los costes incluidos en cada coste unitario.

Se especifican a continuación los pasos necesarios para la determinación de la cuantía económica de la reparación del daño conforme a MORA.

5.1 Localización del daño

La ubicación del daño determinará tanto los recursos naturales que puedan verse afectados como las posibles técnicas que puedan emplearse para su reparación.

Por esta razón, para definir los recursos afectados se requiere una caracterización previa del entorno que facilite información suficiente acerca de los siguientes aspectos:

- ❖ La accesibilidad de la zona
- ❖ El tipo de terreno y su pendiente
- ❖ La permeabilidad del suelo
- ❖ La existencia de acuífero, el riesgo de infiltración y la cercanía de masas de agua superficial
- ❖ La existencia de un espacio sensible y la presencia/ausencia de especies de especial interés

En un caso real este apartado deberá ir acompañado de una descripción detallada del medio, destacándose cualquier información de la indicada anteriormente, que sea considerada de especial interés. Esto permitirá conocer los casos de daño que deberán ser abordados.

5.2 Agente causante del daño

El segundo parámetro a concretar para la monetización del daño es el tipo de agente contaminante. Las características del mismo determinan tanto el modelo de difusión a aplicar para cuantificar el daño como la técnica de reparación, y por lo tanto el coste de devolver los recursos dañados a su estado básico.

MORA adopta las siete categorías identificadas por el *Federal Remediation Technologies Roundtable* (FRTR)¹⁴ para agrupar las sustancias químicas:

- ❖ Compuestos volátiles no halogenados (COVs_nH)
- ❖ Compuestos volátiles halogenados (COVs_H)
- ❖ Compuestos semivolátiles no halogenados (SCOVs_nH)
- ❖ Compuestos semivolátiles halogenados (SCOVs_H)
- ❖ Fuegos
- ❖ Sustancias inorgánicas
- ❖ Explosivos

En este apartado se deberán indicar aquellos agentes de la instalación de estudio, que sean susceptibles de producir un daño en el medio, proporcionando información sobre su composición y características físico-químicas que permita englobarlo dentro de una de las categorías que establece el modelo MORA.

5.3 Cuantificación del daño y técnica de reparación a aplicar

En este apartado se introduce el último parámetro que consiste en determinar la cantidad de receptor afectado por el vertido, que ya fue precisado en el Apartado XIV.2 de cuantificación, concretamente en la parte de definición de la extensión del daño.

Una vez que se conocen las particularidades del entorno, la cantidad de receptor/es afectado/s y el agente químico implicado, el modelo identifica la medida de reparación primaria preferencial a aplicar —indicando su coste y su tiempo de recuperación—. En este caso el parámetro afectado corresponde al suelo, medido en unidades de masa (toneladas), y a la *especie A*, medida en unidades de superficie (hectáreas). Las cantidades dañadas de ambos receptores vienen precisadas en el Apartado XIV.2 de cuantificación, concretamente en la parte de definición de la extensión del daño.

Para el ejemplo considerado y en función de la clasificación de cada agente contaminante, se ha considerado que para las tres sustancias implicadas —*sustancia X*, gasoil y aceite hidráulico— la técnica de reparación más adecuada es el *landfarming*. Dicha técnica tiene asociado un coste unitario de 52,11 €/t y un tiempo de recuperación de 9 meses.

El *landfarming* es una técnica de biorremediación que requiere el laboreo del suelo y la aplicación de enmiendas que contribuyan a la neutralización y minimización de las altas concentraciones de los componentes que se derivan de la *sustancia X*. La descontaminación se basa principalmente en la acción que ejercen los microorganismos presentes en el suelo. Estas condiciones están referidas al contenido de humedad, la aireación, y otras enmiendas como la adición de caliza para la corrección de la acidez.

¹⁴ <http://www.frtr.gov/matrix2/>

En el caso de afección a una especie A (herbácea), considerada vulnerable, la medida de reparación primaria prescrita es la eliminación de los individuos dañados mediante roza e incineración —que al tratarse de una especie herbácea el coste asociado es de 340,74 €/ha—, y la posterior plantación de la especie afectada —siendo el coste asociado a la plantación de flora amenazada de 7.640 €/ha—, ascendiendo el coste total a 7.980,74 €/ha. El tiempo de recuperación es de un año.

Una vez identificado el receptor afectado, las técnicas de reparación a aplicar y los costes asociados a cada una de ellas, resta únicamente calcular el coste total de la reparación.

Atendiendo a la cantidad de suelo afectada por el daño —calculada en el apartado de cuantificación del presente estudio—, y al coste unitario de aplicación de las medidas de reparación primaria —limpieza del suelo y eliminación y plantación de la vegetación herbácea amenazada dañada—, se obtienen unos costes totales que quedan recogidos en la Tabla 41.

Escenario accidental	Cantidad de recurso dañado		Técnica de reparación		Coste unitario reparación suelo		Coste total
	Suelo (t)	Sps. Veget. (ha)	Suelo	Sps. Veget.	Suelo (€/t)	Sps. Veget. (€/ha)	
Vertido de <i>sustancia X</i> por derrame del 10% del depósito	360	0,04	Laboreo y enmiendas	Eliminación y plantación	52,11	7.980,74	32.884,70
Vertido de <i>sustancia X</i> por derrame del 50% del depósito	1.800	0,04	Laboreo y enmiendas	Eliminación y plantación	52,11	7.980,74	145.031,90
Vertido de <i>sustancia X</i> por derrame del 75% del depósito	2.700	0,04	Laboreo y enmiendas	Eliminación y plantación	52,11	7.980,74	215.123,90
Vertido de <i>sustancia X</i> por derrame del 100% del depósito	3.600	0,04	Laboreo y enmiendas	Eliminación y plantación	52,11	7.980,74	285.215,90
Vertido de gasoil por fuga del 50% del depósito	36	-	Laboreo y enmiendas	-	52,11	-	7.051,68
Vertido de gasoil por fuga del 100% del depósito	72	-	Laboreo y enmiendas	-	52,11	-	9.855,36
Vertido de aceite hidráulico por derrame del 100% del bidón	5	-	Laboreo y enmiendas	-	52,11	-	4.668,55

Tabla 41. Coste de la reparación. Fuente: elaboración propia

En el caso de los daños ocasionados por gasóleo o aceite hidráulico a las especies silvestres, debido a la escasa superficie de terreno afectada —0,0006 y 0,003 ha respectivamente—, se considera que la *especie A* no se vería afectada de manera significativa por un eventual derrame.

Cabe puntualizar que la revisión y verificación de los resultados obtenidos en la reparación supone un aspecto fundamental a tener en cuenta para minimizar en lo posible las desviaciones existentes entre las previsiones y asunciones establecidas por el programa MORA y la realidad.

XIV.6 Cálculo del riesgo asociado a cada escenario accidental

El riesgo medioambiental asociado a cada escenario de riesgo se calcula mediante el producto entre la probabilidad de ocurrencia de cada escenario y el valor del daño medioambiental —equivalente al coste de reparación primaria a efectos de establecer la garantía financiera por responsabilidad medioambiental—.

Escenario accidental	Probabilidad ocurrencia (P)	Coste (€)	Riesgo [R = C x P]
Vertido de <i>sustancia X</i> por fuga del 100% del depósito	1	285.215,90	285.215,90
Vertido de <i>sustancia X</i> por fuga del 75% del depósito	3	215.123,90	645.371,71
Vertido de <i>sustancia X</i> por fuga del 50% del depósito	4	145.031,90	580.127,61
Vertido de <i>sustancia X</i> por fuga del 10% del depósito	5	32.884,70	164.423,52
Vertido de gasoil por fuga del 50% del depósito	5	7.051,68	35.258,40
Vertido de gasoil por fuga del 100% del depósito	4	9.855,36	39.421,44
Vertido de aceite hidráulico por derrame del 100% del bidón	5	4.668,55	23.342,76

Tabla 42. Estimación del riesgo asociado a cada escenario. Fuente: elaboración propia

XIV.7 Aplicación de los criterios del Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, para la fijación de la cuantía de la garantía financiera

A continuación se procede a aplicar los criterios que establece el artículo 33 de Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, para la selección de los escenarios de menor coste que agrupan el 95 por ciento del riesgo, entre los cuales se identificará el escenario accidental de referencia, cuyo coste equivaldrá a la cobertura del daño o al valor de la garantía financiera por responsabilidad medioambiental.

Escenario accidental	Probabilidad ocurrencia (P)	Coste (€)	Riesgo [R = C x P]	Riesgo (%)	Riesgo acumulado (%)
Vertido de <i>sustancia X</i> por fuga del 100% del depósito	1	285.215,90	285.215,90	16%	100%
Vertido de <i>sustancia X</i> por fuga del 75% del depósito	3	215.123,90	645.371,71	36%	84%
Vertido de <i>sustancia X</i> por fuga del 50% del depósito	4	145.031,90	580.127,61	33%	48%
Vertido de <i>sustancia X</i> por fuga del 10% del depósito	5	32.884,70	164.423,52	9%	15%
Vertido de gasoil por fuga del 100% del depósito	5	7.051,68	35.258,40	2%	6%
Vertido de gasoil por fuga del 50% del depósito	4	9.855,36	39.421,44	2%	4%
Vertido de aceite hidráulico por derrame del 100% del bidón	5	4.668,55	23.342,76	1%	1%

Tabla 43. Aplicación de los criterios del artículo 33 del RD 2090/2008. Fuente: elaboración propia

Tal como se observa en la Tabla 43, se ha seleccionado el escenario valorado en un coste de 285.215,90 euros (subrayado en negrita) al ser el único que agrupa el 95 por ciento del riesgo acumulado. Dicho escenario hace referencia a la contaminación del suelo debido a una fuga del 100 por ciento de *sustancia X* almacenada en el depósito. Este coste de 285.215,90 euros constituye la cuantía de referencia en base a la cual se establecerá, en su caso, la obligación de constituir una garantía financiera por responsabilidad medioambiental.

XIV.8 Evaluación de la necesidad de constituir una garantía financiera

A efectos de los apartados anteriores y dado que la cuantía de **285.215,90 euros** está por debajo de los umbrales que establece la LRMA en su artículo 28, el operador no estaría obligado a constituir una garantía financiera por responsabilidad medioambiental —a partir de la fecha en que dicha obligación entre en vigor mediante la aprobación de la orden ministerial correspondiente—.

Cabe recordar que aun no existiendo obligatoriedad de constituir garantía financiera por parte del operador en este caso práctico, si éste de forma voluntaria quisiera constituir la, se recomienda que sume a dicha cuantía los costes de prevención y de evitación que se estimen convenientes, conforme establece el artículo 33.3 del Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre. En este caso, se ha tomado el valor mínimo que establece el real decreto, habiendo estimado dichos costes como un diez por ciento del valor de cobertura de garantía financiera ($285.215,90 * 0,10 = 28.521,59$ euros). Por tanto, el resultado de la cuantía total de garantía financiera por responsabilidad medioambiental es de **313.737,49 euros**.

XV. REFERENCIAS

- ❖ ACTON, J. M., H. E. HUPPERT, and M. G. WORSTER (2001) *Two-dimensional viscous gravity currents flowing over a deep porous medium*, Journal of Fluid Mechanics 440, 359 – 380.
- ❖ AIDIC (2007) *The eight Italian conference on chemicals and process engineering*, Ischia, Naples, Italia. Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica.
- ❖ ANDREWS, P. L. (2007) *BehavePlus fire modeling system: Past, present, and future*. In: *Proceedings of 7th Symposium on Fire and Forest Meteorology*; 23-25 October 2007, Bar Harbor, Maine. Boston, MA: American Meteorological Society. 13 p.
- ❖ ANDREWS, P. L., BEVINS, C. D., SELI, R. C. (2008) *BehavePlus fire modeling system. Version 4.0. User's guide*. United States Department of Agriculture. Forest Service. Rocky Mountain Research Station. (www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr106.html)
- ❖ ANDREWS, P. L. (2009) *BehavePlus fire modeling system, version 5.0: Variables*. United States Department of Agriculture. Forest Service. Rocky Mountain Research Station. (www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr213.pdf)
- ❖ ANDERSON, H. E. (1982) *Aids to determining fuel models for estimating fire behaviour*. United States Department of Agriculture. Forest Service. Intermountain Forest and range Experiment Station. (www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr122.pdf)
- ❖ EC (2003) *Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector*. European Commission. (<http://eippcb.jrc.es/reference/>)
- ❖ ECB (2003) *Technical Guidance Document on Risk Assessment, in support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for existing substances and Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market. Part II*. European Chemicals Bureau. European Commission. Joint Research Centre. (http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_activities/health-env/risk_assessment_of_Biocides/doc/tgd/)
- ❖ GRIMAZ S., ALLEN S., STEWART J., DOLCETTI G. (2007) *Predictive Evaluation of the extent of the surface spreading for the case of accidental spillage of oil on ground*. Selected paper IcheaP8, AIDIC Conference Series, Vol. 8, 2007, pp. 151 – 160.
- ❖ GRIMAZ S., ALLEN S., STEWART J., DOCETTI 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.
- ❖ HUPPERT, H. E. (1982) *The propagation of two-dimensional and axisymmetric viscous gravity currents over a rigid surface*, Journal of Fluid Mechanics 121, 43 – 58. Cambridge University Press.
- ❖ HUPPERT, H. E. (2006) *Gravity currents: a personal perspective*, Journal of Fluid Mechanics 554, 299 – 322. Cambridge University Press.

- ❖ KELLER J. M., SIMMONS C. S. (2005) *The influence of selected liquid and soil properties on the propagation of spills over flat permeable surface*, Rep. PNNL – 15058, Pacific Northwest National Laboratory.
- ❖ LISTER, J.R. (1992) *Viscous flows down an inclined plane from point and line sources*, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 242, pp. 631 – 653.
- ❖ MVW (2005) *Guidelines for quantitative risk assessment*. Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3). Ministerie van Verkeer en Watersaat. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen (<http://es.scribd.com/doc/24603140/Guidelines-for-Quantitative-Risk-Assessment>)
- ❖ SCOTT J.H., BURGAN R. E. (2005) Standard fire behaviour fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. United States Department of Agriculture. Forest Service. Rocky Mountain Research Station. (www.nwccweb.us/content/products/mobguide/rmrs_gtr153.pdf)
- ❖ SPANNUTH M., NEUFELD J., WETT – LAUFER J.S., GRAE WOSTER M. (2006) *Axisymmetric viscous gravity currents flowing over a deep porous medium*, presented at the DFD06 Meeting of the American Physical Society, Tampa Bay, Florida, November 19 – 21.
- ❖ UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE –USDA– *Software BehavePlus, Fire Behaviour Prediction and Fuel Modelling*, version 5.0.1 (www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr249.pdf)
- ❖ VÉLEZ, R. (Coord.) (2009) *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y Experiencias*. 2ª Edición. Edit. Mc Graw Hill.



COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS MEDIOAMBIENTALES