



MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE ESTADO
DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD
Y EVALUACIÓN AMBIENTAL Y MEDIO NATURAL

**MODELO DE INFORME DE RIESGOS
AMBIENTALES TIPO (MIRAT)
PARA EL SECTOR DE LA FUNDICIÓN**

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

Índice

I.	OBJETO Y ALCANCE.....	1
II.	EQUIPO RESPONSABLE DEL ESTUDIO.....	2
III.	JUSTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO SECTORIAL SELECCIONADO	2
IV.	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	3
IV.1.	Descripción de las instalaciones y actividades	3
IV.1.1.	Fundiciones férreas	9
IV.1.2.	Fundiciones no férreas	10
IV.2.	Descripción del perfil ambiental del sector	11
V.	DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO TERRITORIAL DEL SECTOR	13
V.1.	Identificación de fuentes de información útiles	14
V.1.1.	Fuentes de información para el recurso natural agua.....	14
V.1.2.	Fuentes de información para el recurso natural suelo	15
V.1.3.	Fuentes de información para el recurso natural hábitats	16
V.1.4.	Fuentes de información para el recurso natural especies silvestres	17
V.2.	Orientaciones prácticas a seguir para describir el contexto territorial en los análisis de riesgos particulares.....	17
VI.	BREVE IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES DISPOSICIONES NORMATIVAS Y LEGALES.....	19
VII.	METODOLOGÍA SEGUIDA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS	22
VIII.	IDENTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES RELEVANTES DEL SECTOR.....	26
VIII.1.	Zonificación e identificación de fuentes de peligro.....	27
VIII.1.1.	Zona de proceso.....	27
VIII.1.2.	Zona de moldeo y machería.....	28
VIII.1.3.	Zona de almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	30
VIII.1.4.	Zona de almacenamiento de combustibles.....	31
VIII.1.5.	Zona de tratamiento de aguas de proceso y residuales	31
VIII.1.6.	Zona de transformadores eléctricos	32

VIII.1.7.	Zonas de carga y descarga.....	33
VIII.1.8.	Zonas de sistemas de tuberías	34
VIII.1.9.	Zona de vertedero de residuos no peligrosos.....	34
VIII.2.	Identificación de sucesos iniciadores básicos y sus causas.....	37
VIII.2.1.	Causas de peligro.....	37
VIII.2.2.	Sucesos iniciadores.....	39
VIII.3.	Identificación de escenarios accidentales.....	44
VIII.4.	Protocolos para la asignación de probabilidades.....	47
VIII.4.1.	Asignación de probabilidades a los sucesos iniciadores	48
VIII.4.2.	Asignación de probabilidades a los escenarios accidentales	51
VIII.5.	Protocolos para el cálculo de la cantidad de agente causante del daño	52
VIII.5.1.	Cantidad de agente causante del daño asociada a los sucesos iniciadores.....	53
VIII.5.2.	Cantidad de agente causante del daño asociada a los escenarios accidentales.....	66
IX.	PROTOSCOLOS PARA CUANTIFICAR Y EVALUAR LA SIGNIFICATIVIDAD DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES	70
IX.1.	Estimación de la gravedad de las consecuencias medioambientales mediante el índice de Daño Medioambiental	70
IX.1.1.	Pautas para la selección de la combinación agente causante de daño-recurso natural afectado	73
IX.1.2.	Pautas para la estimación del coeficiente Ecf.....	75
IX.1.3.	Pautas para la estimación del coeficiente A	75
IX.1.4.	Pautas para la estimación del coeficiente Ecu.....	75
IX.1.5.	Pautas para la estimación del coeficiente B	75
IX.1.6.	Pautas para la estimación del coeficiente α	77
IX.1.7.	Pautas para la estimación del coeficiente Ec.....	78
IX.1.8.	Pautas para la estimación del coeficiente p.....	78
IX.1.9.	Pautas para la estimación del coeficiente Macc	78
IX.1.10.	Pautas para la estimación del coeficiente q.....	78
IX.1.11.	Pautas para la estimación del coeficiente C	78
IX.1.12.	Pautas para la estimación del coeficiente Ecr	79

IX.1.13.	Pautas para la estimación del coeficiente E_{cc}	79
IX.1.14.	Pautas para la estimación del coeficiente β	79
IX.1.15.	Pautas para la estimación del coeficiente E_{ca}	79
IX.1.16.	Pautas para la estimación de varias combinaciones agente-recurso.....	79
IX.2.	Selección del escenario de referencia para el cálculo de la garantía financiera	80
IX.3.	Definición de protocolos para cuantificar el daño referente a cada tipología de escenario y evaluar, por parte de cada operador, su significatividad	82
IX.3.1.	Extensión de los daños	83
IX.3.2.	Intensidad de los daños.....	98
IX.3.3.	Escala temporal del daño	101
IX.3.4.	Significatividad del daño.....	102
X.	CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA POR RESPONSABILIDAD MEDIOAMBIENTAL	103
XI.	ORIENTACIONES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL.....	106
XII.	PUNTOS CRÍTICOS	109
XIII.	PLAN DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE RIESGOS SECTORIAL	112
XIV.	BIBLIOGRAFÍA.....	113

XIII. OBJETO Y ALCANCE

El presente trabajo tiene por objeto desarrollar un análisis de riesgos medioambientales sectorial dirigido al sector de las fundiciones, a aplicarse en la fases de operación y explotación de las instalaciones. Dicho análisis se elabora en el marco de la colaboración establecida entre el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y la Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE).

Las fundiciones son instalaciones en las que se funden metales férreos, no férreos y aleaciones para, posteriormente, darles forma definitiva o casi definitiva a través de la colada y la solidificación en un molde. Los dos principales elementos diferenciadores en estas instalaciones son, precisamente, el tipo de metal que se funde y el tipo de molde que se utiliza. De este modo, se pueden diferenciar por un lado fundiciones férreas y no férreas y, por otro, moldes en arenas (verdes o químicas) o en material sólido prefabricado (plástico, madera o acero). El presente análisis se centra en las actividades desarrolladas en el interior de las instalaciones del sector; por lo que se excluye del ámbito de aplicación del mismo cualquier otra actividad, como el transporte por carretera, que exceda dichos límites.

La Federación Española de Asociaciones de Fundidores (FEAF) representa a la mayoría de estas instalaciones en España. En concreto, según datos de 2014, abarca 110 empresas, de las cuales, 40 son fundiciones de hierro, 27 de acero y 43 de otros metales no férreos (principalmente aluminio, cobre, zinc y magnesio). Según el *Documento BREF de la Forja y Fundición del año 2009*, estas empresas son en torno a un 80% PYMES de menos de 250 empleados.

En cuanto a producción, las fundiciones de hierro suponen aproximadamente el 80%, las no férreas un 12% y las de acero un 7%, destinándose sus productos principalmente a la industria de la automoción, la ingeniería general y la construcción.

El grueso de la actividad se localiza en la zona norte de España, principalmente en la cornisa cantábrica, donde País Vasco con 56 instalaciones, junto a Asturias, Cantabria y Navarra, abarcan en torno al 65 % de las fundiciones. El porcentaje restante se reparte entre Cataluña, que tras País Vasco es la comunidad con mayor número (18), Castilla León, Madrid, Comunidad Valenciana, Aragón y Murcia.

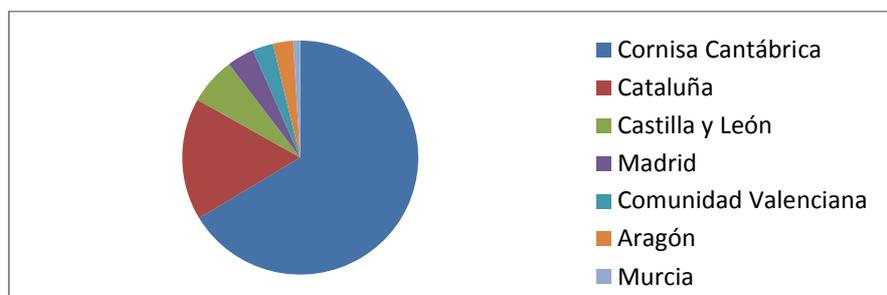


Figura 1. Gráfico de localización de las fundiciones en España. Fuente: FEAF.

XIV. EQUIPO RESPONSABLE DEL ESTUDIO

Este trabajo se ha desarrollado por el Grupo de Valoración Ambiental de la Gerencia de Desarrollo Rural y Política Forestal de Tragsatec S.A., en colaboración con los técnicos y operadores económicos de la Federación Española de Asociaciones de Fundidores (FEAF) y la Confederación Española de Organizaciones Empresariales del Metal (CONFEMETAL)

En concreto, el desarrollo de los trabajos ha contado con la participación de perfiles profesionales de ingenieros o licenciados con más de 5 años de experiencia profesional. En la siguiente tabla se detalla la composición del equipo consultor.

Cargo	Formación académica	Experiencia profesional
Jefa de grupo	Licenciada en Biología	15
Responsable de proyecto	Licenciada en Ciencias Ambientales	14
Técnico de proyecto	Licenciado en Ciencias Ambientales	14
Técnico de proyecto	Ingeniero de Montes	10
Técnico de proyecto	Licenciada en Ciencias Ambientales	9
Técnico de proyecto	Licenciada en Ciencias Ambientales	5

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

XV. JUSTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO SECTORIAL SELECCIONADO

De cara a la valoración de los riesgos ambientales en los sectores, el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental propone la utilización de tres tipos de herramientas de análisis atendiendo a la peligrosidad del sector y a la heterogeneidad de sus procesos, como se indica en la Figura 2.

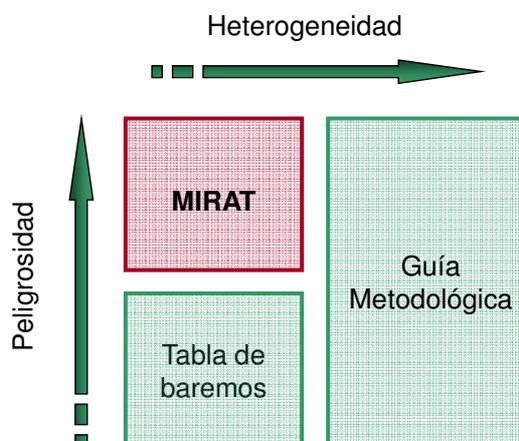


Figura 2. Criterios de selección del tipo de instrumento o herramienta para la elaboración de análisis de riesgos medioambientales sectoriales. Fuente: Elaboración propia a partir de CTPRDM (2011).

En lo que refiere a heterogeneidad el sector se considera ciertamente homogéneo, teniendo una línea de proceso similar en prácticamente la totalidad de sus instalaciones: se parte de la materia prima en forma de material fundido, lingotes, rechazos o chatarras, se realiza el proceso de fundido en los distintos hornos para finalizar con la colada y el moldeo para definir el modelo. Únicamente puede haber diferencias más significativas en cuanto al tipo de moldeo que se utiliza, ya sea en arena o en conformado prefabricado. Sin embargo, las instalaciones que aplican moldeos similares trabajan de manera análoga, presentando las mismas sustancias o equivalentes y generando residuos homogéneos. El resto de diferencias que se pueden presentar, principalmente ligadas a procesos concretos en cada instalación, no se han estimado significativas a efectos prácticos de valoración del riesgo.

Con respecto a la peligrosidad, el sector de las fundiciones se caracteriza por estar localizado principalmente en la zona norte de España, en entornos naturales próximos a cursos de agua y susceptibles de impactos ambientales de carácter importante. Es por ello que uno de los puntos clave a tener en cuenta es la posibilidad de vertido al entorno. Por un lado, en cuanto a sustancias, las empresas del sector pueden requerir la utilización de compuestos peligrosos en grandes cantidades, cuyo vertido puede dar lugar a escenarios accidentales de relevancia. Por otro, durante el funcionamiento habitual de las instalaciones pueden generarse aguas de proceso contaminadas y aguas de refrigeración en gran volumen, que de no ser tratadas previamente a su vertido, también pueden conllevar daños ambientales severos.

Adicionalmente, hay que tener en cuenta las emisiones atmosféricas. Si bien la contaminación atmosférica no queda incluida en la Ley de Responsabilidad Medioambiental (LRM), parte de los procesos que se aplican para minimizar las emisiones llevan asociados la generación de aguas residuales, como ejemplo está el caso del sistema de lavado de gases de las chimeneas de los hornos de fundición.

Igualmente, el sector presenta una tipología de residuos bien definida, que implica tanto residuos no peligrosos, en forma de restos metálicos y arenas no contaminadas, como peligrosos, en forma de aceites, escorias o residuos de arenas químicas.

Por todo lo comentado anteriormente, se ha concluido que la herramienta que mejor se puede ajustar al sector de estudio es el MIRAT.

XVI.DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

XVI.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y ACTIVIDADES

Como se ha indicado previamente, el sector de la fundición basa su actividad en la fusión de un metal y en su posterior disposición en un molde para que solidifique y adopte la forma de la pieza objeto de fabricación. El metal que se funde, en primer lugar, y en segunda instancia el tipo de molde empleado constituyen los principales ejes de diferenciación, al menos en términos de riesgos medioambientales, de las actividades que se desarrollan en el sector.

Proceso principal

El proceso industrial que se desarrolla en las fundiciones presenta suficientes elementos en común —independientemente del metal a fundir y del tipo de molde empleado— para que pueda realizarse una descripción global del mismo, aunque se apunte en cada etapa alguna diferenciación en función del tipo de fundición. En epígrafes posteriores se desarrollarán de forma más detallada dichas diferencias, centrando la identificación y caracterización de las mismas en las repercusiones que generan en términos de riesgo medioambiental.

(1) Almacenamiento de materias primas. Por materias primas se entiende el metal objeto de fundición y otros materiales empleados en el proceso como arenas o compuestos químicos (resinas y catalizadores para moldeo químico y machería).

El metal suele disponerse en forma de chatarra (externa o interna, fruto de retornos del proceso) o, menos frecuentemente, en forma de lingotes. Además existen casos en las fundiciones no férreas, como por ejemplo las de aluminio, en que una proporción variable del metal puede ser recepcionado en la instalación ya fundido.

Las arenas para el moldeo, en caso de que se precisen para la construcción del molde o del macho, se disponen en la instalación en silos o fosos de diversa capacidad, en función de las necesidades de la instalación.

Por su parte, el proceso de fabricación puede exigir otros compuestos químicos (resinas para el molde y/o los machos), que se dispondrán en la instalación en la forma y cantidades que exija el proceso de fabricación (GRG, depósitos de mayor capacidad a presión o atmosféricos, etc.).

(2) Fusión. En esta fase, el metal empleado como materia prima es calentado hasta superar su punto de fusión y convertirse en líquido (o, en el caso de que el metal llegue a la instalación ya fundido, es mantenido en estado líquido). La temperatura alcanzada dependerá del metal empleado: en el caso de las fundiciones férreas dicha temperatura rondará los 1.500°C, mientras que la fundición de los metales no férreos más empleados por esta industria (aluminio, cobre o cinc, por ejemplo) requiere temperaturas sensiblemente inferiores.

Existe una amplia variedad de hornos para el calentamiento del metal hasta su fusión, cada uno de los cuales resulta más o menos idóneo según el metal a fundir y la producción de la instalación. De esta forma, se pueden diferenciar por las temperaturas que pueden alcanzar, las distintas técnicas de calentamiento y, en consecuencia, las fuentes de energía/combustible que requieren (electricidad, gas natural, oxígeno, etc.). Aparte, según el tipo, los diseños son diferentes y las capacidades de fundido también.

(3) Moldeo y/o machería. La elaboración de los machos (machería) y el empleo del moldeo químico requieren de la presencia de una instalación de mezcla de arenas con resinas que, tras reaccionar entre ellas y empleando catalizadores, proporcionen mayor consistencia a la arena.

Este proceso necesita determinados compuestos químicos para su ejecución, con cantidades variables de almacenamiento en función de los requerimientos de la producción.

En machería es común el empleo de dimetiletilamina (DMEA) como catalizador para acelerar el endurecimiento del macho. Este compuesto es altamente inflamable y su sobrante requiere eliminación. De esta forma, la fracción que no reacciona con la resina se suele destruir mediante incineración en un oxidador térmico regenerativo o mediante un scrubber (lavado con ácido sulfúrico, fosfórico...)

(4) Colada. El vertido del metal fundido en el molde se denomina colada. El molde, que incluirá un macho en caso de que la geometría de la pieza a elaborar incluya huecos en su interior, se ha fabricado en paralelo al proceso de fusión y acogerá al metal fundido para que éste, tras enfriarse, adopte la forma requerida. El molde, en función de las características de la pieza a fabricar (metal, tamaño, etc.), puede elaborarse de distintos materiales y formas:

- Molde de arena. Hecho con arena de sílice mayoritariamente (se utilizan a veces arenas de cromita o circonio, por ejemplo), con o sin mezclar con otros compuestos químicos para su estabilización. Es precisamente la naturaleza de este molde/macho una parte importante de las diferencias entre distintos tipos de fundiciones y de instalaciones. El molde se deshace cada vez que se utiliza y la arena se recupera.
- Moldes permanentes. Se realizan en materiales sólidos que se utilizan en sucesivas coladas. Pueden estar hechos en madera, plástico o metal.
- Molde perdido. Se hace un modelo exacto de la pieza a generar, se vierte la colada en el molde y éste se destruye por combustión al entrar en contacto con el metal fundido. El modelo más usual es el de poliestireno, siendo también habituales las resinas sintéticas¹. Es un tipo de moldeo propio de fundiciones de pieza grande.

Una vez el molde ha sido rellenado por la colada, se procede al enfriamiento del metal líquido de manera que adquiere la forma del molde y se solidifica.

(5) Desmoldeo. Tras el enfriamiento y solidificación del metal, es necesario proceder a la extracción de la pieza. En el caso de los moldes de arena, el molde se destruye, generalmente, mediante vibración; en el caso de los moldes permanentes, se procede a la separación de la pieza elaborada del molde, que queda listo para otro ciclo de utilización.

Es común la reutilización de las arenas empleadas en los moldes; por otra parte, el uso de arenas químicas puede exigir también la eliminación de las resinas y aglomerantes empleados, eliminación que se realiza mediante recuperación térmica de la arena.

¹ Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones-Arenas de moldeo en fundiciones férreas. IHOBE y Gobierno Vasco

No obstante, a pesar de recuperarse en un amplio porcentaje, una vez pierden propiedades, constituyen el principal residuo de este tipo de instalaciones dadas las elevadas cantidades que se manejan.

(6) Acabado

- **Granallado.** Tras el desmoldeo, generalmente se procede al granallado de la pieza, es decir, se somete a ésta a un bombardeo con perdigones o bolitas, normalmente de acero. Este proceso permite eliminar imperfecciones superficiales de la pieza fabricada y retirar los posibles restos de arena superficial del molde empleado para su fabricación.
- **Corte / desbarbado.** El relleno del molde con el metal fundido implica no solo la geometría de la pieza sino, también, la presencia de los canales de entrada y salida del metal. El proceso de desmoldeo suele dejar a la vista este tipo de imperfecciones, denominadas rebabas, que han de retirarse de la pieza fabricada.

Con la eliminación de este material sobrante, que vuelve al inicio del proceso para su empleo como materia prima, se concluye la fabricación de la pieza con la geometría requerida.

- **Tratamiento térmico.** Se entiende por tratamiento térmico el conjunto de operaciones de calentamiento, permanencia y posterior enfriamiento de los metales con la finalidad de modificar su estructura y mejorar sus propiedades mecánicas. Es un proceso característico aunque no exclusivo de las fundiciones de acero.

Las instalaciones que tienen este tipo de tratamiento cuentan con hornos específicos para ello. Una vez calentadas en el horno, se pasa a la fase de enfriamiento, que se puede realizar por medio de aire a temperatura ambiente, de aire a presión por ventiladores o sumergiéndolas en piscinas de enfriamiento. El contenido de estas piscinas, especialmente relevante en términos de riesgo medioambiental ante la posibilidad de un eventual derrame, varía según las características concretas de las que se quiera dotar al acero, pudiendo contener agua, agua con aceite, agua con polímeros o agua con sales.

- **Mecanizado.** Mediante el mecanizado se procede a proporcionar a la pieza, en caso de ser necesario, un acabado concreto, según los requerimientos del cliente. Dicho proceso genera material sobrante en forma de virutas, que puede ser empleado de nuevo como materia prima.
- **Ensayos no destructivos.** Con el fin de evaluar que determinados parámetros de calidad de la pieza cumplan los estándares fijados, en ocasiones se realizan ensayos no destructivos que, en función de su naturaleza, pueden suponer la

utilización de sustancias con potencial de generar un riesgo medioambiental, ya sea por su simple vertido o por su inflamabilidad.

- **Decapado.** Con el fin de eliminar las posibles impurezas que pudiera tener la pieza en su exterior (manchas, óxido, etc.), algunas instalaciones proceden a la inmersión de la pieza en ácido. El recipiente que contiene el ácido, de mayor o menor volumen en función de las necesidades de la instalación, se convierte en una fuente de peligro ante una eventual rotura o fuga del mismo y la liberación del ácido.
- **Pintado de piezas.** En ocasiones se procede al recubrimiento de las piezas con pinturas a base de alcohol o de agua para la protección de las mismas hasta su llegada al cliente.

(7) Almacenamiento y expedición. Las instalaciones disponen generalmente de una zona de almacén de producto terminado, que será expedido posteriormente al cliente.

El proceso descrito en las páginas previas suele tener lugar en una o varias naves, cubiertas y hormigonadas en toda o prácticamente toda su superficie; el almacén de materias primas puede situarse al aire libre.

Instalaciones auxiliares

Además de la línea principal del proceso de fundición, en este tipo de plantas se encuentran otras instalaciones que suelen ser comunes dentro del sector, y que podrán variar según las características propias de cada proceso: combustible empleado, condicionantes administrativos y ambientales, características de las piezas, etc. A continuación se exponen las instalaciones auxiliares comunes al sector, escogiendo aquellas con potenciales repercusiones en términos de riesgo medioambiental:

a) Instalaciones para el almacenamiento de otras sustancias químicas y residuos.

Los procesos desarrollados en las distintas plantas requieren del almacenamiento de gran variedad de sustancias químicas. Dichas sustancias suelen ser comunes en las instalaciones que tienen líneas de proceso similares: por ejemplo, en el caso de instalaciones no férreas, es muy común la presencia de grandes depósitos atmosféricos con agua-glicol, sustancia que se utiliza como sustituto del aceite hidráulico para la maquinaria.

El tamaño y número de depósitos de sustancias dependerá del proceso que se lleve a cabo. Por norma general, las sustancias se acopian en zonas cubiertas y hormigonadas con sistema de retención de tipo cubeto y/o red de drenaje cerrada, y suelen presentarse en forma de bidones y GRG o, cuando se exige un volumen de almacenamiento mayor, depósitos fijos de varias decenas de metros cúbicos.

En cuanto a residuos, la tipología que presentan las instalaciones del sector es muy similar entre las distintas fundiciones. Por un lado se presentan residuos no peligrosos en forma de restos metálicos, escorias, papel, cartón, plásticos, maderas y, en

instalaciones con moldeo en arenas, los finos no reutilizables. En relación con los residuos peligrosos, estas instalaciones se caracterizan por generar absorbentes, envases contaminados, aceites lubricantes o, en las instalaciones férreas, de pieza mediana/pequeña, polvo de zinc.

Los residuos no peligrosos se pueden encontrar al aire libre en las distintas instalaciones, sin embargo, para el caso de los tóxicos, siempre se localizan bajo estructuras techadas y en zonas hormigonadas con sistemas de retención.

- b) Almacenamiento de combustibles.** Según el proceso llevado a cabo en cada fundición, los requerimientos de combustibles son distintos. Es muy habitual la presencia de estaciones de regulación y medida (ERM) de gas natural, de hecho, en algunas instalaciones el gas natural es el combustible principal de los hornos. También es muy común que haya depósitos de gasoil, ya sea subterráneos o aéreos, que se utilizan para abastecer al parque móvil.

Algunas instalaciones, en concreto las fundiciones férreas que precisen alcanzar elevadas temperaturas en los hornos de fusión, pueden requerir de una combustión enriquecida por oxígeno y, por tanto, disponer de depósitos de este gas de volumen y condiciones de almacenamiento variables (gaseoso, criogénico, etc.).

- c) Tratamiento de aguas de proceso y residuales.** La propia actividad de este sector implica, en algunas instalaciones del sector, la generación de aguas contaminadas, principalmente aguas de proceso manchadas de aceites lubricantes. Por otro lado, es muy común la presencia de circuitos de refrigeración que permiten mantener la temperatura de los hornos bajo control.

Las aguas contaminadas pueden ser tratadas de forma previa a su vertido mediante tratamientos de depuración físico-químicos y/o biológicos, que controlan que se cumplan los parámetros de calidad exigidos por la normativa o en la autorización ambiental correspondiente. En lo que se refiere a las aguas calientes de refrigeración, el sistema de control de temperatura e inoculación de biocidas puede estar externalizado.

En algunas instalaciones de tipo no férreas que no generan gran volumen de aguas contaminadas pueden disponer de evaporadores que “destilan” las aguas residuales, dando lugar a lodos que posteriormente son tratados como residuo peligroso.

- d) Transformadores eléctricos.** Las instalaciones presentan prácticamente en su totalidad transformadores de tensión para sus requerimientos de energía eléctrica. Principalmente son transformadores de aceite sin PCB, aunque también es habitual la existencia de transformadores secos.

En páginas previas se han descrito los procesos e instalaciones que, independientemente del tipo de fundición (férrea o no férrea) y del tipo de moldeo que empleen (arenas verdes, moldeo

químico, moldes permanentes, etc.), se desarrollan o están presentes de forma generalizada en el sector.

A continuación se recogen algunos comentarios concretos pero no exclusivos respecto a procesos o instalaciones más comunes según el tipo de metal empleado como materia prima en la fundición.

XVI.1.1. Fundiciones férreas

Este tipo de instalaciones emplean como materia prima el hierro o sus aleaciones, entre las que cabe destacar el acero en sus diferentes configuraciones. El punto de fusión de estos materiales, que supera los 1.500°C, exige de moldes fabricados en un material resistente a esas temperaturas, por lo que la arena de sílice, mezclada con otras partículas o sustancias químicas, es el material más empleado por estas instalaciones para la elaboración de los moldes.

La principal diferencia, al menos en términos de riesgo medioambiental, entre fundiciones férreas surge del tipo de moldeo que empleen: moldeo en verde o moldeo químico.

XVI.1.1.a. Moldeo en verde

La arena de sílice (o de otro material), en ocasiones mezclada con otros componentes (hulla, bentonita, etc.), es humedecida y, mediante presión, adopta la forma requerida para el molde. Este tipo de moldeo se emplea, generalmente, para la fabricación de piezas de hierro o acero de pequeño tamaño.

En este tipo de fundiciones, el uso de productos químicos se reduce, dentro de la línea de proceso principal, a la fabricación, en su caso, de los machos (machería) y otras actividades relacionadas con la línea de proceso (biocidas en las torres de refrigeración del agua empleada para enfriar los hornos, productos empleados en los tratamientos térmicos al acero, etc.), además de determinadas actividades auxiliares independientes del proceso (almacenamiento de combustible, transformadores eléctricos, etc.).

XVI.1.1.b. Moldeo químico

En este caso, a la arena de sílice se le añaden resinas para mejorar su consistencia y estabilidad, resultando este proceso especialmente útil, cuando no absolutamente necesario, para la fabricación de piezas de hierro o acero de mediano o gran tamaño.

Este tipo de fundiciones puede requerir de importantes cantidades de resinas y catalizadores almacenadas en la instalación, añadidos a otros productos químicos que, en mayor o menor cantidad, necesite el operador como los comentados en el moldeo en verde.

Aunque el moldeo químico más extendido en la actualidad es el orgánico (esto es, el empleo de resinas de base orgánica), existen algunos operadores que han migrado o se plantean migrar al uso de resinas inorgánicas, menos peligrosas desde el punto de vista medioambiental y de seguridad laboral.

Por otra parte, el moldeo por molde perdido, común en la fabricación de piezas grandes de hierro o acero, suele realizarse de forma complementaria al moldeo químico: el modelo de poliésterino o resinas es recubierto de las arenas químicas; posteriormente, la colada destruye dicho modelo por calor y rellena los huecos confinados por las arenas químicas.

Existen otras variantes del moldeo químico (moldeo en cáscara, por ejemplo) o, incluso, moldeos de este tipo pero que no emplean arenas (moldeo a la cera perdida); en términos de riesgos medioambientales, lo que caracteriza a este tipo de moldeo frente al verde es, independientemente de su naturaleza más concreta, la necesidad de almacén y acopio de sustancias químicas (resinas, aglomerantes, ceras, etc.), ya sea en mayor número y/o cantidad.

XVI.1.2. Fundiciones no férreas

En el caso de las fundiciones no férreas, si bien no puede descartarse el uso puntual de arenas para la fabricación del molde o machos, lo más común es la utilización de los denominados utillajes, que son moldes permanentes (pueden llegar a soportar varios miles de usos) construidos en diversos materiales (acero, madera, etc.).

En este tipo de fundiciones que emplean utillajes como moldes, la producción de residuos se disminuye significativamente al reducir o eliminar la generación de finos de arena (principal residuo no peligroso de las fundiciones férreas).

Por otra parte, un rasgo común en estas instalaciones es la utilización de agua-glicol en lugar de aceites hidráulicos minerales o sintéticos para el funcionamiento de la maquinaria, lo que suele exigir el almacenamiento de esta sustancia en cantidades elevadas y la necesidad de sistemas de recogida y gestión de posibles derrames, tanto del almacenamiento como desde la propia maquinaria por corrosión.

XVI.2. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL AMBIENTAL DEL SECTOR

El sector de la fundición posee un perfil ambiental cuyos componentes podrían definirse a partir de dos aspectos fundamentales: un elevado consumo de energía, empleada para la generación de calor para la fusión de los metales, y una notable producción de residuos, especialmente residuos no peligrosos, principalmente inertes. El consumo de materias primas se centra en el propio metal (es muy importante el uso de materiales reciclados como materia prima) y en las arenas empleadas para el moldeo que, como se comentará a continuación, suponen el origen de la mayor parte de los residuos generados por este tipo de instalaciones.

Los hornos empleados por el sector para la fusión de los metales suponen un importante consumo de energía, debido a las elevadas temperaturas a las que dichos metales adquieren el estado líquido (alrededor de los 1.500°C para las fundiciones férreas o entre 400°C y 1.000°C para la mayoría de las fundiciones no férreas). Dichos hornos pueden estar alimentados, principalmente, por gas natural, siendo muy común la presencia de estaciones de regulación y medida en las instalaciones del sector, o por electricidad, como en el caso de los hornos de inducción que también son muy habituales.

Este relevante consumo energético del sector supone la generación de gases contaminantes, ya sean de forma directa por la combustión del gas natural, carbón o coque o indirecta por el consumo de electricidad; la LRM no considera a la atmósfera como recurso natural que pueda soportar un daño medioambiental (únicamente lo contempla como posible vector de contaminación sobre otros recursos), por lo que la relevancia de este importante consumo energético del sector en términos de responsabilidad medioambiental no vendrá dado, generalmente, por los gases contaminantes emitidos por los distintos hornos.

Sin embargo, de forma indirecta, este elevado consumo energético sí lleva unido un componente que puede implicar consecuencias en el ámbito de la responsabilidad medioambiental: el riesgo de incendio por el trabajo a altas temperaturas y la necesidad de recurrir a la refrigeración de determinados equipos de la instalación.

De nuevo, al estar la atmósfera fuera de los recursos contemplados por la LRM, la relevancia de los incendios en términos de responsabilidad medioambiental deriva de la posibilidad de que el incendio se extienda al medio natural (no resulta anecdótica la proximidad de estas instalaciones a masas forestales) o de que las aguas de extinción puedan resultar contaminadas por productos presentes en la instalación y acaben afectando al suelo, al agua y/o a las especies y hábitats cercanos.

Otro componente de la actividad del sector de la fundición relacionado con el trabajo a altas temperaturas es la necesidad de refrigerar determinados equipos para garantizar la operatividad y seguridad de la instalación. Ello implica un uso del agua que habría de considerarse como no consuntivo pero que sí supone o puede suponer una alteración del recurso, especialmente en casos de funcionamiento anormal; el vertido de agua caliente de refrigeración a una masa de agua superficial puede suponer una alteración relevante del ecosistema. De hecho, el vertido de agua de refrigeración lleva asociado una temperatura, ya

sea absoluta o relativa, permitida, por encima de la cual se estarían incumpliendo las condiciones de operación admitidas para la instalación.

En lo que refiere a materias primas, aquellas instalaciones que emplean arenas en la fabricación del molde y/o de la machería (principalmente, aunque no de forma exclusiva, fundiciones férreas) realizan un consumo importante de este material, mayoritariamente en forma de arenas de sílice. A pesar de que las fundiciones tienen un sistema de recuperación de arenas, ya sean de moldeo o de machería, que les permite la reutilización de un porcentaje muy significativo, mayor al 90%, tras la operación de desmoldeo, las arenas van perdiendo propiedades con el uso y cierta proporción no puede ser reutilizada para la fabricación de nuevos moldes o machos. Esto supone la generación de un residuo, generalmente no peligroso (la arena de moldeo agotada y los finos de arena) e inerte, que, por lo general, se convierte en el principal residuo de la instalación por volumen generado y que es tratado normalmente mediante gestor autorizado (son minoritarias las instalaciones que disponen de vertedero propio, ya sea para estos finos de arena y/o para las escorias generadas en el proceso de fusión del metal) (ver Anejo Informativo).

La producción de residuos peligrosos suele ser significativamente menor que la de residuos no peligrosos inertes; únicamente aquellas fundiciones férreas que utilizan chatarras con galvanizado, por ejemplo, pueden generar finos en el proceso de fusión cuyo contenido en metales pesados (polvo de zinc o plomo) los convierten en residuos peligrosos, aumentando con ello la generación de este tipo de residuos. Sin embargo, lo más común es la generación de aceites (empleados como lubricantes de la maquinaria y/o del parque móvil de la instalación), taladrinas (mezcla de agua y aceites, empleadas para la lubricación y refrigeración de la actividad de corte o mecanizado del producto fabricado), envases contaminados (ya sea porque contienen residuos peligrosos o por presentar materias primas empleadas por la instalación) y otros (baterías, fluorescentes, etc.).

Por otra parte, además de suponer la principal fuente de residuos, tal y como se ha comentado en párrafos previos, la utilización de arenas en estas instalaciones supone también la emisión de partículas (PM₁₀) y la aparición de los efectos contaminantes de las mismas en la atmósfera. Con el fin de controlar estas emisiones, las instalaciones del sector suelen disponer de sistemas de depuración de emisiones atmosféricas (por ejemplo, filtros de mangas), que permiten reducir las emisiones de este tipo de contaminantes (partículas en suspensión) y otras sustancias fruto del calentamiento del metal (humos metálicos, etc.). Los residuos generados por estos filtros de mangas son tratados como residuos peligrosos o no según el tipo concreto.

La utilización de productos químicos por el sector viene determinada, sino de forma exclusiva sí de manera muy determinante, por el tipo de moldeo empleado (moldeo en verde o químico), que a su vez suele depender del tamaño de la pieza: las piezas más grandes, especialmente en el caso de las fundiciones férreas, requieren que las arenas empleadas como molde tengan mayor consistencia, lo cual se consigue mediante la utilización de resinas que proporcionan al molde de arena la estabilidad necesaria. El consumo de estos productos químicos (y, por tanto, la necesidad de acopio de los mismos en las instalaciones) depende del tamaño de las piezas

empleadas y del tipo de moldeo, pudiendo ser necesario el almacén de cantidades importantes de los mismos y generando con ello un riesgo medioambiental ligado a su presencia.

Independientemente del tipo de moldeo (en verde o químico), la utilización de machos para la definición de la geometría interna de la pieza (huecos, canales, etc.) suele exigir la utilización de arenas químicas. Sin embargo, las exigencias de almacén de resinas y catalizadores para la producción de machos suelen ser menores (comparándolas con las que aparecen por la utilización de moldeo químico para la fabricación de piezas grandes, por ejemplo).

En definitiva, el almacén y utilización de productos químicos en este tipo de instalaciones puede ser desde poco importante, en forma de algunos GRG de resinas, catalizadores, bidones, botellones, botes, etc., hasta muy relevante, con depósitos de varias decenas de metros cúbicos de producto.

Por último, y con relevancia en términos de responsabilidad medioambiental por su posible deriva en incendio con afecciones a los recursos naturales (por el propio incendio o por aguas de extinción contaminadas), cabe mencionar la existencia de zonas donde pueden generarse atmósferas explosivas. Estas zonas ATEX se asociarán no solo a la presencia de equipos de almacén o recepción de distintas sustancias, desde las empleadas como combustibles (depósito de gasóleo para parque móvil de la instalación o estación de regulación y medida de gas natural) hasta el almacenamiento de pinturas y alcoholes para el pintado de piezas y/o de moldes de arena, sino también a la posible presencia de polvo de metal, especialmente en el caso de las fundiciones de aluminio y otros metales no férreos, que, en condiciones muy determinadas, podría dar lugar a un incendio o explosión.

XVII. DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO TERRITORIAL DEL SECTOR

Tal y como se ha comentado anteriormente, la localización geográfica de las empresas del sector (alrededor de dos tercios del total) se concentra en la Cornisa Cantábrica (País Vasco, Principado de Asturias, Cantabria y Comunidad Foral de Navarra), siendo el País Vasco la comunidad autónoma que más instalaciones concentra (más del 50% del total).

De esta forma, puede afirmarse que dos tercios de las empresas del sector de la fundición en España se ubican en territorios peninsulares con clima oceánico, caracterizado por abundantes precipitaciones (generalmente, por encima de los 1.000 mm al año) y temperaturas suaves. Las precipitaciones son menores y las temperaturas mayores durante los meses del verano, pero con una diferencia respecto a los meses más lluviosos y menos cálidos mucho menor que en otros climas del país.

Las elevadas precipitaciones de estas regiones y su accidentada orografía configuran una red de drenaje natural (ríos y arroyos) muy densa, al menos significativamente más densa que en ambientes continentales o mediterráneos propios de otras zonas peninsulares.

Las condiciones climáticas anteriormente referidas favorecen la aparición de abundante vegetación originariamente de frondosas pero que, en muchos casos, ha sido sustituida por coníferas; por otra parte, la orografía accidentada del tercio norte peninsular ha favorecido los

usos del suelo forestales frente a los agrícolas. En definitiva, las regiones donde mayoritariamente se ubican las fundiciones en España se caracterizan por la abundancia de terrenos forestales, ya sean arbolados, de matorral o de pastos.

De esta forma, y aunque un porcentaje mayoritario de las empresas del sector se ubica en polígonos industriales, esto es, en suelos que podrían calificarse como urbanos, resulta frecuente la cercanía de vegetación natural, en muchas ocasiones arbolado, y de masas de agua superficial, ríos y arroyos especialmente. Esta información sobre las características más comunes de la ubicación de las empresas del sector debe guiar de alguna forma el desarrollo del presente MIRAT, que atenderá con especial atención los daños medioambientales que pudieran causarse al agua, tanto subterránea como superficial, y a las especies silvestres, especialmente las especies vegetales. En cualquier caso, como es lógico, el MIRAT resultará igualmente útil para aquellas empresas cuyo entorno sea distinto al más generalizado que rodea a las empresas del sector.

XVII.1. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN ÚTILES

La evaluación del riesgo medioambiental exige del conocimiento de las características del entorno al que puede afectar un determinado daño generado por una instalación. La LRM define como daño medioambiental a los efectos adversos significativos generados al agua, al suelo, a los hábitats, a las especies silvestres y a la ribera del mar y de las rías. Es por ello por lo que la disponibilidad de fuentes de información para la caracterización de dichos recursos naturales facilitará la evaluación del riesgo medioambiental de cualquier instalación.

En las siguientes páginas se realiza un recorrido, con fines meramente indicativos y sin ánimo de exhaustividad, de las fuentes de información de carácter público, ámbito nacional y disponibles a través de Internet existentes sobre los recursos contemplados por la LRM: agua, suelo, hábitats y especies (la ribera del mar y de las rías, a efectos de caracterización, se considera incluida en uno o varios de los recursos anteriormente citados). A las fuentes indicadas en las páginas siguientes, los distintos operadores podrán añadir cualquier otra fuente de información pública (de carácter autonómico o local, por ejemplo) o privada, para caracterizar el entorno natural susceptible de verse afectado por un potencial daño medioambiental.

XVII.1.1. Fuentes de información para el recurso natural agua

Dentro del recurso natural agua hay que considerar las aguas continentales, ya sean superficiales o subterráneas, y las aguas marinas, así como los lechos de las mismas, adoptando con ello una visión amplia del recurso.

El Sistema Integrado de Información del Agua (SIA) y el Libro Digital del Agua (LDA), ambos elaborados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), se configuran como la principal fuente de información, tanto alfanumérica como cartográfica, sobre las masas de agua españolas. En concreto, ofrece los siguientes datos:

- Localización de las masas de agua superficial.

- Localización de las masas de agua subterránea.
- Localización de las masas de agua de transición y costeras.
- Datos sobre el estado cuantitativo y cualitativo de las aguas.
- Redes de medida de variables hidrológicas.

El SIA permite la consulta de información a través de formularios (identificando, por ejemplo, provincia y municipio), lo que facilita la utilización de esta fuente.

En relación con las aguas subterráneas, el Sistema de Información de Recursos Subterráneos (SIRS) informa sobre el nivel piezométrico de numerosos sondeos realizados por todo el país, dato clave a la hora de evaluar la posible afección a las aguas subterráneas de un vertido o derrame de sustancias contaminantes.

La información sobre caracterización de las aguas marinas, especialmente de aquellas no incluidas entre las masas de agua de transición y costeras, es relativamente escasa. No obstante, la página web de Puertos del Estado ofrece datos históricos sobre oleaje (histograma de frecuencia de altura, rosa de oleaje, etc.), temperatura del agua, corrientes, salinidad, etc. de distintos puntos distribuidos por las aguas marinas españolas. De forma adicional, el Sistema de Información Nacional de Aguas de Baño NÁYADE del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad ofrece información sobre la aptitud de zonas de baño interiores y costeras; la utilidad de estos datos para la caracterización del entorno con el objetivo de informar al análisis de riesgos medioambientales ha de evaluarse con prudencia, pues NÁYADE informa sobre la aptitud de las aguas en términos de daños a la salud humana, receptor que no está contemplado en la LRM.

XVII.1.2.Fuentes de información para el recurso natural suelo

Los parámetros del recurso suelo que tienen más relevancia en términos de responsabilidad medioambiental hacen referencia, por un lado, a las propiedades físicas, químicas y biológicas que influyen en la movilidad del contaminante por el recurso y, en su caso, en su transformación física, química o biológica en compuestos más o menos contaminantes y, de forma adicional, en el estado básico del recurso a efectos de significatividad del daño medioambiental generado por un vertido o derrame de sustancias contaminantes.

La especificidad geográfica de las características de un suelo, ya sean físicas —textura, estructura, permeabilidad, porosidad, etc.—, químicas —pH, concentración de distintas sustancias químicas, etc.— y biológica —actividad microbiana, fauna, etc.—, convierten a los informes técnicos específicos realizados por el operador en otros ámbitos legislativos o técnicos (legislación relativa a contaminación de suelos, geología y edafología de la zona con fines de estabilidad estructural de edificios e infraestructuras, etc.) en la principal fuente de información sobre este recurso. En cualquier caso, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), del Ministerio de Economía y Competitividad, tiene a disposición del público un visor cartográfico con distintos servicios (geológico, litologías, permeabilidad, hidrogeología, etc.) con potencial utilidad en la caracterización del suelo a efectos de riesgo medioambiental.

Por último, y relevante en términos de definición del estado básico del recurso —situación original en la que se encuentra el suelo previamente a la ocurrencia de un accidente—, ha de tenerse en cuenta el correspondiente inventario de suelos contaminados del que pueda disponer la administración autonómica correspondiente en virtud del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

XVII.1.3.Fuentes de información para el recurso natural hábitats

Si bien la LRM define hábitat, como recurso susceptible de sufrir un daño medioambiental, como las zonas terrestres o acuáticas bajo protección de la Directiva 79/409/CEE (Directiva Aves) o de la Directiva 92/43/CEE (Directiva Hábitats) o de otras normas comunitarias, estatales, autonómicas o Tratados Internacionales, el hecho de que la recuperación de las especies silvestres requiera la recuperación de su hábitat en sentido amplio sugiere, atendiendo a un criterio de precaución, la consideración de hábitats tanto a los espacios naturales protegidos por cualquier figura como a aquellos espacios sin una figura de protección específica en los que puedan encontrarse especies silvestres.

En el presente MIRAT se recomienda, por una cuestión práctica y en coherencia con el tratamiento que se les da en el Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA), definir a los hábitats atendiendo a la fracción vegetal de los ecosistemas; el resto de componentes del ecosistema quedarían cubiertos en términos de responsabilidad medioambiental por los otros recursos considerados en la LRM (agua, suelo y especies silvestres).

Siguiendo este enfoque de caracterizar a los hábitats atendiendo a la fracción vegetal de los ecosistemas y de considerar a los espacios naturales independientemente de su nivel de protección ambiental, de cara a la identificación y caracterización de los hábitats como recurso susceptible de sufrir un daño medioambiental, tal y como es considerado en el ámbito de la responsabilidad medioambiental, el analista deberá atender a los siguientes dos aspectos:

- 1) Espacios Naturales Protegidos, hábitats prioritarios, espacios protegidos Red Natura 2000 y restantes elementos del territorio objeto de especial atención o protección ambiental presentes en los alrededores más o menos inmediatos de la instalación.
- 2) Diferentes tipos de vegetación presentes en el entorno de la instalación.

Entre las fuentes de información y de cartografía existentes a nivel nacional que responden a estas necesidades de documentación para la caracterización de los hábitats caben mencionar las siguientes, todas ellas incluidas dentro del Banco de Datos de la Naturaleza (BDN) del MAGRAMA:

- Cartografía de espacios naturales protegidos y Red Natura 2000.
- Mapa Forestal de España.
- Inventario Forestal Nacional.

XVII.1.4.Fuentes de información para el recurso natural especies silvestres

En el ámbito del presente MIRAT se entiende que el recurso especies silvestres hace referencia a las especies animales, ya que las especies vegetales pueden incluirse, como se ha argumentado en el apartado anterior, dentro de los hábitats.

La caracterización del entorno en relación con las especies animales enfrenta al analista a un doble reto. Por una parte, la movilidad del recurso introduce un componente de incertidumbre al no poder conocerse si, tras un evento no deseado con repercusiones sobre el medio natural, pudieran verse afectados individuos de determinadas especies. Por otro lado, y en cierto modo relacionado con el reto anterior, no se ha localizado, como sería deseable, una fuente de datos que proporcione el número de individuos existente en cada porción del territorio nacional.

Ambas circunstancias pueden dificultar la caracterización precisa de este recurso natural, por lo que resulta admisible un menor nivel de concreción y mayor incertidumbre en la caracterización del mismo. No obstante, el analista ha de explorar la posibilidad de que existan fuentes de información alternativas procedentes de la Administración autonómica competente, de los órganos de gestión de algunos espacios naturales protegidos o, incluso, de fincas privadas que puedan complementar los datos disponibles a nivel nacional.

En cualquier caso, y aunque el nivel de precisión que proporcionan obligue a una concreción posterior para la caracterización de las especies animales silvestres en el marco de un análisis de riesgos medioambientales, se recogen a continuación las fuentes de información existentes a nivel nacional en relación con especies animales:

- El Banco de Datos de la Naturaleza (BDN) publica en Internet el Inventario Español de Especies Terrestres, que proporciona un listado de especies —mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces continentales, invertebrados y flora— presentes en cada una de las celdas de 10x10 km en las que se divide el territorio nacional.
- La misma fuente (BDN) publica también el Inventario Español de Especies Marinas, aunque proporciona datos parciales al encontrarse aún en pleno desarrollo.
- Las Confederaciones Hidrográficas, órganos de gestión del agua a nivel de cuenca hidrográfica, pueden disponer de información sobre censos piscícolas, especialmente relevantes en entornos donde exista un embalse que pueda sufrir un daño medioambiental.
- Una fuente de datos complementaria al Inventario Español de Especies Terrestres, en lo que a fauna piscícola se refiere, es la red ID-TAX, que recoge datos sobre presencia y ausencia de las principales especies piscícolas en una serie de puntos de muestreo. Esta fuente ofrece mayor precisión que el Inventario Español de Especies Terrestres, pues sustituye las celdas de 10x10 kilómetros por puntos de muestreo concretos.

XVII.2. ORIENTACIONES PRÁCTICAS A SEGUIR PARA DESCRIBIR EL CONTEXTO TERRITORIAL EN LOS ANÁLISIS DE RIESGOS PARTICULARES

Las fuentes indicadas en el epígrafe anterior permiten al analista, en ocasiones de forma necesariamente complementaria con otras fuentes de información, describir el contexto territorial en el que se emplaza la instalación objeto de evaluación de riesgos medioambientales.

Con el fin de mejorar la eficiencia en la elaboración del MIRAT, se recomienda centrar la descripción del contexto territorial de los análisis de riesgos medioambientales particulares en aquellos componentes con mayores incidencias en términos de responsabilidad medioambiental, esto es, en los recursos agua, suelo, hábitats y especies silvestres. En este sentido, el régimen jurídico de responsabilidad medioambiental no contempla los daños a los seres humanos² (impactos sobre la salud de la población, accidentes laborales, etc.), a bienes privados (posibles afecciones a cultivos o a bienes inmuebles, por ejemplo) —salvo que estos recursos influyan de alguna manera en los daños a los recursos contemplados por la LRM— ni la contaminación atmosférica —salvo que la atmósfera actúe como vector de la contaminación y se acabe afectando a uno de los recursos contemplados por la LRM (nubes tóxicas, emisión de partículas que se depositan en el medio, etc.)—.

En definitiva, la descripción del contexto territorial ha de permitir que las circunstancias concretas del operador respecto a su situación geográfica y, con ello, respecto a los recursos naturales sean tenidos en cuenta en el resultado del análisis de riesgos medioambientales particular.

El analista puede identificar dos puntos destacados del proceso de evaluación del riesgo medioambiental que, con exigencias documentales diferentes, determinan la profundidad de la descripción del contexto territorial que el análisis de riesgos ha de alcanzar como mínimo:

- Con el Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo, por el que se modifica el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, se establece el denominado **Índice de Daño Medioambiental (IDM)** como un estimador semicuantitativo del daño medioambiental asociado a un escenario accidental concreto y que se empleará para la selección del escenario de referencia sobre el que se realizará el cálculo de la garantía financiera.

El IDM habrá de estimarse, como se desarrollará en el apartado IX.1 del presente MIRAT, para cada escenario accidental relevante obtenido en el análisis de riesgo medioambiental de la instalación. Para su cálculo, en función de las combinaciones agente-recurso definidas como posibles en el presente MIRAT (ver Tabla 10), el analista habrá de recopilar la información que se requiera respecto a los recursos naturales en función de los coeficientes del IDM que apliquen.

En realidad, la relación entre descripción del contexto territorial de la instalación y el cálculo del IDM es bidireccional, pues si bien la identificación de las combinaciones agente-recurso exige de una descripción, siquiera muy básica, del entorno de la

² No obstante, debe indicarse que los daños con efectos demostrados en la salud humana tendrán en todo caso carácter significativo, conforme a lo dispuesto en el anexo I.1 de la Ley 26/2007, de 23 octubre.

instalación (a modo de ejemplo, únicamente si existe un río en las proximidades de la instalación resultará relevante la combinación agua superficial-químicos), el posterior cálculo del IDM exigirá al analista la recopilación de información relativa a las características de la masa de agua superficial (cauce o lago o embalse y caudal, por ejemplo), que permitirá nutrir, precisamente, la descripción del contexto territorial.

De esta forma, el IDM puede constituirse como una guía bastante precisa de los aspectos a cubrir y de la profundidad del análisis a realizar del contexto territorial en el que se ubica la instalación objeto de evaluación de riesgo medioambiental.

- Por otra parte, el proceso de **cuantificación del daño medioambiental** (esto es, la caracterización del daño en términos de extensión, intensidad y escala temporal) exigirá también de la recopilación de ciertos parámetros que informen, especialmente, sobre la movilidad del contaminante en el recurso natural y los cambios de ambos en su interacción.

El proceso de cuantificación del daño medioambiental se realiza únicamente sobre el escenario de referencia, escogido siguiendo el procedimiento establecido en el artículo 33.2 del Reglamento de Desarrollo Parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental. De esta forma, los requerimientos de información respecto a las características de los recursos potencialmente afectados serán, por lo general, muy concretos (porosidad del suelo cuando se produzca un derrame de un producto químico al mismo o profundidad del nivel freático para evaluar la posibilidad de afección a las aguas subterráneas) y, por ello, quizás presenten un nivel de exigencia mayor para su recopilación; sin embargo, se concentrarán estos requerimientos específicos de información respecto a la descripción del contexto territorial en parámetros escogidos y con evidentes efectos sobre el resultado del análisis de riesgos medioambientales.

De esta forma, tanto el cálculo del IDM como el proceso de cuantificación permitirán al analista enfocar el proceso de descripción del contexto territorial de la instalación, si bien dicha descripción no ha de circunscribirse estrictamente a los parámetros que esos dos procedimientos exigen.

XVIII. BREVE IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES DISPOSICIONES NORMATIVAS Y LEGALES

Se han identificado las siguientes disposiciones legales relevantes para el sector de la fundición. Esta relación, sin ánimo de ser exhaustiva, recoge únicamente normativa de ámbito nacional (como se ha indicado, existen instalaciones en varias Comunidades Autónomas), por lo que se indica a los operadores que han de atender adicionalmente a las disposiciones legales vigentes en la Comunidad Autónoma donde opere la instalación.

Normativa sobre almacenamiento de productos químicos:

- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7.
 - Corrección de errores del Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7.
 - Real Decreto 105/2010, de 5 de febrero, por el que se modifican determinados aspectos de la regulación de los almacenamientos de productos químicos y se aprueba la instrucción técnica complementaria MIE APQ-9 «almacenamiento de peróxidos orgánicos».

Normativa sobre distribución y utilización de combustibles gaseosos:

- Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.
 - Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, por el que se modifican diversas normas reglamentarias en materia de seguridad industrial para adecuarlas a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.
 - Corrección de errores del Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, por el que se modifican diversas normas reglamentarias en materia de seguridad industrial para adecuarlas a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.
 - Real Decreto 984/2015, de 30 de octubre, por el que se regula el mercado organizado de gas y el acceso de terceros a las instalaciones del sistema de gas natural.

Normativa sobre instalaciones eléctricas de alta tensión:

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
 - Corrección de errores del Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de

seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-RAT 01 a 23.

Normativa sobre seguridad contra incendios en establecimientos industriales:

- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
 - Corrección de errores y erratas del Real Decreto 2267/2004, 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Normativa sobre instalaciones de protección contra incendios:

- Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
 - Orden de 16 de abril de 1998, sobre normas de procedimiento y desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios y se revisa el anexo I y los apéndices del mismo.
 - Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, por el que se modifican diversas normas reglamentarias en materia de seguridad industrial para adecuarlas a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.
 - Corrección de errores del Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, por el que se modifican diversas normas reglamentarias en materia de seguridad industrial para adecuarlas a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

Normativa relacionada con la responsabilidad medioambiental:

- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
 - Ley 11/2014, de 3 de julio, por la que se modifica la ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- 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.
 - Real Decreto 183/2015, por el que se modifica el Reglamento de Desarrollo Parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad

Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre.

Otra normativa:

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
 - Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
 - Ley 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.
 - Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueba medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Norma UNE 150.008 "Análisis y Evaluación del Riesgo Ambiental".

XIX.METODOLOGÍA SEGUIDA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS

El artículo 33.2 del 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 establece que el cálculo de la cuantía de la garantía financiera ha de partir de un análisis de riesgos medioambientales de la actividad. Por otra parte, el mismo Reglamento, en su artículo 34.1, indica que dicho análisis de riesgos medioambientales ha de realizarse siguiendo el esquema establecido por la norma UNE 150.008 u otras normas equivalentes.

En las siguientes páginas se muestra el esquema que han de seguir los análisis de riesgos medioambientales a realizar en el ámbito de la responsabilidad medioambiental con base en la norma UNE 150.008.

1. Identificación de causas y peligros

La primera etapa del proceso de evaluación del riesgo medioambiental es la identificación exhaustiva de las fuentes de peligro relevantes presentes en las instalaciones y actividades realizadas por los operadores.

Se pueden definir como fuentes de peligro tanto los elementos o equipos —almacenamientos, depósitos, tuberías, vehículos, etc.— como las actividades —carga y descarga, trasiegos, etc.— susceptibles de generar un episodio no deseado, accidental, que desencadene un daño medioambiental. En el presente MIRAT, como instrumento de análisis de riesgos medioambientales sectoriales que es, se enumerarán únicamente aquellas fuentes de peligro más comunes y/o representativas del sector (en este caso, del sector de la fundición); los operadores, en el proceso de su análisis de riesgos medioambientales particular, habrán de evaluar si en su instalación y actividad existen fuentes de peligro relevantes distintas a las definidas en el instrumento sectorial para, en su caso, incorporarlas al análisis.

De forma paralela a la concreción de las fuentes de peligro se irán reconociendo las causas que pueden determinar la materialización de la fuente de peligro como generadora de un daño medioambiental: por ejemplo, siendo una fuente de peligro una tubería aérea por la que se transporta un líquido combustible, entre las causas que han de manifestarse para que se genere un daño medioambiental, al menos en potencia, podrían incluirse la corrosión de la tubería o su rotura debido a un impacto de un vehículo porque en sus cercanías pueda haber tráfico de carretillas.

La identificación de las causas no resulta tan relevante durante el análisis de riesgos como lo puede ser a modo de herramienta para la gestión del riesgo medioambiental de la instalación o actividades objeto de evaluación. Y es que la existencia de una fuente de peligro puede no implicar necesariamente la aparición de un suceso susceptible de generar un daño; en un extremo idealista, la eliminación de absolutamente todas las causas por las que la fuente de peligro puede ser el origen de un daño medioambiental permitiría ignorar a la misma en el proceso de análisis de riesgos. Siendo imposible la eliminación de todas las causas, la minimización de las mismas (por ejemplo, minimizar y controlar el proceso de corrosión mediante un adecuado mantenimiento de los equipos) o, en lo posible, la eliminación de algunas (apartar el tráfico de carretillas de las cercanías de la tubería) supondría una reducción del riesgo medioambiental de la instalación. En definitiva, la identificación de las causas por las que una fuente de peligro puede derivar en una afección medioambiental constituye un proceso básico para la mejora de la gestión del riesgo en este ámbito. Adicionalmente, la identificación de las causas de accidente puede emplearse como herramienta para la asignación de la probabilidad de ocurrencia del correspondiente suceso iniciador.

2. Identificación de sucesos iniciadores

El funcionamiento anormal de una fuente de peligro dará como resultado la aparición de un suceso iniciador, que puede definirse como el incidente mediante el cual el agente causante del daño (una sustancia química, un incendio, etc.) resulta liberado y, o bien deja de estar en el sitio donde estaría si continuara la operación normal (como es el caso de las sustancias químicas) o bien aparece (como es el caso de un incendio o una explosión). Continuando con el ejemplo propuesto anteriormente, el suceso iniciador que podría derivar de una tubería con líquido inflamable, sería la fuga o derrame de la sustancia a consecuencia de su rotura.

La aparición de un suceso iniciador es el inicio de una serie de eventos cuya evolución determinará la manifestación o no de un daño medioambiental. Es la frontera dentro del proceso de análisis de riesgos medioambientales que separa el análisis causal, que se centra en la identificación de las causas que puedan dar lugar a una operación anormal de un equipo o actividad, del análisis consecuencial, que evaluará la existencia o no de consecuencias en términos de daño medioambiental como resultado de la operación anormal del equipo o actividad.

La determinación de los sucesos iniciadores puede ser intuitiva, sin conocer las causas que lo pueden desencadenar (se puede establecer como suceso iniciador la rotura de una tubería sin determinar las causas que la originan); de ahí la utilidad de la caracterización de las causas como herramienta para la gestión del riesgo más que como etapa en el proceso de análisis del riesgo medioambiental, si bien se insiste en que esta identificación de causas, en algunos casos, también puede ser útil a la hora de imputar la probabilidad de ocurrencia de cada suceso iniciador.

3. Postulación de escenarios accidentales

Una vez concretado un suceso iniciador, el análisis consecuencial dentro del análisis de riesgos medioambientales exige determinar la evolución de dicho suceso iniciador en el espacio-tiempo, es decir, conocer las transformaciones y movimientos del agente causante del daño hasta determinar si llega a producirse o no daño medioambiental. Para ello, se recurre a la introducción en el análisis de los denominados factores condicionantes, elementos humanos, técnicos o tecnológicos —cubetos de retención, sistemas de detección y extinción de incendios, operarios, etc.— o características del entorno —viento, condiciones climatológicas, presencia de especies, etc.— que pueden influir en la evolución del suceso.

Continuando con el ejemplo, la liberación del líquido combustible por la rotura de la tubería puede quedar retenido (o no) por la existencia de un cubeto de contención, puede provocar (o no) un incendio que, a su vez, puede quedar controlado (o no) por los sistemas de detección y extinción de incendios antes de generar un daño medioambiental.

La representación esquemática de la participación, con éxito o no, de los factores condicionantes en la evolución del suceso iniciador se realiza mediante la construcción de los denominados árboles de sucesos. Estos árboles de sucesos parten del suceso iniciador y representan los “caminos” por los que el agente causante del daño discurrirá en función del éxito o fracaso (o presencia o ausencia) de los factores condicionantes que el analista identificó como participantes de la evolución del suceso.

El final de cada rama del árbol de sucesos, resultado de las distintas combinaciones de éxito y fracaso de los factores condicionantes, desemboca en un escenario accidental, caracterizado por el suceso iniciador del que deriva y el éxito o no de los factores condicionantes considerados. De forma adicional, para cada escenario accidental se señalarán los recursos naturales cubiertos por la LRM —agua, suelo, hábitats y especies silvestres— que podrían resultar afectados por el mismo.

En este punto del proceso, el analista dispone de la estructura del análisis de riesgos, que estará conformada por todos los árboles de sucesos que se hayan diseñado atendiendo a las fuentes de peligro y los factores condicionantes establecidos. Es decir, en esta fase del proceso de análisis de riesgos medioambientales se encuentran identificados todos los elementos implicados en el mismo —fuentes de peligro, causas, sucesos iniciadores, factores condicionantes, recursos naturales potencialmente afectados y escenarios accidentales— y la relación entre ellos, representada por los árboles de sucesos.

En las siguientes etapas del análisis de riesgos medioambientales se procederá a dotar a esta estructura de los valores numéricos necesarios para estimar el riesgo asociado a cada escenario accidental, mediante la estimación previa de la probabilidad de ocurrencia y de las consecuencias medioambientales de cada escenario accidental.

4. Asignación de la probabilidad de ocurrencia

La probabilidad de ocurrencia, tanto de los sucesos iniciadores como de los factores condicionantes, puede expresarse con valores cuantitativos (suceso/año, fallo/demanda, etc.) o semicuantitativos. En el presente MIRAT se propone el empleo de valores cuantitativos de la probabilidad, ante la posibilidad de obtener, recurriendo a la bibliografía, datos de probabilidad para todos los sucesos iniciadores y factores condicionantes contemplados en el análisis.

Del anterior párrafo se obtiene la conclusión de que la probabilidad de ocurrencia ha de asignarse a cada suceso iniciador y factor condicionante considerado en el análisis. Empleando la estructura definida por los árboles de sucesos, se procederá a calcular la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental mediante el producto de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador por la probabilidad de ocurrencia del éxito o fracaso de todos los factores condicionantes que definan al correspondiente escenario accidental.

5. Estimación de consecuencias

Además de la probabilidad de ocurrencia, cada escenario accidental debe estar caracterizado por una medida de las consecuencias medioambientales que del mismo se derivarían. El Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, en su última modificación (Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo), establece al denominado Índice de Daño Medioambiental (IDM) como medida semicuantitativa de las consecuencias medioambientales a emplear en el ámbito de la responsabilidad medioambiental, de obligada utilización en el caso de aquellos operadores que deban constituir una garantía financiera obligatoria.

6. Estimación del riesgo

El proceso de análisis de riesgos medioambientales, en el ámbito de la responsabilidad medioambiental, termina estimando el riesgo asociado a cada escenario accidental mediante la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos por su correspondiente IDM. Con esta información, el operador puede diseñar o implementar distintas medidas de gestión del riesgo medioambiental (sustitución de equipos por otros con menor probabilidad de fallo, sustitución total o parcial de sustancias contaminantes, instalación de medidas de

prevención y de evitación de nuevos daños como cubetos de retención, formación de los empleados, etc.) y evaluar sus efectos sobre el riesgo medioambiental de la instalación. Entre las medidas de gestión del riesgo hay que incluir la constitución de garantías financieras tal y como son definidas por la LRM y su desarrollo reglamentario; para las empresas del sector de la fundición, a las que afecte la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (IPPC) y/o que pueden verse afectadas además por el Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueba medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas (SEVESO), la constitución de la garantía financiera tiene carácter obligatorio (salvo en las exenciones establecidas en el artículo 28 de la LRM), por lo que la cuantía de la misma ha de calcularse siguiendo el procedimiento de cálculo establecido en el artículo 33 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental.

XX. IDENTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES RELEVANTES DEL SECTOR

De acuerdo a la metodología desarrollada en la norma de referencia *UNE 150008:2008. Análisis y evaluación del riesgo ambiental*, en los análisis de riesgos se pueden marcar dos etapas diferenciadas: la primera, cuya finalidad es la caracterización de los escenarios causales, pretende otorgar herramientas para evaluar en las instalaciones los potenciales sucesos iniciadores que se pueden presentar y concretar las causas que los provocan; la segunda fase, por su parte, desarrolla los árboles de consecuencias donde se plasman de una forma visual y lógica las diferentes evoluciones que pueden presentar los sucesos iniciadores y que, finalmente, podrían derivar en escenarios accidentales.

Cabe recalcar que de cara a la identificación de los sucesos iniciadores lo idóneo es partir de un registro de incidentes del sector y, posteriormente, aplicar la metodología expuesta. En este caso la información se ha obtenido, por un lado, a partir de un cuestionario que se suministró a los operadores, y por otro, a partir de las visitas realizadas a diferentes tipos de instalaciones del sector. Todo ello, junto a la asesoría de un panel de expertos dispuesto desde FEAF, ha permitido realizar un análisis fehaciente y realista del sector.

Igualmente, en la determinación de los escenarios accidentales ha sido de gran utilidad la información facilitada por los distintos operadores del sector.

A continuación se desarrollan en detalle los puntos expuestos en la metodología:

- 1) Zonificación e identificación de las fuentes de peligro que pueden llevar un riesgo asociado
- 2) Las causas, que unidas a dicha fuente de peligro, pueden ocasionar un suceso iniciador
- 3) Los sucesos iniciadores que podrían desembocar en un escenario accidental

- 4) Los factores condicionantes del suceso iniciador que determinan la evolución y gravedad del escenario accidental generado

XX.1. ZONIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE PELIGRO

El primer paso en el análisis de riesgos consiste en realizar una zonificación típica de las instalaciones del sector de manera que se delimiten áreas o actividades que impliquen un nivel de riesgo similar. Posteriormente, para cada zona se caracterizan las fuentes de peligro que puedan dar lugar a un hipotético daño ambiental. La codificación asignada a cada fuente responde a la nomenclatura F.X.Y, donde X es el código de la zona en la que aparece la fuente e Y el número de fuente dentro de dicha zona.

Aun sabiendo que las distintas fundiciones difieren según la materia prima, el proceso de moldeo y el producto que generan, en esta fase se van a enumerar todas las fuentes de peligro que se pueden atribuir al sector al completo. Será el operador el que tendrá que discernir cuáles de ellas existen en su instalación, pudiendo no tener en cuenta las que el operador considere que no aplican a su instalación.

A continuación se detallan las zonas y elementos de peligro que se han diferenciado para el sector. Para facilitar su comprensión, en el Cuadro 1 queda reflejado a modo resumen el listado de las fuentes de peligro para cada zona identificada.

XX.1.1. Zona de proceso

El proceso básico que se realiza en estas instalaciones consiste, como se ha explicado previamente, en tomar la materia prima metálica, introducirla en un horno y calentarla hasta llegar a su punto de fusión para, una vez fundida, poder darle una forma determinada mediante moldeo. Posteriormente la pieza se trata para darle el acabado adecuado.

Las principales fuentes de peligro que presenta esta zona son las asociadas al funcionamiento de los hornos. Además, en determinadas instalaciones, existen balsas de tratamiento térmico o de decapado en el que se introducen las piezas una vez moldeadas para mejorar sus propiedades mecánicas o limpiarlas. El vertido del contenido de estas balsas (aguas mezcladas con aditivos como sales, polímeros o incluso aceites, o ácidos) puede repercutir negativamente en el medio ambiente.

A continuación se enumeran las fuentes de peligro que se estiman para esta zona. Este listado pretende abarcar todas las condiciones presentes en el sector, pero puede que algunas de estas fuentes no se encuentren en una instalación concreta. Será el operador el que habrá de definir las que se adecuan a su fundición.

- **F.P.1 Hornos.** Son los equipos esenciales dentro del sector de las fundiciones. Los hornos empleados difieren según el método de calentamiento, habiendo hornos de llama y hornos de calentamiento eléctrico. El incendio o explosión del horno puede tener graves consecuencias ambientales.

- **F.P.2 Balsas para tratamientos térmicos o de decapado.** En parte de las instalaciones del sector, y de forma mayoritaria en las acerías, tras liberar la pieza del molde se realiza un tratamiento térmico en balsas con mezclas de agua y aditivos. Estos aditivos, así como la temperatura del agua, difieren en función de las propiedades mecánicas que se quieran otorgar. De forma adicional, la instalación puede realizar tratamientos de decapado para la limpieza superficial de las piezas; este proceso se realiza mediante la inmersión de la pieza en ácido.
- **F.P.3 Granalladora.** Durante la operación de granallado, la aparición de polvo inflamable y la potencial aparición de un foco de ignición puede generar un incendio/explosión.

XX.1.2. Zona de moldeo y machería

A pesar de formar parte directa del proceso, se considera que la fase de moldeo puede tener un peso específico importante dentro del análisis de riesgo ambiental, puesto que implica un procedimiento propio y el manejo de determinadas sustancias peligrosas e inflamables. Es por ello que se ha optado por valorar e identificar sus fuentes de peligro de forma independiente al proceso.

Las principales fuentes de peligro que puede presentar la zona de moldeo se asocian al acopio y uso de sustancias peligrosas e inflamables. Principalmente estas sustancias aparecen en las instalaciones en que parte del moldeo, si no todo, se realiza en arenas químicas. La adición a las arenas de sustancias como las resinas y diversos catalizadores permite mayor estabilidad en el molde.

En este apartado también se incluye la fase de fabricación de machos, que son modelos realizados en arenas químicas que se introducen en los moldes y que tienen como objetivo definir la parte hueca de las piezas no macizas.

Es importante resaltar que de cara a la definición de las fuentes de peligro vinculadas a depósitos, se entiende como depósito, ya sea atmosférico o a presión, el propio recipiente junto a las conexiones de instrumentación y tuberías hasta la primera brida, siempre que la distancia hasta la misma sea inferior a 10 metros.

Por otra parte, debe indicarse que en la identificación de fuentes de peligro del presente MIRAT se utiliza indistintamente el calificativo de sustancia combustible o inflamable para aquellas sustancias que, con base en sus características, pueden entrañar un riesgo relevante de incendio y/o explosión. En este sentido, el operador deberá atender a sus condiciones de operación y a la ficha de seguridad de cada sustancia con objeto de determinar si existe una probabilidad relevante de que, bajo determinadas hipótesis, se alcance el punto de ignición y se dé lugar a un incendio o explosión. Como indicaciones generales, se recomienda situar los análisis del lado de la precaución y declarar una sustancia como inflamable o combustible siempre que exista cierta incertidumbre al respecto y, en todo caso, situar en esta categoría a todas aquellas sustancias cuyo punto de ignición se encuentre próximo a 55 °C ya que éste es

el valor umbral que establece el Real Decreto 379/2001, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias para catalogar una sustancia como inflamable.

Las fuentes de peligro estimadas para la zona de moldeo y machería son las siguientes:

- **F.M.1 Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias líquidas no inflamables.** Las instalaciones que utilizan arenas químicas presentan mayor tipología de sustancias peligrosas en esta zona porque de cara a realizar el moldeo mezclan la arena de sílice con resinas y un catalizador para su estabilización. Debido a la amplia gama de resinas existentes, el operador deberá identificar en sus fichas de seguridad si las que utiliza son inflamables o no. Estas sustancias suelen tener sus propios depósitos en las zonas de almacenamiento de cada instalación, pero aparte, en la zona de moldeo se localizan depósitos de los cuales se toma la resina durante este proceso. Por otro lado, el principal catalizador utilizado es la dimetiletilamina –DMEA-. Esta sustancia, tras ser empleada, queda de forma residual en el sistema, por lo que hay que eliminarla. Existen dos métodos de destrucción, por un lado se puede hacer pasar por un oxidador térmico en el que se transforma en óxidos de nitrógeno, y por otro, puede ser neutralizada en un lavador de gases (*scrubber*), donde se induce su reacción al contactar con soluciones ácidas para obtener sales. En el segundo caso, tanto los ácidos como la solución en que se diluyen se almacenan en depósitos aéreos de diferentes volúmenes cuyo vertido puede resultar peligroso.
- **F.M.2 Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables.** El operador tendrá que valorar las posibles sustancias líquidas inflamables presentes en la zona de moldeo de su instalación. Como se ha comentado previamente, algunos tipos de resina y aditivos pueden resultar inflamables, con lo cual habría que tenerlos en cuenta en este punto; la posible utilización de alcohol isopropílico para el recubrimiento de los moldes de arena exigirá del almacén de depósitos de esa sustancia, también muy inflamable.
- **F.M.3 Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias gaseosas inflamables.** Según se ha destacado anteriormente, el catalizador más habitual en las fundiciones es la DMEA, sustancia gaseosa inflamable que se almacena en depósitos a presión. El principal peligro asociado tiene que ver con la probabilidad de generar un incendio/explosión en caso de entrar en contacto con un foco de ignición.
- **F.M.4 Oxidador térmico.** Como se ha indicado anteriormente, la fracción de la dimetiletilamina que no reacciona con la resina se puede destruir mediante incineración en un oxidador térmico. Este equipo puede sufrir un incendio o explosión que podría llevar asociado el vertido de las correspondientes aguas de extinción, en su caso, contaminadas por sustancias químicas.

XX.1.3. Zona de almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos

Esta denominación abarca todas las zonas de la instalación en la que se realizan acopios conjuntos de distintas sustancias.

Tal y como se ha explicado en el apartado anterior, se define como depósito, atmosférico o a presión, al propio recipiente junto a las conexiones de instrumentación y tuberías hasta la primera brida, siempre que la distancia hasta la misma sea inferior a 10 metros.

En esta zona no se tienen en cuenta los sistemas de tuberías como tal puesto que se considera que los conductos asociados a esta zona quedan cubiertos en el concepto "depósito".

- **F.A.1 Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas no inflamables.** En este apartado se incluyen los depósitos atmosféricos que contienen sustancias líquidas no inflamables y que por rotura o fuga pudieran producir derrame de sustancias peligrosas.
- **F.A.2 Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables.** Esta fuente de peligro valora la presencia de depósitos fijos con sustancias líquidas inflamables que, además de un derrame, pudieran desencadenar un incendio/explosión.
- **F.A.3 Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas no inflamables.** Este epígrafe se identifica con los depósitos móviles (bidones, GRG, etc.) empleados para almacenar sustancias líquidas no inflamables.
- **F.A.4 Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas inflamables.** Esta fuente de peligro se corresponde con los depósitos móviles (bidones, GRG, etc.) empleados para almacenar sustancias líquidas inflamables.
- **F.A.5 Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias gaseosas inflamables.** Este punto incluye aquellos depósitos a presión que contengan gases inflamables en las distintas zonas de almacenamiento. Igualmente, dada su analogía, abarcaría los depósitos de oxígeno criogénico que se utiliza como comburente en determinadas instalaciones.
- **F.A.6 Depósitos/recipientes móviles de sustancias gaseosas inflamables.** Como fuente de peligro también se deberán tener en cuenta los recipientes a presión transportables, tales como las botellas de acetileno o de otras sustancias inflamables que se utilicen en la instalación.
- **F.A.7 Depósitos/recipientes fijos aéreos con material sólido.** Es relativamente habitual en estas instalaciones la presencia de silos o depósitos con sólidos que, a raíz

de una rotura o fuga, pudieran implicar un vertido de los mismos al medio. En este punto se podrían incluir las arenas de moldeo, el polvo de metal resultante del proceso, otros subproductos (chatarras, lingotes, etc.) y algunos combustibles empleados en determinadas instalaciones (carbón o coque).

Los envases o recipientes móviles que puedan contener material sólido no se consideran una fuente de peligro relevante en el presente sector debido al relativamente pequeño volumen que se almacena en estos recipientes (big bags, bidones, etc.) y a la escasa movilidad de este tipo de sustancias. Esto es, en caso de rotura de un recipiente móvil se asume que el vertido tendría un escaso recorrido y unas pequeñas dimensiones que facilitarían su retirada en un corto espacio de tiempo sin llegar a generar un daño medioambiental relevante.

XX.1.4. Zona de almacenamiento de combustibles

Esta zona abarca los depósitos de combustibles que presenta la instalación.

Igual que en apartados anteriores, se considera depósito el recipiente junto a las conexiones de instrumentación y tuberías hasta la primera brida, siempre que la distancia hasta la misma sea inferior a 10 metros.

- **F.C.1 Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables/combustibles.** Esta fuente de peligro valora la presencia de depósitos fijos con sustancias líquidas combustibles inflamables que, además de un derrame, pudieran desencadenar un incendio/explosión.
- **F.C.2 Depósitos/recipientes fijos subterráneos de sustancias líquidas inflamables/combustibles.** Esta fuente de peligro valora la presencia de depósitos fijos subterráneos con sustancias líquidas combustibles inflamables que pudieran desencadenar un derrame y, debido a las características de las sustancias almacenadas, también un incendio o una explosión.
- **F.C.3 Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias gaseosas inflamables/combustibles.** Este punto incluye aquellos depósitos a presión que contengan gases combustibles inflamables en las distintas zonas de almacenamiento.

XX.1.5. Zona de tratamiento de aguas de proceso y residuales

En esta zona se incluye el sistema de tratamiento de aguas, tanto residuales como de proceso, de que disponga la instalación.

- **F.TA.1 Depósitos/recipientes fijos de depuración de aguas residuales.** En este apartado se incluyen los depósitos atmosféricos, ya sean aéreos o subterráneos, que contienen aguas residuales en los que tiene lugar el proceso de depuración. En este apartado se incluirían tanto los depósitos aéreos de tratamiento, como las balsas.

- **F.TA.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales.** Esta fuente de peligro está conformada por el sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en el proceso productivo, cuyo mal funcionamiento puede dar lugar a un vertido de aguas contaminadas que no cumplan con los requisitos de la autorización de vertido de la instalación.

- **F.TA.3 Depósitos/recipientes fijos aéreos con aditivos del tratamiento de aguas.** Esta fuente de peligro contempla aquellos depósitos que contienen aditivos que se utilizan en el proceso de tratamiento de aguas, tanto para la depuración como para el circuito de refrigeración.

Como ejemplo, el agua refrigerante recibe un tratamiento previo a su utilización de cara a evitar la corrosión, la oxidación o la proliferación de bioincrustaciones. Es común la presencia de depósitos de biocidas en las instalaciones para evitar la propagación de microorganismos en las tuberías del circuito.

- **F.TA.4 Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas.** Los recipientes móviles existentes en la zona de tratamiento de aguas contienen diferentes aditivos no inflamables.

- **F.TA.5 Circuito de refrigeración.** Prácticamente la totalidad de instalaciones del sector presentan un circuito de refrigeración de los hornos de proceso para que no se produzca un sobrecalentamiento. Se trata de un circuito de agua que se recircula alrededor del horno a fin de mantener su temperatura dentro de unos límites acordes a la producción. Posteriormente esta agua pasa por una torre de refrigeración donde se enfría y desde ahí vuelve a la zona de proceso; algunas plantas tienen instalado un sistema de cogeneración, para aprovechar el agua caliente de refrigeración como agua caliente sanitaria, calefacción o, incluso, para la generación de electricidad.

El mal funcionamiento o una fuga del sistema puede provocar daños con consecuencias ambientales, principalmente vinculados a los vertidos a cauce de aguas calientes.

XX.1.6. Zona de transformadores eléctricos

Es habitual la presencia de áreas de transformadores de tensión en las distintas instalaciones, para hacer accesible el consumo eléctrico que requiere el proceso.

En este apartado se tienen en cuenta aquellos transformadores que utilizan el aceite como aislante, tanto con contenido en PCB como sin él. De cara a la posterior evaluación de los sucesos iniciadores, en caso de derrame se asimilan a depósitos atmosféricos con sustancias combustibles.

Adicionalmente, en el MIRAT también se considera la existencia de transformadores secos en los que únicamente existiría un riesgo de incendio o explosión.

- **F.TR.1 Transformadores.** Como suceso iniciador asociado, se plantea la posibilidad de incendio/explosión; adicionalmente en el caso de los transformadores con aceites, se debe contemplar la posibilidad de una fuga/derrame por rotura y un potencial incendio/explosión debido a la combustibilidad de la sustancia.

XX.1.7. Zonas de carga y descarga

Durante el desarrollo del presente análisis se ha decidido que operaciones o elementos claramente transversales en las instalaciones se desglosen aparte de las zonas principales, puesto que se les atribuyen riesgos ambientales con elevado peso específico.

Tal es el caso de la operación de carga y descarga, propia de, prácticamente, todas las zonas definidas en puntos previos, cuyas fuentes de peligro se exponen en el presente apartado.

Entre dichas fuentes de peligro se ha descartado que la carga y descarga de recipientes móviles (como los GRG) sea una fuente de peligro relevante en el ámbito del sector objeto de estudio. Esta decisión se fundamenta en que el trasiego de estos recipientes cuenta con la presencia continua de personal por lo que, en caso de accidente, se actuaría con celeridad. Teniendo en cuenta que los volúmenes contenidos en cada uno de los recipientes es relativamente pequeño (como máximo orientativo puede establecerse 1 m³, correspondiente a los GRG) puede asumirse que, por regla general, el derrame podría ser contenido en la mayoría de los casos sin provocar consecuencias medioambientales relevantes. Por último, merece la pena indicar que, en todo caso, las posibles consecuencias ambientales de un hipotético accidente durante la carga y descarga de recipientes quedarían cubiertas en el MIRAT al considerar en el mismo los incidentes que pueden ocurrir una vez que dichos recipientes se encuentren emplazados dentro de la instalación (derrames y, en su caso, incendio de estos elementos).

Adicionalmente, tampoco se han considerado relevantes los episodios accidentales que puedan derivarse de la carga y descarga de materiales sólidos (arenas, metales, etc.) ya que, en caso de derrame o vertido, se estima que el personal encargado de la operación podría retirarlo en un breve plazo de tiempo no llegando a generar un daño medioambiental.

De esta forma, las fuentes de peligro relevantes en el proceso de carga y descarga de sustancias serían las siguientes:

- **F.CD.1 Carga y descarga de depósitos con sustancias líquidas no inflamables.** Esta fuente de peligro tiene en cuenta la actividad de carga y descarga, mediante brazos o mangueras, de sustancias líquidas desde camiones/cisternas a un depósito de la instalación o viceversa. Se valorará la probabilidad de que haya un derrame durante este procedimiento.
- **F.CD.2 Carga y descarga de depósitos con sustancias líquidas inflamables.** En este apartado se abarcan los procesos de carga y descarga de aquellas sustancias líquidas que, por su grado de inflamabilidad, pudieran dar lugar, además de a un derrame, a una explosión/incendio.

- **F.CD.3 Carga y descarga de depósitos con sustancias gaseosas inflamables.** Esta fuente es similar a las previas, aunque teniendo en cuenta únicamente la explosión/incendio vinculada al procedimiento de carga y descarga.

XX.1.8. Zonas de sistemas de tuberías

De forma similar a la operación de carga y descarga, se ha estimado que el sistema de tuberías, al estar presente en toda la instalación, se ha de evaluar como una zona de riesgo adicional y transversal.

- **F.TB.1 Tuberías aéreas de sustancias líquidas no inflamables.** Esta fuente de peligro representa los sistemas de conducción de líquidos no inflamables en la instalación. Su corrosión o rotura puede desembocar en el derrame de sustancias peligrosas.
- **F.TB.2 Tuberías aéreas de sustancias líquidas inflamables.** Esta fuente de peligro representa los sistemas de conducción de líquidos inflamables en la instalación. En este punto se pueden incluir las tuberías que transporten resinas inflamables o algún otro aditivo líquido, en caso de que lo hubiere. Su corrosión o rotura puede desencadenar, además de un derrame o vertido de la sustancia transportada, un incendio/explosión.
- **F.TB.3 Tuberías subterráneas de sustancias líquidas no inflamables.** Fuente de peligro similar a la aérea pero refiriéndose a conductos que se encuentran soterrados.
- **F.TB.4 Tuberías subterráneas de sustancias líquidas inflamables.** Esta fuente de peligro contempla la posible existencia en las instalaciones de tuberías subterráneas por las que se transporten sustancias líquidas inflamables. En estos equipos se contempla la posibilidad de derrame y de incendio o explosión.
- **F.TB.5 Tuberías aéreas de gases inflamables.** Se refiere al sistema de circulación de gases en la instalación. Como ejemplo se encontrarían las conducciones que reparten gas natural o la DMEA en el proceso. Por las características del gas que portan, una fuga o rotura podría generar un incendio/explosión.

Dentro de esta categoría se considera incluida la estación de regulación y medida (ERM) con la que frecuentemente cuentan las instalaciones del sector.

- **F.TB.6 Tuberías subterráneas de gases inflamables.** Sistema de circulación de gases similar al anterior pero soterrado. Se plantea la posibilidad de que una fuga de estos gases conlleve un incendio/explosión.

XX.1.9. Zona de vertedero de residuos no peligrosos

Algunas instalaciones del sector de las fundiciones disponen de un vertedero en el que depositar sus residuos no peligrosos. Principalmente vierten las arenas de fundición no reutilizables, tanto de moldeo como de machería, junto a otros residuos no peligrosos como los

refractarios de los hornos, el polvo de granalladora, o los distintos tipos de lodos no peligrosos que se puedan generar durante el proceso.

- **F.V.1 Estructura del vertedero.** Esta fuente de peligro contempla los posibles fallos estructurales que pueden acaecer en el vertedero, desde un deslizamiento de la estructura del vaso a un desmoronamiento del relleno, eventos que pueden generar un impacto físico en el medio.
- **F.V.2 Sistema de retención de lixiviados.** Según la normativa aplicable, todo vertedero tiene que llevar vinculado un sistema de recolección y control de lixiviados de cara a evitar el daño al suelo o las aguas superficiales/subterráneas. Como posibles incidentes relacionados con estos sistemas se encuentran la fuga desde la balsa de lixiviados o el vertido por rebose tras importantes precipitaciones.

Código zona	Zona	Código fuente de peligro	Fuente de peligro
1	Proceso	F.P.1	Hornos
		F.P.2	Balsas para tratamientos térmicos o de decapado
		F.P.3	Granalladora
2	Moldeo y machería	F.M.1	Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias líquidas no inflamables
		F.M.2	Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables
		F.M.3	Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias gaseosas inflamables
		F.M.4	Oxidador térmico
3	Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1	Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas no inflamables
		F.A.2	Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables
		F.A.3	Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas no inflamables
		F.A.4	Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas inflamables
		F.A.5	Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias gaseosas inflamables
		F.A.6	Depósitos/recipientes móviles de sustancias gaseosas inflamables
		F.A.7	Depósitos/recipientes fijos aéreos con material sólido
4	Almacenamiento de combustibles	F.C.1	Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables/combustibles
		F.C.2	Depósitos/recipientes fijos subterráneos de sustancias líquidas inflamables/combustibles
		F.C.3	Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias gaseosas inflamables/combustibles
5	Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.TA.1	Depósitos/recipientes fijos de depuración de aguas residuales
		F.TA.2	Sistema de tratamiento de aguas residuales
		F.TA.3	Depósitos/recipientes fijos aéreos con aditivos del tratamiento de aguas
		F.TA.4	Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas
		F.TA.5	Circuito de refrigeración
6	Transformadores eléctricos	F.TR.1	Transformadores
7	Carga y descarga	F.CD.1	Carga y descarga de depósitos con sustancias líquidas no inflamables
		F.CD.2	Carga y descarga de depósitos con sustancias líquidas inflamables
		F.CD.3	Carga y descarga de depósitos con sustancias gaseosas inflamables
8	Sistemas de tuberías	F.TB.1	Tuberías aéreas de sustancias líquidas no inflamables
		F.TB.2	Tuberías aéreas de sustancias líquidas inflamables
		F.TB.3	Tuberías subterráneas de sustancias líquidas no inflamables
		F.TB.4	Tuberías subterráneas de sustancias líquidas inflamables
		F.TB.5	Tuberías aéreas de gases inflamables
		F.TB.6	Tuberías subterráneas de gases inflamables
9	Vertedero de residuos no peligrosos	F.V.1	Estructura del vertedero
		F.V.2	Sistema de retención de lixiviados

Cuadro 1. Listado de zonas y fuentes de peligro. Fuente: Elaboración propia.

XX.2. IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS INICIADORES BÁSICOS Y SUS CAUSAS

En el presente apartado se exponen los distintos sucesos básicos característicos que se han podido establecer para cada una de las zonas definidas en apartados previos y las causas probables que los podrían provocar.

Cabe recalcar que, durante el desarrollo de esta etapa, tanto la identificación de causas como de sucesos iniciadores se suele realizar simultáneamente, ya que muchos escenarios resultan intuitivos una vez se ha recopilado la información a partir de las visitas, del contacto con expertos técnicos del sector o de la bibliografía. Es por ello que en numerosas ocasiones se acude directamente al suceso iniciador para, más tarde, valorar sus causas de forma retroactiva. De hecho, en el presente estudio el flujo de información ha partido de la consulta de bibliografía especializada en análisis cuantitativo del riesgo industrial, para, a continuación, determinar los sucesos básicos, sus causas y los rangos de probabilidad en que se mueven estos eventos, dato fundamental en pasos posteriores del estudio.

En el Anejo I del documento se despliegan en tablas por zona las fuentes de peligro con los sucesos básicos e iniciadores identificados y sus causas, así como el agente causante del daño y el árbol consecuencial en que derivarían en caso de incidente.

XX.2.1. CAUSAS DE PELIGRO

Como se ha indicado previamente, parte de las causas de peligro identificadas para el sector se han tomado de bases bibliográficas. El detalle de estos datos reales queda expuesto en las tablas del Anejo I que enumeran las causas que, actuando sobre una determinada fuente de peligro, pueden conllevar la ocurrencia de un determinado suceso.

Para aquellos sucesos que no disponen de información bibliográfica sobre sus causas, bajo criterio experto, se han estimado una serie de las mismas que abarcarían los casos de incidente más frecuentes en el sector:

1) Ausencia de revisiones y controles

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

2) Desgaste/Corrosión

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

3) Fallo del equipo

Si un determinado equipo no funciona adecuadamente puede ocasionar múltiples escenarios accidentales. A modo de ejemplo, se puede citar: un fallo en el sistema de refrigeración de los hornos, que podría provocar sobrecalentamiento y explosión de los mismos o vertido de aguas calientes.

4) Error humano

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

5) Foco de ignición

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

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

6) Señalización y/o visibilidad defectuosa

La deficiente visibilidad o señalización en la instalación puede propiciar la colisión entre un vehículo y los diferentes sistemas de almacenamiento y/o tuberías en aquellas zonas donde existe un tráfico relevante de vehículos.

7) Lluvia.

Esta causa hace referencia a la posibilidad de que un episodio de lluvias, por intenso y/o continuado aunque dentro de lo normal en relación con las características climatológicas del emplazamiento del vertedero, haga comprometer la estructura del mismo y devenga en un corrimiento de tierras.

8) Diseño inadecuado.

Esta causa incorpora al análisis la posibilidad de que el vertedero haya sido diseñado sin cumplir con alguna exigencia de diseño (taludes con demasiada pendiente, no tener en cuenta la pluviometría normal de la zona, etc.).

XX.2.2. SUCESOS INICIADORES

En el presente punto se detallan, para cada zona y equipo/actividad, los sucesos básicos que se han determinado representativos y las causas que pueden llegar a generarlos. Estos sucesos básicos pueden, en algunos casos, considerarse sucesos iniciadores en sí mismos, mientras que en otros se podrán combinar para dar lugar a sucesos iniciadores de mayor complejidad. El Anejo I contiene este listado de sucesos básicos y sucesos iniciadores.

Zona de proceso

- **Hornos.** Los sucesos básicos ligados a los hornos se relacionan con la posibilidad de que ocurra un incidente de incendio o explosión y derrame de aguas de extinción. Como causas, obtenidas de la bibliografía, se han identificado las que se comentan en la Tabla 6 del Anejo I: sobrepresión, fallo del sistema de refrigeración y acumulación de gas, a las que habría de añadir la existencia de defectos en el revestimiento cerámico de las paredes del horno.
- **Balsas para tratamientos térmicos o de decapado.** El principal evento que se puede producir en esta fase del proceso es el vertido de aguas de temple contaminadas o calientes o el vertido del ácido para el decapado. Las causas que pueden generarlo se muestran en la Tabla 3 del Anejo I.
- **Granalladora.** Durante la operación de granallado se generan polvos metálicos en suspensión que pueden llegar a ser inflamables y generar un incendio o explosión con el potencial vertido de aguas de extinción contaminadas. Un fallo —por cualquiera de las causas identificadas en el Anejo I— en el sistema extractor que mantiene la concentración de polvos metálicos en suspensión en valores seguros, junto con la presencia de un foco de ignición, puede provocar un incendio o explosión con potenciales repercusiones en términos de responsabilidad medioambiental.

Zona de moldeo y machería

- **Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias líquidas (inflamables o no).** Como suceso vinculado a los depósitos se ha valorado la posibilidad de fuga/derrame de sustancias líquidas contaminantes, inflamables o no. Las causas identificadas en la bibliografía quedan plasmadas en la Tabla 3 del Anejo I. Además, en caso de que se fuguen sustancias inflamables, habrá que evaluar la probabilidad de que se genere un incendio unido a derrame de aguas de extinción. Las causas de este evento serán las mismas que para el derrame, en la Tabla 3, junto a la aparición de un foco de ignición.
- **Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias gaseosas inflamables.** Se ha considerado que un suceso factible en esta zona proviene de

la explosión/incendio de un depósito de proceso que trabaje a presión con gases inflamables. Este evento iría unido al derrame de las aguas utilizadas en su extinción. Como causas la bibliografía indica las que se muestran en la Tabla 4 del Anejo I junto a la aparición de un foco de ignición.

- **Oxidador térmico.** El suceso iniciador asociado al oxidador térmico sería el incendio o explosión del equipo debido a su mal funcionamiento. Esto es, debido a un fallo en el propio equipo.

Zona de almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos

- **Depósitos/recipientes fijos aéreos con sustancias líquidas (inflamables o no).** En este ámbito se han valorado los sucesos básicos asociados a fugas/derrames propiciados por una rotura desde el propio depósito o por colisión externa, siendo las causas identificadas para el primer evento las que se exponen en la Tabla 3 del Anejo I, tomadas de la bibliografía, y para el segundo, la ausencia de revisiones, el error humano y la señalización y/o visibilidad defectuosa, según ha concluido el criterio experto.

En el caso de depósitos con sustancias líquidas inflamables, también es posible que se genere un incendio si se aúnan las causas de fuga ya comentadas con la presencia de un foco de ignición. En caso de incendio se considerarán asimismo las aguas de extinción.

- **Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas (inflamables o no).** Los depósitos móviles pueden ser origen de un posible derrame de las sustancias químicas que los mismos contienen. En el caso de que dichas sustancias sean inflamables se ha contemplado adicionalmente la posibilidad de que se produzca un incendio y, con ello, la generación de aguas de extinción. Como posibles causas de estos episodios se ha identificado la ausencia de revisiones y controles, el desgaste o la corrosión, el error humano y la rotura por impacto debido al tráfico de vehículos en las proximidades, debida a su vez a la ausencia de revisiones, el error humano y la señalización o visibilidad deficiente en la zona. Adicionalmente, en los episodios de incendio se ha identificado como causa la presencia de un foco de ignición.
- **Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias gaseosas inflamables.** Se plantean sucesos de incendio y explosión y derrame de aguas de extinción a partir de depósitos a presión con gases inflamables. Para que estos eventos se produzcan, han de conjugarse la liberación del gas desde el depósito y la presencia de un foco de ignición. Las causas de fuga del gas se exponen en la Tabla 4 del Anejo I.

- **Depósitos/recipientes móviles con sustancias gaseosas inflamables.** El suceso iniciador que se ha planteado para esta fuente de peligro es similar al anterior, difiriendo en las causas que pueden determinar la fuga, como se plasma en la Tabla 5 del Anejo I.
- **Depósitos/recipientes fijos aéreos con material sólido.** En esta zona se ha valorado la probabilidad de que ocurra un vertido de sustancias sólidas desde un silo/saca de almacenamiento, ya sea por rotura (más o menos espontánea) del mismo o por colisión de un vehículo contra el continente. Como sustancias susceptibles de ser arrastradas se pueden resaltar las arenas o el polvo metálico resultante del proceso de fundición. En el apartado de causas por rotura del depósito se han determinado aquellas relacionadas con la fuga desde depósito atmosférico según la bibliografía, que se exponen en la Tabla 3 del Anejo I; en el caso de rotura por colisión de un vehículo, se han identificado la ausencia de revisiones y controles, la señalización o visibilidad deficiente y el error humano como causas del suceso iniciador.

Zona de almacenamiento de combustibles

- **Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables/combustibles.** En esta zona los posibles eventos que podrían derivar en un accidente son los asociados a derrame de la sustancia, provocados por una fuga desde depósito o una colisión externa en los depósitos aéreos. La Tabla 3 del Anejo I presenta las causas que, según la bibliografía, pueden dar lugar a las fugas desde los depósitos, mientras que aquellas que se pueden determinar para un suceso a partir de colisión se han definido basándose en criterio técnico, siendo la ausencia de controles, el error humano y las posibles deficiencias en la señalización y la visibilidad.
Además, por las propias características de estas sustancias siempre existe peligro de explosión/incendio vinculado a las fugas, junto al derrame de aguas de extinción que podría conllevar. Para que estos escenarios ocurran, se tienen que conjugar la fuga de la sustancia combustible con la presencia de un foco de ignición.
- **Depósitos/recipientes fijos subterráneos de sustancias líquidas inflamables/combustibles.** Con respecto a los depósitos subterráneos, como suceso básico se ha identificado la fuga/derrame por rotura de depósito. Las causas encontradas para que este evento se produzca, vienen determinadas en la Tabla 3 del Anejo I. Adicionalmente, se contempla la posibilidad de incendio y, con ello, la generación de aguas de extinción potencialmente contaminantes.
- **Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias gaseosas inflamables/combustibles.** Las instalaciones pueden acopiar gas combustible para su proceso. El incidente en que puede derivar esta fuente de peligro se asocia

a un incendio/explosión a partir de una fuga y el ulterior derrame de aguas de extinción. Las causas vinculadas a este evento, según la bibliografía, son las que se apuntan en la Tabla 4 del Anejo I, junto con la presencia de un foco de ignición.

Zona de tratamiento de aguas de proceso y residuales

- **Depósitos/recipientes fijos de depuración de aguas residuales.** En este apartado se tienen en cuenta los depósitos aéreos en los que se realiza el proceso de depuración, como puede ser el caso de los biocarbs, así como las balsas de tratamiento. El principal evento que se puede generar es el derrame de aguas contaminadas, ya sea por rotura de los propios depósitos o, para aquellos que se localizan en superficie, por colisión externa de un vehículo pesado. Las causas de fuga desde los depósitos se han localizado en la bibliografía y se plasman en la Tabla 3 del Anejo I, mientras que las causas definidas para la colisión de un vehículo son las predeterminadas por el criterio experto: la ausencia de revisiones, la visibilidad o señalización deficiente y el error humano.
- **Sistema de tratamiento de aguas residuales.** El principal evento que puede asociarse al sistema de tratamiento de aguas residuales es el vertido a cauce o colector (en función de la autorización de vertido de la instalación) de un efluente con parámetros de vertido alejados de lo establecido en la autorización de vertido. Las causas de este evento pueden derivarse de un fallo en el funcionamiento de los equipos de depuración o de control que dé lugar a un tratamiento incompleto.
- **Depósitos/recipientes fijos aéreos con aditivos del tratamiento de aguas.** De cara a hacer más efectivo el tratamiento de depuración, las instalaciones acopian sustancias/aditivos que se inoculan en el proceso. Dentro de este estudio también hay que plantear la posibilidad de que alguno de estos depósitos con aditivos tenga una fuga/derrame, que pueda generar consecuencias ambientales. En este punto quedarían contemplados, por ejemplo, los derrames desde depósitos de biocidas. Como causas de derrame desde estos depósitos, se encuentran las expuestas en la Tabla 3 del Anejo I.
- **Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas.** En la zona donde se realiza el tratamiento de aguas pueden existir recipientes móviles que contengan las sustancias químicas necesarias para el proceso. Estas sustancias no son inflamables por lo que los hipotéticos accidentes a los que podrían dar lugar se encontrarían vinculados a su posible derrame o vertido. Las causas de este posible accidente serían la ausencia de revisiones y controles, el desgaste o la corrosión, el error humano y la posible rotura por impacto debido a la circulación de vehículos en las proximidades que puede explicarse a su vez por la ausencia de revisiones y controles, el fallo humano y la señalización o visibilidad deficiente.

- **Circuito de refrigeración.** Otro de los puntos a tener en cuenta en el sector objeto de estudio se asocia al tratamiento de las aguas calientes de proceso. Es habitual la presencia de sistemas de refrigeración que permiten enfriar el agua previo a su vertido o previo a su reutilización. Tanto una fuga desde el intercambiador de calor, como un fallo en los equipos de enfriamiento, pueden conllevar el derrame de aguas calientes. Como causas se han definido la ausencia de revisiones, el desgaste/corrosión de los equipos, el error humano o el fallo del propio equipo. Estas consideraciones también aplicarán en caso de que la instalación disponga de un sistema de cogeneración.

Zona de transformadores eléctricos

- **Transformadores.** Como uno de los principales sucesos iniciadores en esta zona, en caso que los transformadores empleados contengan aceites, se estima la probabilidad de derrame de aceite desde los transformadores. Este hecho se puede relacionar con una rotura en el transformador. Como causas de la rotura se ha acudido a la bibliografía y se han obtenido los datos que se indican en la Tabla 3 del Anejo I.

Por otro lado, cabe destacar que los transformadores tienen un riesgo de incendio relevante, bien debido a la presencia de aceite o bien por el propio fallo de estos equipos. Las causas que se relacionan a este evento son, atendiendo a criterio experto, la ausencia de revisiones y controles, el desgaste/corrosión del equipo, el error humano y un fallo del propio dispositivo.

De forma implícita, junto al incendio, se valora el derrame de aguas de extinción.

Zonas de carga y descarga

- **Carga y descarga de depósitos con sustancias líquidas inflamables o no.** Se ha estimado que en este procedimiento el episodio más habitual sería el de fuga/derrame de sustancias líquidas durante la operación. Las causas no se han localizado en las distintas bibliografías, por lo cual se han estimado a partir de criterio experto, identificándose como tales la ausencia de revisiones y controles, el desgaste/corrosión de los equipos y el error humano.

En el caso de que las sustancias derramadas sean inflamables, la aparición, junto a las causas de la fuga o derrame, de un foco de ignición implicará la generación de un incendio o explosión junto al vertido de aguas de extinción.

- **Carga y descarga de depósitos con sustancias gaseosas inflamables.** En el caso de las sustancias gaseosas inflamables, el suceso iniciador se define como una explosión/incendio durante la operación de carga y descarga, añadiendo a las

causas de la fuga la presencia de un foco de ignición. De nuevo, el modelo incluirá la generación de aguas de extinción como potencial agente causante del daño.

Zonas de sistemas de tuberías

- **Sistemas de tuberías.** Se han contemplado como sucesos básicos/iniciadores, por un lado, las fugas en tuberías aéreas o subterráneas de sustancias líquidas (inflamables o no), y por otro, los incendios y explosiones.

Las causas que desembocan en una fuga se exponen en las Tablas 1 y 2 del Anejo I para conducciones aéreas y subterráneas respectivamente. Para que, a su vez, se genere un incendio/explosión, además de la fuga o vertido de una sustancia inflamable, se ha de presentar un foco de ignición.

Además, junto al suceso iniciador de incendio, se valora el derrame de las aguas utilizadas en su extinción.

En el caso de las tuberías aéreas situadas en zonas con tráfico se ha contemplado la posible rotura por impacto de un vehículo explicada a través de la ausencia de revisiones y controles, el error humano y la visibilidad o señalización deficiente.

Zona de vertedero de residuos no peligrosos

- **Estructura del vertedero.** El suceso ligado a la estructura del vertedero se asocia a un fallo que conlleve deslizamientos en los taludes de los diques del vertedero o en el propio material depositado. Como causas vinculadas a este evento, se han determinado la ausencia de revisiones y controles, el error humano o el diseño inadecuado.
- **Sistema de retención de lixiviados.** En este ámbito se estima que se pueden producir dos sucesos iniciadores: el primero es el rebose de la balsa de lixiviados, cuyas causas se han identificado como la aparición de precipitaciones elevadas, la ausencia de revisiones y controles y el diseño inadecuado de la balsa; como segundo suceso iniciador se nombra la fuga de los lixiviados desde la balsa, entre cuyas causas se han definido la ausencia de revisiones y controles, el desgaste o corrosión en la balsa, el error humano y/o el diseño inadecuado.

XX.3. IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS ACCIDENTALES

Una vez identificados los sucesos iniciadores representativos del sector de la fundición, al que se dedica el presente MIRAT, procede la descripción de la evolución que dichos sucesos iniciadores tendrán en función de los factores condicionantes característicos de las empresas del sector. Para ello, el presente MIRAT recurre a los árboles de sucesos previstos en la Norma UNE 150.008 que describen de forma esquemática los distintos caminos por los que pueden discurrir los agentes causantes del daño de los diferentes sucesos iniciadores definidos.

Se han concretado cuatro grandes tipos de árboles de sucesos en función del tipo de agente causante del daño y de los factores condicionantes relevantes en cada caso. A continuación se realiza una descripción de cada uno de ellos.

Los árboles de sucesos descritos en las páginas siguientes se representan gráficamente en el Anejo II del presente MIRAT.

1. **Árbol tipo para sucesos iniciadores de derrame (Tipo 1)**

Este árbol de sucesos atiende al vertido o derrame de sustancias líquidas contaminantes presentes en la instalación objeto de análisis, así como al potencial vertido de aguas calientes por fallo en el circuito de refrigeración o el derrame de aguas de lixiviación desde el vertedero. El agente causante del daño será la propia sustancia liberada (ya sea una sustancia química o agua caliente) independientemente de su inflamabilidad.

Para los incidentes de derrame de sustancias inflamables en los que se contemple incendio asociado, será de aplicación adicionalmente el árbol de sucesos tipo 2.

Los factores condicionantes relevantes en este tipo de árbol de sucesos hacen referencia a distintos medios de contención de la sustancia liberada:

- **Contención automática.** En caso de vertido o derrame accidental, ya sea desde un depósito como desde estructuras de transporte del tipo de tuberías, el modelo que se desarrolla en el presente MIRAT asume que serán las medidas automáticas y pasivas de contención de derrame las primeras en actuar, sin ser necesaria en este punto la participación del personal de la planta. Los cubetos de retención o los sistemas de cierre automático de válvulas o compuertas son algunos de los equipos que se incluirían en esta categoría.
- **Contención manual.** Cuando los sistemas de contención automática no están presentes o no consiguen confinar totalmente al agente causante del daño, serán las medidas manuales de contención las que podrán intervenir para evitar que el vertido o derrame llegue a generar un daño medioambiental. En esta categoría se incluirían la acción de los operarios mediante la colocación de barreras de contención o el accionamiento manual para el cierre de válvulas y compuertas.
- **Gestión de aguas y derrames.** Finalmente, la existencia de una red de drenaje propia de la instalación que pueda retener cualquier derrame que tenga lugar o las aguas de pluviales que se puedan generar, se constituiría como una barrera más al contacto del agente liberado con los recursos naturales susceptibles de sufrir un daño medioambiental. Esta red de drenaje propia puede cubrir la totalidad de la instalación o uno o varios sectores concretos de la misma (en cuyo caso el analista habrá de tener en cuenta si el suceso iniciador tiene lugar en un sector cubierto por este sistema o no) y su accionamiento puede ser tanto manual como automático/pasivo.

2. **Árbol tipo para sucesos iniciadores de incendio (Tipo 2)**

En caso de incendio, ya sea derivado de un derrame de una sustancia inflamable en concurrencia con un foco de ignición o por otro tipo de evento, como puede ser la explosión de un horno, aplicará el árbol de sucesos tipo 2. La detección y extinción temprana del incendio limitará el suceso a un conato o a un incendio de pequeñas dimensiones sin repercusiones en términos medioambientales, mientras que la imposibilidad de una pronta extinción del fuego podría derivar en un incendio que trascendiera los límites de la instalación y afectara a los recursos naturales presentes en el entorno. En este tipo de árbol de sucesos se tiene en cuenta la generación de aguas de extinción potencialmente contaminadas y los daños que las mismas pudieran causar a los recursos naturales.

- **Detección y extinción temprana de incendios.** Este factor condicionante hace referencia a la disponibilidad en la instalación de sistemas de detección y extinción temprana de incendios. En términos generales, cuando estos sistemas actúen correctamente y/o sean capaces de extinguir el incendio antes de que éste adquiera grandes dimensiones (es decir, éxito del factor condicionante), se considerará que ni el fuego afecta a los recursos naturales ni se generan aguas de extinción en volumen relevante; en cualquier caso, los operadores podrán incorporar la generación de aguas de extinción incluso en caso de éxito en la detección y extinción temprana del incendio, atendiendo a las características de su instalación y a los sistemas instalados de detección y extinción de incendios.
- **Gestión de aguas y derrames.** Cuando el incendio no ha podido ser extinguido de forma temprana (o si el operador lo considera necesario incluso en el caso de una extinción temprana debido a las características de la instalación), se asume que pueden generarse aguas de extinción en cantidades susceptibles de generar daño medioambiental, ya sea por dilución de sustancias solubles presentes en la instalación y/o por arrastre de sustancias no solubles en agua. En este caso, la existencia de una red propia de drenaje, similar a la planteada en el anterior tipo de árbol de sucesos, podría evitar que las aguas de extinción entraran en contacto con los recursos naturales y, con ello, produjeran un daño medioambiental.

3. **Árbol tipo para sucesos iniciadores de líquidos tratados inadecuadamente (Tipo 3)**

Para aquellas instalaciones que dispongan de un sistema de tratamiento de aguas residuales, e independientemente de las características del mismo (depuradora con tratamiento primario, secundario y/o terciario, sistema de decantación, etc.), el presente MIRAT ha diseñado este árbol de sucesos para considerar la posibilidad de que un mal funcionamiento del sistema de depuración suponga la liberación al medio ambiente de un efluente con parámetros de calidad deficientes.

Este tipo de árbol de sucesos contempla dos factores condicionantes:

- **Contención automática.** Este factor condicionante introduce en el análisis la posibilidad de que el operador disponga de un medio automático de control de los parámetros de vertido que, en caso de detectar valores anormales, proceda de forma automática a la detención del caudal.
- **Contención manual.** De forma alternativa o complementaria al sistema automático, el operador puede disponer de un sistema manual de detección y contención de efluentes con parámetros de vertido deficitarios.

4. **Árbol tipo para sucesos iniciadores de vertido de sólidos (Tipo 4)**

Este árbol se contempla para el desarrollo de dos eventos vinculados al vertido de sustancias sólidas, por un lado el derrame de sólidos vinculados al proceso, como pueden ser las arenas, los residuos metálicos o el combustible como carbón o coque, y por otro, el deslizamiento en los taludes del vertedero, en caso de que la instalación posea uno.

El empleo de arenas en cantidades importantes y su consecuente almacenamiento, es un elemento bastante común en las instalaciones del sector, al emplearse este tipo de material inerte, especialmente (aunque no de forma exclusiva) en el caso de las fundiciones férreas, como material para la elaboración de los moldes y machos. También podrían incluirse los silos de materias primas, subproductos del proceso (chatarras, lingotes, polvo de metal, etc.) o de combustible (carbón o coque) como fuente de un suceso de vertido de materiales sólidos.

En lo referente al vertedero, determinadas instalaciones disponen de un vertedero en el que depositan los residuos no peligrosos que generan en el proceso, principalmente, las arenas de fundición no reutilizables, las escorias, el material refractario de los hornos o los lodos no tóxicos producto de algunos procedimientos. Un desprendimiento estructural del vaso o el relleno del vertedero, podría conllevar daños físicos al medio.

La utilidad de este árbol de sucesos dependerá de la existencia en la instalación evaluada de estos materiales o zonas y su disposición dentro del recinto, de tal forma que la rotura de los depósitos o el deslizamiento de los taludes pudiera afectar a los recursos naturales del entorno.

Este árbol de sucesos contempla la existencia de un único factor condicionante: la contención automática.

- **Contención automática.** En este tipo de árbol de sucesos, la contención automática ha de entenderse como la existencia de una estructura (muro, valla, talud, etc.) que impida que el derrame de los materiales inertes pueda alcanzar a los recursos naturales cercanos (a las aguas superficiales y/o al suelo).

XX.4. PROTOCOLOS PARA LA ASIGNACIÓN DE PROBABILIDADES

En las páginas previas del capítulo VIII del presente MIRAT se han identificado los elementos relevantes a nivel sectorial que la normativa de responsabilidad medioambiental considera necesarios para la realización de un análisis de riesgos medioambientales. Esta identificación de elementos constituye la estructura del modelo a partir del cual se realizará el análisis de

riesgos medioambientales; los siguientes capítulos se dedicarán a dotar a dicha estructura de los valores numéricos necesarios para la estimación del riesgo medioambiental, proporcionando fuentes y herramientas para el cálculo de las probabilidades de ocurrencia de cada escenario accidental y las consecuencias medioambientales que de cada uno de ellos se derivan.

En primera instancia se procederá a exponer los protocolos de asignación de probabilidades de ocurrencia, comenzando por las probabilidades de los sucesos básicos e iniciadores y, posteriormente, de los escenarios accidentales. En el presente MIRAT se propone emplear el método cuantitativo de asignación de probabilidades de ocurrencia, recurriendo a la bibliografía especializada para la identificación de tasas de fallo de distintos equipos y actividades que pueden encontrarse en las fundiciones.

El método cuantitativo de análisis del riesgo tiene la principal virtud de proporcionar datos de tasas de fallos de equipos que parten de un registro real de accidentes. Con todo ello, se estima que el manejo de esta información supone un fiel reflejo de los procesos que se llevan a cabo en la industria, asumiendo los valores como fidedignos y extrapolables a sectores productivos como al que se aplica el presente documento. En contraposición, hay que resaltar que, al ser resultado del análisis y tratamiento de numerosas bases de datos, no es fácil para el analista tipificar cada fallo de la instalación y vincularlo a un dato concreto, puesto que los valores presentados aúnan distintos incidentes y causas. Por tanto, aunque se considera el método de asignación de la probabilidad más objetivo, finalmente, quedará a criterio del analista la adaptación de la información al operador.

Por otro lado, la robustez de estos datos hace que sean relativamente inflexibles, con lo cual, de cara al análisis del riesgo disminuye el abanico de decisiones en la fase de análisis causal, hecho que queda compensado, sin embargo, por las posibilidades comparativas que ofrece trabajar con valores reales.

Las probabilidades que el presente MIRAT propone emplear para el sector de la fundición han sido seleccionadas de bibliografía especializada en la materia, existiendo siempre por otra parte la posibilidad de que el operador pueda emplear otras fuentes, de forma justificada, en función de sus conocimientos y experiencia.

XX.4.1. Asignación de probabilidades a los sucesos iniciadores

El presente MIRAT propone la asignación de una probabilidad de ocurrencia a cada uno de los sucesos básicos concretados en la fase causal del análisis sectorial de riesgos medioambientales. Posteriormente, partiendo de los sucesos básicos, se puede hallar la probabilidad de los sucesos iniciadores conforme se expone en el Anejo III. Estas probabilidades de ocurrencia se han extraído de las siguientes fuentes bibliográficas:

- *Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental (en el ámbito del Real Decreto 1254/99 [Seveso II])* (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, DGPCyE, 2004).

- *Handbook failure frequencies 2009 for drawing up a safety report* (Flemish Government, 2009).
- *Risk assessment for explosive failures in transformers and strategies to reduce such risks* (Petersen, 2008, en Martín, 2009).
- *Methods for determining and processing probabilities. Red Book* (Schüller, 2005).
- *Draft Environmental Impact Assessment Report for Proposed Expansion* (SGS India Pvt. Ltd., 2009).
- *Guidelines for quantitative risk assessment. Purple book.* (Sdu Uitgevers, Den Haag, 1999)
- *Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments* (HSE, 2012)
- *Preliminary hazard analysis groundwater treatment plant* (Shewring, 2004)

El Cuadro 2 identifica las bases bibliográficas utilizadas para cada fuente de peligro, precisada en forma de equipo o actividad, que se ha concretado previamente en el MIRAT.

En el Anejo III del presente MIRAT se recoge la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los sucesos básicos/iniciadores identificados como relevantes en capítulos previos de la memoria del MIRAT. En el citado Anejo III se identifican, asimismo, la fuente de la que se ha obtenido el valor de la tasa de fallo del equipo o actividad correspondiente y, en su caso, los datos adicionales necesarios para su cálculo y dependientes, por lo general, de las características de la instalación (por ejemplo, número de depósitos o anchura y longitud de las tuberías aéreas).

Cabe recalcar que a la hora de asignar probabilidades en este estudio se ha diferenciado entre la probabilidad del suceso básico, entendido como el primer suceso causal que, por sí mismo o junto a otros, puede generar un evento determinado, y el suceso iniciador, resultado de la agregación de los sucesos básicos que en función de su evolución espaciotemporal pueden dar lugar a distintos escenarios accidentales.

Fuente de peligro - Equipo/actividad	Equipo/actividad asimilado/a	Fuente
Hornos	Hornos	SGS India Pvt. Ltd (2009)
Balsas para tratamientos térmicos	Tanques atmosféricos subterráneos	Flemish Government (2009)
Granalladora	Compresor	Flemish Government (2009)
Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas	Tanques atmosféricos aéreos de almacenamiento	Flemish Government (2009)
	Tanques atmosféricos de proceso	Flemish Government (2009)
	Ignición de líquidos inflamables	Flemish Government (2009)
Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas	Fallo espontáneo de bidones.	HSE (2012)
	Ignición de líquidos inflamables	Flemish Government (2009)
Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias gaseosas	Tanque aéreo a presión	Flemish Government (2009)
	Tanques atmosféricos de proceso	Flemish Government (2009)
	Ignición de gases inflamables	Flemish Government (2009)
Depósitos/recipientes móviles de sustancias gaseosas	Tanque a presión móvil	Flemish Government (2009)
Oxidador térmico	Oxidador térmico	Shewring (2004)
Depósitos/recipientes fijos aéreos con material sólido	Tanque atmosférico aéreo de almacenamiento	Flemish Government (2009)
Instrumentación del circuito de refrigeración	Instrumentación	Schüller (2005)
Intercambiador de calor - circuito de refrigeración	Intercambiador de calor de tubería	Flemish Government (2009)
Transformadores eléctricos	Incendio en transformador	Petersen (2008), en Martín (2009)
Carga y descarga	Actividades de carga y descarga	Flemish Government (2009)
Tuberías aéreas	Tuberías aéreas	Flemish Government (2009)
Tuberías subterráneas	Tuberías subterráneas	Flemish Government (2009)
Estructura de vertedero	Diseño inadecuado	DGPCyE (2004)
Sistema de recolección de lixiviados	Tanque atmosférico de proceso	Purple Book. TNO (1999)
	Diseño inadecuado	DGPCyE (2004)
Depósitos/recipientes fijos o móviles y tuberías	Colisión por vehículo	DGPCyE (2004)

Cuadro 2. Cuadro-resumen de relación de equipos y actividades propias de las fundiciones con equipos, actividades de la bibliografía a la que pueden asimilarse y fuente de referencia. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 del Anejo I se exponen los sucesos básicos y los sucesos iniciadores que se obtienen de su combinación. Se puede comprobar que en gran parte de los casos un suceso básico corresponde con un suceso iniciador, aunque se presentan sucesos iniciadores fruto de la agregación de varios sucesos básicos. El criterio seguido para estos sucesos pretende unificar aquellos que son similares, en cuanto a fuente de peligro, zona y agente causante del daño, y de los que se presumen consecuencias similares.

El operador podrá evaluar cuáles de estos sucesos iniciadores se ajustan más a su instalación y en aquellos agregados, podrá discriminar los sucesos básicos a valorar, según se adecúen a

sus procesos. Una vez definidos les asociará una probabilidad de ocurrencia según las indicaciones recogidas en el citado Anexo III.

XX.4.2. Asignación de probabilidades a los escenarios accidentales

Generalmente, la probabilidad de ocurrencia de un suceso iniciador no coincide con la probabilidad de ocurrencia de los escenarios accidentales que de él derivan, debido a que existen una serie de elementos internos y/o externos a la instalación —que en terminología de análisis de riesgos medioambientales se denominan factores condicionantes— cuya, en primer lugar, presencia/ausencia y, posteriormente, éxito/fracaso dan lugar a distintos escenarios accidentales.

La probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental es resultado del producto de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador multiplicada por la probabilidad de ocurrencia de cada factor condicionante que defina al mencionado escenario accidental. En el anterior epígrafe se han mencionado las fuentes bibliográficas de donde se han obtenido la probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores; en este epígrafe se hará lo propio pero, en este caso, en referencia a los factores condicionantes.

De nuevo, la probabilidad de éxito o fracaso de los factores condicionantes considerados en el presente MIRAT se ha obtenido de referencias bibliográficas del ramo, en concreto de las siguientes:

- *Handbook failure frequencies 2009 for drawing up a safety report* (Flemish Government, 2009).
- *Methods for determining and processing probabilities. Red Book* (Schüller, 2005).
- *Assessment of benefits of fire compartmentation in chemical warehouses* (HSE, 2003).

El Cuadro 3 informa de la fuente empleada para asignar probabilidades de fallo a cada uno de los factores condicionantes identificados en el marco del presente MIRAT. Por otra parte, en el Anejo IV se muestran los valores de las probabilidades de fallo de cada uno de estos componentes a emplear en el análisis de riesgos medioambientales.

Tal y como se indica en el epígrafe VIII.3 y se muestra de forma esquemática en los árboles de sucesos del Anejo II, la detección y extinción de incendios se trata como un único factor condicionante, mientras que la bibliografía ofrece probabilidades diferenciadas para las dos acciones (detección y extinción). De esta forma, la probabilidad del factor condicionante detección y extinción de incendios se obtendrá mediante el producto de la probabilidad de los dos equipos que correspondan: por ejemplo, si la instalación dispone de un sistema de detección y extinción temprana de incendios manual, la probabilidad de fallo de este sistema y, con ello, la probabilidad de que se genere un incendio con potenciales repercusiones en términos de daño medioambiental es de $8,10E-01$ ($9,00E-01 \times 9,00E-01$); por su parte, un sistema automático de detección y extinción temprana de incendios tendría una probabilidad de fallo de $1,20E-02$ ($2,00E-01 \times 6,00E-02$).

Factor condicionante	Equipo / actividad asimilado/a	Fuente
Sistema de contención automática	Sistema de bloqueo automático	Flemish Government (2009)
Sistema de contención manual	Fallo para realizar acciones rápidas y complejas con el fin de evitar un incidente serio, como una explosión	Schüller (2005)
Gestión de aguas y derrames automática o pasiva	Sistema de bloqueo automático	Flemish Government (2009)
Gestión de aguas y derrames manual	Fallo para realizar acciones rápidas y complejas con el fin de evitar un incidente serio, como una explosión	Schüller (2005)
Sistema manual de detección de incendios	Sistema de detección manual	HSE (2003)
Sistema automático de detección de incendios	Sistema automático de detección	HSE (2003)
Sistema mixto de detección de incendios (manual y automático)	Sistema mixto de detección de incendios (manual y automático)	HSE (2003)
Sistema de extinción manual	Sistema de extinción manual	HSE (2003)
Sistema de extinción automático	Sistema de extinción automático	HSE (2003)

Cuadro 3. Cuadro-resumen de relación de factores condicionantes susceptibles de estar presentes en las instalaciones del sector de la fundición, actividades de la bibliografía a la que pueden asimilarse y fuente de referencia. Fuente: Elaboración propia

El analista podrá emplear tanto las probabilidades recogidas en el Anejo IV como otras probabilidades más precisas y/o ajustadas a su instalación en su elaboración del análisis de riesgos medioambientales, basándose en sus conocimientos y experiencia y siempre de forma debidamente justificada.

Finalmente, el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental se realiza aplicando el operador “Y” o intersección al conjunto de probabilidades de los factores condicionantes que desembocan en el escenario a evaluar. De forma matemática, el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un escenario accidental se expresa de la siguiente forma:

$$P_E = prob_S.I \times P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n \quad \text{[Ec.1]}$$

Donde:

- P_E , es la probabilidad de ocurrencia asociada al escenario “E”, el cual se define por ser el resultado de acontecer de forma conjunta el suceso iniciador “S.I.” y los factores condicionantes “1, 2, ... y n”.
- $prob_S.I.$, es la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador del cual se deriva el escenario accidental “E”.
- P_i , es la probabilidad de éxito (o de fallo) de los factores condicionantes que, a partir de determinado suceso iniciador, intervienen en la definición del escenario accidental “E”.

XX.5. PROTOCOLOS PARA EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AGENTE CAUSANTE DEL DAÑO

Además de la probabilidad de ocurrencia, cualquier análisis del riesgo medioambiental exige de la estimación de las consecuencias que, para un importante número de tipos de daño medioambiental (por agente químico, especialmente, pero también para determinados daños causados por agente físico o biológico) exige del cálculo de la cantidad de agente liberada por el suceso iniciador y causante del daño medioambiental.

De forma paralela a lo descrito para el cálculo de las probabilidades de ocurrencia, el cálculo de la cantidad de agente causante del daño también se realiza en dos fases:

- 1) Estimación de la cantidad de agente liberada en cada suceso iniciador. En esta primera fase se estima la cantidad de agente que, en primera instancia, se liberaría en caso de que ocurriese un suceso iniciador determinado. Por ejemplo, en esta primera fase se estimaría el volumen derramado en caso de rotura de un depósito de la instalación.
- 2) Estimación de la cantidad de agente liberada asociada a cada escenario accidental. En esta segunda fase se procede a estimar la cantidad de agente causante del daño que finalmente entra en contacto con los recursos naturales y, con ello, genera un daño medioambiental. La cantidad de agente causante del daño liberada en cada suceso iniciador puede verse modificada por la intervención de los denominados factores condicionantes. Estos factores condicionantes pueden reducir la cantidad de agente causante del daño que finalmente entra en contacto con los recursos naturales (medidas de prevención y/o de evitación de nuevos daños como cubetos de retención) o aumentar la cantidad de agente causante del daño (medios de extinción empleados durante un episodio de incendio diluyen una sustancia soluble).

A continuación se muestran distintas metodologías propuestas en el marco del presente MIRAT que permiten estimar la cantidad de agente causante del daño liberada por el suceso iniciador, en primera instancia, y, posteriormente, la cantidad de agente causante del daño que puede entrar en contacto con los recursos naturales y, con ello, generar un daño medioambiental.

XX.5.1. Cantidad de agente causante del daño asociada a los sucesos iniciadores

El método de cálculo para estimar la cantidad de agente causante del daño liberada en cada suceso iniciador dependerá de la naturaleza del suceso iniciador (derrame de sustancias líquidas, incendio, vertido de líquidos tratados inadecuadamente y vertido de sólidos), de forma paralela a la identificación de tipos de árboles de sucesos de capítulos anteriores.

1. Procedimiento para estimar la cantidad de agente causante del daño asociada a derrames

En el caso de los sucesos iniciadores asociados a derrames en los que, posteriormente, no se produce un incendio o explosión de la sustancia inflamable vertida, el procedimiento de cálculo de la cantidad de agente causante del daño se asocia a: 1) en caso de rotura de un depósito, al volumen del mismo y al porcentaje de llenado en el que suele encontrarse; y 2) en el caso de

tuberías o mangueras, al caudal del elemento y al tiempo de reacción entre que la fuga se produce y la misma se detiene.

El Cuadro 4 identifica para los sucesos iniciadores asociados con un derrame sin incendio o explosión el criterio a aplicar para estimar la cantidad de agente causante del daño.

Tipo de sustancia potencialmente liberada	Sucesos iniciadores vinculados	Criterios para la estimación de la cantidad de agente liberada
Sustancias líquidas empleadas como materias primas	S.P.2	Volumen del depósito de mayor tamaño Porcentaje medio de llenado del depósito de mayor tamaño
	S.M.1	
	S.A.1y2	
	S.A.5y6	
Combustibles	S.C.1y2	Volumen del depósito de mayor tamaño Porcentaje medio de llenado del depósito de mayor tamaño
	S.C.5	
Aguas residuales	S.TA.1y2	Volumen del depósito de mayor tamaño Porcentaje medio de llenado del depósito de mayor tamaño
Reactivos	S.TA.4	Volumen del depósito de mayor tamaño Porcentaje medio de llenado del depósito de mayor tamaño
	S.TA5y6	
Aguas calientes	S.TA.7y8	Caudal (de la tubería, de la fuga, del intercambiador, etc.) Tiempo de detención del derrame
Aceites dieléctricos	S.TR.1	Volumen del depósito de mayor tamaño Porcentaje medio de llenado del depósito de mayor tamaño
Lixiviados	S.V.2	Volumen de la balsa de mayor tamaño Porcentaje medio de llenado de la balsa de mayor tamaño
	S.V.3	
Cualquier sustancia	S.TA.3	Caudal (de la carga o descarga, de la tubería, de la fuga, etc.) Tiempo de detención del derrame
	S.CD.1	
	S.TB.1y2	
	S.TB.5	

Cuadro 4. Procedimiento de estimación de la cantidad de agente liberada en caso de derrame por tipo de sustancia potencialmente liberada y tipo de suceso iniciador. Fuente: Elaboración propia

En el caso de los sucesos iniciadores derivados de la rotura de un depósito, el procedimiento habitual es escoger el depósito que mayor volumen de sustancia pudiera contener en una zona determinada (teniendo en cuenta la capacidad del mismo y su porcentaje medio de llenado). De forma paralela, en el caso de los sucesos iniciadores relacionados con los sistemas de transporte de sustancias líquidas (tuberías y operaciones de carga y descarga), la selección del elemento desde el que pueda originarse la fuga seguirá también un criterio conservador: escoger aquella tubería u operación de carga y descarga, para determinada sustancia, que pudiera generar un mayor volumen de derrame (mayor caudal de transporte, junto con el tiempo que podría transcurrir entre que la fuga se produce y la misma es detenida).

En el caso de los posibles derrames producidos desde los sistemas de transporte de sustancias líquidas (tuberías y carga o descarga de las mismas), como se ha comentado anteriormente, el procedimiento de cálculo de la cantidad de agente causante del daño liberada será función del caudal del sistema de transporte y del tiempo de reacción entre que se produce la fuga y se detiene la misma. La Tabla 2 recoge los tiempos de reacción que la

bibliografía recomienda en función del sistema de detección y bloqueo de los que la instalación disponga en la zona o proceso donde se produciría la fuga. Finalmente, e independientemente del sistema de emergencia disponible en la zona, el volumen de sustancia derramada durante un procedimiento de carga o descarga nunca podrá ser superior al volumen de sustancia contenida en el depósito que las alimenta.

Por otra parte, en ambos casos (derrame desde depósito o desde tubería), la filosofía del análisis de riesgos induce a proponer que el análisis se realice para cada sustancia contaminante presente en la instalación: es decir, se escogería el depósito de mayor tamaño de cada una de las sustancias presentes en la zona y/o la tubería o manguera cuya rotura generara el mayor volumen de vertido, también para cada sustancia empleada. En la práctica, y con el objetivo de alcanzar un compromiso entre exhaustividad del análisis y operatividad del mismo, el operador escogerá aquellas sustancias que puedan, por su volumen presente en la instalación y peligrosidad, ocasionar un daño medioambiental relevante.

Sistema de parada de emergencia	Tiempo (min)
Manual	2
Semiautomático	10
Automático	2

El tiempo de reacción de los sistemas manuales (2 minutos) se ha estimado a partir del tiempo de respuesta propuesto por Flemish Government (2009, página 26) para las operaciones de carga y descarga bajo determinados supuestos de operación: operación realizada siempre bajo presencia de un operario, existencia de sistema de seguridad del tipo *hombre muerto*, etc.

Tabla 2. Tiempos de respuesta en función del sistema de parada de emergencia. Fuente: Elaboración propia a partir de Flemish Government (2009)

Los tipos de agentes causantes del daño identificados en el Índice de Daño Medioambiental (IDM) desarrollado en el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental pueden constituirse una guía para el operador a este respecto: por ejemplo, el operador podría escoger el depósito de mayor tamaño que contenga cualquier sustancia que pueda clasificarse como *fuel* o *Compuesto Orgánico No Volátil* en una zona determinada, evitando realizar el análisis para cada sustancia particular presente en la zona que tuviera estas características. Se remite al analista al apartado IX.1. *Estimación de la gravedad de las consecuencias medioambientales mediante el IDM*, donde se desarrolla el procedimiento de aplicación del IDM.

2. Procedimiento para estimar la cantidad de agente causante del daño asociada a incendios

El empleo en el sector de la fundición de sustancias inflamables y la operación del mismo en condiciones de altas temperaturas ha supuesto la identificación de 18 sucesos iniciadores

(S.P.1, S.P.3, S.M.2, S.M.3, S.M.4, S.A.3y4, S.A.7y8, S.A.9, S.A.10, S.C.3y4, S.C.6., S.C.7, S.TR.2, S.CD.2, S.CD.3, S.TB.3y4, S.TB.6, S.TB.7y8 y S.TB.9) caracterizados por la aparición de un incendio o explosión en el interior de la instalación.

La aparición de un incendio, teniendo en cuenta que la responsabilidad medioambiental no considera daño medioambiental la contaminación atmosférica ni los daños a personas ni a la propiedad privada, podría suponer la generación de un daño medioambiental únicamente en las siguientes circunstancias no excluyentes entre sí:

- Que el incendio se extienda más allá de los límites de la instalación y afecte a recursos naturales cercanos. La ubicación de algunas instalaciones del sector en las proximidades de masas forestales impide descartar este tipo de escenario y, por tanto, exige que se contemple la posibilidad, a evaluar por el operador en función de las características del entorno de su instalación, de que un incendio pueda afectar a recursos naturales. En cualquier caso, los posibles daños medioambientales ocasionados por un incendio no exigen de la estimación de la cantidad de agente causante del daño liberada, sino de la estimación de la superficie de recurso natural afectada —sobre la que la ubicación de la instalación y las características de su entorno influyen de forma determinante— y del número de individuos (daños a especies animales) que pudiera verse afectado por el incendio.
- Que, independientemente de que el fuego quede confinado o no a los límites de la instalación, los medios de extinción empleados para su sofocación intervengan en la generación del daño medioambiental, bien arrastrando sustancias contaminantes no solubles en agua o bien actuando como agente causante del daño en el caso de mezclarse con sustancias solubles.

En el caso de que las aguas de extinción actúen como vehículo de la contaminación, arrastrando una sustancia contaminante no soluble en agua, el procedimiento para estimar la cantidad de agente causante del daño asociada al correspondiente suceso iniciador podrá seguir los mismos criterios definidos para el caso de vertido o derrame: capacidad del depósito de mayor volumen y porcentaje medio de llenado o caudal de transporte y tiempo de respuesta. En cualquier caso, los operadores podrían, siguiendo un criterio conservador, realizar los cálculos considerando a la sustancia como soluble.

Por otra parte, cuando la sustancia involucrada en el incidente sea soluble en agua, la cantidad de agente causante del daño será función de la cantidad de agua (medios de extinción) empleada en la extinción del incendio, que será igual a la suma de los medios de extinción propios (BIE, hidrantes, etc. de los que disponga la instalación) y, en caso de actuar, externos (servicios de bomberos).

El procedimiento de cálculo de los medios de extinción dependerá de las características de la instalación (al aire libre o cubierta, básicamente) y de la información disponible (capacidad de las medidas de extinción disponibles en la instalación).

Cuando la instalación cuente con naves o edificios que permitan tratar los distintos sectores de forma independiente, el presente MIRAT propone el cálculo de los medios de extinción empleados en la extinción de un incendio basándose en Institut National D'Etudes de la Sécurité Civile (2001), que permite el cálculo, por un lado, de las necesidades de agua para la lucha exterior (servicio de bomberos) y, por otro lado, de las necesidades de agua para lucha interior (medios propios de la instalación: rociadores, bocas de incendio, etc.).

En caso de que la instalación no disponga de edificios o naves tales que permitan el tratamiento independiente de los sectores (instalación al aire libre o diáfana), la citada metodología no permite estimar los medios de extinción empleados por la lucha exterior, mientras que para la lucha interior se pueden plantear dos escenarios:

- Que el operador disponga de datos sobre existencias de agua necesarias para extinguir un eventual incendio en cada una de las zonas de la instalación (caudal de diluvios, capacidad del tanque contraincendios, etc.).
- Que el operador no disponga de estos datos ni éstos puedan localizarse, en cuyo caso el presente MIRAT propone recurrir a fuentes bibliográficas alternativas que, debido a la ausencia de datos específicos sobre la instalación, han de emplearse siguiendo un criterio conservador, es decir, utilizando los máximos de los rangos obtenidos.

A continuación se procede a describir el procedimiento metodológico propuesto en el marco del presente MIRAT para estimar los medios de extinción empleados, siguiendo el esquema indicado anteriormente: tipo de instalación y disponibilidad de datos.

I. Existencia de naves o edificios que permitan separar la instalación en sectores

En el caso de aquellas instalaciones que dispongan de naves o edificios que, de producirse un incendio, pudieran tratarse de forma separada (es decir, que pudiera considerarse que el potencial incendio pueda desarrollarse en un sector y confinarse en él, no afectando a otras zonas), el presente MIRAT propone emplear la metodología propuesta por Institut National D'Etudes de la Sécurité Civile (2001), que divide los medios de extinción empleados en dos tipos: agua para lucha exterior (servicio de bomberos) y agua para lucha interior (medios propios de la instalación).

A. Cálculo del volumen de agua necesario para lucha exterior (V_{LE})

El cálculo de las necesidades de agua para la lucha exterior exige de la selección de unos coeficientes que se determinan en función de las características de la instalación: altura de almacenamiento, tipo de construcción y tipo de intervención interna. Las Tablas 3, 4 y 5 siguientes muestran los valores a seleccionar de dichos coeficientes.

Altura máxima de almacenamiento	Coefficientes
Hasta 3 m	0
Hasta 8 m	0,1
Hasta 12 m	0,2
> 12 m	0,5

En ausencia de datos precisos, la altura máxima de almacenamiento puede asimilarse a la altura del edificio menos un metro.

Tabla 3. Coeficientes según las categorías de altura de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia a partir de Institut National D'Etudes de la Sécurité Civil (2001)

Tipo de construcción	Coefficientes
Armazón estable ante el fuego ≥ 1 h ($>RF-60$)	-0,1
Armazón estable ante el fuego ≥ 30 mins (RF-30 - RF-60)	0
Armazón estable ante el fuego < 30 mins ($<RF-30$)	0,1

Tabla 4. Coeficientes según las categorías de tipo de construcción. Fuente: Elaboración propia a partir de Institut National D'Etudes de la Sécurité Civil (2001)

Tipo de intervenciones internas	Coefficientes
Recepción 24h/24	-0,1
Detectores de incendios generalizados conectados 24h/24 a vigilancia o a un puesto de seguridad	-0,1
Servicio propio de seguridad antiincendio 24h/24	-0,3
Ninguno de los anteriores	0

Tabla 5. Coeficientes según las categorías de intervención interna. Fuente: Elaboración propia a partir de Institut National D'Etudes de la Sécurité Civil (2001)

A partir de los coeficientes seleccionados, es posible calcular el denominado caudal intermedio (Q_i), base para la posterior estimación de las necesidades de agua para la extinción de un incendio en la zona:

$$Q_i = 30 \times \frac{S \times (1 + \sum \text{coeficientes})}{500} \quad \text{[Ec.2]}$$

Donde:

Q_i = caudal intermedio (m^3/h)

S = superficie de referencia (m^2)

coeficientes = coeficientes seleccionados de entre los valores proporcionados por las Tablas 3, 4 y 5 en función de las características de la zona donde se produce el incendio.

Este caudal intermedio se pondera posteriormente, siguiendo los criterios de la Tabla 6, en función del nivel de riesgo intrínseco (NRI) de la zona donde se produce el incendio. El NRI de la zona puede estimarse empleando datos disponibles en el Documento de Protección Contra Explosiones (DPCE) o de la Evaluación de Riesgos de Incendio o Explosión (EVRIE) de la instalación o, en última instancia, recurriendo a la calculadora de NRI que el Ministerio de Empleo y Seguridad Social pone a disponibilidad de los potenciales usuarios en su página web³.

Categoría de riesgo	Coefficientes
Riesgo 1 (NRI bajo)	$Q1 = Qi \times 1$
Riesgo 2 (NRI medio)	$Q2 = Qi \times 1,5$
Riesgo 3 (NRI alto)	$Q3 = Qi \times 2$

Tabla 6. Coeficientes según las categorías de riesgo de incendio. Fuente: Elaboración propia a partir de Institut National D'Etudes de la Sécurité Civil (2001)

Finalmente, el riesgo de incendio, medido en unidades de caudal (m^3/h), puede reducirse a la mitad si se cumplen las siguientes premisas:

- La planta posee una protección autónoma, completa y dimensionada adecuadamente.
- La instalación contra incendios se revisa y mantiene regularmente.
- La planta se encuentra en servicio permanentemente.

Una vez definido mediante el procedimiento anterior el caudal necesario para la lucha exterior, y debido a que el resultado del procedimiento es un valor de caudal, es necesario fijar una duración estimada del incendio para hallar la cantidad de agua necesaria para la extinción del incendio por parte del servicio de bomberos ajeno a la instalación.

B. Cálculo del volumen de agua necesario para lucha interior (V_{LI})

Para la estimación de la cantidad de agua necesaria para la extinción del incendio empleando los medios propios de los que disponga la instalación es necesario conocer las especificaciones técnicas que los distintos equipos de extinción de incendio pueden o han de tener. Para ello, el presente MIRAT tomará como referencia el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, y su predecesor —Real Decreto 786/2001, de 6 de julio—, actualmente derogado pero que permite completar la información ofrecida por el primero.

³ <http://calculadores.insht.es:86/SeguridadcontraIncendios/Entradadedatos.aspx>

De entre los equipos indicados en la legislación de referencia, en el marco del presente MIRAT se consideran los siguientes tres medios de extinción:

- a) **Rociadores.** Se ha considerado que la acción de este medio de extinción se define por un caudal de 10 litros por minuto y metro cuadrado con una autonomía de 90 minutos, estimado a partir de la publicación “Indicaciones Básicas para el Diseño y Construcción de la Protección contra Incendios en Edificios Civiles e Industriales”⁴.
- b) **Bocas de incendio equipadas (BIE).** La normativa citada anteriormente establece los caudales de los que este equipo debe disponer en función del Nivel de Riesgo Intrínseco de la instalación o zona (ver Tabla 7).

NRI	Tipo de BIE	Simultaneidad	Autonomía (min)	Caudal (l/min)	Reserva (m ³)
RB	DN 25 mm	2	60	96	5,76
RM	DN 45 mm	2	60	198	11,88
RA	DN 45 mm	3	90	198	17,82
RB: RIESGO BAJO / RM: RIESGO MEDIO / RA: RIESGO ALTO					

Tabla 7. Caudales de agua en función del tipo de diámetro nominal de las BIE (DN).
Fuente: Elaboración propia a partir del Real Decreto 2267/2004

- c) **Hidrantes.** Atendiendo a la normativa vigente, los caudales de agua de extinción que han de proporcionar este tipo de equipos y la autonomía de los mismos dependen de la configuración física de la instalación, identificándose cinco grandes tipos (A, B, C, D ó E):
 - Establecimientos industriales ubicados en un edificio:
 - **Tipo A:** el establecimiento industrial ocupa parcialmente un edificio que tiene, además, otros establecimientos, ya sean estos de uso industrial o de otros usos.
 - **Tipo B:** el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio que está adosado a otro u otros edificios, o a una distancia igual o inferior a tres metros de otro u otros edificios, de otro establecimiento, ya sean estos de uso industrial o bien de otros usos.
 - **Tipo C:** el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio.

⁴ Disponible en Internet en la dirección: <http://es.scribd.com/doc/100843554/12960125-Nipalos-Sistemas-de-Proteccion-Activa-Contra-Incendios>

- Establecimientos industriales que desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen un edificio:
 - **Tipo D:** el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, que puede estar totalmente cubierto, alguna de las fachadas carece totalmente de cerramiento lateral.
 - **Tipo E:** el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede estar parcialmente cubierto (hasta un 50 por ciento de su superficie), alguna de cuyas fachadas en la parte cubierta carece totalmente de cerramiento lateral.

La Tabla 8 identifica los caudales y autonomías que han de tener los hidrantes en función de la configuración de la instalación y de su Nivel de Riesgo Intrínseco (NRI).

Configuración del establecimiento	NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO					
	RB		RM		RA	
	Caudal (l/min)	Autonomía (min)	Caudal (l/min)	Autonomía (min)	Caudal (l/min)	Autonomía (min)
A	500	30	1.000	60	-	-
B	500	30	1.000	60	1.000	90
C	500	30	1.500	60	2.000	90
D y E	1.000	30	2.000	60	3.000	90

Tabla 8. Caudales de agua en hidrantes en función del tipo de instalación. Fuente: Elaboración propia a partir del Real Decreto 2267/2004.

En caso de que la instalación disponga de una combinación de los tres equipos de extinción de incendios comentados en páginas previas (rociadores, bocas de incendio equipadas o BIE e hidrantes), se asumen las siguientes premisas para calibrar las reservas de agua necesarias:

- a) Sistema de BIE e hidrantes:
 - a. Edificios con plantas únicamente a nivel rasante. Se toma como volumen la reserva de agua necesaria para el sistema de hidrantes.
 - b. Edificios con plantas sobre rasante. Se toma como volumen la suma del volumen requerido para las BIE y para el sistema de hidrantes.
- b) Sistema de BIE y de rociadores automáticos. Se toma como volumen la reserva de agua necesaria para rociadores automáticos.
- c) Sistemas de BIE, de hidrantes y de rociadores automáticos. Se toma como volumen el 50 por ciento requerido para hidrantes sumado a la reserva necesaria para los rociadores automáticos.

- d) Sistemas de hidrantes y de rociadores automáticos. El volumen de agua que se toma es la reserva mínima exigible del sistema que requiera la mayor reserva de agua.

C. Cálculo del volumen de sustancias contaminantes arrastradas (V_{sust})

La razón para estimar la cantidad de aguas de extinción generadas en un episodio de incendio radica en la posibilidad de que dichas aguas puedan arrastrar o verse contaminadas por sustancias contaminantes presentes en la instalación o en la zona donde se produce el incendio. Esta consideración se incorpora al análisis de riesgos medioambientales situando el mismo del lado de la prudencia.

La selección de la sustancia que puede verse arrastrada o que puede contaminar las aguas de extinción puede basarse en distintos criterios: en primer lugar, la sustancia debe estar en la zona donde se produce el incendio o lo suficientemente próxima como para que pueda verse involucrada en el incendio. En caso de existir varias sustancias, el presente MIRAT insta a la selección de una sustancia atendiendo a criterios debidamente justificados (sustancia más abundante, sustancia más peligrosa, etc.).

Posteriormente, es necesario estimar la cantidad de sustancia contaminante presente en la zona que llega a contaminar las aguas de extinción. Institut National D'Études de la Sécurité Civile (2001) propone que dicho volumen podría fijarse en el 20% del volumen máximo de la sustancia de referencia (de mayor volumen, peligrosidad, etc.) contenido en la zona donde se produce el incendio.

D. Cálculo del volumen total de aguas de extinción (V_t)

Una vez calculados los datos presentados en epígrafes previos, es posible estimar el volumen de las aguas de extinción contaminadas y que, por tanto, pueden generar un daño medioambiental. El procedimiento de cálculo se expresa a través de la siguiente ecuación.

$$V_I = \left((V_{LE} + V_{LI}) \times Fm \right) + (0,2 \times V_{sust}) \quad \text{[Ec.3]}$$

Donde:

V_I , es el volumen total de aguas de extinción (m³)

V_{LE} , es el valor de volumen de agua calculado para la lucha exterior (m³)

V_{LI} , es el volumen de agua calculado para la lucha interior (m³)

Fm , coeficiente que introduce en el modelo la posibilidad de que no se contamine la totalidad del agua empleada en la extinción. Como norma general, este coeficiente podrá asimilarse a la miscibilidad de la sustancia que potencialmente podría contaminar el agua, dato que puede obtenerse, generalmente, de la ficha de seguridad de la sustancia; este porcentaje es el resultado del cociente entre la solubilidad de la sustancia y la densidad de la misma. En caso de no disponer de estos datos, en el marco del presente MIRAT se propone emplear por defecto un valor del 30%, siguiendo la Guía Metodológica para determinadas actividades de gestión de residuos peligrosos y no peligrosos publicada por la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales (CTPRDM, 2015), disponible en la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente⁵

V_{sust} , es el valor de volumen de la sustancia química de referencia (de mayor volumen, peligrosidad, etc.) presente en la zona afectada por el incendio (m³)

El factor Fm muestra el efecto que la solubilidad de la sustancia tiene en el cálculo de las aguas de extinción. Para aquellas sustancias insolubles en agua, este factor será igual a 0, anulando a las aguas de extinción como agente causante del daño; en este caso, las aguas de extinción se limitan a ejercer de vehículo de la contaminación, arrastrando a la sustancia contaminante hasta los recursos naturales.

II. Inexistencia de naves o edificios pero sí de datos de caudales y capacidades de las medidas de extinción

En el caso de que la instalación de la que se quiere realizar un análisis de riesgos medioambientales no disponga de naves o edificios (supuesto altamente improbable en el sector, pero que se incluye en el presente MIRAT con el objetivo de cubrir cualquier circunstancia), la metodología expuesta anteriormente no podría ser utilizada.

Si el operador dispone de datos sobre caudales y capacidades de las medidas de extinción disponibles en la instalación (que carece de naves o edificios), el cálculo de la cantidad de aguas de extinción generadas podrá realizarse a partir de estos datos.

De forma adicional, en caso de que la instalación disponga de un tanque de aguas de protección contra incendios, y que ésta sea la única fuente de suministro para los sistemas de

⁵ <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/analisis-de-riesgos-sectoriales/herramientas.aspx>

extinción en caso de incendio, el operador podrá emplear el volumen medio de llenado del mismo para el cálculo de las aguas de extinción generadas.

Una vez estimada la cantidad de aguas de extinción necesarias para sofocar un incendio en la instalación, el operador deberá estimar la cantidad de sustancias contaminantes que pueden diluirse o verse arrastradas por las aguas de extinción —por ejemplo, un 20 por ciento del volumen de sustancias químicas presentes en la zona del incendio, tal y como se indicó en el punto C de la opción I anteriormente descrita—. Igualmente, si el analista considera poco realista que se contaminen todas las aguas de extinción generadas debido a la escasa solubilidad de la sustancia considerada como agente causante del daño, puede incorporar al análisis el factor *Fm* presentado en el apartado D de la opción I descrita en páginas anteriores.

III. Inexistencia de naves o edificios y de datos de caudales y capacidades de las medidas de extinción

En caso de que el analista no disponga de datos sobre caudales y capacidades de las medidas de extinción presentes en una instalación que no dispone de naves o edificios, el cálculo de las aguas de extinción puede apoyarse en las Notas Técnicas de Prevención (NTP) publicadas por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). La *NTP 420: Instalaciones de abastecimiento de agua contra incendios* proporciona algunos criterios para estimar la cantidad de aguas de extinción generadas en un incendio:

1. En primer lugar, indica que los manuales guías generales proponen un caudal mínimo de extinción de entre 4 y 20 litros/min/m² (expresado por m² del área de la superficie proyectada). Siguiendo el criterio de prudencia que ha de gobernar la elaboración de un análisis de riesgos medioambientales, el presente MIRAT propone el empleo del caudal de 20 litros/min/m².
2. La NTP estima la duración del incendio en función del tipo de incendio, según lo indicado en la Tabla 9.

Duración del incendio (minutos)	
Categoría I	<10
Categoría II	15-60
Categoría III	>60

Tabla 9. Categorías de incendios en función de su duración. Fuente: Elaboración propia a partir de NTP 420 (INSHT)

Atendiendo a la identificación de sucesos iniciadores realizada en capítulos previos del presente MIRAT, los incendios más comunes en las instalaciones del sector serían los incendios generados en tanques o por fugas de líquido (incendios de charco); la NTP incluye a estos incendios dentro de la categoría III, por lo que habría de considerarse un incendio con una duración superior a los 60 minutos.

De esta forma, el volumen de aguas de extinción generado puede estimarse a través del producto de los siguientes tres parámetros:

- Caudal de referencia (20 l/minuto/m² o 0,02 m³/minuto/m²).
- Tiempo medio estimado de duración del incendio (minutos).
- Superficie de la instalación o de cada zona de riesgo (m²).

Finalmente, el analista considerará, por una parte, el volumen de sustancias contaminantes involucradas en el incendio y que puede acabar contaminando las aguas de extinción o verse arrastrado por éstas y, en segunda instancia, estimará el volumen de aguas de extinción afectado por la contaminación. Para ello, pueden seguirse los criterios propuestos en los apartados C (20 por ciento del volumen de sustancia contaminante de referencia existente en la zona donde se produce el incendio) y D (factor F_m) de la opción I de estimación del volumen de aguas de extinción comentada en páginas anteriores.

3. Procedimiento para estimar la cantidad de agente causante del daño asociada al vertido de líquidos tratados inadecuadamente

La cantidad de agente causante del daño asociada al suceso iniciador S.TA.3 (fuga/derrame de aguas contaminadas por fallo de instrumentación de depuración) ha de estimarse a partir del caudal de vertido que la empresa normalmente realiza y del tiempo en el que se detectan los parámetros de vertido anómalos y el vertido puede detenerse. El producto de ambos parámetros ofrecerá al analista el volumen de aguas contaminadas vertidas al medio.

El caudal de vertido es un dato del que el operador dispondrá y que aparecerá en su autorización de vertido; por otra parte, el tiempo de detección de parámetros anormales de vertido y la posterior detención del mismo dependerá del sistema instalado por el operador. De esta forma, este tipo de reacción se tomará de la Tabla 2, en el que aparecen los tiempos de respuesta dependiendo del tipo de instalación (manual bajo determinadas condiciones de operación, automática y semiautomática).

4. Procedimiento para estimar la cantidad de agente causante del daño asociada a vertido de sustancias sólidas

En la identificación de elementos del MIRAT se han identificado dos sucesos iniciadores que supondrían el vertido de sustancias sólidas: el S.A.11y12 (suceso iniciador asociado a la rotura de los depósitos o silos donde se almacenan las arenas empleadas para la construcción del molde u otros materiales sólidos almacenados en la instalación) y el S.V.1 (suceso iniciador asociado a un potencial deslizamiento de un talud del vertedero de residuos no peligrosos).

En el caso del suceso iniciador S.A.11y12, la cantidad de agente causante del daño seguirá el mismo criterio que el indicado para el caso de vertido de sustancias líquidas: volumen del depósito de mayor tamaño y porcentaje medio de llenado del mismo.

Con respecto al vertido de sólidos por deslizamiento en el talud de vertedero (suceso S.V.1), tomando como base las visitas realizadas y el criterio técnico experto, se estima que la

tipología de vertederos puede ser muy dispar —a modo de ejemplo, pueden ser vertederos excavados bajo el nivel del suelo o en altura, en terrenos con diferentes morfologías y componentes y que reciben distintos tipos de residuos—. Es por ello que se ha concluido que realizar un planteamiento teórico de valoración de cantidad vertida sin poseer detalles técnicos concretos resulta arriesgado a la par que escasamente efectivo. Se remite, por tanto, al operador que pueda presentar un evento de este tipo a realizar un estudio *ad hoc* con los datos concretos de su instalación, dando así la posibilidad de justificar los datos seleccionados con una base realista que no lleve a error.

XX.5.2. Cantidad de agente causante del daño asociada a los escenarios accidentales

De la misma forma que la probabilidad de ocurrencia de un escenario accidental puede ser distinta a la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador del que deriva, la cantidad de agente causante del daño del escenario accidental será distinta a la cantidad de agente causante del daño liberada en el suceso iniciador. De nuevo, los factores condicionantes (generalmente, medidas preventivas y/o de evitación de nuevos daños instaladas por el operador) pueden desde reducir (o incluso anular) la cantidad de agente causante del daño que finalmente entra en contacto con los recursos naturales (por ejemplo, la instalación de un cubeto de retención que, al actuar correctamente, confina completamente el vertido) hasta aumentar esa misma cantidad (las aguas de extinción generadas para apagar un incendio pueden entrar en contacto con sustancias solubles presentes en la zona o en la instalación y, con ello, aumentar de forma considerable la cantidad de agente causante del daño).

El éxito o fracaso de los factores condicionantes influye de forma determinante en la cantidad de agente causante del daño asociada a cada escenario accidental. Asimismo, los factores condicionantes que potencialmente pueden tener un papel en un episodio de accidente varían en función de las características del mismo, tal y como se indicó en el epígrafe VIII.3 del presente MIRAT (derrame, incendio, líquidos tratados inadecuadamente y vertido de sólidos). De esta forma, la descripción de los mismos y sus efectos sobre la cantidad de agente causante del daño se estructurará en función de esta naturaleza del suceso iniciador.

1. Procedimiento para estimar la cantidad de agente causante del daño en los escenarios accidentales derivados de derrames

En el caso de derrames o vertidos, los factores condicionantes considerados en el marco del presente MIRAT hacen referencia a distintos equipos o actuaciones destinadas a la contención de dicho vertido: contención automática, contención manual y gestión de aguas.

a) Contención automática.

Este factor condicionante hace referencia a la instalación de sistemas de contención automática y pasiva (cubetos de contención, válvulas, compuertas, etc.). Estos equipos permiten reducir la cantidad de agente causante del daño incluso en el caso de que, por distintas circunstancias, no actúen de forma adecuada.

En caso de éxito de la medida de contención, estos dispositivos reducirán la cantidad de agente causante del daño tanto como la capacidad de retención para la que fueron diseñados.

En el marco del presente MIRAT, se considera que, incluso en el caso de que estos equipos no funcionen de forma adecuada, los mismos podrían llegar a reducir en cierta medida la cantidad de agente causante del daño (un cubeto de retención en mal estado puede no poder contener todo el vertido que recibe, pero es realista considerar que sí que podrá contener cierto volumen del vertido recibido). El presente MIRAT recomienda adoptar un valor conservador a esta capacidad de retención mínima: inferior al 10% de la capacidad de contención constructiva o nominal de la medida evaluada.

b) Contención manual.

La contención del vertido por parte de un operario podrá también, en caso de éxito, reducir la cantidad de agente causante del daño en la cantidad para la que los sistemas disponibles fueron diseñados (mantas absorbentes, materiales absorbentes como sepiolita, etc.).

Por otra parte, la posibilidad de que incluso en el caso de que la contención no tenga éxito pueda llegar a reducirse la cantidad de agente causante del daño dependerá de la presencia continua o no de personal en el lugar donde se produce el vertido o derrame:

- Si hay presencia continua de personal en la zona donde se produce el vertido, se acepta que, incluso en caso de accionamiento ineficiente, pueda llegar a reducirse la cantidad de agente causante del daño de la misma forma que en el caso de la contención automática. Igualmente, se aplicará el mismo criterio a la hora de definir la capacidad de retención mínima: inferior al 10% de la capacidad de retención de los equipos empleados.
- Sin embargo, en caso de que no exista presencia continua de personal, el fracaso de las medidas de contención manual no supondrá ninguna reducción de la cantidad de agente causante del daño.

c) Gestión de aguas y derrames

La capacidad de contención de una red propia de drenaje que la instalación tenga instalada tendrá un tratamiento similar a la anteriormente comentada de contención manual y automática. En caso de éxito, la gestión de aguas y derrames logrará reducir la cantidad de agente causante del daño tanto como capacidad de contención tenga la medida.

En el caso de funcionamiento ineficiente de la gestión de aguas y derrames, la capacidad de reducción de la cantidad de agente causante del daño dependerá de la automatización de dicha red: si la gestión de aguas y derrames se realiza de forma automática, se recomienda aplicar una reducción de la cantidad de agente causante del daño inferior al 10% de la capacidad de retención de la medida. Si la gestión y de aguas y derrames se realiza de forma manual, la capacidad de reducción de la cantidad de agente causante del daño dependerá de la presencia continua o no de personal: de nuevo, un máximo del 10% de la capacidad de la medida si la presencia de persona es continua y ninguna capacidad de retención cuando dicha presencia de personal no es continua.

2. Procedimiento para estimar la cantidad de agente causante del daño en los escenarios accidentales derivados de incendios

En caso de incendios, el presente MIRAT ha considerado que intervendrá como factor condicionante, en primer lugar, el sistema de detección y extinción de incendios (ya sea manual, mixto o automático) y su capacidad de apagar el incendio de forma temprana y, en caso de fracaso en esta extinción temprana, la gestión de aguas y derrames, que pueda retener las aguas de extinción que pudieran haberse contaminado con sustancias presentes en la instalación.

a) Detección y extinción temprana de incendios

Como se ha comentado en epígrafes anteriores, los medios de extinción (agua) empleados para apagar un incendio que pudiera generarse en una instalación se constituyen bien como agente causante del daño (en caso de mezclarse con sustancias solubles) bien como vehículo de propagación de la contaminación (sustancias no solubles).

En caso de éxito de la detección y extinción temprana del fuego, el presente MIRAT considera que los medios de extinción empleados evitan la generación de aguas de extinción y, con ello, la generación de ninguna cantidad de agente causante del daño: el escenario accidental se define como un incidente sin repercusiones en términos de riesgo medioambiental.

Sin embargo, en caso de fracaso en la detección y extinción temprana del incendio, la cantidad de aguas de extinción (de agente causante del daño) se estimará siguiendo los procedimientos descritos en el punto 2 del epígrafe VIII.5.1.

b) Gestión de aguas y derrames

Tras la generación de un incendio y el fracaso en su detección y extinción temprana y, con ello, tras la generación de aguas de extinción, la existencia en la instalación de una red de drenaje constituye una medida de prevención básica para evitar la generación de un daño medioambiental. Su consideración en el modelo seguirá las mismas pautas establecidas para este mismo sistema en el caso de sucesos iniciadores de tipo derrame y que fueron descritas en páginas previas.

3. Procedimiento para estimar la cantidad de agente causante del daño en los escenarios accidentales derivados de vertido de líquidos tratados inadecuadamente

Tal y como se indicó en el punto 3 del apartado VIII.3 del presente MIRAT, la contención automática y manual en este tipo de árbol de sucesos tienen naturaleza distinta que en el caso de los sucesos iniciadores relacionados con vertidos: en este caso, se trata de que, ya sea automática o manualmente, se detenga el vertido de líquidos con parámetros de calidad por debajo de lo exigido en la autorización de vertido.

Este tipo de contención contempla la posibilidad de que la instalación disponga de un sistema (depósito, balsa intermedia, etc.) que retenga el vertido entre el punto de medición de los parámetros de vertido y el lugar donde se produce el mismo. La capacidad retención será igual a la capacidad que tenga dicho sistema intermedio; la diferenciación entre automático o manual dependerá de que el accionamiento de las válvulas que impiden el vertido esté automatizado o precise de la intervención de un operario.

a) Contención automática.

El éxito de la contención automática de un vertido de líquidos procedentes de la depuradora que no alcancen los parámetros exigidos logrará reducir la cantidad de agente causante del daño tanto como capacidad de retención tenga el equipo. Mientras, en caso de funcionamiento ineficiente, se asume una contención mínima de este sistema que no superará en ningún caso el 10% de su capacidad de retención.

b) Contención manual.

Que, tras el fracaso de la detención automática del vertido de líquidos insuficientemente tratados en la depuradora, sea la actuación de un operario la que active la válvula de cierre que clausure el vertido a cauce o a la red pública de alcantarillado es el segundo factor condicionante considerado en este tipo de árbol de sucesos.

El efecto de esta medida en términos de cantidad de agente causante del daño mantendrá los mismos criterios que lo indicado anteriormente en el caso de la contención manual en un episodio de vertido.

4. Procedimiento para estimar la cantidad de agente causante del daño en los escenarios accidentales derivados de vertido de sustancias sólidas

En el caso de las sustancias sólidas que puedan encontrarse en las instalaciones del sector (arenas, metales y residuos metálicos, vertedero, etc.), la existencia de un elemento de contención (muro, valla, talud, etc.) puede evitar que, en caso de vertido de los mismos, puedan verse afectados los recursos naturales. Este elemento físico situado entre el potencial foco de vertido y los recursos naturales potencialmente afectados (aguas superficiales y suelo) ha de entenderse como una medida de contención automática, al no existir ninguna intervención humana para su activación.

a) Contención automática.

El analista deberá calcular la capacidad de contención del elemento que actúa como contención automática e identificar ésta como el volumen de vertido de sólidos que este elemento podrá contener y, con ello, la capacidad del elemento de reducir la cantidad de agente causante del daño.

En caso de fracaso, se considera que dicho elemento es capaz de reducir en una mínima proporción (nunca superior al 10% de la cantidad vertida según el suceso iniciador) la cantidad de agente causante del daño liberada por el suceso iniciador.

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

XXI.1. ESTIMACIÓN DE LA GRAVEDAD DE LAS CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES MEDIANTE EL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL

El Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, en su nueva redacción según el Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo, establece que, en el marco del establecimiento de la cuantía de la garantía financiera, la magnitud de las consecuencias medioambientales de cada escenario accidental ha de evaluarse mediante el cálculo del Índice de Daño Medioambiental (IDM). Este índice tiene carácter semicuantitativo, asignando valores mayores (pero sin relación aritmética) a los escenarios que, *a priori*, producirían un mayor daño medioambiental.

El IDM se calcula para cada escenario aplicando la siguiente ecuación:

$$IDM = \sum_{i=1}^n \left[(Ecf + A \times Ecu \times (B \times \alpha \times Ec) + p \times M_{acc}^q + C \times Ecr) \times (1 + Ecc) \right] + (\beta \times Eca) \quad \text{[Ec.4]}$$

Donde:

IDM, es el Índice de Daño Medioambiental.

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

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

$$A = \prod_{j=1}^l M_{A_j} \quad \text{[Ec.5]}$$

E_{cu} , es el estimador del coste unitario del proyecto de reparación para la combinación agente-recurso i .

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

$$B = \prod_{j=1}^m M_{B_j} \quad \text{[Ec.6]}$$

α , representa la cantidad de agente involucrada en el daño.

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

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

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

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

C , es el multiplicador del estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación, siendo igual al valor del modificador que afecta al estimador del coste de revisión y control (M_{C_i}) para cada combinación agente-recurso i . Su fórmula es:

$$C = M_{C_j} \quad \text{[Ec.7]}$$

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

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

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

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

β , representa la distancia (Dist) desde la zona a reparar a la vía de comunicación más cercana.

La aplicación del IDM exige de la identificación de las combinaciones agente causante del daño-recurso natural afectado que, dentro de las consideradas en el diseño de dicho índice, pueden darse en el sector que se evalúa, en este caso el sector de las fundiciones. La Tabla 10 identifica estas combinaciones agente-recurso relevantes dentro del sector de las fundiciones.

Agente causante de daño		Recurso							
		Agua			Lecho continental y marino	Suelo	Ribera del mar y de las rías	Especies	
		Marina	Continental					Vegetales	Animales
			Superficial	Subterránea					
Químico	COV halogenados	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 5	Grupo 7	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 16
	COV no halogenados								
	COSV halogenados								
	COSV no halogenados								
	Fueles y CONV								
	Sustancias inorgánicas								
	Explosivos								
Físico	Extracción/Desaparición								
	Vertido de inertes			Grupo 8	Grupo 3				
	Temperatura		Grupo 4		Grupo 4		Grupo 13	Grupo 18	
Incendio								Grupo 14	Grupo 19
Biológico	OMG								
	Especies exóticas invasoras								
	Virus y bacterias								
	Hongos e insectos								

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

Tabla 10. Grupos de combinaciones agente causante del daño-recurso natural afectado representativas del sector. Fuente: Elaboración propia a partir del RD2090/2008.

Con el fin de garantizar el correcto cálculo del IDM, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente ha publicado en su página web distinta información de apoyo, entre la cual se recomienda consultar la siguiente:

- Memoria del análisis de impacto normativo abreviada del proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre. Este documento ofrece una descripción y una justificación detallada de la metodología de cálculo del IDM. Adicionalmente, recoge

una serie de pautas e indicaciones para la introducción de los parámetros de entrada en la ecuación del IDM.

- Módulo de cálculo del IDM. Dentro de la aplicación informática MORA se ha integrado un módulo que permite a los operadores calcular el IDM de cada escenario a partir de la introducción de sus parámetros de entrada.
- Guía de usuario del módulo de cálculo del IDM. Se trata de un manual práctico en el que se indica la manera de utilizar el módulo de cálculo del IDM integrado en la aplicación informática MORA. Dentro de la guía resulta especialmente destacable la existencia de un caso práctico ilustrativo en el que se muestra paso a paso la forma de calcular el IDM.

XXI.1.1. Pautas para la selección de la combinación agente causante de daño-recurso natural afectado

Para la identificación correcta de la combinación agente causante del daño-recurso natural afectado, el analista deberá identificar, siquiera de forma preliminar, ambos elementos en su análisis:

- Para la identificación de los recursos naturales potencialmente afectados en caso de accidente, el operador deberá tener en cuenta las características del medioambiente que rodea a su instalación, pudiendo acudir para ello al apartado V.1 del presente MIRAT, donde se identifican algunas fuentes de información para la descripción del medio físico y biótico de los alrededores de la instalación.
- Respecto a los agentes causantes del daño, el Cuadro 5, extraído de la Guía de usuario del módulo de cálculo del IDM, presenta un esquema que permite de forma sencilla clasificar los diferentes agentes causantes del daño en función de sus características.

Para el caso de los escenarios que impliquen el derrame de una mezcla de productos químicos, será el operador el que deba decidir la forma más adecuada de adaptarlos al esquema del Cuadro 5, si bien la opción elegida debe justificarse adecuadamente. A continuación se enumeran algunos de los criterios que habitualmente se plantean en los análisis de riesgos medioambientales, aunque, como se ha comentado, cada operador podrá aplicar aquellos que precise oportuno, siempre que queden correctamente justificados:

- a) Selección como referencia de una sustancia similar

Se plantea tomar la sustancia del esquema previo que más se pueda asimilar a la mezcla analizada. Para ello se atenderá a aspectos como el comportamiento de la mezcla, su toxicidad, el coste de los posibles daños que se pudieran ocasionar, etc.

- b) Selección como referencia de la sustancia más tóxica

Es una de las opciones más conservadoras, asimilando que la totalidad de la mezcla tiene las propiedades de la sustancia más tóxica presente en la misma.

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

Cuadro 5. Esquema de asistencia para la selección del agente causante de daño. PE = Punto de ebullición. Fuente: Guía de usuario del módulo de cálculo del IDM

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

Al igual que la propuesta anterior, se trataría de un enfoque conservador en el que se asume que la mezcla se comporta en su totalidad como la sustancia que puede causar los mayores daños ambientales de entre todas las que la conforman. Para argumentar esta elección se puede acudir a la herramienta MORA—disponible en la web del MAGRAMA—y hallar los costes de reparación vinculados a cada tipo de sustancia.

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

Una posibilidad menos conservadora, pero justificable igualmente, es aquella en que se asimila la mezcla a la sustancia tóxica mayoritaria en su formulación.

En las páginas siguientes se hace un recorrido por los distintos coeficientes que intervienen en el cálculo del IDM, con el fin de aportar pautas y criterios al analista para, cuando proceda, poder elegir el valor de los distintos coeficientes que mejor se adapta a las características del escenario accidental que se evalúa.

XXI.1.2. Pautas para la estimación del coeficiente Ecf

El estimador de los costes fijos (Ecf) se encuentra predeterminado en el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre para cada una de las combinaciones agentes causantes del daño-recursos naturales afectados.

XXI.1.3. Pautas para la estimación del coeficiente A

El coeficiente “A” es el multiplicador del estimador del coste unitario y se obtiene mediante la multiplicación de una serie de parámetros (modificadores) que el IDM identifica que tienen influencia en el estimador del coste unitario de la reparación:

- *Modificador «Densidad de la vegetación».* *Densidad de la vegetación.* Este parámetro puede ser medido directamente en campo o, en su defecto, completado con datos de fuentes bibliográficas como el Inventario Forestal Nacional o el Mapa Forestal de España.
- *Modificador «ENP».* *Afección a un Espacio Natural Protegido.* Dato que puede determinarse consultando la información disponible en las correspondientes Comunidades Autónomas o en la página web del MAGRAMA.
- *Modificador «Pedregosidad».* *Pedregosidad del terreno.* Este dato debe ser rellenado a partir de la observación directa sobre el terreno de las características del suelo, especialmente atendiendo a su transitabilidad y compactación.
- *Modificador «Pendiente».* *Pendiente media del terreno.* La pendiente media del terreno potencialmente afectado se estimará mediante visita de campo o bien consultando fuentes de información cartográficas.

XXI.1.4. Pautas para la estimación del coeficiente Ecu

“Ecu” es el estimador del coste unitario del proyecto de reparación. Es un parámetro fijado en el IDM para cada combinación agente-recurso, por lo que en su elección no interviene el criterio del analista.

XXI.1.5. Pautas para la estimación del coeficiente B

El coeficiente “B” es el multiplicador de la cantidad de recurso potencialmente afectada y se obtiene mediante la multiplicación de los valores adoptados respecto a una serie de modificadores que el IDM considera con influencia sobre la cantidad de recurso afectada:

- *Modificador «Biodegradabilidad».* *Degradabilidad de la sustancia.* Esta característica se encuentra disponible en las fichas de seguridad de las sustancias químicas.
- *Modificador «Densidad de población».* *Densidad de población.* En el caso de que se puedan ver afectados especies animales, este modificador incluye en la estimación de las consecuencias el estado cuantitativo de las poblaciones de

especies animales susceptibles de recibir el daño. Para hallar este valor hay que acudir a las referencias bibliográficas que haya sobre la zona objeto de estudio.

- *Modificador «Densidad de la vegetación».* *Densidad de la vegetación.* Tal y como se ha indicado en páginas previas, este dato puede ser evaluado mediante un trabajo de campo o bien consultando referencias como el Inventario Forestal Nacional o el Mapa Forestal de España.
- *Modificador «Diferencia de temperatura».* *Diferencia de temperatura vertido-receptor.* Este modificador interviene en el caso de vertidos de líquidos a altas o bajas temperaturas; de la diferencia de temperatura entre el vertido y el medio receptor se derivará un impacto mayor o menor sobre el medio receptor.
- *Modificador «Lago o embalse».* *Daño a un lago o embalse.* Mediante este modificador, el IDM incorpora a la estimación semicuantitativa del daño medioambiental la posibilidad de que pueda verse afectado o no un lago o un embalse en alguno de los escenarios definidos. El modificador adopta distintos valores en función de la capacidad de la masa de agua (lago o embalse) potencialmente afectada, dato que puede obtenerse del Inventario de Presas y Embalses de España elaborado por el MAGRAMA y disponible a través de Internet.
- *Modificador «Peligrosidad».* *Peligrosidad del agente biológico.* Es un parámetro dirigido a los agentes de tipo biológico: Organismos Modificados Genéticamente (OMG), especies exóticas invasoras y microorganismos patógenos. No obstante, debido a que los agentes biológicos no se consideran relevantes en el sector objeto de estudio este aspecto podrá ser obviado.
- *Modificador «Pendiente».* *Pendiente media del terreno.* Como se ha comentado anteriormente, la pendiente del terreno puede ser determinada mediante mediciones en campo o acudiendo a bibliografía y cartografía.
- *Modificadores «Permeabilidad 1» y «Permeabilidad 2».* *Permeabilidad del suelo.* La permeabilidad del suelo podrá determinarse utilizando estudios del suelo específicos de los que pueda disponer el operador o recurriendo a la cartografía publicada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- *Modificador «Precipitación».* *Precipitación media anual.* La Agencia Estatal de Meteorología o el Atlas Nacional de España elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) pueden proporcionar al analista este dato.
- *Modificador «Río».* *Daño a un río.* Mediante este parámetro se introduce en la estimación semicuantitativa del daño medioambiental la posible afección a una masa de agua corriente —ríos, arroyos, regatos, etc.—. El modificador adopta valores distintos en función del caudal del río, dato que puede obtenerse acudiendo a la red de estaciones de aforo del Centro de Estudios y

Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) o de las diferentes Confederaciones Hidrográficas.

- *Modificador «Solubilidad».* *Solubilidad de la sustancia.* Este dato puede obtenerse de la ficha de seguridad de la sustancia vertida o derramada.
- *Modificador «Temperatura».* *Temperatura media anual.* En caso de incendio, el IDM considera como dato relevante la temperatura media anual de la zona potencialmente afectada. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) o la información cartográfica que puede encontrarse en el Atlas Nacional de España pueden aportar información sobre este dato.
- *Modificador «Tipo de fuga».* *Forma en la que se produce el vertido.* Las características de la fuga tienen influencia sobre la cantidad de recurso afectado. El IDM diferencia tres tipos posibles de fuga: creciente —se trata de vertidos cuyo caudal aumenta con el tiempo—, fuga continua —en las que el caudal fugado se mantiene constante— o fuga instantánea —si el tiempo que tarda en producirse el vertido se considera despreciable—.
- *Modificador «Toxicidad».* *Toxicidad de la sustancia.* De nuevo, este es un dato que puede consultarse en la ficha de seguridad de la sustancia.
- *Modificador «Viento».* *Velocidad media del viento.* La velocidad del viento es un dato muy relevante a la hora de conocer la cantidad de recurso afectado en caso de incendio. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y el Atlas Nacional de España proporcionan información al respecto.
- *Modificador «Viscosidad».* *Viscosidad de la sustancia.* Este dato puede consultarse en la ficha de seguridad de la sustancia.
- *Modificador «Volatilidad».* *Volatilidad de la sustancia.* En el marco del IDM, la volatilidad de la sustancia se clasifica en función del punto de ebullición que tenga la sustancia. Este dato también puede consultarse en la ficha de seguridad.

Debido a que ciertos modificadores del IDM indicados en páginas anteriores dependen de ciertas características de la sustancia —biodegradabilidad, solubilidad, toxicidad, etc.— que actúa como agente causante del daño, el analista podrá recurrir a las pautas recogidas en el epígrafe IX.1.1 de selección de la sustancia de referencia en el caso de vertido de una mezcla de productos o residuos.

XXI.1.6. Pautas para la estimación del coeficiente α

El coeficiente “ α ” hace referencia en la ecuación del IDM a la cantidad de agente causante del daño implicada en el suceso. En función de la combinación agente-recurso, dicha cantidad se determina atendiendo a las siguientes magnitudes:

- La masa vertida (M_{vert})
- El volumen vertido (V_{vert})

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

En el caso de los daños físicos por extracción, se utilizan las magnitudes “Vext”, “Mext”, “Supext” y “Next”. Debido a que en el sector de la fundición no se consideran como relevantes este tipo de daño, el analista no tendrá que recurrir a la estimación de estos valores.

En caso de vertido de agentes químicos, de inertes y de agua a alta temperatura, para lo que se utilizan las magnitudes “Mvert” y “Vvert”, el analista recurrirá a las pautas definidas en el presente MIRAT sobre determinación del volumen o de la masa vertida (ver epígrafe VIII.5).

En el caso de daños al suelo, el IDM exige introducir la profundidad media de las aguas subterráneas, para lo que el operador recurrirá a informes particulares o a datos públicos como el Sistema de Información de Aguas Subterráneas del MAGRAMA o a datos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

XXI.1.7. Pautas para la estimación del coeficiente Ec

El coeficiente “Ec” establece una relación entre la cantidad de agente causante del daño liberada y la cantidad de recurso natural potencialmente afectado. Este coeficiente está fijado para cada combinación agente-recurso.

XXI.1.8. Pautas para la estimación del coeficiente p

El coeficiente “p” aplica únicamente en el caso de que se estimen daños al lecho de las aguas marinas o de las aguas continentales. Los valores de este coeficiente aparecen establecidos en el IDM para cada combinación agente-recurso.

XXI.1.9. Pautas para la estimación del coeficiente Macc

Al igual que el coeficiente “p”, el coeficiente “Macc” aplica en el caso de que se prevea una afección al lecho de las aguas marinas o de las aguas continentales. Este coeficiente exige al analista estimar la cantidad de agente causante del daño que podría depositarse en el lecho, medida en toneladas.

XXI.1.10. Pautas para la estimación del coeficiente q

De nuevo, este coeficiente aplica únicamente en caso de daños al lecho de las aguas marinas o de las aguas continentales. Sus valores se encuentran preestablecidos en la normativa.

XXI.1.11. Pautas para la estimación del coeficiente C

El coeficiente “C” multiplica al estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación y es función directa de la duración estimada de las tareas de reparación del daño.

El analista deberá evaluar la duración del daño medioambiental que potencialmente se produciría. El Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA) recomienda una técnica reparadora del daño en función de una serie de parámetros, la cual lleva asociada una duración del procedimiento de reparación (y, con ello, del daño). Otra opción es recurrir a fuentes bibliográficas de técnicas y proyectos de reparación que informen sobre la duración de la técnica a emplear en cada caso (por ejemplo, la base de datos de la *Federal Remediation Technologies Roundtable* (FRTR)).

XXI.1.12. Pautas para la estimación del coeficiente Ecr

El coeficiente “Ecr” es el estimador de los costes de revisión y control. La normativa establece para cada combinación agente-recurso el valor que ha de adoptar en su participación en el cálculo del IDM.

XXI.1.13. Pautas para la estimación del coeficiente Ecc

Mediante el coeficiente “Ecc” la ecuación del IDM incorpora a la estimación semicuantitativa del daño los costes de redacción del proyecto de reparación. De nuevo, la combinación agente-recurso determina el valor de este coeficiente, que se expresa como un porcentaje del coste de reparación del daño.

XXI.1.14. Pautas para la estimación del coeficiente β

Con el fin de incorporar al análisis la accesibilidad al lugar donde se produce el daño hipotético, el IDM exige al analista mediante el coeficiente “ β ” que indique la distancia entre el punto donde se produciría el/los daño/s y la/s vía/s de comunicación más cercana/s.

XXI.1.15. Pautas para la estimación del coeficiente Eca

Por último, el coeficiente “Eca” es el estimador del coste de acceso; en el cálculo del IDM, es un parámetro fijo que adopta un valor de 6,14 en todos los casos.

XXI.1.16. Pautas para la estimación de varias combinaciones agente-recurso

Un mismo escenario accidental puede suponer la liberación de varios agentes causantes del daño y/o afectar a varios recursos naturales. El IDM procede a tratar por separado cada combinación agente-recurso que el analista identifique para, posteriormente, sumar el valor de IDM obtenido en cada combinación agente-recurso y, con ello, obtener el valor semicuantitativo del daño medioambiental del escenario accidental.

Una vez obtenido este valor, éste se corresponderá con la magnitud del daño esperado asociado al escenario accidental evaluado, es decir, el IDM proporciona un valor semicuantitativo de las posibles consecuencias medioambientales que derivan del escenario accidental al que hace referencia.

XXI.2. SELECCIÓN DEL ESCENARIO DE REFERENCIA PARA EL CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA

La normativa de responsabilidad medioambiental contempla que los operadores constituyan una garantía financiera que les permita cubrir las obligaciones en relación a daños medioambientales que se prevén en la propia norma. Sin embargo, no todos los operadores están obligados a constituirlos. En concreto, el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, modificado por el Real Decreto 183/2015 de 13 de marzo, en su artículo 37 indica que los operadores que deberán disponer de garantía financiera serán, dentro de las actividades citadas en el Anejo III de la LRM:

1. Las actividades e instalaciones sujetas al ámbito de aplicación del Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas (SEVESO).
2. Las actividades e instalaciones sujetas al ámbito de aplicación de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (IPPC).
3. Los operadores que cuenten con instalaciones de residuos mineros clasificadas como de categoría A de acuerdo a lo establecido en el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

Por tanto, el sector de la fundición quedaría incluido dentro de los sectores obligados a constituir garantía financiera al incluirse su actividad dentro del criterio 2 de actividades sujetas a la aplicación de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

Debe indicarse que, además, la constitución de una garantía financiera se puede valorar como una medida de gestión del riesgo para los distintos operadores. Es por ello que su aplicación resulta recomendable también para aquellos sectores incluidos en el Anexo III de la LRM que no responden a los criterios previos de obligatoriedad, puesto que tienen responsabilidad objetiva frente a los daños medioambientales, estando obligados a su reparación con independencia de que exista dolo, culpa o negligencia por su parte.

Los pasos a seguir en el procedimiento de cálculo de la cuantía de la garantía financiera se obtienen del artículo 33 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, siendo los siguientes:

- 1) Identificar los escenarios accidentales que se consideran relevantes para la instalación analizada. Para ello, los operadores, podrán basarse en los escenarios identificados en el presente análisis de riesgos.
- 2) Asignar la probabilidad de ocurrencia a cada escenario.
- 3) Calcular el IDM de cada escenario.

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

De esta forma, el cálculo de la garantía financiera se centra en el análisis exhaustivo de un único escenario accidental, denominado escenario de referencia, seleccionado de entre todos los escenarios relevantes que se hayan identificado por el operador. Una vez identificado el escenario de referencia, el analista deberá: 1º, cuantificar el escenario que resulte seleccionado —en términos de extensión, intensidad y escala temporal del daño—; y 2º, calcular el valor del daño causado en términos monetarios.

La Figura 3 muestra de forma gráfica este procedimiento de selección del escenario de referencia y posterior cuantificación y monetización del daño.

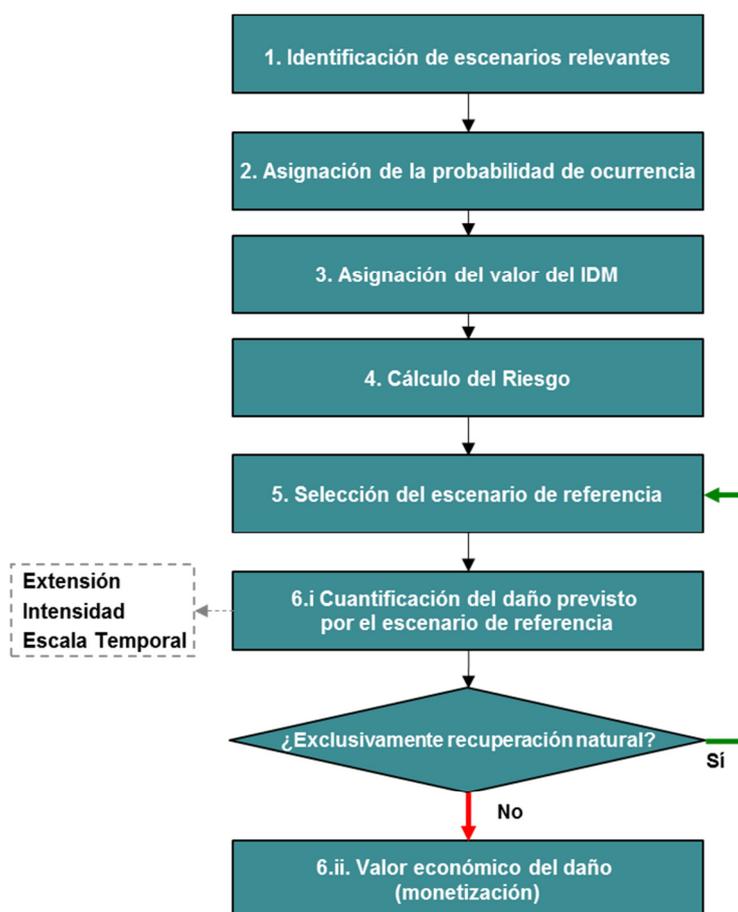


Figura 3. Esquema simplificado para el cálculo de la garantía financiera por responsabilidad medioambiental. Fuente: Elaboración propia a partir del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre.

XXI.3. DEFINICIÓN DE PROTOCOLOS PARA CUANTIFICAR EL DAÑO REFERENTE A CADA TIPOLOGÍA DE ESCENARIO Y EVALUAR, POR PARTE DE CADA OPERADOR, SU SIGNIFICATIVIDAD

Aunque en el análisis individual de riesgos medioambientales que realice el operador la cuantificación ha de realizarse únicamente para el denominado escenario de referencia, en el presente análisis sectorial de riesgos medioambientales se expondrán distintas metodologías de cuantificación a aplicar para los escenarios que resulten más frecuentes en el sector.

En los artículos 11, 12, 13 y 14 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, junto con el Anexo I del mismo, se muestra el procedimiento a seguir para la cuantificación del daño medioambiental.

En el seno de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales (CTPRDM), se elaboró el documento denominado “Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de

*responsabilidad medioambiental*⁶, disponible en la página web del MAGRAMA⁶, que ofrece un catálogo de distintos modelos de dispersión de contaminantes:

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

En las siguientes páginas del MIRAT se procederá a ofrecer al analista pautas de carácter genérico para la cuantificación del daño atendiendo a sus tres componentes: extensión, intensidad y escala temporal. El carácter genérico de las siguientes pautas atiende a la vocación generalista del MIRAT, que pretende ofrecer soluciones aplicables a la mayoría de las situaciones que los operadores pueden encontrarse; en caso de que estas pautas no resulten de aplicación directa, será el operador en su análisis individual de riesgos medioambientales el que adaptará las mismas a sus circunstancias particulares.

XXI.3.1. Extensión de los daños

Según el artículo 12 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, “la extensión del daño se determinará mediante la medición de la cantidad de recurso o de servicio afectado”, midiéndose por tanto en unidades biofísicas (metros cúbicos de agua contaminada, número de individuos, etc.).

Muchos de los modelos y criterios de dispersión de la contaminación presentes en la literatura pueden considerarse válidos para su aplicación al ámbito de los análisis de riesgos medioambientales. El operador seleccionará de forma justificada la aplicación de uno u otro modelo atendiendo, entre otros criterios, a los recursos que cada uno exija y que el operador disponga y al nivel de precisión que proporcionen; en caso de que por las características del daño y/o del modelo empleado los resultados ofrezcan un elevado grado de incertidumbre se recomienda adoptar un criterio de prudencia y tomar valores conservadores en los resultados.

En las siguientes páginas se procederá a la identificación de una serie de posibles modelos y pautas que los operadores podrán seguir para el cálculo de la extensión de los daños. Se han seleccionado modelos de sencilla aplicación y libre acceso a través de Internet o de bibliografía especializada; en cualquier caso, y acorde con el carácter voluntario de los análisis sectoriales de riesgos medioambientales, las sugerencias respecto a modelos de difusión o criterios de dispersión de la contaminación que se realicen en las páginas siguientes han de considerarse de seguimiento voluntario.

⁶ [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/Herramientas de evaluacion de difusion y comportamiento de agentes quimicos tcm7-270598.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/Herramientas%20de%20evaluacion%20de%20difusion%20y%20comportamiento%20de%20agentes%20quimicos%20tcm7-270598.pdf)

La Tabla 11 identifica las combinaciones agente-recurso relevantes para el sector de la fundición y para los que se ofrecen modelos y criterios de dispersión de la contaminación, esto es, de cálculo de la extensión del daño. Dichas combinaciones agente-recurso se han codificado para una sencilla identificación y localización de su comentario en las páginas siguientes.

Agente causante de daño		Recurso							
		Agua			Lecho continental y marino	Suelo	Ribera del mar y de las rías	Especies	
		Marina	Continental					Vegetales	Animales
Superficial	Subterránea								
Químico	COV halogenados	C1	C2	C4		C7	C10	C11	C14
	COV no halogenados								
	COSV halogenados								
	COSV no halogenados								
	Fueles y CONV								
	Sustancias inorgánicas			C5					
	Explosivos								
Físico	Extracción/Desaparición								
	Vertido de inertes			C6	C8				
	Temperatura		C3			C9		C12	C15
Biológico	Incendio							C13	C16
	OMG								
	Especies exóticas invasoras								
	Virus y bacterias								
	Hongos e insectos								

COV, compuestos orgánicos volátiles (punto de ebullición <100°C)

COSV, compuestos orgánicos semivolátiles (punto de ebullición entre 100-325°C)

CONV, compuestos orgánicos no volátiles (punto de ebullición >325°C)

OMG, organismos modificados genéticamente

Tabla 11. Criterios para cuantificar la extensión para cada combinación agente-recurso suministrados en el presente MIRAT. Fuente: Elaboración propia.

1) C1. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al agua marina

La solubilidad de la sustancia química que entra en contacto con el agua marina determina de forma muy importante la cuantificación del daño a este recurso natural.

Si la sustancia es soluble, el elevado volumen de agua del recurso afectado (en este caso, el océano o el mar) puede presentar la posibilidad al analista de plantear la reparación vía recuperación natural. Incluso en este caso, la necesidad de evaluar y apoyar documentalmente dicha decisión de considerar como adecuada la recuperación natural y la posterior monitorización para comprobar que dicha recuperación se produce implicaría la asunción de determinados costes por parte del operador causante del daño —la herramienta MORA incorpora estos costes en forma de revisión y control periódico del daño ocasionado—. Por otra

parte, el hecho de que la solubilidad de la sustancia haga que la contaminación del agua marina se elimine o deje de generar daño de forma natural al cabo de un tiempo prudencial no impide que dicha contaminación haya causado daños a otros recursos (por ejemplo, a especies animales y/o vegetales). En definitiva, ni siquiera la posibilidad de que pueda plantearse una recuperación natural en el caso de contaminación del agua marina por una sustancia soluble en agua implica ausencia de costes para el operador; en cualquier caso, la cuantía de la garantía financiera nunca podrá estar estimada a partir de un escenario accidental cuyo daño es reparado íntegramente por recuperación natural (artículo 33 del Reglamento).

Cuando la sustancia química vertida al mar es insoluble en agua, la densidad de la misma determinará si la sustancia permanece en el agua (en superficie) o es depositada en el lecho marino. Las fichas de seguridad de las sustancias químicas proporcionan el dato de densidad, por lo que aquellas sustancias con mayor densidad que el agua tendrán mayor propensión a precipitarse en el lecho; en este caso, la fracción del vertido que se precipita al lecho marino podría cuantificarse atendiendo a los criterios ofrecidos en el punto C5.

Cuando la densidad de la sustancia es menor que la del agua, el vertido quedará en la superficie del mar. En este caso, la cuantificación ha de apoyarse en fuentes bibliográficas; USEPA (2011), por ejemplo, muestra diferentes espesores medios de vertidos en agua marina, con lo que mediante la división del volumen de vertido entre el espesor promedio proporcionaría una medida de la extensión de la mancha.

2) C2. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al agua continental superficial

En el caso de las aguas continentales superficiales, y si bien pueden aplicarse o, al menos, tener en cuenta los criterios planteados en C1 (químicos-agua marina), la elevada variabilidad de circunstancias que pueden rodear a este recurso (masas de agua corrientes o estáticas, diferentes caudales, etc.) hacen que los mencionados criterios, si bien tengan que aplicarse y sean de utilidad precisen, además, de ser matizados.

De esta forma, empleando la solubilidad de la sustancia y su densidad respecto al agua el analista podrá identificar qué fracción del vertido queda depositada en el lecho (y deberá cuantificarse atendiendo a los criterios que se definirán en el punto C5 de páginas siguientes) y qué fracción permanecerá en el agua; en este último caso, la cuantificación habrá de tener en consideración si el vertido tiene lugar en una masa de agua en movimiento (ríos, arroyos, etc.) o en una masa de agua más o menos estática (lago, embalse, etc.).

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

Cuando el cauce que recibe el vertido de una sustancia química dispone aguas abajo de una estructura de contención (muro de embalse, azud, etc.), el analista podrá considerar que la contaminación podrá ser retenida aguas abajo y, de esta forma, tratar en términos de cuantificación del daño un vertido a masa de agua en movimiento como un vertido a masa de agua estática.

Cuando el cauce no disponga de esas estructuras de contención o las mismas se encuentren a tal distancia que no se considere prudente su consideración como elemento de contención, el analista deberá recurrir a otros criterios para la cuantificación del daño: por ejemplo, estimar como volumen de agua contaminado la multiplicación del caudal del río por el tiempo de permanencia del contaminante en el agua. Posteriormente, las técnicas de reparación se dimensionarían en base a este volumen (coste de depuración del agua, etc.).

El analista ha de tener en consideración, especialmente (aunque no de forma exclusiva) en el caso de un vertido de una sustancia soluble en agua, la posibilidad de considerar la recuperación natural del recurso (de forma similar a lo planteado en la combinación agente-recurso C1). Como se ha comentado en el punto C1, dicha recuperación natural, además de no implicar necesariamente un valor del daño nulo (existen costes relacionados con la decisión de recurrir a la recuperación natural y de, posteriormente, evaluar su éxito), no ha de permitir ignorar daños ocasionados a otros recursos relacionados con las masas de agua superficiales continentales (fauna y flora acuática).

De forma adicional, el analista ha de considerar la posibilidad de que el daño ocasionado sea tal que no pueda restitirse el estado básico del recurso natural y, con ello, no puedan realizarse medidas de reparación primaria. En este caso, el daño sería declarado como irreversible y la cuantía de la garantía financiera no podría calcularse empleando ese escenario de referencia.

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

En el caso de que el vertido de la sustancia química tenga lugar en una masa de agua más o menos estática o que el vertido a cauce haya podido ser contenido de alguna forma, el analista evaluará si dicho vertido, en el caso de sustancias no solubles en agua, puede ser confinado mediante barreras flotantes (por lo que el daño quedaría acotado a la zona delimitada por las barreras) o, por el contrario (ya sea en el caso de sustancias no solubles en agua que no han podido contenerse o sustancias solubles en agua), si se afectaría a toda la masa de agua.

La naturaleza más o menos estática de la masa de agua afectada por el episodio de contaminación permitiría plantear cualquier técnica reparadora y, con ello, reestablecer el estado básico original. En cualquier caso, el analista nunca ha de desestimar la posibilidad de que el daño pueda repararse mediante recuperación natural o que el daño pueda llegar a

considerarse como irreversible, en cuyos casos se invalidaría el escenario seleccionado para el establecimiento de la cuantía de la garantía financiera.

3) C3. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por temperatura al agua continental superficial

El vertido de agua caliente a una masa de agua superficial supondrá un incremento de la temperatura de la masa de agua afectada. En primer lugar, y debido a la elevada inercia térmica del agua, es preciso evaluar si determinado vertido de agua caliente supondrá tal incremento de la temperatura del agua de la masa receptora que pudiera generar un daño medioambiental.

Para ello se recurrirá a las ecuaciones de la termodinámica y, en concreto, a la ecuación que relaciona el calor con el calor específico, la masa del sistema y la variación de temperatura que se experimenta.

Por un lado se tiene el calor asociado al vertido:

$$Q_v = m_v \times C_p \times (T_v - T_f) \quad \text{[Ec.8]}$$

Donde:

Q_v , es el calor cedido por la masa de agua vertida (Kcal)

m_v , es el volumen de masa de agua caliente vertida [caudal al que se produce el vertido (m^3/s) si la masa de agua receptora es un río o arroyo y cantidad de agua caliente vertido (m^3) si la masa de agua receptora es un lago o embalse]

C_p , es el calor específico del agua (1 Kcal/Kg. $^{\circ}C$)

T_v , es la temperatura a la que se produce el vertido ($^{\circ}C$)

T_f , es la temperatura a la que descenderá el vertido al mezclarse con el agua de la masa de agua receptora ($^{\circ}C$)

En cuanto a la masa de agua receptora, se evaluará el calor absorbido mediante la misma fórmula:

$$Q_{masa} = m_{masa} \times C_p \times (T_f - T_{masa}) \quad \text{[Ec.9]}$$

Donde:

Q_{masa} , es el calor absorbido por la masa de agua receptora (Kcal)

m_{masa} , es el volumen de la masa de agua receptora [caudal de la masa de agua (m^3/s) si la masa de agua receptora es un río o arroyo y volumen de la masa de agua receptora (m^3) si la masa de agua receptora es un lago o embalse]

C_p , es el calor específico del agua (1 Kcal/Kg. $^{\circ}C$)

T_{masa} , es la temperatura a la que se encuentra la masa de agua superficial receptora ($^{\circ}C$)

T_f , es la temperatura a la que ascenderá el agua de la masa de agua receptora al mezclarse con el agua del vertido ($^{\circ}\text{C}$)

Según las leyes de la termodinámica si se ponen en contacto dos masas a diferente temperatura ambas intercambiarán calor hasta que sus temperaturas se igualen. Por tanto, en el punto de equilibrio se produce que $Q_v=Q_{masa}$.

Conociendo el caudal o volumen del vertido (m_v) y la temperatura a la que se encuentra el agua vertida (T_v), así como el caudal o volumen y la temperatura de la masa de agua donde se produce el vertido (m_{masa} y T_{masa}), es posible conocer la temperatura a la que ascenderá el agua de la masa de agua al producirse el vertido:

$$T_f = \frac{m_v \times T_v + m_{masa} \times T_{masa}}{m_v + m_{masa}} \quad [\text{Ec.10}]$$

Donde:

T_f , es la temperatura a la que asciende el agua de la masa receptora ($^{\circ}\text{C}$)

m_v , es el volumen de masa de agua caliente vertida [caudal al que se produce el vertido (m^3/s) si la masa de agua receptora es un río o arroyo y cantidad de agua caliente vertido (m^3) si la masa de agua receptora es un lago o embalse]

T_v , es la temperatura a la que se produce el vertido ($^{\circ}\text{C}$)

m_{masa} , es el volumen de la masa de agua receptora [caudal de la masa de agua (m^3/s) si la masa de agua receptora es un río o arroyo y volumen de la masa de agua receptora (m^3) si la masa de agua receptora es un lago o embalse]

T_{masa} , es la temperatura del agua de la masa de agua ($^{\circ}\text{C}$)

El caudal o el volumen total de agua caliente vertida y la temperatura a la que se produce el vertido serán datos a disposición del analista en función de las características del sistema de refrigeración empleado por la instalación.

Los datos de caudal de la masa de agua (río, arroyo, etc.) o de volumen de la masa de agua receptora (lago, embalse, etc.) están disponibles en la página web de la correspondiente Confederación Hidrográfica; si bien pueden no existir datos de la masa de agua concreta y/o del punto donde se produciría el vertido, el analista puede emplear masas de agua superficiales del entorno de similares características para realizar los cálculos.

Finalmente, los datos de temperatura del agua de la masa de agua pueden encontrarse también en la correspondiente Confederación Hidrográfica, pero pueden existir mayores dificultades para su localización. El analista deberá justificar adecuadamente la temperatura de la masa de agua que emplee para realizar estos cálculos, escogiendo en caso de ausencia de

datos para la masa de agua objeto de estudio una masa de agua de similares características (caudal, ámbito geográfico, etc.).

Estos datos permiten estimar si el agua de la masa de agua superficial receptora alcanza temperaturas que puedan generar daños a las especies acuáticas.

Si T_f alcanza la temperatura a la que la fauna y/o flora acuática experimentan daños significativos, podrán considerarse como relevantes los daños sobre los hábitats y especies silvestres, precisando en este caso de datos sobre especies presentes y abundancia para estimar el número de individuos afectados por el vertido.

Si T_f no alcanza la temperatura a la que la fauna y la flora acuática experimentan daños significativos, y teniendo en cuenta que se evalúa una situación de vertido accidental y con carácter puntual, se considerará que no existen daños a los hábitats y especies silvestres. Los daños medioambientales al recurso agua superficial se considerarán no significativos si no hay afección a los hábitats y especies silvestres. Se considera que el vertido de agua caliente es una situación anómala de carácter puntual; tras la corrección de la situación de emergencia, el vertido desaparecería en un período de tiempo que no generaría cambios sustanciales en la masa de agua afectada.

La Tabla 12 muestra una selección de especies piscícolas y la temperatura a la que empiezan a experimentar daños fisiológicos, en función, por otra parte, del estado dentro del ciclo de vida del animal. El analista deberá identificar aquellas especies presentes en la masa de agua donde potencialmente puede ocasionarse el vertido y buscar fuentes en la literatura sobre tolerancia de la especie a la temperatura del agua; al ser estas fuentes generalmente escasas y/o de difícil localización y acceso y, por tanto, pueden no cubrirse las necesidades de información del analista respecto a la/s especie/s relevante/s, se indican a continuación algunas conclusiones, a considerar con cautelas, respecto a los efectos de la temperatura del agua sobre la ictiofauna:

- Los peces adultos tienen mayor tolerancia a la temperatura del agua. La mayoría de las especies de las que han podido obtenerse datos (ver Tabla 12) toleran una temperatura del agua de 30°C; se recomienda, en caso de ausencia de datos concretos, emplear este valor (30°C) como temperatura umbral a partir de la cual pueden producirse daños medioambientales sobre la fauna piscícola.
- Los peces juveniles tienen una tolerancia a la temperatura del agua bastante similar a la de los individuos adultos. Esta conclusión refuerza el empleo del valor de 30°C como temperatura umbral para la generación de daños medioambientales sobre la fauna piscícola.
- En época de desove, que varía en función de la especie, la tolerancia de huevos y espermatozoides es mucho menor a las altas temperaturas, existiendo más posibilidad de que se produzca daño medioambiental por vertido de aguas calientes. Resulta recomendable identificar esta época para la especie o especies presentes en el lugar

de estudio y realizar los cálculos mencionados anteriormente con el caudal mínimo o volumen de la masa de agua durante dichos meses; en este caso, la temperatura umbral de daño ha de reducirse a 20°C o menos.

La Tabla 12 recopila datos sobre temperatura máxima del agua a partir de la cual distintas especies, en función de su estado dentro del ciclo de vida, experimentan daños. De esta información parten las anteriores recomendaciones de carácter general, a falta de concreción sobre la especie o especies afectadas según el caso. Existen fuentes alternativas sobre tolerancia de distintas especies acuáticas a la temperatura del agua^{7,8,9}, ya sean de carácter absoluto o relativo; el analista intentará en primer lugar localizar la tolerancia a la temperatura del agua de la especie o especies consideradas representativas del lugar donde se produce el vertido y únicamente en caso de ausencia de información recurrirá a las anteriores recomendaciones realizadas en el marco del presente MIRAT con carácter general.

Finalmente, si la temperatura que alcanza la masa de agua (T_i) que recibe el vertido de agua caliente supera el umbral de daño, la cuantificación del daño medioambiental ocasionado sobre las aguas superficiales (es decir, el volumen de agua de la masa receptora del vertido que ha alcanzado la temperatura T_i), será el valor de la variable m_{masa} , cuyo cálculo responde a la siguiente ecuación:

$$m_{masa} = \frac{m_v \times (T_v - T_f)}{(T_f - T_{masa})} \quad \text{[Ec.11]}$$

Donde:

m_{masa} , volumen de la masa de agua receptora que alcanza la temperatura T_i (m^3)

m_v , volumen de agua caliente vertida (m^3) (caudal de vertido por tiempo de respuesta)

T_v , es la temperatura a la que se produce el vertido ($^{\circ}C$)

T_{masa} , es la temperatura a la que se encuentra la masa de agua superficial receptora antes del vertido ($^{\circ}C$)

T_f , es la temperatura a la que asciende el agua de la masa receptora ($^{\circ}C$)

⁷ <http://sciencefairwater.com/physical-water-quality-parameters/water-temperature/water-temperature-effects-on-fish-and-aquatic-life/>

⁸ http://www.magrama.gob.es/app/jacumar/especies/especies_listado.aspx?id=es

⁹ <http://www4.gipuzkoa.net/oohh/web/directrices/aqua/TOMO%20I/Monografia-FaunaAcuatica-ESTRATEGIA%20AGUA.pdf>

Nombre latino	Nombre común	Familia	Límite superior del rango de resistencia (°C)				
			Embriones	Larvas	Juveniles	Adultos	Desove
<i>Alburnus alburnus</i>	Alburno	Cyprinidae	31			35	28
<i>Barbus barbus</i>	Barbo común europeo	Cyprinidae		24	32	32	20
<i>Telestes souffia</i>		Cyprinidae				27	15
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brema blanca	Cyprinidae					25
<i>Abramis brama</i>	Brema o plática	Cyprinidae	28		34	35	20
<i>Esox lucius</i>	Lucio europeo	Esocidae	23	28	31	31	15
<i>Leuciscus cephalus</i>	Bagre	Cyprinidae	30		30	30	20
<i>Rutilus rutilus</i>	Rutilo	Cyprinidae	26		30	31	18
<i>Gobio gobio</i>	Gobio	Cyprinidae				36	17
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Acerina	Percidae	24		30	31	18
<i>Chondrostoma nasus</i>		Cyprinidae	20	28			14
<i>Perca fluviatilis</i>	Perca	Percidae	21	34	32	33	15
<i>Lepomis gibbosus</i>	Percasol	Centrarchidae			30	35	25
<i>Sander lucioperca</i>	Lucioperca	Percidae	25	31	34	35	20
<i>Silurus glanis</i>	Siluro	Siluridae				32	25
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Alburno binaculado	Cyprinidae				27	21
<i>Chondrostoma toxostoma</i>	Madrilla	Cyprinidae					14
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Leucisco	Cyprinidae	25			32	12

Aparecen en gris aquellas especies catalogadas como exóticas por el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, cuyos daños no deberían ser considerados como tales dentro del ámbito de la responsabilidad medioambiental

Tabla 12. Temperaturas a las que distintas especies de peces experimentan daños letales. Fuente: Elaboración propia a partir de Souchon y Tissot (2012)

4) C4. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al agua continental subterránea

La estrecha relación existente entre el suelo y el agua continental subterránea hace que los vertidos químicos que los puedan afectar sean analizados de forma conjunta; básicamente, se procede a estimar el volumen de suelo contaminado a partir de modelos de dispersión de la contaminación en el suelo que proporcionan, de forma ideal, la superficie de percolación y la profundidad que alcanza el contaminante; posteriormente, conociendo la profundidad a la que se encuentra el nivel freático, el analista identificará la posible afección a las aguas continentales subterráneas y, con ello, podrá conocer el volumen de agua subterránea afectada.

Existen en la literatura múltiples modelos aplicables a este tipo de daños, cada uno con sus exigencias en recursos (tiempo, datos, coste del propio modelo, etc.) y con diferentes grados de precisión; será el operador el que escoja el modelo de difusión de la contaminación que mejor se ajuste a sus necesidades, justificando de forma adecuada dicha decisión. El documento "Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental"

mencionado en páginas anteriores puede convertirse en una herramienta muy útil para identificar modelos de dispersión de la contaminación en el suelo y en el agua subterránea y, a partir de esta identificación, seleccionar el que mejor se ajuste a las necesidades y recursos del analista.

A parte de los modelos recogidos en el citado documento publicado en el portal web de responsabilidad medioambiental del MAGRAMA, se ha localizado un modelo alternativo desarrollado por autores de las Universidades de Udine (Italia) y Belfast (Reino Unido) de aplicación relativamente sencilla y que proporciona resultados fiables en gran parte de sus aplicaciones. La descripción del modelo, construido a partir de una serie de ecuaciones matemáticas, puede consultarse en Grimaz *et al.* (2007) y Grimaz *et al.* (2008). De forma adicional, este modelo ha sido descrito y aplicado en diferentes análisis sectoriales de riesgos medioambientales publicados en el mismo portal web del MAGRAMA.

El modelo propuesto por Grimaz se considera adecuado para el marco de la responsabilidad medioambiental y, por ello, ha sido propuesto y aplicado en distintos análisis sectoriales de riesgos medioambientales por su relativa sencillez de aplicación, el respaldo que tiene de organismos oficiales y la accesibilidad al mismo de forma pública y gratuita. En cualquier caso, el analista podrá utilizar éste u otros modelos de difusión de la contaminación en el suelo, como siempre de forma debidamente justificada.

5) C5. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al lecho continental y marino

El hecho de que para que cierto vertido alcance el lecho continental o marino haya tenido que discurrir en algún momento por el agua superficial —ya sea marina o continental—, hace recomendar al analista proceder a la evaluación de este tipo de daños de forma conjunta, esto es, considerando en la estimación de los daños al lecho continental y marino los criterios C1 o C2 comentados en páginas anteriores: cuanto menor sea la solubilidad y mayor la densidad de la sustancia vertida al agua marina o continental superficial, mayor será la probabilidad de que se deposite en el lecho o, dicho de otra forma, mayor será el volumen depositado de la misma.

Únicamente las sustancias más densas que el agua acabarán depositadas en el lecho continental o marino. Por otra parte, y siendo la solubilidad una propiedad que puede manifestarse en distinto grado (algunas sustancias se disuelven totalmente en agua, otras sólo parcialmente, en un porcentaje determinado, y otras no se disuelven nada en agua), el analista podrá determinar qué cantidad de sustancia vertida (siempre que ésta sea más densa que el agua y no soluble o parcialmente soluble en agua) acabará depositada en el lecho; cuando la sustancia es más densa que el agua, la cantidad depositada en el lecho será la cantidad vertida menos la cantidad que haya podido haberse disuelto en el agua.

Una vez determinada la cantidad de agente causante del daño que acaba depositada en el lecho marino o continental, el analista habrá de determinar la extensión del daño medida en unidades de recurso. La consideración de aspectos como el poder de arrastre de la corriente y

el grado de movilidad de la sustancia (densidad y solubilidad) ayudará al analista a estimar la superficie de lecho marino o continental afectada por la contaminación; en el caso de aguas lentas y sustancias poco móviles, la cantidad de lecho a tratar podría asimilarse al volumen de sustancia contaminante derramada. La dispersión de la contaminación que pudiera derivarse de aguas rápidas y/o sustancias más móviles extendería el ámbito de actuación de la técnica reparadora y supondría un mayor volumen de lecho a descontaminar y, con ello, mayor coste de reparación.

6) C6. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por vertido de inertes al lecho continental y marino

En caso de vertido de inertes a lecho continental o marino, se parte de la asunción, basada en juicio técnico, de que la sustancia vertida es insoluble y más densa que el agua receptora. Es por ello que se estima que, si bien se pueden producir casos de turbidez en el agua, la tendencia temporal implicará la deposición total del vertido en el lecho. De acuerdo a lo indicado anteriormente, y como criterio práctico, se puede asimilar que la cantidad de lecho continental/marino a tratar (en forma de retirada física) coincidirá con el volumen de sustancia derramada. Además, aunque el medio receptor fuesen aguas en movimiento, por las propias características de la masa derramada, material inerte, no cabe la posibilidad de reacción con sustancias del entorno ni una contaminación más allá que la física.

7) C7. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas al suelo

Como se ha comentado anteriormente en el apartado C4, los daños causados al suelo por vertido de sustancias químicas pueden estimarse siguiendo las indicaciones para estimar los daños a las aguas subterráneas. El informe "*Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental*" y la aplicación del modelo de Grimaz *et al.* en los estudios piloto de análisis de riesgos sectoriales, todo ello disponible en la página web del MAGRAMA, pueden ser de utilidad para la estimación de los daños por sustancias químicas al suelo.

8) C8. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por vertido de inertes al suelo

El criterio de medición de la extensión de un daño por vertido de inertes al suelo es similar al que se expone en el grupo C6 de daños por inertes al lecho continental/marino. Se considera que, por la propia naturaleza del componente derramado, que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas al entrar en contacto con el entorno, la extensión del daño coincidirá con el volumen/cantidad de sustancia vertida.

9) C9. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por temperatura al suelo

Para poder valorar la extensión de un daño por un vertido de aguas calientes al suelo, se remite al analista a la metodología aplicada para los daños por sustancias químicas al agua subterránea (grupo C4).

Igual que en el apartado C7, se sugiere acudir al documento “*Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental*” disponible en la página web del MAGRAMA, donde se exponen diferentes modelos de difusión de contaminantes. No obstante, se recomienda como opción, la aplicación del modelo de Grimaz, un modelo sencillo, de fácil aplicación y de accesibilidad pública que permite obtener un valor, en términos de volumen, de suelo contaminado.

Cabe destacar que este tipo de perjuicio por temperatura al suelo no se estima, por lo general, relevante, puesto que, por un lado, el tipo de daño potencial quedaría reparado a medida que el calor se disipase al entrar en contacto con el suelo y la atmósfera durante el derrame, y por otro, porque el suelo es un medio sensiblemente elástico ante las oscilaciones térmicas que se producen, pudiendo presentar en los horizontes superficiales diferencias térmicas de hasta 20 °C a lo largo de un mismo día sin que haya mayores consecuencias.

10) C10. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas a la ribera del mar y de las rías

Resulta frecuente que la cuantificación (y, con ello, la estimación de la extensión) de los daños a las riberas del mar y de las rías se construya a partir de una combinación de la estimación de los daños ocasionados sobre los restantes recursos naturales contemplados por la Ley de Responsabilidad Medioambiental. En definitiva, la estimación de la extensión de los daños sobre la ribera del mar y de las rías ocasionados por vertido de sustancias químicas puede basarse en las pautas e indicaciones recogidas en el presente MIRAT relativas a la estimación de la extensión del daño ocasionado al suelo, a las aguas superficiales, subterráneas y marinas y a las especies vegetales y animales.

11) C11. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas a las especies vegetales

Los modelos consultados de dispersión y difusión de la contaminación en el suelo —por ejemplo, el de Grimaz *et al.* empleado en otros análisis sectoriales de riesgos medioambientales publicados por el MAGRAMA— no suelen incluir en el análisis la presencia de vegetación en el terreno y los efectos que dicha presencia pueden ocasionar en la dispersión de la contaminación (posibilidad de contención del derrame, efectos sobre la capacidad y velocidad de percolación del contaminante en el suelo, etc.). De esta forma, la utilización de los mismos modelos de dispersión de la contaminación empleados para la cuantificación de la extensión del daño al suelo por vertido de sustancias químicas —y, en concreto, la extensión de la mancha de contaminación a partir de la cual el contaminante penetra en el suelo— puede considerarse como una opción conservadora, debido a que la

vegetación podría reducir la extensión de dicha mancha de contaminante por un efecto de contención de la contaminación. A partir de la superficie afectada, y con datos relativos a la densidad de la vegetación, pueden estimarse el número de individuos de especies vegetales afectados por un vertido de una sustancia química contaminante.

12) C12. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por temperatura a las especies vegetales

Al hilo de lo anteriormente expuesto, los daños a las especies vegetales terrestres por derrame de aguas calientes se valorarían de igual manera que aquéllos debidos a sustancias químicas, vinculándose a la superficie que abarca el vertido al cuantificar el daño al suelo, evaluando el número de individuos que puedan estar presentes.

No obstante, el daño a las especies vegetales terrestres en este ámbito no se estipulará relevante aplicando la misma argumentación que se desarrolla para el grupo C9 de daños por temperatura al suelo en este mismo apartado y que hace referencia a la disipación del calor de las aguas al entrar en contacto con el suelo o la propia atmósfera. De forma adicional, la mayoría de las especies vegetales vasculares superiores soporta temperaturas de hasta 55°C (Nobel *et al.*, 1986).

En lo que se refiere a especies vegetales acuáticas, la conclusión a la que se ha llegado es similar: un vertido de aguas calientes a un cauce o masa de agua estática no llegará a resultar relevante para las especies vegetales puesto que se asume que, dadas las características del agente contaminante (agua) y del medio receptor, el calor quedará disipado entre la masa de agua y la atmósfera antes de poder afectar sensiblemente a estas especies.

13) C13. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por incendio a las especies vegetales

La estimación de la extensión de los daños sobre las especies vegetales ocasionados por un incendio se verá influida de forma muy determinante por la dirección dominante del fuego. El modelo Behave, herramienta reconocida a nivel internacional, sencilla, gratuita y de fácil acceso a través de Internet, puede constituirse como un modelo para la estimación de este tipo de daños.

El modelo Behave simula y analiza el desarrollo de un hipotético incendio forestal estimando el alcance del mismo a partir del cálculo de una elipse cuya forma y extensión será función de variables como la pendiente del terreno y la velocidad y dirección del viento dominante en la zona donde se produce el incendio. Sin embargo, ante elementos externos a estas variables que pueden tener influencia en el desarrollo del incendio, se recomienda, en el contexto de un análisis de riesgos medioambientales, emplear el modelo Behave únicamente para determinar la dirección que seguiría el incendio y, posteriormente, determinar la extensión o superficie afectada incorporando al análisis, al menos, los siguientes aspectos:

- Incorporar al modelo el tiempo de acción del incendio o, dicho de otra forma, el tiempo que los servicios de emergencia tardarían en extinguir el fuego. La proximidad de los

medios de extinción determinará una acción temprana de los mismos y, con ello, un área de afectación reducida; la consulta en la web de las correspondientes comunidades autónomas y en sus correspondientes planes contra incendios forestales puede aportar información sobre la proximidad de los medios de extinción al lugar donde, potencialmente, podría declararse un incendio en el marco de determinado análisis de riesgos medioambientales.

- Como opción más conservadora, puede plantearse la posibilidad de que el incendio únicamente se detendrá cuando alcance algún elemento no combustible (cortafuegos, vías de comunicación, zonas de escasa o nula vegetación, masas de agua de determinada anchura o entidad, etc.). De esta forma, el área afectada por el hipotético incendio podría determinarse mediante el estudio de cartografía y/o fotografías aéreas, localizando estos elementos no combustibles del paisaje donde potencialmente se detendría el hipotético incendio para determinar el área afectada por el mismo.

14) C14. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por sustancias químicas a las especies animales

El carácter móvil de la fauna —con mayor o menor intensidad en función de las características del taxón o de la especie— y la escasez de inventarios de fauna y/o de cartografía sobre poblaciones o densidad poblacional de las especies animales dificultan una estimación precisa del número de individuos afectados por un vertido de sustancias químicas.

La existencia de un inventario de fauna referenciado geográficamente y que informe tanto de las especies presentes en determinado territorio como de la población de esas especies que dicho territorio acoge permitiría basar las estimaciones del analista en datos sólidos, debiendo dicho analista proceder a la estimación del número de individuos afectados aplicando criterios debidamente justificados y, preferentemente, situando dichas estimaciones del lado de la prudencia.

A nivel nacional, el Inventario Nacional de Biodiversidad ofrece un listado de especies presentes en cuadrículas del territorio nacional de 10 por 10 kilómetros, si bien esta fuente únicamente ofrece información sobre el grado de amenaza que tiene la especie pero no su densidad en las cuadrículas del territorio donde están presentes. De esta forma, y ante la ausencia de mejores datos, el analista podría asignar a las cuadrículas donde determinada especie está presente una densidad de población que dependa de las características biológicas de la especie y del grado de amenaza que soporta, recurriendo para ello a criterio experto o mediante consulta a las administraciones públicas competentes, todo ello con el fin de obtener una cifra del número de individuos de la especie afectados por el vertido de una sustancia química.

Por otra parte, la extensión del vertido (superficie de la mancha ocasionada por el derrame de la sustancia química) y las características del mismo pueden permitir descartar una afección relevante sobre ciertas especies. Es decir, un vertido de pequeñas dimensiones, de una sustancia no especialmente tóxica y en una zona donde únicamente existen especies no

amenazadas podría permitir al analista establecer un efecto del vertido no relevante sobre las especies animales.

En el caso de los daños que pudieran ocasionarse sobre aguas superficiales continentales y, con ello, que pudieran afectar a la fauna acuática, la base de datos ID-TAX, disponible en la página web del MAGRAMA, ofrece informes con periodicidad anual sobre presencia de determinadas especies piscícolas en una red de puntos de muestreo a escala nacional, indicando además las densidades piscícolas que pueden encontrarse en dichos puntos.

Las Confederaciones Hidrográficas pueden ofrecer información adicional sobre fauna acuática; la Confederación Hidrográfica del Ebro, por ejemplo, ofrece datos de densidad de fauna piscícola por metro cúbico de agua para algunos embalses; la cuantificación del daño ocasionado sobre el agua superficial y, en caso de ubicarse el daño hipotético evaluado en masas de agua no cubiertas por estas bases de datos, la extrapolación, siempre de forma debidamente justificada, de datos de masas de agua con características similares, permitiría al analista obtener una cifra del número de individuos de fauna piscícola afectados por el vertido de una sustancia química. En cualquier caso, la disponibilidad por parte del analista de datos precisos sobre densidad piscícola siempre resultará más conveniente.

15) C15. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por temperatura a las especies animales

Para la cuantificación de los daños por temperatura a las especies animales se ha partido de la premisa de que las especies terrestres ante un vertido de aguas calientes cuyo principal daño sería por contacto, podrían evitar la afección eludiendo la zona afectada dada su movilidad.

Sin embargo, en lo que a especies acuáticas se refiere, la manera de valorar la afección parte de los criterios expuestos en el punto C3 de daños por temperatura al agua continental superficial. De esta forma, se acudirá al resultado de la ecuación 11, que devuelve el volumen de agua (m_{masa}) que aumenta su temperatura más allá de la temperatura umbral de daño (T_f). Con este dato y remitiéndose a valores de densidad piscícola, hallados como se apunta para el grupo C14 a partir de bibliografía especializada o bases de datos públicas, se puede calcular la extensión del daño a las especies en términos de unidades de peces afectadas.

16) C16. Criterios de cuantificación de la extensión para daños por incendio a las especies animales

La estimación de la extensión de los daños ocasionados por un incendio sobre las especies animales puede construirse siguiendo, en la medida en que la disponibilidad de información lo permita, las pautas y fuentes de información referidas puntos anteriores: estimada la superficie vegetal afectada por el incendio (tal y como se ha indicado en el punto C13), junto con la presencia y densidad de población de especies animales en el territorio afectado por el mismo (punto C14), es posible estimar el número de individuos de especies animales afectados por el hipotético incendio.

Combinación de modelos y criterios

Es muy frecuente en los análisis de riesgos medioambientales que en un mismo escenario accidental se liberen diferentes agentes causantes de daño y/o que se afecten a varios recursos naturales. Se recomienda en tal caso tomar como base cada uno de los criterios anteriores para cada combinación agente-recurso y asegurar la coherencia entre los modelos que finalmente se seleccionen.

Sin embargo se quiere incidir en que los criterios previamente expuestos tendrán que particularizarse para cada instalación que se analice, de manera que el análisis contemple todos los sucesos que puedan plantearse en la realidad.

XXI.3.2. Intensidad de los daños

En cumplimiento del artículo 13 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, que hace referencia al grado de severidad de los efectos que ocasiona el agente causante del daño a los recursos naturales, dentro de la cuantificación del escenario accidental de referencia se ha de evaluar la intensidad de los daños al medio que podrían concurrir.

La normativa de responsabilidad medioambiental ofrece las siguientes indicaciones para el análisis de la intensidad en función de cada tipo de agente causante de daño:

a) Intensidad del daño causado por sustancias químicas

El apartado III del Anexo I sobre aspectos técnicos de la determinación del daño medioambiental establece una serie de criterios para el cálculo de la intensidad del daño; en concreto, el epígrafe 1 de dicho apartado III del Anexo I se centra en la intensidad del daño ocasionado por un agente químico.

Dicho apartado indica que el nivel de intensidad se medirá en relación con la concentración o dosis límite, comparando de una u otra forma la concentración que la sustancia vertida alcanza en el medio receptor con el umbral de toxicidad de dicho receptor y la relación que el tiempo de exposición tiene con dicho umbral de toxicidad.

La normativa sobre responsabilidad medioambiental —y, en concreto, el artículo 2.e) del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad medioambiental— establece tres niveles de intensidad del daño:

1º «Agudo»: nivel de intensidad que representa efectos adversos claros y a corto plazo sobre el receptor, con consecuencias evidentes sobre los ecosistemas y sus hábitat y especies. Los efectos agudos suponen una afección sobre al menos el 50 por ciento de la población expuesta al agente causante del daño.

2º «Crónico»: nivel de intensidad que indica posibles efectos adversos a largo plazo para un porcentaje de la población expuesta al agente causante del daño comprendido entre el 10 y el 50 por ciento.

3º «Potencial»: nivel de intensidad que corresponde a efectos que superan el umbral ecotoxicológico y afectan al menos al 1 por ciento de la población expuesta al daño,

pero no alcanzan los efectos de los niveles crónicos o agudos. El término «nivel de concentración admisible» hace referencia al umbral ecotoxicológico.

Cada nivel de intensidad del daño se corresponde con un umbral de toxicidad —denominados CTD, cifras en inglés de Curvas de Distribución de la Toxicidad— atendiendo a las siguientes categorías:

- *Median Lethal Concentration (LC50)* o *Median Effect Concentration (EC50)*: suelen tomarse como referencia para evaluar los efectos agudos, esto es, aquellos que suponen la afección a, al menos, el 50% de la población.
- *No Observed Effect Concentration (NOEC)* o *No Observed Adverse Effects Level (NOAEL)*: suelen emplearse como referencia para evaluar los efectos crónicos, que suponen la afección a entre el 10% y el 50 % de la población.
- *Predicted No Effects Concentration (PNEC)*: se asume que dicho umbral no garantiza la ausencia de daños potenciales, esto es, que afecten a al menos el 1% de la población.

De forma adicional a estos tres niveles y por motivos prácticos, en los análisis de riesgos suele diferenciarse un cuarto nivel de intensidad del daño, intensidad letal, que se correspondería con una pérdida igual al 100 por ciento de la población.

De esta forma, la determinación de la intensidad del daño medioambiental por agente químico se construirá comparando la concentración prevista de la sustancia tóxica en el medio receptor (valor que se denomina *Predicted Environmental Concentration* o PEC y que puede obtenerse de los modelos y criterios mencionados en el apartado de cálculo de la extensión del daño) con los anteriores umbrales de toxicidad. De esta forma, si el PEC supera el valor del LC50 de la sustancia liberada, podrá afirmarse la aparición de un daño agudo y, con ello, la afección a más del 50% de la población.

Para realizar este ejercicio, es necesario disponer de información sobre el PEC —el modelo de dispersión de contaminantes empleado debe proporcionar dicha concentración esperada de la sustancia en el medio receptor— y sobre los niveles de toxicidad —potencialmente disponibles en bibliografía sobre toxicología o, en ocasiones, en las fichas de seguridad de las sustancias, aunque sea para un listado limitado de especies—.

Sin embargo, en el ámbito de los análisis de riesgos medioambientales, en los que se evalúan daños medioambientales hipotéticos, puede que no se disponga de uno o de ambos de los componentes arriba indicados, bien porque los modelos y criterios de difusión empleados no ofrezcan la concentración esperada de la sustancia contaminante y/o porque no exista información toxicológica relativa a la/s sustancia/s contaminante/s liberada/s en el escenario de referencia. Ante esta potencial imposibilidad de evaluar la intensidad del daño atendiendo a los niveles de agudo, crónico o potencial, se recomienda adoptar un criterio de prudencia y considerar que el hipotético daño tendría la consideración de daño letal y, por ello, el daño

medioambiental afectaría al 100% de la población. En cualquier caso, se podrían seleccionar otros niveles de afección a la población de forma debidamente justificada.

En relación con la evaluación de la intensidad del daño de un vertido de sustancia química contaminante a aguas corrientes superficiales continentales, la *Technical Guidance Document* (TGD) de la Comisión Europea (ECB, 2003) ofrece un modelo de acceso público y gratuito a través de Internet para la obtención de la concentración esperada de la sustancia en el medio (PEC); por otra parte, existe en la actualidad un elevado número de datos relativos a umbrales de toxicidad de numerosas sustancias en el agua, por lo que la evaluación de la intensidad del daño en el caso de vertidos de sustancias químicas a este medio receptor puede resultar más factible que realizar la misma operación para daños a otros receptores.

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

Con respecto a los daños ocasionados por agentes físicos, la normativa prescribe la utilización de índices de calidad ambiental que permitan estimar la severidad de los efectos ocasionados sobre el receptor. En concreto, la determinación de la intensidad del daño se establecería a partir del coeficiente de variación de los índices o indicadores ambientales que se hayan seleccionado antes y después de ocurrir el daño.

En el sector objeto de estudio se estima el daño por un agente físico por vertido de inertes a suelo y lechos marino y continental y por temperatura, en forma de derrame de aguas calientes a aguas superficiales, suelos y especies animales y vegetales. Atendiendo a la definición de intensidad que se indica en el artículo 2 del Reglamento de desarrollo parcial de la LRM, que dice que *el nivel de intensidad consistirá en la clasificación de la severidad de los efectos ocasionados por el agente causante del daño atendiendo a parámetros como la mortalidad, la inmovilidad, la inhibición del crecimiento, la mutagenicidad, la teratogenicidad y carcinogenicidad, entre otros*, se entiende que la intensidad de este tipo de daño, por la propia naturaleza del agente, dependerá del grado de afección que pueda causar sobre las especies, puesto que carece de sentido valorar los parámetros citados para entornos como el suelo, el agua continental o lechos marino y/o continental. De esta forma, la intensidad del daño por vertido de inertes, con afecciones a suelo y lechos, se podría catalogar como baja o nula. No obstante, ello no implica que si el operador dispone de información que pueda resultar útil de cara a desarrollar este apartado, quede a su criterio aplicarla siempre de forma justificada.

En cuanto al daño por temperatura, de igual manera y acorde con el Reglamento, la intensidad del daño a aguas superficiales y suelos también se clasificaría como baja, procediendo a la determinación de la intensidad por los efectos sobre las especies silvestres. Como se explica en el apartado de extensión del daño, especialmente en el caso del suelo, se considera que el calor del derrame quedará disipado rápidamente al entrar en contacto con el medio. En consecuencia con este hecho también se estima que el daño a las especies vegetales será de carácter poco importante al no verse factible que se llegue a umbrales que puedan resultar perjudiciales. Igualmente se desea incidir en que, si se dispone de datos fidedignos por parte

del analista sobre este tipo de daños y difieren de lo argumentado, se podrán incluir en la aplicación del análisis de riesgos individual.

Con respecto a las especies terrestres, su movilidad permitirá que el contacto con el derrame no sea de gran envergadura y las secuelas sean menores, por lo que la intensidad se juzga baja; sin embargo, para las especies acuáticas sí se ha estimado un indicador de calidad, la temperatura máxima a la que pueden vivir y reproducirse. Puesto que se tienen datos genéricos de temperatura para determinadas especies piscícolas en distintas fases de su ciclo de vida (Tabla 12), si el analista conoce la densidad y dinámicas poblacionales de las especies presentes en la masa de agua, podría hallar el nivel de intensidad extrapolando la proporción de individuos que se dañarían al sobrepasar el umbral con respecto al total. En situaciones en que se carezca de estos datos, se sugiere al analista asumir una afección de tipo letal (al 100% de la población) cuando se sobrepasen los umbrales, situando de esta forma el análisis del lado de la seguridad.

c) Intensidad del daño ocasionado por un incendio

La Memoria justificativa del Proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, indica que el incendio puede tratarse como una combinación de daño físico y químico.

En la citada memoria se propone evaluar la intensidad del daño ocasionado por un incendio mediante el cociente entre la superficie incendiada y la superficie total que habría estado expuesta a dicho incendio: para valores inferiores a 0,03 de este cociente, el daño se consideraría como potencial; valores comprendidos entre 0,03 y 0,25 supondrían un daño crónico; valores superiores al 0,25 implicarían un daño agudo.

No obstante, como se ha indicado, en caso de incertidumbre ante esta valoración, se podrá acudir a una declaración del daño como letal, asumiendo un criterio de precaución.

XXI.3.3. Escala temporal del daño

Tal y como se recoge en el artículo 14 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, la escala temporal del daño se determinará a partir de la estimación de la duración la frecuencia y la reversibilidad de los efectos que el agente causante del daño ocasiona sobre el medio receptor.

a) Duración del daño

Para valorar este parámetro se dirige al analista al Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental. Esta herramienta recomienda una técnica de reparación para el escenario que se haya introducido, que lleva vinculada un coste de ejecución y un plazo de recuperación de los daños. Si bien se sugiere acudir a MORA como dato de partida con vistas a evaluar la duración del daño, resulta recomendable que el operador ajuste la información basándose en la situación específica real.

b) Frecuencia del daño

La frecuencia del daño medioambiental coincide con la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental identificado. De forma complementaria, en los análisis de riesgos se dispone de la probabilidad de ocurrencia de los distintos sucesos iniciadores que pueden presentarse en una instalación.

c) Reversibilidad del daño

En el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental se define un daño como reversible cuando se estima que los recursos y servicios ambientales de la zona afectada por el accidente se pueden recuperar en un tiempo razonable.

Del artículo 22 del reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, dedicado a los supuestos de aplicación de las medidas de reparación complementaria y compensatoria, se desprenden las circunstancias por las que un daño podría definirse como irreversible —y, por ello, su reparación debería abordarse mediante una medida complementaria—: que no sea posible devolver los recursos naturales a su estado básico mediante reparación primaria y/o que la reparación primaria no se considere razonable según los criterios establecidos en el epígrafe 1.3.1 del Anexo II de la Ley de Responsabilidad Medioambiental y cuando el período de tiempo necesario para la recuperación de los recursos naturales o el coste de la reparación primaria sean desproporcionados.

Por otro lado y en la misma línea de lo apuntado en el párrafo anterior, el Documento Metodológico del Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA), disponible en la página web del MAGRAMA, ofrece una serie de pautas prácticas:

- Observaciones sobre la localización geográfica del daño. En el documento de MORA se declaran por defecto como irreversibles los daños ocasionados por sustancias no biodegradables sobre terrenos inaccesibles. En estas circunstancias se asume que no se podría reparar el daño ni por medios naturales ni con técnicas artificiales.
- Observaciones sobre el agente causante de daño y la cantidad de recurso afectado. En la actualidad no se dispone de técnicas que permitan recuperar algunos recursos naturales singulares o que consigan tratar de una manera completamente efectiva ciertos agentes causantes de daño. En estos casos, de igual forma, el daño se consideraría irreversible por no poder aplicarse reparación. A modo de resumen, la reversibilidad de los daños irá directamente relacionada con la existencia de técnicas de reparación que permitan restaurar el estado básico de los recursos.

XXI.3.4. Significatividad del daño

La Ley de Responsabilidad Medioambiental únicamente resulta aplicable cuando los daños ocasionados tengan la consideración de significativos. Por lo tanto, determinar si los daños previstos en el análisis son o no significativos es pieza clave en la evaluación. La LRM en su artículo 2 establece una serie de criterios para la declaración de la significatividad del daño causado sobre cada uno de los recursos cubiertos por la LRM —especies silvestres, hábitats, agua, ribera del mar y de las rías y suelo—.

De la misma forma, el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, en sus artículos del 15 al 18, desarrolla la metodología que debe seguirse para estudiar la significatividad del daño a partir del trabajo de cuantificación que se haya realizado previamente. En este sentido, en el artículo 15 se destacan una serie de parámetros cuyo grado de variación habrá de valorarse:

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

Dado el grado de incertidumbre que pueden presentar estas estimaciones en la elaboración del análisis, se sugiere a los operadores que siempre que no dispongan de información de detalle para determinar la significatividad o no del daño declaren los daños evaluados como significativos, situando de esta forma su estudio del lado de la prudencia. Esta posibilidad resulta especialmente recomendable cuando con los modelos de difusión no sea factible obtener datos fiables de concentración de contaminante en el medio. También se considera conveniente la asunción de significatividad en escenarios donde se desconozca el estado de los recursos previo al accidente.

En los escenarios que impliquen vertido de sustancias químicas al agua superficial, conforme al artículo 17 del Reglamento, se utilizarán los cocientes de riesgo desarrollados en el apartado IX.3.2 del presente documento. Estos cocientes plantean la relación entre la concentración estimada de contaminante en el medio receptor (PEC), calculada a partir de los modelos de dispersión (como la citada TGD para las aguas) y la concentración umbral a la que se producirían efectos adversos a las poblaciones, obtenida de bibliografía especializada. En caso de que la relación sea mayor a 1, el daño se consideraría significativo.

De igual modo se podría valorar la significatividad de los daños físicos por temperatura a las aguas. Partiendo de las ecuaciones expuestas en el apartado IX.3.1 para el grupo C3 de agente-recurso, se realizaría el cociente entre la temperatura estimada en el medio acuático tras el vertido y la temperatura umbral a la que se producirían consecuencias desfavorables, de manera que si el resultado fuera mayor a la unidad, se podría asumir el daño como significativo.

XXII. CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA POR RESPONSABILIDAD MEDIOAMBIENTAL

De acuerdo con la nueva redacción del artículo 37 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre —según el Real Decreto 183/2015—, quedarán obligados a

constituir la garantía financiera por responsabilidad medioambiental aquellos operadores que se encuentran en alguna de las siguientes actividades que expone el anexo III de la ley:

- 1) Las actividades e instalaciones sujetas al ámbito de aplicación del Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, recientemente derogado por el Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- 2) Las actividades e instalaciones sujetas al ámbito de aplicación de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- 3) Los operadores que cuenten con instalaciones de residuos mineros clasificadas como de categoría A de acuerdo a lo establecido en el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

Por tanto, en el sector objeto de estudio deberán constituir garantía financiera obligatoria aquellos operadores cuyas instalaciones se encuentren incluidas en alguno de estos tres supuestos. En el caso de las fundiciones la obligatoriedad vendrá determinada principalmente por el apartado 2) dirigido a las instalaciones comúnmente denominadas IPPC. La fecha a partir de la cual será exigible la constitución de la garantía financiera obligatoria se establecerá mediante las órdenes ministeriales previstas en la disposición final cuarta de la Ley 26/2007, de 23 de octubre.

En cumplimiento de la normativa, la formulación del instrumento de garantía financiera atenderá a lo que se indica en los apartados 1 a 4 del artículo 40 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre —y su redacción modificada por el Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo—.

Conforme con lo establecido en el artículo 33 del Reglamento, también modificado por el Real Decreto 183/2015, la cuantía de la garantía financiera a constituir se corresponde con el valor económico de la reparación primaria del escenario de referencia obtenido tras la realización de un análisis de riesgo medioambiental de la actividad —coincidiendo en el caso que nos ocupa con la adaptación particular del actual MIRAT—. El escenario de referencia será aquél con mayor valor del IDM de entre todos los escenarios que acumulen el 95% del riesgo total.

Posteriormente, partiendo de la cuantificación de dicho escenario, según los criterios estipulados en el apartado IX, se procederá a otorgar un coste a su proyecto de reparación primaria, para lo cual se puede utilizar la herramienta informática MORA, aplicación de acceso público y gratuito que cuenta con el respaldo de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales.

Existe numerosa documentación sobre MORA —manuales, presentaciones, ejemplos de utilización en los análisis de riesgos, etc.— disponible en la página web del MAGRAMA. No

obstante, merece la pena recalcar que su uso no es obligatorio sino, simplemente, recomendable, por lo que el operador que así lo desee podrá elaborar y presentar otro presupuesto de reparación de daños siempre que quede correctamente fundamentado.

Por otro lado, y como recordatorio, se reincide en que si el proyecto de reparación primaria del escenario de referencia se basa íntegramente en la recuperación natural, dicho escenario no se podrá tomar como base para el cálculo de la garantía, por lo que habrá que acudir al siguiente escenario con mayor IDM cuya reparación primaria no consista en esta técnica de reparación.

El siguiente paso para el cálculo de la garantía financiera consiste en añadir los costes de prevención y evitación del daño al valor calculado por MORA, puesto que esta aplicación no los incluye. Para ello, conforme con el artículo 33 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, el operador podrá:

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

En todo caso, debe tenerse en cuenta que la cuantía de los gastos de prevención y evitación del daño debe ser, como mínimo, el 10% del importe total de la garantía calculada siguiendo las fases anteriores.

De esta forma, la garantía financiera obligatoria que, en su caso, el operador tuviera que constituir ha de cubrir, atendiendo a lo indicado en el Reglamento, el coste de la reparación primaria y los costes de prevención y evitación del daño, estimados atendiendo a lo indicado en los párrafos anteriores. No obstante, el operador, según lo establecido en el artículo 19 de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, será responsable, en su caso, de ejecutar todas las medidas reparadoras, incluidas las medidas de reparación compensatoria y complementaria (destinadas a compensar respectivamente la pérdida provisional de recursos naturales o servicios de recursos naturales durante la recuperación y los recursos o servicios que se hayan dañado de forma irreversible). De esta forma, el operador puede decidir, de manera voluntaria, incluir en la cuantía de la garantía financiera obligatoria los costes de la reparación compensatoria y complementaria, con el fin de tener cubiertas todas las obligaciones exigidas por la Ley 26/2007, de 23 de octubre.

Por último, debe indicarse que en el artículo 28 de la LRM se establecen una serie de exenciones a la hora de constituir la garantía financiera. Quedarían exentos los siguientes operadores:

- Los operadores cuyos daños medioambientales potenciales no superen los 300.000 €
- Los operadores cuyos daños queden comprendidos entre 300.000 y 2.000.000 € que cuenten con un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS) o con un sistema de gestión medioambiental UNE-EN ISO 14001:1996.

En todo caso, la cobertura de la garantía financiera obligatoria nunca será superior a 20.000.000 € según dispone el artículo 30 de la Ley 26/2007.

XXIII. ORIENTACIONES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL

La prevención del riesgo es uno de los pilares en los que se sustenta la normativa de responsabilidad medioambiental. Realizar un análisis de riesgos medioambientales permite, además de obtener un escenario de referencia y calcular la cuantía de la garantía financiera, conocer los puntos fuertes y débiles de la instalación y poder actuar sobre ellos para optimizar la gestión del riesgo.

En general, la política de gestión de riesgos suele encaminarse a la adopción de medidas que permitan reducir la probabilidad y/o la magnitud de los posibles daños a niveles económica y técnicamente viables.

De acuerdo con la UNE 150.008 la definición de gestión del riesgo se entiende como “la toma de decisiones más adecuadas sobre los riesgos ambientales, fundamentadas en los criterios de seguridad y eficiencia económica”. Este proceso de gestión del riesgo incluiría:

- a) El tratamiento de los distintos riesgos evaluados, tanto en su vertiente financiera como en su vertiente técnica.
- b) La comunicación adecuada con los grupos de interés relevantes.

En concreto, en el Anexo A de la norma UNE 150.008 se identifican las siguientes perspectivas para la gestión del riesgo:

- **Eliminación del riesgo.** Esta opción consiste en la eliminación total del riesgo mediante la supresión de la fuente de peligro o del agente causante de daño que lo origina. Es una medida deseable, aunque no siempre resulta posible debido a razones técnicas y/o económicas. Adicionalmente, debe atenderse a la posibilidad de que la supresión de un riesgo pueda generar uno diferente, que en cualquier caso habrá que incluir en el análisis.
- **Reducción y control del riesgo.** Esta perspectiva atiende a una reducción del riesgo asequible desde un punto de vista técnico y económico. Las acciones realizadas se encaminarían a reducir las consecuencias medioambientales de los escenarios, su probabilidad de ocurrencia o ambos. La norma indica la necesidad de realizar un seguimiento de los riesgos residuales que pudiera persistir en la instalación.
- **Retención y transferencia del riesgo.** La transferencia técnica del riesgo consiste en trasladar el riesgo a otro operador mediante la subcontratación. Es un tipo de gestión del riesgo que incide directamente en la instalación y no tanto en las consecuencias ambientales. Otra posible medida consiste en la financiación del riesgo, cubriendo el coste de los potenciales daños. Dentro de esta última medida se encuentran las fianzas

y avales, los depósitos, los fondos de garantía de solvencia, las pólizas de seguros y los fondos de garantía de indemnización.

En este sentido, del presente MIRAT se pueden deducir elementos de gestión del riesgo tanto en la parte causal, en los árboles que desembocan en el suceso iniciador, como en la parte consecuencial, en los que derivan en los escenarios accidentales. A continuación se exponen en detalle estos apartados.

Fase causal

En la fase previa al incidente o suceso iniciador, el operador tendrá la capacidad de gestionar su riesgo mediante la disminución de la probabilidad de ocurrencia de sus sucesos iniciadores o disminuyendo en la medida de lo posible la cantidad de agente causante del daño que se libera. El modelo resulta eficaz como instrumento de gestión del riesgo en puntos determinantes vinculados a las fuentes de peligro de la instalación, entendidas como equipos y sustancias:

- Equipos

En aquellos sucesos básicos cuya probabilidad depende del tipo de equipos presentes en la instalación, como puede ser el tipo de depósitos aéreos (tanques aéreos de 1 ó 2 capas, resistentes a explosiones, etc...) o el tipo de sistema de tuberías (aéreas o subterráneas) y su longitud, el operador puede disminuir su probabilidad de ocurrencia sustituyendo los equipos con mayor incidencia de fuga/rotura por otros que tengan valores menores en sus tasas de fallo.

En el caso de los sucesos iniciadores resultado de la combinación de varios sucesos básicos (S.A.1y2, S.A.3y4, S.A.5y6, S.A.7y8, S.A.11y12, S.C.1y2, S.C.3y4, S.TA.1y2, S.TA.5y6, S.TA7y8, S.TB.1y2, S.TB.3y4, S.TB.7y8) la metodología es sensible a la exposición de los depósitos y tuberías a una posible colisión externa por parte de un vehículo. Si el operador elimina esta posibilidad o minimiza este hecho, podría descartar, siempre de forma justificada, este escenario de su análisis de riesgos, minorando así la probabilidad de fuga desde estos equipos.

En ambos casos se remite al operador a la información expuesta en el Anejo III del presente MIRAT, donde se aportan valores de probabilidad concretos basados en bibliografía especializada.

No obstante, como anteriormente se ha indicado, se deja en manos del analista la opción de utilizar otras probabilidades de ocurrencia que surjan de un registro de accidentes propio u otras bases de datos, siempre y cuando su utilización quede justificada.

- Sustancias

Las sustancias que se utilizan en la instalación establecerán el tipo de sucesos iniciadores que se puedan desarrollar. Así, en plantas donde no se utilicen sustancias inflamables o se

manejen en menor medida, habrá menos sucesos iniciadores vinculados a incendio o incluso podrían ni plantearse.

Es por ello que una de las medidas de gestión del riesgo que ofrece el análisis tiene que ver con la presencia de sustancias en la instalación. La sustitución de aquellas inflamables por otras que no lo sean o lo sean en menor medida, como por ejemplo el agua-glicol que en algunas fundiciones reemplaza a los distintos aceites hidráulicos de maquinaria, repercutirá en la ausencia o reducción de los sucesos de incendio asociado a fuga o en la disminución del valor de probabilidad por uso de compuestos poco inflamables.

En la misma línea, e igualmente ligado a las características químicas de las sustancias, el manejo de aquéllas que resulten menos tóxicas, si bien no contribuirá a reducir la probabilidad de un suceso, redundará en los escenarios de afección disminuyendo la intensidad del potencial daño.

Por último, otro punto en el que se puede hacer hincapié de cara a la gestión del riesgo en una instalación puede asociarse a los volúmenes de los depósitos con sustancias tóxicas. Resulta coherente deducir que, en instalaciones cuyos depósitos sean de menor capacidad, la cantidad de sustancia que se libere en un incidente será menor que en aquellas que posean depósitos de mayores.

Fase consecucional

Una vez se desencadena el suceso iniciador su evolución dependerá de las características propias de la instalación, de forma que la ocurrencia de un escenario accidental obedecerá a los valores que el operador otorgue a los factores condicionantes en el árbol de fallos. Las probabilidades asignadas condicionarán la probabilidad final del escenario accidental y, en consecuencia, influirán directamente en la estimación del riesgo, que como se ha explicado en apartados precedentes es el producto de la probabilidad del escenario por sus consecuencias.

El detalle de estos factores se puede consultar en el Anejo IV del actual MIRAT. A modo de resumen los árboles consecuenciales proponen factores condicionantes en tres ámbitos:

- **Sistemas de contención**

Este factor condicionante se asocia a la capacidad de retención de la instalación ante un derrame de sustancias líquidas. Puede ser de carácter automático o manual, presentando mayor probabilidad de fallo la manual que requiere de la presencia y actuación del personal.

Adicionalmente, en caso de existir sistemas automáticos, la capacidad de retención volumétrica de los mismos reducirá la cantidad de agente causante del daño que entre en contacto con el medio en un escenario concreto, implicando un descenso directo en sus consecuencias.

- **Sistemas de detección y extinción de incendios**

De igual manera que en los sistemas de contención, la automaticidad de estos sistemas es la que condiciona la tasa de fallos a aplicar en el árbol. La sustitución de sistemas manuales de detección y extinción por otros más automatizados implicará directamente la disminución de la probabilidad de los escenarios.

- **Gestión de aguas y derrames**

Un sistema de gestión de los derrames de tipo pasivo, que no requiera de la presencia de personal, conllevará una tasa de fallos menor y, en consecuencia, una probabilidad de ocurrencia del escenario también inferior.

De igual manera que para los sistemas de contención, también variarán las consecuencias de los escenarios en función de la capacidad de retención de estos sistemas, que podrán minorar la cantidad de agente que entra en contacto con los recursos.

XXIV. PUNTOS CRÍTICOS

La naturaleza sectorial del presente MIRAT es la que condiciona la criticidad de su aplicación. Si bien se estima que la herramienta abarca los puntos más importantes de las instalaciones del sector de la fundición, su particularización puede conllevar dificultades.

Por un lado, al ser un instrumento sectorial, es probable que no queden cubiertas las particularidades de cada instalación, y por otro, su adaptación puede resultar compleja por el carácter técnico de su contenido.

Seguidamente se exponen una serie de pautas para subsanar las complicaciones que se puedan ir presentando durante su utilización en las diferentes etapas.

Fase causal

El primer paso en el análisis riesgos tiene que ver con la identificación de las fuentes de peligro para cada zona definida en la instalación. En esta etapa se pueden plantear varias problemáticas, principalmente unidas a particularidades del operador que no queden contempladas en el MIRAT. Si bien se han considerado en el MIRAT las actividades y procesos más comunes y significativas del sector de la fundición, puede haber zonas o fuentes de peligro en una instalación que no se engloben en las definidas para el sector, para lo cual se aconseja su inclusión aplicando la misma metodología que se plasma en este documento, intentando ceñirse a la línea de lo expuesto para, posteriormente, definir los posibles sucesos básicos y comprobar si se pueden asimilar a los descritos o si, por el contrario, hay que acudir a bibliografía especializada o registros propios para asignar las probabilidades.

Ante la presencia de fuentes de peligro o zonas no contempladas, lo más importante es seguir meticulosamente todos los pasos dispuestos en el MIRAT para incluirlas en el análisis global de la instalación y que puedan ser comparables con el resto de fuentes de peligro. Los escenarios resultantes se considerarán escenarios singulares y habrán de ser caracterizados y

evaluados junto al resto de escenarios, pudiéndose erigir alguno de ellos en el escenario de referencia para la garantía financiera.

En lo referente al caso opuesto, en el que el operador estima que hay zonas o fuentes de peligro consideradas en el MIRAT que su instalación no contiene, simplemente habrá de excluirlas del modelo y centrarse en aquellas de las que sí dispone.

De igual modo, aunque se ha pretendido que el MIRAT cubra todas las sustancias que pueden presentarse en estas instalaciones, si el operador estima que alguna de las que maneja su instalación no queda cubierta en el proceso de análisis que se describe pero su presencia puede deducirse importante en términos de riesgo medioambiental, por volumen o características químicas, habrá de aplicar el MIRAT tal y como se indica y en la fase de identificación de agente causante del daño razonar la nueva sustancia elegida.

Fase consecucional

La fase consecucional abarca desde el momento en el que se libera el agente causante del daño en un suceso iniciador dado con una probabilidad estimada, hasta su evolución en un escenario accidental.

En esta etapa entran en juego los denominados factores condicionantes. En el actual MIRAT se han definido tres tipos de factores condicionantes (sistemas de contención, de detección y extinción de incendios y gestión de derrames), que se ha procurado engloben todas las casuísticas que se pueden manifestar en una planta de este tipo. No obstante, pueden plantearse particularidades en las instalaciones que no queden contempladas, de forma que las fundiciones podrán añadir algún factor condicionante particular si así lo creen oportuno. El modelo, por su naturaleza, es flexible a la inclusión de nuevos factores en los árboles, pero éstos han de valorarse en los mismos términos que los ya contemplados (órdenes de probabilidad evidenciados, inclusión en el árbol de fallos, capacidad de contención si la tuviesen, etc.) y siempre de manera fundamentada.

Al hilo de lo que se expone para la fase previa, la adición de un suceso iniciador de carácter particular dará lugar a escenarios singulares, que como ya se ha comentado, tendrán que incluirse en el proceso de valoración de gravedad de los daños mediante el IDM y, si procediera, cuantificarse.

Cabe recalcar que todos los escenarios que se observen en una instalación serán fruto de la aplicación de los árboles de sucesos y tendrán que llevar vinculada una probabilidad, un agente causante del daño con su cantidad (para agentes líquidos volumen y masa para agentes sólidos) y, cuando se concluya a partir de los árboles que se puede generar un daño al medio, un valor de IDM para los potenciales cruces agente-recurso que puedan concurrir. Ulteriormente, se hallará el valor del riesgo para cada escenario y se empleará la metodología de decisión que indica la normativa con vistas a definir el escenario de referencia. Por último, dicho escenario deberá ser cuantificado y monetizado.

Precisamente, los puntos críticos en la definición de escenarios se pueden ceñir a los conceptos expresados en el párrafo anterior:

- **Probabilidad de los escenarios consecuenciales**

En el proceso de asignación de probabilidades, tanto de la fase causal como de la fase consecucional, se ha acudido a bibliografía especializada, la cual se encuentra referenciada en este documento.

Para la fase de análisis consecucional se han tomado tasas de fallo de sistemas de detección y contención que se muestran en el Anejo IV del MIRAT. Como ya se ha incidido, su utilización es aconsejable pero no obligatoria, y si el analista dispone de datos propios u otras fuentes susceptibles de ser utilizadas puede adaptar los valores.

- **Cantidad de agente causante del daño**

El volumen de agente también será un punto crítico en el que el operador pueda aportar su experiencia propia. En el apartado VIII.5 de protocolos de cálculo de la cantidad de agente se exponen pautas a seguir para calcular la cantidad de agente asociada al suceso iniciador y al escenario. No obstante, el operador puede aplicar criterios diferentes en este sentido, siempre que queden fundamentados con base en sus propios registros o bibliografía especializada.

- **Cuantificación del daño para el escenario de referencia**

La cuantificación del escenario de referencia es uno de los puntos de mayor incertidumbre en el análisis de riesgos, porque los criterios y modelos que se pueden emplear son numerosos. En el actual MIRAT se ha pretendido dar una indicación respecto a modelos por agente y recurso natural, que se consideran asequibles en su uso y fidedignos. Cada operador habrá de adaptarlos a sus circunstancias concretas o bien podrá acudir a otras fuentes de información que se juzguen igualmente válidas. En todo caso, acogiéndose al principio de incertidumbre, se recomienda al analista adoptar los valores más desfavorables que, consecuentemente, cubrirán los escenarios más dañinos.

- **Monetización del daño para el escenario de referencia**

Para la monetización del daño medioambiental del escenario de referencia puede emplearse la herramienta MORA (Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental), colgado en la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA)¹⁰. En cualquier caso, la utilización de esta herramienta tendrá siempre carácter voluntario, pudiendo el analista recurrir a otros procedimientos más ajustado a su caso concreto para la monetización del daño medioambiental.

¹⁰ <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/modelo-de-oferta-de-responsabilidad-ambiental/>

XXV. PLAN DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE RIESGOS SECTORIAL

El artículo 34.3 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre establece que *el operador actualizará el análisis de riesgos medioambientales siempre que lo estimen oportuno y, en todo caso, cuando se produzcan modificaciones sustanciales en la actividad, en la instalación o en la autorización sustantiva*. En este sentido, en el presente apartado se ofrecen una serie de indicaciones que puedan guiar las posibles actualizaciones de la herramienta sectorial.

En primer lugar, el MIRAT habrá de adaptarse a los cambios que puedan concurrir en el proceso que lleva a cabo la instalación y que puedan implicar una alteración en el riesgo medioambiental de la actividad. De forma lógica, es habitual en la industria que los sistemas productivos evolucionen con el objeto de optimizar los procesos y maximizar beneficios. Adicionalmente, desde las distintas normativas en materia industrial (directivas europeas, leyes estatales, etc.) se añade presión sobre estos cambios, aumentando el control sobre las instalaciones y buscando la eficacia en los procedimientos unida a la minimización de los impactos ambientales.

Se asume con todo ello que, al igual que otros sectores industriales, el sector de las fundiciones está en continua evolución. La línea de producción se podrá mantener muy similar a la aquí expuesta, pero las técnicas aplicadas tenderán a mejorar. Ello tendrá una incidencia directa en el análisis de riesgos de cada instalación. Las circunstancias que se pueden presentar podrían ser las siguientes:

- **Zonas.** Aunar determinadas fases de producción, prescindir de algunas zonas o reconstruir la instalación implicarán tener que volver a valorar la zonificación de base estimada en el análisis.
- **Equipos.** La renovación de los equipos podrá implicar la disminución de la tasa de fallos de los sucesos iniciadores asociados o incluso su eliminación.
- **Sustancias.** La inclusión de nuevas sustancias, menos agresivas con los materiales y con el medio ambiente, podrá redundar en la eliminación de determinados sucesos iniciadores que puedan dejar de presentarse en la instalación de forma permanente. Igualmente, este hecho trasciende a la sustitución de sustancias inflamables por otras que no lo sean y que puedan conllevar la supresión de determinados sucesos de incendio.

Además se habrá de tener en cuenta si se plantean modificaciones en las condiciones de almacenaje, por ejemplo aumentando o disminuyendo las capacidades volumétricas de los depósitos o directamente eliminándolos. Este hecho repercutiría en las cantidades de agente causante del daño que se pudieran liberar.

- **Sistemas de detección y contención.** Una modificación en estos sistemas incurrirá en un cambio directo en los factores condicionantes evaluados, tanto a escalas de

probabilidad por cambios en las tasas de fallo, como en lo que a capacidades de retención se refiere. Estas alteraciones implicarán cambios en los escenarios accidentales mediante una variación en su probabilidad y en la cantidad de agente causante del daño, y, consecuentemente, en las potenciales afecciones posteriores.

Conviene recalcar que este tipo de instrumento pretende ser lo suficientemente flexible y, en la medida de lo posible, manejable, como para que haya cabida para modificaciones manteniendo, en todo caso, la rigurosidad técnica.

La herramienta en sí misma busca atenerse lo más fielmente a la realidad del sector y ante todo pretende ser un elemento de utilidad, por lo que carece de sentido que su rigidez la haga improductiva. En este orden de cosas, se considera que, a medida que se realice su adaptación en las distintas fundiciones, el modelo se retroalimentará ajustándose cada vez más a las circunstancias específicas del sector.

Adicionalmente, se recomienda que el sector genere un registro de los accidentes que acontezcan y generen un daño medioambiental, para así poder disponer de información veraz y actualizada que a la postre podrá ser aprovechada en sucesivas ediciones del MIRAT.

XXVI. BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS MEDIOAMBIENTALES (CTPRDM) (2011, actualizado en 2015) *Estructura y contenidos generales de los instrumentos sectoriales para el análisis del riesgo medioambiental*. Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales.

COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS MEDIOAMBIENTALES (CTPRDM) (2015) *Guía Metodológica. Sector: Determinadas actividades de gestión de residuos peligrosos y no peligrosos. Apéndice: Aplicación a un caso hipotético*. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/Caso_Practico_tcm7-367585.pdf

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS (DGPCE) (2014) *Emergencias producidas en el transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera y Ferrocarril. Informe Trienal 2011-2013*. Ministerio del Interior.

<http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta21/trienal2011-2013/1.html>

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.

FLEMISH GOVERNMENT (2009) *Handbook failure frequencies 2009 for drawing a safety report*. Flemish Government. LNE Department. Environment, Nature and Energy Policy Unit. Safety Reporting Division.

GRIMAZ S., ALLEN S., STEWART J. y DOLCETTI G. (2007) *Predictive Evaluation of the extent of the surface spreading for the case of accidental spillage of oil on ground*. Selected paper IcheaP8, AIDIC Conference Series, Vol. 8, 2007, pp. 151 – 160.

GRIMAZ S., ALLEN S., STEWART J., DOLCETTI G. (2008) *Fast prediction of the evolution of oil penetration into the soil immediately after an accidental spillage for rapid-response purposes*, Proceeding of 3rd International Conference on Safety & Environment in Process Industry, CISAP – 3, Rome (I) 11 – 14 May 2008, Chemical Engineering Transactions, Vol. 13, 2008. Ed. AIDIC Servizi s.r.l.

HEALTH & SAFETY EXECUTIVE (HSE) (2003) *Assessment of benefits of fire compartmentation in chemical warehouses*.

INSTITUT NATIONAL D'ÉTUDES DE LA SÉCURITÉ CIVILE (2001) *Défense extérieure contre l'incendie et rétentions. Guide pratique pour le dimensionnement des rétentions des eaux d'extinction*. Fédération Française des Sociétés d'Assurances, Centre National de Prévention et de Protection.

MARTÍN, V. (2009) *Evaluación del riesgo de incendio en un transformador*. Proyecto Fin de Carrera. Ingeniería Técnica Industrial: Electricidad. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Politécnica Superior. Universidad Carlos III de Madrid.

NOBEL, P.S., GELLER, G.N., KEE, S.C. y ZIMMERMAN, A.D. (1986) Temperatures and thermal tolerances for cacti exposed to high temperatures near the soil surface. *Plant, Cell and Environment*, 9, 279-287

PETERSEN, A. (2008) *Risk assessment for explosive failures in transformers and strategies to reduce such risks*. Cigre APA2 Transformer Conference, Sydney. Marzo 2008.

SCHÜLLER, J.C.H. (2005) *Methods for determining and processing probabilities*. Red Book. CPR 12E. Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

SDU UITGEVERS, DEN HAAG (1999) *Guidelines for quantitative risk assessment*. Purple Book. Committee for the Prevention of Disasters.

SHEWRING, D (2004) Preliminary hazard analysis groundwater treatment plant Orica Australia PTY LTD botany industrial park, NSW.

SGS INDIA PVT. LTD. (2009) *Draft Environmental Impact Assessment Report for Proposed Expansion*. Kalyani Gerdau Steels Limited, Jambulapadu Village, Manda Tadpatri, District Anantapur, Andhra Pradesh.

SOUCHON, Y. y TISSOT, L. (2012) Synthesis of thermal tolerances of the common freshwater fish species in large Western Europe rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 405, 03p1-03p48.

USEPA (2001) *Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments*. American Petroleum Institute. National Oceanic and Atmospheric Administration. U.S. Coast Guard. U.S. Environmental Protection Agency.

Páginas web

Sistema Integrado de Información del Agua:

- <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/sia-/>

Red oficial de seguimiento del estado cuantitativo de las masas de agua subterráneas:

- <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/red-oficial-seguimiento/>

Puertos del Estado:

- <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Sistema de información nacional de aguas de baño:

- <http://nayade.msssi.es/Splayas/ciudadano/ciudadanoZonaAction.do>

Servicios de mapas (WMS, ArcGIS Server y Google Earth) del IGME:

- <http://mapas.igme.es/Servicios/default.aspx>

Banco de datos de la naturaleza:

- <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/>

Confederación Hidrográfica del Ebro:

- <http://www.chebro.es/>

Centro Nacional de Energías Renovables:

- <http://www.globalwindmap.com/VisorCENER/>

ID-TAX (MAGRAMA):

- <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/programas-seguimiento/id-tax.aspx>

Módulo de cálculo del Índice de Daño Medioambiental (IDM):

- <http://eportal.magrama.gob.es/mora/idm/editarSeleccionIdmAgentes.action>

Memoria del análisis de impacto normativo abreviada del proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Reglamento de Desarrollo Parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre:

- http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/Proyecto_RD_Responsabilidad_MA.aspx

Guía de usuario del módulo de cálculo del IDM:

- http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/guiausuarioidm_tcm7-365287.pdf

Agencia Estatal de Meteorología:

- <http://www.aemet.es/es/portada>

Atlas Nacional de España:

- <http://www.ign.es/ane/ane1986-2008/>

Banco de Datos de la Naturaleza:

- <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/>

Behave:

- <http://www.firemodels.org/index.php/behaveplussoftware/behaveplus-downloads>

Espacios Naturales Protegidos:

- <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/>

Hispagua-Sistema Español de Información sobre el Agua:

- <http://hispagua.cedex.es/>

Inventario de Presas y Embalses:

- <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/seguridad-de-presas-y-embalses/inventario-presas-y-embalses/>

Inventario Forestal Nacional:

- <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-forestal-nacional/>

Inventario Nacional de Biodiversidad:

- <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-espanol-patrimonio-natural-biodiv/default.aspx>

Libro Digital del Agua:

- <http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/lda/>

Mapa Forestal de España:

- <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/mapa-forestal-de-espana/>

Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA):

- <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/modelo-de-oferta-de-responsabilidad-ambiental/>

Red de estaciones de aforo:

- http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-mapa_gr_cuenca.asp

Red de piezómetros:

- <http://sig.magrama.es/recursossub/visor.html?herramienta=Piezometros>

Servicios de mapas (WMS, ArcGIS Server y Google Earth) del Instituto Geológico y Minero de España:

- <http://mapas.igme.es/Servicios/default.aspx>

Sistema Integrado de Información del Agua:

- <http://servicios2.marm.es/sia/consultas/servlet/consultas.GlobalFilter?tipo=masiva&sid=generate>

Federal Remediation Technologies Roundtable

- <http://www.frtr.gov/>

Análisis de riesgos sectoriales (MAGRAMA)

- <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/analisis-de-riesgos-sectoriales/>



COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS MEDIOAMBIENTALES