



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

**MIRAT**

**Sector de la fundición**

**APÉNDICE: Aplicación a un caso hipotético**

**Memoria explicativa**

COMISIÓN TÉCNICA DE PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS  
MEDIOAMBIENTALES





## **Índice**

<b>I. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD Y CARACTERIZACIÓN DE SU ENTORNO.....</b>	<b>1</b>
<b>II. IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS ACCIDENTALES RELEVANTES .....</b>	<b>13</b>
II.1. Fuentes de peligro .....	13
II.2. Causas de peligro y sucesos iniciadores .....	21
II.3. Identificación de los escenarios accidentales .....	23
II.4. Cantidad de agente asociada al suceso iniciador .....	26
II.5. Cantidad de agente asociada al escenario accidental.....	37
<b>III. ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD ASOCIADA A CADA ESCENARIO .....</b>	<b>55</b>
III.1. Probabilidad del suceso iniciador .....	55
III.2. Probabilidad del escenario accidental.....	55
<b>IV. CÁLCULO DEL IDM DE CADA ESCENARIO.....</b>	<b>77</b>
<b>V. ESTIMACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A CADA ESCENARIO .....</b>	<b>87</b>
<b>VI. SELECCIÓN DEL ESCENARIO ACCIDENTAL DE REFERENCIA .....</b>	<b>87</b>
<b>VII. DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL DAÑO ASOCIADO AL ESCENARIO ACCIDENTAL DE REFERENCIA.....</b>	<b>91</b>
VII.1. Extensión del daño medioambiental.....	92
VII.2. Intensidad del daño medioambiental.....	95
VII.3. Escala temporal del daño medioambiental .....	97
VII.4. Significatividad del daño medioambiental .....	97
<b>VIII.MONETIZACIÓN DEL DAÑO ASOCIADO AL ESCENARIO ACCIDENTAL DE REFERENCIA</b>	<b>97</b>
<b>IX. EVALUACIÓN DE LA NECESIDAD DE CONSTITUIR UNA GARANTÍA FINANCIERA.....</b>	<b>98</b>
<b>X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>100</b>

## ***Anejos***

ANEJO A.I: Esquemas de la instalación

ANEJO A.II: Posibles causas asociadas a cada suceso iniciador

ANEJO A.III: Árboles de sucesos

ANEJO A.IV: Caracterización de sustancias químicas

ANEJO A. V: Parámetros introducidos en la ecuación del IDM para cada escenario

ANEJO A.VI: Informe de salida de la aplicación informática MORA

## V. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD Y CARACTERIZACIÓN DE SU ENTORNO

En el ejercicio práctico que se desarrolla a continuación se ha procurado aunar elementos característicos del sector en una fundición hipotética con la pretensión de demostrar cómo se realizaría la aplicación del MIRAT para el sector de la fundición a una instalación real.

La fundición ficticia objeto de estudio se trata de una instalación dedicada a la fundición de hierro para el moldeo con arenas químicas de pieza mediana/grande, siendo sus principales clientes del sector de la automoción y la construcción.

La planta cuenta con una nave subdividida en 4 de unos 10.000 m<sup>2</sup>. En la zona más amplia se localiza la nave donde se desarrolla el proceso, que ocupa en torno a 9.000 m<sup>2</sup> y dispone de 3 hornos de inducción cada uno de los cuales se integra en una línea de producción. Dos de ellas trabajan en continuo mientras que la tercera se inicia de forma auxiliar en caso de aumento de demanda. Aparte disponen de una línea de machería separada por un muro del área de proceso, con una superficie de unos 500 m<sup>2</sup>. Adicionalmente, la instalación cuenta con una zona APQ de unos 300 m<sup>2</sup>, techada y contigua a la nave principal; adyacente a ésta, se encuentra el almacén de residuos, de unos 200 m<sup>2</sup>. Toda esta zona edificada tiene una altura de unos 12 metros y su estructura o armazón es estable al fuego más de 1 hora.

Adyacente a la nave principal, en su extremo sureste, se localiza un edificio donde se realizan las tareas de gestión y administración de la instalación.

Además de la parte edificada, la instalación cuenta con superficie no edificada, donde se ubican los depósitos de almacén de materias primas, la subestación eléctrica, el depósito subterráneo de gasóleo y una zona de aparcamiento para empleados y visitas. Dicha superficie no edificada se encuentra asfaltada, y en buen estado, en su práctica totalidad; únicamente en el extremo noreste de la instalación, donde se ubica la torre de refrigeración, existe terreno sin asfaltar.

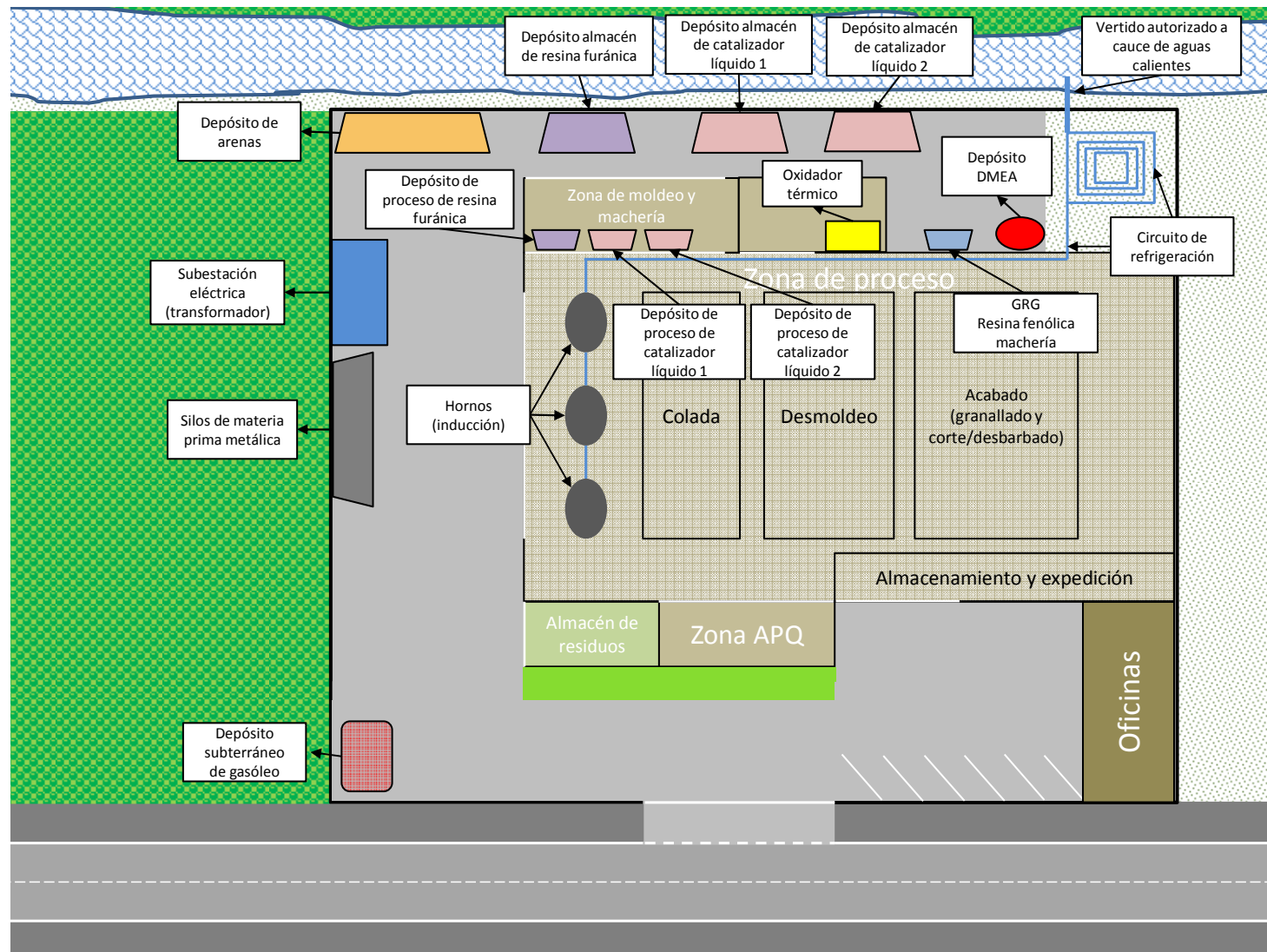
En la Figura 1 se recoge una representación esquemática de la instalación objeto de análisis en el presente caso práctico enmarcado dentro del Modelo Informe de Riesgos Ambientales Tipo (MIRAT) realizado para el sector de la fundición.

El proceso que se lleva a cabo en esta instalación se expone a continuación, así como las características de la misma más relevantes en términos de riesgo medioambiental:

### **Recepción y almacenamiento de la materia prima.**

La materia prima metálica se obtiene de dos formas: por un lado se reciben externamente las chatarras limpias y ferroaleaciones, y por otro, internamente se retornan los descartes de fusión al proceso. Se estima que el retorno puede ascender a un 20% de la materia original.

Los vehículos que traen a la instalación la materia prima metálica descargan en unos silos que se encuentran en el límite occidental de la instalación, en una zona techada próxima a la zona de proceso y los hornos; desde ahí, y mediante una grúa con un gran imán, se toma el material metálico para alimentar a los hornos.





**Figura 1.** Representación esquemática de la instalación hipotética diseñada para el presente caso práctico. Fuente: Elaboración propia

Las arenas que utiliza la instalación para el moldeo químico son arenas de sílice que provienen de un proveedor externo y se almacenan en un silo aéreo de 35 m<sup>3</sup>, situado en el límite norte de la instalación. Para su estabilización como molde las arenas se mezclan con una resina furánica y se les añaden dos catalizadores (catalizador líquido 1 y catalizador líquido 2), en función de la temperatura a la que se realice la mezcla (que depende de la temperatura ambiente). Estas tres sustancias se almacenan también en el límite norte de la instalación, en respectivos depósitos de 20 m<sup>3</sup> cada uno; cada depósito dispone de su cubeto de retención atendiendo a la normativa vigente, que permite la contención de un derrame completo del depósito correspondiente.

El porcentaje medio de llenado de cada depósito (tanto el de 35 m<sup>3</sup> de arenas como los de 20 m<sup>3</sup> de resina y de catalizadores) puede estimarse en un 70%; con el fin de tener garantizado el suministro de estas materias primas, la operación de la instalación no permite que el nivel de almacenaje de estos depósitos baje del 30% de la capacidad de cada uno.

La Figura 2 del Anejo A.I ofrece una representación esquemática de la disposición de estos depósitos y recipientes en la instalación.

### Línea de proceso

Los procesos de fusión, colada y enfriamiento, desmoldeo y acabado se realizan en la nave principal de la instalación, una edificación diáfana, de unos 9.000 m<sup>2</sup> de superficie y unos 12 metros de altura. En esta nave principal no se realiza almacén ni acopio, permanente ni temporal, de ninguna sustancia contaminante. Si bien contiguas a esta zona se localizan la zona de moldeo y machería y los almacenes APQ y de residuos, donde sí existe acopio de sustancias contaminantes, la separación de la nave principal con estas otras auxiliares mediante muros impide que las aguas de extinción necesarias en caso de incendio en la zona de proceso puedan verse contaminadas y, con ello, pudieran generar un riesgo medioambiental.

Como se ha comentado anteriormente, la instalación cuenta con tres líneas de producción: dos de ellas funcionan de continuo de lunes a domingo. La tercera línea de producción se encuentra reservada para cubrir picos de demanda y para garantizar el nivel de producción en caso de avería o de parada de mantenimiento de una de las líneas principales.

Cada línea de proceso cuenta con las siguientes áreas o elementos:

**Hornos de inducción.** Cada línea de proceso cuenta con un horno de inducción de media frecuencia de 5 toneladas. El procedimiento habitual consiste en tomar la materia prima de los fosos de acopio por medio de imanes, depositarla en los hornos y esperar a que funda una vez alcance los 1.400°C, aproximadamente. En este punto el caldo se vierte en unos cazos que de modo automatizado y por medio de una grúa son trasladados al área de colada.

**Colada y enfriamiento.** En esta zona el caldo o metal fundido en los hornos es vertido en los moldes, provenientes éstos de la zona de moldeo y machería. El tiempo de enfriamiento del

metal dentro del molde depende del tamaño y geometría de la pieza, pudiendo alcanzar hasta varios días.

**Desmoldeo.** Una vez el metal se ha enfriado dentro del molde, se procede al desmoldeo por vibración en una mesa desmoldeadora. En el proceso de desmoldeo la pieza se separa de las arenas empleadas como molde. Dichas arenas son recuperadas en un elevado porcentaje (97%), por lo que vuelven a ser utilizadas en nuevos moldes. Por su parte, la pieza fabricada pasa a la zona de acabado.

**Acabado.** En esta instalación, el proceso de acabado se limita a un granallado (que permite la eliminación total de la arena que hubiera podido quedar adherida a la pieza) y el corte y desbarbado del producto (canales de alimentación del molde, aristas u otras imperfecciones etc.) mediante impacto. El metal sobrante del proceso de corte y desbarbado es reutilizado para la fabricación de nuevas piezas. En esta instalación no se realizan otros procedimientos de acabado.

Finalmente, se procede a la realización de un control de calidad, donde cada pieza se observa en detalle para valorar si cumple con las especificaciones del cliente.

## Moldeo y machería

La zona de moldeo y machería se encuentra en la fachada norte de la línea de proceso principal, separada físicamente de ésta por un muro. Esta zona tiene una superficie de 500 m<sup>2</sup> y una altura también de 12 metros. En esta área se procede a la creación de los moldes y, en su caso, de los machos para definir la geometría externa e interna de la pieza a fabricar.

En esta zona se dispone de dos máquinas mezcladoras, que combinan la arena de sílice con las resinas y el catalizador necesario para conseguir la consistencia precisa para la fabricación de piezas de mediano y gran tamaño, productos de la instalación.

Las máquinas mezcladoras recogen la arena de sílice directamente del depósito de almacén situado en el extremo norte de la instalación. Por su parte, la resina y los catalizadores son aportados a la máquina mezcladora desde depósitos de proceso ubicados dentro de la zona de moldeo y machería, con una capacidad unitaria de 2 m<sup>3</sup> —cada uno con su correspondiente cubeto de retención independiente y de la misma capacidad que el depósito— y conectados a los depósitos de almacenaje de cada sustancia situados en el límite norte de la instalación mediante tuberías aéreas.

La Figura 2 del Anejo A.I ofrece una representación esquemática de la disposición de estos depósitos y recipientes en la instalación.

El sistema de tuberías aéreas asociado a la resina furánica tiene una longitud de unos 15 metros, con un diámetro interno de 10 cm (100 mm). Por su parte, el asociado a los dos catalizadores, manteniendo el diámetro de 10 cm, asciende a 20 metros de longitud cada uno. El sistema de

tuberías permite el llenado de los depósitos de proceso situados en el interior de la zona de moldeo y machería en poco menos de 15 minutos (caudal de 0,15 m<sup>3</sup>/minuto).

Por su parte, los equipos empleados para la fabricación de machos constan de un GRG de la resina fenólica empleada en machería y de un recipiente móvil a presión donde se almacena la dimetiletilamina (DMEA), catalizador gaseoso y muy inflamable que permite acelerar el secado y el endurecimiento de estos machos. Ambos depósitos se sitúan en el exterior de la instalación, adyacentes a la nave de moldeo y machería. Cada uno de estos depósitos se encuentra conectado con la nave donde se fabrican los machos mediante tuberías aéreas; las tuberías de resina fenólica tienen 20 metros de longitud, 4 cm de diámetro interno y un caudal de 0,10 m<sup>3</sup>/minuto, mientras que las tuberías de DMEA son de 12 metros de longitud y un diámetro interno de 5 cm.

Finalmente, el exceso de dimetiletilamina que no haya reaccionado se elimina mediante un oxidador térmico regenerativo, donde se quema a 800 - 900°C.

### **Almacenamiento y expedición**

En esta zona, situada en el extremo sur de la zona de proceso, se almacena el producto terminado para su posterior salida al cliente. El proceso no está automatizado.

### **Instalaciones auxiliares**

Además de las instalaciones mencionadas en páginas previas, que conforman la actividad principal de la instalación, la planta dispone de instalaciones auxiliares que prestan servicio a dicha actividad principal.

**Instalaciones para el almacenamiento de otras sustancias químicas y residuos.** El resto de productos químicos, distintos a las materias primas empleadas en el proceso y que se utilizan en menor volumen, se encuentran en el almacén de productos químicos (APQ), situado en una nave adyacente a la fachada sur de la zona de proceso. En este almacén se dispone principalmente de aceites hidráulicos (en 4 bidones de 250 l), pinturas refractarias (en 3 bidones de 200 l) y resinas de uso secundario, que se almacenan en 4 GRG de 1 m<sup>3</sup> cada uno.

Adyacente a este almacén APQ se localiza un almacén de residuos, donde se almacenan las pequeñas cantidades de residuos peligrosos generados en la instalación (polvos de fusión, aceite de maquinaria, tubos fluorescentes, etc.).

Ambos almacenes se encuentran techados y aislados, tanto uno del otro como del resto de la instalación, por muros. Ambos almacenes fueron construidos para actuar como cubeto de contención; las cantidades almacenadas de productos nunca llegan a superar la capacidad del cubeto. En el almacenamiento de sustancias se tienen en cuenta, de acuerdo a la normativa vigente, la adecuada separación entre sustancias incompatibles y/o cuya mezcla

podiera causar alguna sinergia con efectos en términos de riesgos medioambientales (incendios o explosiones, etc.).

**Almacenamiento de combustibles.** La instalación dispone de un depósito subterráneo de gasóleo en el extremo suroeste de la instalación. Este depósito, con una capacidad de 15 m<sup>3</sup>, surte de combustible al material móvil empleado en la instalación para trasiego de materias primas y producto terminado (carretillas elevadoras, principalmente). La Figura 2 del Anejo A.I ofrece una representación esquemática de la disposición de este depósito en la instalación.

**Tratamiento de aguas de proceso y residuales.** La temperatura de los hornos se controla mediante la presencia de un circuito de refrigeración cerrado (torre de refrigeración) que, en caso de ser necesario, permite el vertido autorizado a cauce de aguas calientes atendiendo a las especificaciones de la autorización de vertido.

El sistema de refrigeración (intercambiador de calor de tubería) opera con un caudal de 500 l/min (o 30 m<sup>3</sup>/h) y la temperatura máxima que alcanza el agua en el sistema nunca excede los 60°C.

El sistema de refrigeración recorre la zona de proceso desde los hornos de inducción hasta el extremo noreste de la instalación, donde se ubica la torre de refrigeración y el punto de vertido autorizado de aguas calientes a cauce.

**Transformadores eléctricos.** Como fuente de energía de la instalación, se dispone de una subestación eléctrica conformada por un transformador eléctrico de tipo seco, situado en el límite occidental de la instalación.

## Sistemas de detección y extinción de incendios

Atendiendo al Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, la actividad de la fundición de metales a la que hay que adscribir a la instalación objeto de estudio posee un nivel de riesgo intrínseco bajo, con una densidad de carga de fuego ponderada y corregida ( $Q_s$ ) menor de 425 MJ/m<sup>2</sup> (en concreto, 40) o de 100 Mcal/m<sup>2</sup> (concretamente, 10).

Según esta misma normativa, la instalación objeto de análisis dispone de dos tipos de zonas atendiendo a la configuración del establecimiento: la zona de moldeo y machería, almacén APQ y almacén de residuos se tratará como una zona tipo C<sup>1</sup>, mientras que los exteriores (depósitos de

---

<sup>1</sup> 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.

materias primas, subestación y depósito de gasóleo) se configuran como un establecimiento tipo E<sup>2</sup>. De esta forma, la normativa establece que la instalación debe disponer de un **sistema manual de alarma de incendio**; respecto a la lucha interna, las exigencias de equipamiento de extinción de incendios difieren según la zona:

- La zona tipo C exige únicamente la instalación de extintores de incendio. Sin embargo, en esta zona sí se han dispuesto bocas de incendio equipadas (BIE), cuyo suministro de agua es atendido por la red de abastecimiento de agua a la que está conectada la instalación.
- La zona tipo E exige la instalación de hidrantes exteriores. Se estima que la superficie de esta zona ronda los 3.000 m<sup>2</sup>, que se subdivide en las siguientes superficies de referencia susceptibles de alojar un incendio:
  - o Depósito de gasóleo. Superficie de referencia de unos 500 m<sup>2</sup>.
  - o Zona de almacén de materias primas. Superficie de referencia de 1.000 m<sup>2</sup>.
  - o Zona de subestación eléctrica. Superficie de referencia de 700 m<sup>2</sup>.

En definitiva, tanto el sistema de detección como de extinción de incendios de la instalación es manual y la lucha interior dispone de bocas de incendio equipadas en las zonas tipo C y de hidrantes en las zonas tipo E. Por otra parte, la instalación dispone de un servicio de recepción 24 horas, se encuentra en servicio de forma permanente (tres turnos diarios de lunes a domingo) y la instalación contra incendios se revisa y se mantiene regularmente.

### **Características de los sistemas de contención de derrames disponibles en la instalación**

Como se ha comentado en páginas anteriores, todos los depósitos de materias primas situados en el exterior de la instalación y en la zona de moldeo y machería disponen del correspondiente cubeto de retención con capacidad para contener un volumen igual al del depósito al que sirven. Por su parte, la nave de APQ y el almacén de residuos fueron diseñados para que actúen como cubeto de retención: el nivel del suelo se encuentra 15 cm por debajo del nivel del suelo de la nave principal o del exterior, lo que proporciona una capacidad de retención de unos 45 m<sup>3</sup> en el caso del APQ y de 30 m<sup>3</sup> en el caso del almacén de residuos. Como se ha comentado anteriormente, la cantidad total almacenada en estas naves nunca llegará a sobrepasar dichas capacidades de retención. En caso de incendio en estas instalaciones (APQ y almacén de residuos), el cubeto puede asimilarse a una gestión de aguas y derrames automática.

---

<sup>2</sup> 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.

En cumplimiento del Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, de almacenamiento de productos químicos (APQ), las distintas zonas de carga y descarga se disponen con una pendiente que deriva los posibles derrames hacia un sumidero conectado con una balsa de recogida de capacidad de unos 20 m<sup>3</sup>, suficiente para contener los derrames que pudieran ocurrir durante estos procedimientos (se ha estimado dicha capacidad suficiente, al considerarse que la carga y descarga de los distintos compuestos químicos empleados en la instalación rara vez supondrá trasiego de un volumen mayor). Esta balsa de recogida también puede recoger las aguas de extinción que pudieran generarse al producirse un incendio durante las operaciones de carga y descarga.

El modo de operación de la instalación, 3 turnos diarios de lunes a domingo, permite afirmar que existe presencia continua de personal. Esta circunstancia habilita la posibilidad de que un derrame no contenido en los respectivos cubetos de retención (por mal funcionamiento de los mismos o por localizarse el derrame fuera de ellos) pudiera ser controlado posteriormente mediante contención manual: en aquellas áreas donde existen sustancias químicas contaminantes se encuentran dispuestos equipos manuales de contención (kits de contención de derrames con cintas de perimetraje, material absorbente, etc.). La capacidad de contención de los mismos puede establecerse en 1 m<sup>3</sup>.

El sistema de tratamiento de aguas, que en el presente caso práctico se limita a las aguas de refrigeración, es un circuito cerrado que, generalmente, no vierte a cauce, aunque la instalación dispone de una autorización de vertido de aguas calientes, es decir, cuando es necesario puede verter estas aguas de refrigeración a cauce. Un mal funcionamiento de este dispositivo puede provocar un vertido de aguas calientes; la contención de las aguas de refrigeración puede ser automática (de hasta 5 m<sup>3</sup>, al cerrar las compuertas del emisario) y manual (de hasta 1 m<sup>3</sup>, siguiendo el criterio empleado en el presente caso práctico).

Finalmente, la instalación no dispone de un sistema de gestión de aguas y derrames (alcantarillado propio, etc.) que pudiera contener en tercera instancia (tras posibles fallos en la contención automática y posteriormente en la contención manual) los potenciales derrames; el sistema de recogida de aguas pluviales se encuentra conectado directamente con el colector de aguas de alcantarillado, no existiendo la posibilidad de que dichas aguas puedan ser retenidas antes de su llegada al colector. Esta ausencia de gestión de aguas y derrames tiene sus efectos en los posibles derrames que pudieran ocasionarse desde una tubería: la instalación no dispone de un sistema automático de contención de estos derrames, dejando únicamente la posibilidad de que sea la contención manual la que permita bien contener estos vertidos o bien reducir la cantidad de agente que finalmente entra en contacto con los recursos naturales. Como se ha comentado anteriormente, la capacidad de contención de estos equipos manuales es de 1 m<sup>3</sup>.

### **Características de los sistemas de detección de derrames y parada de emergencia**

Durante la fase de carga y descarga, tanto del gasóleo como de la resina furánica y de los dos catalizadores líquidos principales empleados en la instalación, siempre se encuentra un operario vigilando la operación; de esta forma, puede considerarse que el sistema de detección de derrame y parada de emergencia durante la carga y descarga de estos componentes cumple los requisitos que Flemish Government (2009) exige para que pueda considerarse como un sistema manual con un tiempo de parada de 2 minutos.

En cambio, los posibles derrames que pudieran ocasionarse en el transporte de sustancias por tuberías supondrán un mayor tiempo de reacción entre la detección del derrame y la parada del sistema. Se ha otorgado un tiempo de reacción de 10 minutos correspondiente a un sistema semiautomático: el sistema genera una alarma en caso de rotura de la tubería y es posteriormente el operario el que tiene que comprobar la existencia del derrame y posteriormente cortar el flujo de sustancia que discurre por la tubería afectada mediante una válvula manual.

Para cualquier operación de carga y descarga de sustancias, se ha estimado un caudal de 0,6 m<sup>3</sup>/segundo, lo que supone que la operación de carga y descarga ronda los 30 minutos para los distintos depósitos en los que se realiza esta operación.



## Entorno de la instalación

La instalación se ubica en un entorno urbano-industrial, con otras empresas próximas en lo que llega a configurarse como un pequeño polígono industrial. Este polígono no tiene en su cercanía ningún Espacio Natural Protegido; no obstante, y debido al ambiente geográfico y climático donde se ubica la instalación (norte de España, con clima oceánico o atlántico, densa red fluvial y abundante vegetación), en el entorno se localizan elementos naturales susceptibles de verse afectados en caso de accidente en la instalación.

La precipitación media anual de la zona es de 1.507 mm y la temperatura media anual de 13,5 °C conforme con los datos recogidos en la estación más cercana de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). En cuanto a los vientos, el punto más cercano para el que ofrece datos el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) indica una velocidad media comprendida entre 0 y 12,5 m/s; si bien los valores más frecuentes se sitúan en torno a 2,5 m/s.

Todo el borde occidental de la instalación limita con un bosque de ribera monoespecífico de chopo en estado latizal, conforme con la información publicada en el visor cartográfico del Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA). La densidad de dicho bosque, según se recoge en la misma fuente de información, es de 339 pies por hectárea. La proximidad a esta masa forestal arbórea de elementos como la subestación eléctrica o el depósito subterráneo de gasóleo exige la consideración en fases preliminares del análisis de riesgo medioambiental de la posible propagación de un potencial incendio.

Por su parte, por todo el límite norte de la instalación discurre un cauce fluvial, posible receptor, en caso de accidente, de un vertido de sustancias químicas y/o de agua calientes. Este río tiene un caudal medio de 8,98 m<sup>3</sup>/s, según se recoge en el Anuario de Aforos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), y no cuenta con ninguna presa que lo embalse previamente a su desembocadura en el Mar Cantábrico. En cuanto a la temperatura media anual del río, la misma se ha establecido en 15,11 °C atendiendo a la información publicada en el Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA) incluido en el Libro Digital del Agua (LDA) del MAGRAMA.

En cuanto a las especies animales presentes en las proximidades de la instalación, el Inventario Español de Especies Terrestres (IEET) identifica, para la cuadrícula de 10 x 10 km donde ésta se encuentra, un total de 178 especies diferentes. De estas 178 especies, 6 corresponden a anfibios, 93 a aves, 1 a flora no vascular, 15 a invertebrados, 44 a mamíferos, 8 a peces continentales y 11 a reptiles. En cuanto a su categoría de amenaza, según la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN), una especie de mamíferos y otra de peces se encuentran en situación crítica, 2 de aves en peligro, y una de mamíferos en estado vulnerable; las restantes especies están fuera de amenaza.

Por último, se debe indicar que la instalación y su entorno se encuentran en un terreno de baja pendiente, según señala el visor cartográfico de MORA, y de escasa pedregosidad atendiendo a la observación directa de la zona.

### **Sistemas de gestión medioambiental implantados en la instalación**

La instalación tiene implantado desde hace 10 años el certificado ambiental UNE-EN ISO 14.001 Sistemas de Gestión Ambiental como herramienta para la mejora del comportamiento ambiental de la instalación y para la reducción del impacto ambiental generado por la actividad de la misma.

## **VI. IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS ACCIDENTALES RELEVANTES**

### **VI.1.FUENTES DE PELIGRO**

A continuación se identifican y describen las fuentes de peligro relevantes para el presente caso práctico de entre las definidas como fuentes de peligro en el MIRAT sectorial. Como se indica en la memoria del MIRAT, 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. Se ha conservado la codificación original que se muestra en la memoria para facilitar la trazabilidad con respecto a la herramienta sectorial. De esta forma, las zonas y fuentes de peligro que se estiman relevantes se recogen en el Cuadro 1.

Zona	Código F.P.	Fuente de peligro	Agentes causantes del daño
Proceso	F.P.1.	Hornos	Sin riesgo medioambiental
	F.P.3.	Granalladora	Sin riesgo medioambiental
Moldeo y machería	F.M.1./F.M.2	Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias líquidas (no inflamables/inflamables)	Resina furánica
			Catalizador líquido 1
			Catalizador líquido 2
	F.M.2.	Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables	Aguas de extinción (resina furánica)
F.M.4	Oxidador térmico	Sin riesgo medioambiental	
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1./F.A.2	Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas (no inflamables/inflamables)	Resina furánica
			Catalizador líquido 1
			Catalizador líquido 2
	F.A.2.	Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables	Aguas de extinción (resina furánica)
	F.A.3./F.A.4	Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas (no inflamables/inflamables)	Resina fenólica
			Resina furánica secundaria
	F.A.4.	Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas inflamables	Aguas de extinción (resina furánica secundaria)
F.A.6.	Depósitos/recipientes móviles de sustancias gaseosas inflamables	Aguas de extinción (resina fenólica)	
F.A.7.	Depósitos/recipientes fijos aéreos con material sólido	Arenas de moldeo	
Almacenamiento de combustibles	F.C.2.	Depósitos/recipientes fijos subterráneos de sustancias líquidas inflamables/combustibles	Gasóleo
			Incendio + Aguas de extinción (gasóleo)
Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.TA.5.	Circuito de refrigeración	Aguas calientes
Transformadores eléctricos	F.TR.1.	Transformadores	Incendio
Carga y descarga	F.CD.1./F.CD.2	Carga y descarga de depósitos con sustancias líquidas (no inflamables/inflamables)	Resina furánica
			Catalizador líquido 1
			Catalizador líquido 2
	F.CD.2.	Carga y descarga de depósitos con sustancias líquidas inflamables	Gasóleo
			Aguas de extinción (resina furánica)
Sistemas de tuberías	F.TB.1./F.TB.2	Tuberías aéreas de sustancias líquidas (no inflamables/inflamables)	Incendio + Aguas de extinción (gasóleo)
			Resina furánica
			Catalizador líquido 1
			Catalizador líquido 2
	F.TB.2.	Tuberías aéreas de sustancias líquidas inflamables	Resina fenólica
F.TB.5.	Tuberías aéreas de gases inflamables	Aguas de extinción (resina fenólica)	

**Cuadro 1.** Relación de zonas y fuentes de peligro que presenta la instalación. Fuente: Elaboración propia

Una vez identificadas las fuentes de peligro presentes en la instalación de estudio, se procede a continuación a la realización de algunos comentarios sobre cada una de ellas, con el fin de caracterizar dichas fuentes de peligro y establecer la potencial relación de las mismas con el riesgo medioambiental objeto de estudio.

### Zona de proceso

En la descripción de la instalación realizada en páginas previas se indicó la existencia de tres hornos de inducción en los que se funde la materia prima metálica y de un acabado mediante granallado de la pieza una vez enfriada, desmoldeada y cortados y desbarbados los elementos de la colada que no configuran la geometría de la pieza (bebederos, etc.). De esta forma, en la zona de proceso han de identificarse dos fuentes de peligro:

#### F.P.1: Hornos.

**F.P.3:** Granalladora.

Las repercusiones en términos de riesgo medioambiental que pudieran derivarse de estas fuentes de peligro hacen referencia a un incendio o explosión. La zona de proceso se encuentra cubierta por la nave principal y suficientemente lejos del área forestal arbolada que limita con la instalación en su borde occidental, por lo que puede descartarse que el incendio pudiera extenderse al área forestal. Por otra parte, la posibilidad de que las aguas de extinción puedan contaminarse o arrastrar sustancias químicas presentes en la zona de proceso también ha de descartarse, debido a que en esta zona no se realiza acopio o almacén, definitivo o temporal, de sustancias químicas contaminantes.

En definitiva, puede considerarse que estas fuentes de peligro no tendrán repercusiones en términos de riesgo medioambiental al no poder verse afectados, en el caso de esta instalación, los recursos naturales contemplados en la Ley de Responsabilidad Medioambiental.

**Zona de moldeo y machería**

En esta zona de la instalación se localizan depósitos de proceso, esto es, depósitos empleados en el proceso de producción, no como depósitos de almacén. La operación en los mismos (llenado y/o vaciado continuo, etc.), de distinto tipo e intensidad a los soportados por los depósitos de almacenaje, hace que la probabilidad de rotura de los mismos sea superior a la de los depósitos de almacenaje.

Las características de los equipos y de las sustancias empleadas (sustancias líquidas inflamables y no inflamables) determinan la existencia en esta zona de las siguientes fuentes de peligro.

**F.M.1:** Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias líquidas no inflamables. Esta fuente de peligro se corresponde con los depósitos de catalizador 1 y de catalizador 2, pudiendo dar lugar a un episodio de derrame o vertido.

**F.M.2:** Depósitos/recipientes de proceso fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables. Esta fuente de peligro se corresponde con el depósito de resina furánica, en el cual se podría desencadenar un derrame o un incendio.

**F.M.4:** Oxidador térmico.

Como se ha indicado, dentro de esta zona han de incluirse los depósitos de proceso de la resina furánica y de los catalizadores empleados en la fase de moldeo (cada uno de ellos con una capacidad unitaria de 2 m<sup>3</sup>); los depósitos móviles de las sustancias empleadas en machería (GRG de la resina fenólica y DMEA) se consideran en la zona de almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos (F.A.3. y F.A.6, respectivamente).

En esta zona se ha identificado como relevante la posibilidad de vertido de las sustancias existentes en la misma (resina furánica, catalizador 1 y catalizador 2) y la posibilidad de incendio debido a la presencia de sustancias inflamables (resina furánica). En el análisis también se introduce la posibilidad de que se generen aguas de extinción que, en este caso, contactarían con la resina furánica (al ser este depósito el origen del accidente).

Dado que el hipotético incendio se produciría en una zona alejada de los recursos naturales (el depósito de resina furánica se encuentra en el interior de la instalación) se ha descartado la posible afección a los recursos naturales de este agente causante de daño.

En cuanto al oxidador térmico (F.M.4) se considera que el mismo no supone una fuente de peligro relevante ya que el mismo se encuentra en una sala alejada de los recursos naturales, en la que no existe ni material combustible ni sustancias químicas que pudieran ser arrastradas por las aguas de extinción.

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

En la instalación pueden diferenciarse dos grandes subzonas de almacén: en una de ellas, la situada en el extremo norte de la instalación, se localizan los depósitos de arenas, resina furánica y catalizadores empleados para la fabricación de los moldes; la segunda hace referencia a la zona APQ y al almacén de residuos ubicados de forma anexa en la fachada sur de la nave principal de la instalación.

La primera subzona de las identificadas se caracteriza por la existencia de grandes depósitos, de varias decenas de metros cúbicos de capacidad, que contienen tanto sustancias sólidas y líquidas como, dentro de estas últimas, inflamables y no inflamables. En esta zona también aparece el depósito de DMEA que, debido a sus características (se sustituye por otro una vez se ha consumido el catalizador), será considerado como un depósito móvil en el presente análisis.

Por su parte, la zona APQ y el almacén de residuos se caracterizan por la existencia de depósitos y recipientes de mucha menor capacidad e, incluso, de carácter móvil (bidones, GRG y *big-bags*), que contienen sustancias líquidas inflamables y no inflamables o sustancias sólidas (*big-bags* con polvo de zinc). De entre las sustancias almacenadas en esta zona, la única que generaría un riesgo medioambiental relevante serían las resinas secundarias (furánicas), al ser las únicas que se almacenan en un volumen significativo (4 GRG).

Atendiendo a estas características de las sustancias y recipientes existentes en la zona de almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos, se identifican las siguientes fuentes de peligro:

**F.A.1:** Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas no inflamables. Esta fuente de peligro se identifica con los depósitos de catalizador 1 y de catalizador 2

existentes en el extremo norte de la instalación, los cuales pueden dar lugar a un hipotético vertido de sustancias químicas.

**F.A.2:** Depósitos/recipientes fijos aéreos de sustancias líquidas inflamables. Esta fuente de peligro se corresponde con el depósito de resina furánica existente en el extremo norte de la instalación, el cual puede generar un vertido y, adicionalmente, un incendio debido a la naturaleza inflamable de esta sustancia.

**F.A.3:** Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas no inflamables. Esta fuente de peligro se corresponde con el depósito (GRG) de resina fenólica situado junto al depósito de DMEA. En este depósito se ha evaluado la posibilidad de que ocurra un derrame o vertido.

**F.A.4:** Depósitos/recipientes móviles de sustancias líquidas inflamables. Dentro de esta tipología de fuente de peligro se han identificado los cuatro GRG de resinas secundarias (furánicas) existentes en la zona APQ. Se considera que estos depósitos móviles tienen vinculado un riesgo de derrame y, debido a la naturaleza inflamable de la sustancia, también de incendio.

**F.A.6:** Depósitos/recipientes móviles de sustancias gaseosas inflamables. Esta fuente de peligro se corresponde con el depósito de DMEA, en el cual se podría generar un incendio o una explosión.

**F.A.7:** Depósitos/recipientes fijos aéreos con material sólido. Por último, esta fuente de peligro se corresponde con los depósitos de materiales sólidos existentes en la instalación. En concreto, de entre este tipo de depósitos, únicamente se ha considerado que entraña un riesgo relevante el depósito de arenas situado en el extremo norte de la instalación ya que, en el mismo, se puede dar lugar a un vertido de este material sobre los recursos naturales.

Por lo tanto, en el caso del almacén de sustancias líquidas, independientemente de su inflamabilidad, se considerarán en el análisis la potencial rotura de los depósitos o recipientes y, con ello, su posterior vertido y, en su caso, incendio o explosión cuando se vea involucrada una sustancia inflamable.

Respecto a los posibles daños por el vertido de aguas de extinción, se considera que las mismas podrían quedar contaminadas al contactar con las sustancias que originan el incendio o con sustancias existentes en la zona donde se origina el incendio. Esto es, en el caso de incendio en el almacén o en los GRG de resina furánica (F.A.2 y F.A.4 respectivamente) se considera el vertido del agua de extinción contaminada por resinas furánicas. Mientras, en el caso de incendio o explosión en

el depósito de DMEA se ha estimado la posible contaminación de las aguas de extinción con resinas fenólicas, al ser éste depósito el más próximo al de DMEA y al no existir barreras físicas para la expansión del incendio entre ambos.

En estos depósitos no se ha considerado relevante la posible afección del incendio a los recursos naturales debido a la elevada distancia a la que se encuentran los mismos. Esto es: en primer lugar, el depósito almacén de resina furánica, a pesar de situarse en un extremo de la planta, no limita con vegetación (el extremo norte de la fábrica carece de herbazales, matorrales o arbolado); en segundo lugar, los depósitos de resinas secundarias furánicas se almacenan en el APQ que se encuentra ubicado en el interior de la instalación; y, en último lugar, dado que el depósito de DMEA también se localiza en el interior de la planta, igualmente, se ha descartado la posible afección por incendio a la vegetación limítrofe.

En el caso de las sustancias sólidas (depósito de arenas, silos de materia prima metálica y *big-bags* de polvo de zinc), únicamente ha de considerarse como fuente de peligro relevante el depósito de arenas: la ubicación del mismo en los límites de la instalación y en las cercanías del cauce fluvial, junto a su disposición elevada, hacen obligado contemplar que el vertido de su contenido pudiera afectar a los recursos naturales (suelo y lecho continental). Por su parte, los silos de materia prima metálica (situados a nivel del suelo, con una movilidad nula debido a su disposición) y las *big-bags* de polvo de zinc (originado por los finos de fusión capturados por los filtros de mangas instalados en el sistema de extracción de los hornos) situadas en el almacén de residuos (techado y confinado entre muros) no suponen un riesgo medioambiental susceptible de ser tenido en cuenta atendiendo a las características en las que dichos elementos se disponen en la instalación objeto de estudio.

### **Zona de almacenamiento de combustibles**

Con el fin de abastecer al parque móvil que opera en la instalación, en el extremo suroccidental de la planta se localiza un depósito subterráneo de gasóleo.

**F.C.2:** Depósitos/recipientes fijos subterráneos de sustancias líquidas inflamables/combustibles. Como se ha indicado, esta fuente de peligro se corresponde con el depósito subterráneo de gasóleo existente en la instalación. En este depósito se ha contemplado tanto la posibilidad de derrame como la posibilidad de que se produzca un hipotético incendio.

Dada la localización de la fuente de peligro (próximo a la vegetación natural) en el caso de que se produjera un incendio en este equipo se considera que dicho incendio podría traspasar los límites de la instalación pudiendo afectar a los recursos naturales. Por otra parte, el agua de extinción empleada podría contactar con el propio gasóleo constituyéndose como un agente causante de daño de tipo químico.

### **Zona de tratamiento de aguas de proceso y residuales**

El único tratamiento de las aguas de proceso que se realiza en la instalación es el enfriamiento de las mismas para su reutilización como refrigerante de los hornos de inducción. Se trata de un circuito cerrado que, en caso de necesidad, puede verter de forma autorizada aguas calientes al cauce fluvial próximo.

**F.TA.5:** Circuito de refrigeración. En caso de que se produjera un mal funcionamiento del circuito cerrado o una rotura del intercambiador de calor podría suponer la liberación de aguas calientes y la posible afección de las mismas al cauce y a la fauna y flora existente en el mismo.

### **Zona de transformadores eléctricos**

La fuente de energía empleada por la instalación es la electricidad, para lo que precisa de una subestación eléctrica constituida por un transformador.

**F.TR.1:** Transformadores. En esta fuente de peligro se considera la posible aparición de un incendio o una explosión.

El transformador es de tipo seco, por lo que en el análisis de riesgos medioambientales únicamente se contempla una mala operación del mismo que cause un incendio o explosión del elemento y, con ello, dada la ubicación de este equipo, genere un incendio que se extienda a la masa forestal arbolada contigua a la instalación.

### **Zona de carga y descarga**

El consumo de materias primas o de otras sustancias presentes en la instalación durante la operación de la misma exige de la carga de los depósitos que las contienen. Los depósitos de arenas, resinas furánicas, catalizadores, el depósito subterráneo de gasóleo y los silos de materia prima metálica han de ser recargados de forma periódica.

La escasa movilidad de las sustancias sólidas presentes en la instalación y empleadas en el proceso de producción (arenas y materia prima metálica) permite no tener en cuenta como fuente de peligro la carga de los depósitos que los contienen: un incidente durante esta operación se solventaría mediante la simple recogida del sólido vertido, sin existir peligro de contaminación, incendio o, en general, de afección a los recursos naturales.

En el presente análisis de riesgos medioambientales no se considera carga y descarga la sustitución de los depósitos móviles presentes en la instalación (GRG, bidones, depósito de DMEA, etc.) ya que la probabilidad de que uno de estos depósitos móviles falle incluye el proceso de manipulación y trasiego de los mismos.



En definitiva, las operaciones de carga y descarga que se realizan en la instalación involucran únicamente a sustancias líquidas empleadas en el proceso de producción o en actividades auxiliares (en concreto, resinas furánicas, catalizadores y gasóleo); la naturaleza inflamable de algunas de estas sustancias exigirá la consideración de la posibilidad de incendio y explosión.

**F.CD.1:** Carga y descarga de depósitos con sustancias líquidas no inflamables. Esta fuente de peligro se corresponde con la carga de los depósitos de catalizador 1 y de catalizador 2. Durante la carga de estas sustancias se contempla un episodio de vertido.

**F.CD.2:** Carga y descarga de depósitos con sustancias líquidas inflamables. Esta fuente de peligro se corresponde con la operación de carga de los depósitos de resina furánica y de gasóleo. En este caso, junto con el posible derrame o vertido, se evalúa la posibilidad de incendio debido a la naturaleza inflamable de las sustancias trasvasadas.

Al igual que en las restantes zonas, en los escenarios de incendio se considera la posibilidad de que se produzca un vertido de aguas de extinción contaminadas. En concreto, en el incendio que podría producirse durante la carga del depósito de resina furánica se considera un vertido de aguas de extinción junto con resinas furánicas y en el incendio que podría producirse durante la carga del depósito de gasóleo se evalúa el vertido de aguas de extinción arrastrando gasóleo.

Por último, atendiendo a la disposición de los elementos dentro de la instalación, si se originara un incendio durante la carga del depósito de gasóleo se ha considerado relevante la posible afección a la vegetación adyacente.

### **Zona de sistemas de tuberías**

El trasiego de sustancias líquidas —inflamables y no inflamables— y gaseosas desde el lugar de su almacenaje hasta el punto donde se utilizan en el proceso de producción se realiza mediante tuberías aéreas.

**F.TB.1:** Tuberías aéreas de sustancias líquidas no inflamables. Este tipo de tuberías, en el ámbito de la instalación objeto de estudio, transportan el catalizador 1, el catalizador 2 y la resina fenólica; en las mismas el riesgo medioambiental más relevante es el de vertido de sustancias químicas.

**F.TB.2:** Tuberías aéreas de sustancias líquidas inflamables. Estas tuberías transportan resinas furánicas y llevan asociado un riesgo por derrame y por incendio o explosión.

**F.TB.5:** Tuberías aéreas de gases inflamables. Este equipo se corresponde con la tubería que transporta la DMEA, teniendo asociado un riesgo relevante de incendio o explosión.

En caso de incendio en las tuberías de resina furánica se considera el posible vertido de aguas de extinción contaminadas con este tipo de resina. Por otra parte, si se produjera un incendio en las tuberías de DMEA se ha estimado que el agua de extinción podría arrastrar resinas fenólicas al ser ésta la sustancia química más próxima a estas tuberías.

Respecto a los posibles daños por el propio incendio, se ha descartado la afección a la vegetación limítrofe ya que la red de tuberías de sustancias inflamables (líquidas y gaseosas) se encuentra alejada de los extremos de la instalación.

La Figura 3 del Anejo A.I muestra la ubicación dentro de la instalación, de forma esquemática, de cada una de las fuentes de peligro identificadas en páginas previas, mostrando además atenuadas (en gris) aquellas fuentes de peligro sin repercusiones en términos de riesgo medioambiental.

## VI.2.CAUSAS DE PELIGRO Y SUCESOS INICIADORES

De la identificación y descripción de las fuentes de peligro presentes en la instalación objeto de estudio realizadas en páginas anteriores, se desprende la idea de que la presencia de una fuente de peligro no ha de implicar necesariamente la aparición de un suceso iniciador con potenciales repercusiones en términos de medio ambiente. De hecho, la ausencia de sustancias químicas en la zona de proceso, por ejemplo, hace que el posible incendio o explosión en esta zona debido a un mal funcionamiento de los hornos de inducción o de la granalladora no tenga repercusiones en términos de riesgo medioambiental.

Atendiendo a las fuentes de peligro identificadas en el apartado anterior, pueden identificarse tres tipos de sucesos iniciadores:

- Vertido o derrame de sustancias químicas contaminantes o de aguas calientes.
- Incendio/explosión y/o arrastre o contaminación por sustancia contaminante de las aguas de extinción.
- Vertido o derrame de sólidos.

Los derrames o vertidos se caracterizarán en función del agente químico o físico que actuará como agente causante del potencial daño, que en el caso del presente caso práctico podrán ser las siguientes sustancias:

- **Resina furánica.** Resina utilizada en el proceso de moldeo.
- **Catalizador líquido 1.** Ácido empleado como catalizador de la resina furánica en el proceso de moldeo.

- **Catalizador líquido 2.** Ácido empleado como catalizador de la resina furánica en el proceso de moldeo.
- **Resina fenólica.** Resina utilizada en la elaboración de machos.
- **Gasóleo.** Combustible empleado para el abastecimiento de vehículos que operan en la planta (carretillas, etc.).
- **Aguas calientes.** Aguas a una temperatura máxima de 60°C procedentes de los hornos y empleadas para la refrigeración de los mismos.
- **Aguas de extinción de incendio.** Bajo esta denominación se incluye el volumen de agua empleado para la extinción de un incendio declarado en la instalación. Estas aguas de extinción pueden actuar como vehículo de contaminación o como agente contaminante propiamente dicho al entrar en contacto con alguna de las sustancias indicadas anteriormente.

En el caso de incendio o explosión, es necesario tener en cuenta que, en términos de riesgos medioambientales, únicamente se tienen en cuenta los daños que el fuego pudiera causar sobre los recursos naturales. En definitiva, un incendio que no supere los límites de la instalación o que únicamente afecte a bienes artificiales no será considerado como daño medioambiental. Por otra parte, las aguas de extinción generadas en la contención y extinción del incendio tendrán la consideración de agente causante del daño cuando arrastren o se mezclen con sustancias químicas presentes en la instalación, tratándose de esta forma el daño medioambiental como un vertido o derrame.

Por último, en el presente caso de estudio han de considerarse como potencial agente causante del daño las arenas almacenadas para su utilización en la fase de moldeo. Su vertido o derrame puede causar daños medioambientales de carácter físico (vertido de inertes) al suelo y/o al lecho continental.

En el Anejo I del MIRAT se identifican las causas que, ante la existencia de una fuente de peligro, pueden derivar en la aparición de un suceso iniciador. En el Anejo A.II del presente caso práctico se identifican las causas asociadas a las fuentes de peligro identificadas como relevantes para la instalación hipotética objeto de análisis. Por su parte, en la Tabla 4 del Anejo A.I se muestra de forma esquemática la ubicación, dentro de la instalación, de cada suceso iniciador identificado como susceptible de generar un riesgo medioambiental.

Además de las causas identificadas por las fuentes consultadas sobre probabilidad de fallo de determinados elementos presentes en la instalación (que se recogen en el Anejo A.II, con la referencia bibliográfica correspondiente), se han identificado las siguientes causas adicionales:

- **Ausencia de revisiones y controles.** Un correcto mantenimiento de los equipos, realizado mediante revisiones periódicas, permite garantizar el funcionamiento adecuado de los

mismos. La ausencia o falta de diligencia en la realización de este tipo de revisiones periódicas puede ser el origen de un suceso iniciador.

- **Desgaste/corrosión.** El normal funcionamiento de un equipo y/o su exposición a determinadas condiciones (humedad, viento, temperatura, etc.) pueden dar lugar a fenómenos de desgaste y corrosión y, con ello, a un funcionamiento anormal del equipo y a la aparición de un suceso iniciador.
- **Error humano.** Adoptando un enfoque amplio, el error humano en el presente caso práctico se entiende como cualquier accidente en el que, de una u otra forma, una intervención inadecuada del personal encargado de la operación forma parte de la aparición del suceso iniciador.
- **Fallo del equipo.** Esta causa incorpora a la identificación de las causas que pueden ocasionar un accidente la posibilidad de que un equipo en aparentemente buen estado, sin signos de desgaste o corrosión, sometido a revisiones y controles y operado correctamente por el personal, de lugar a un suceso iniciador por fallos intrínsecos al propio equipo.
- **Señalización y/o visibilidad defectuosa.** La existencia de tráfico rodado en las instalaciones, bien en el marco de actividades propias del proceso de producción (trasiego de materias primas o de producto terminado mediante carretillas y otros vehículos) o de actividades auxiliares (vehículos que acceden a la instalación para cargar o descargar las propias materias primas o productos acabados), exige que se señalicen adecuadamente las zonas de tráfico y los posibles elementos susceptibles de verse afectados por dicho tráfico, además de garantizar una correcta visibilidad de los equipos.
- **Foco de ignición.** Para que un incendio tenga lugar, han de presentarse de forma simultánea tres componentes, que conforman el denominado triángulo del fuego: combustible (en el marco del presente caso práctico, la sustancia derramada), comburente (generalmente, el propio oxígeno presente en el aire) y un foco de ignición.

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.

### VI.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES

Tal y como establece la normativa sobre responsabilidad medioambiental, la identificación de escenarios accidentales se ha realizado mediante los denominados árboles de sucesos, tal y como

son propuestos en la Norma UNE 150008. De entre los tipos de árboles de sucesos identificados en el MIRAT, en el presente caso práctico se han empleado los correspondientes a derrame, incendio y vertido de sólidos —árboles Tipo 1, 2 y 4, respectivamente—. El Anexo A.II del presente caso práctico recopila todos los árboles de sucesos desarrollados en la presente aplicación del MIRAT para el sector de la fundición.

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

El árbol de sucesos Tipo 1 se aplica a aquellos episodios que suponen la liberación de un agente causante del daño de naturaleza líquida y que, independientemente de la inflamabilidad del agente liberado, no llega a causar un incendio. Se trata, por tanto, de episodios de accidente caracterizados por un derrame de una sustancia contaminante.

Los factores condicionantes que participan en este tipo de accidentes en el caso concreto del presente caso práctico son los siguientes:

- **Contención automática.** Como se ha comentado en la descripción de la instalación, el operador del presente caso práctico tiene instalado, de acuerdo a la normativa vigente, un cubeto de contención en cada depósito de almacén o de proceso presente en la instalación de igual capacidad que el depósito al que presta servicio. En el caso del almacén APQ, el diseño en forma de cubeto del mismo hace que la capacidad de retención del almacén sea siempre superior al volumen de sustancias contenido en el almacén APQ.
- **Contención manual.** El operador dispone en las zonas donde puede generarse un derrame de sustancias contaminantes de equipos manuales de contención de posibles derrames (sepiolita, mantas absorbentes, etc.). Se estima que dichos equipos de contención manual tienen una capacidad de retención de 1 m<sup>3</sup> y que la operación de la instalación (con tres turnos diarios, de lunes a domingo) permite confirmar la presencia continua de personal en la fábrica.

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

La presencia en la instalación de sustancias inflamables (resinas empleadas en el moldeo, el DMEA empleado como catalizador para la fabricación de machos y el gasóleo usado como combustible por el parque móvil de la instalación) o de equipos susceptibles de generar un incendio en caso de un funcionamiento anómalo (transformador eléctrico) exigen la consideración de la posible aparición de un incendio en la instalación.

Las consecuencias, en términos de riesgo medioambiental, de un incendio variarán entre la no generación de un daño medioambiental por la detección y extinción temprana del mismo hasta la afección a los recursos naturales adyacentes a la instalación por la extensión del incendio fuera de los límites de la planta, sin olvidar la posible contaminación de las aguas de extinción al entrar en contacto con sustancias contaminantes presentes en el establecimiento.

La instalación objeto de análisis en el presente caso práctico no dispone de un sistema de gestión de aguas y derrames, por lo que el único factor condicionante que participará en este tipo de árboles de sucesos es la detección y extinción temprana del incendio:

- **Detección y extinción temprana.** Este factor condicionante permite incluir en el análisis la posibilidad de que una detección y extinción temprana del incendio no genere daño medioambiental, mientras que un fallo de este factor condicionante llevaría a la generación de un daño medioambiental por contaminación de las aguas de extinción o, en su caso, la extensión del incendio más allá de los límites de la instalación, afectando a los recursos naturales del entorno.

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

Finalmente, la potencial rotura del silo donde se almacenan las arenas de moldeo podría llegar a generar un caso de vertido de sólidos, que en el MIRAT se ha modelizado según el árbol Tipo 4, en el que participa únicamente un factor condicionante:

- **Contención automática.** La instalación objeto de análisis dispone de un muro no estanco de delimitación de los límites de la instalación con el cauce fluvial situado en el norte de la planta. Este muro podría evitar, al menos parcialmente, la llegada de los inertes al lecho del río; se estima que la capacidad de contención de este muro podría llegar a los 15 m<sup>3</sup>.

## VI.4. CANTIDAD DE AGENTE ASOCIADA AL SUCESO INICIADOR

El cálculo de la cantidad de agente causante del daño asociada a los sucesos iniciadores depende de la naturaleza del suceso iniciador, en este caso, derrame, incendio o vertido de sólidos.

### 1. **Cálculo de la cantidad de agente causante del daño asociada a derrames**

Tal y como se recoge en el MIRAT del sector de la fundición la cantidad de agente causante del daño asociada a derrames de sustancias contaminantes o potencialmente generadoras de daño medioambiental ha de estimarse atendiendo a dos criterios, en función del tipo de equipo desde el que se produce el derrame:

- Para los sucesos iniciadores S.M.1a, S.M.1b, S.M.1c, S.A.1y2a, S.A.1y2b, S.A.1y2c, S.A.5y6a, S.A.5y6b y S.C.5, en los que el derrame se produce desde un depósito (aéreo o subterráneo, de almacén o de proceso, fijo o móvil), la cantidad de agente causante del daño liberada se obtiene de la multiplicación de la capacidad del depósito por el porcentaje medio de llenado.
- Para los sucesos iniciadores S.TA.7y8, S.CD.1a, S.CD.1b, S.CD.1c, S.CD.1d, S.TB.1y2a, S.TB.1y2b, S.TB.1y2c y S.TB.1y2d, que se caracterizan porque el equipo desde el que se produce el derrame es una tubería o similar, la cantidad de agente causante del daño liberada se estima a partir del caudal de sustancia que transporta la tubería y del tiempo de respuesta entre el inicio de la fuga y su parada, esto último función del sistema de parada de emergencia del que disponga la instalación.

La Tabla 1 recoge los volúmenes de agente causante del daño que quedarían liberados por cada suceso iniciador tipo derrame.

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Agente causante del daño	Datos	Cantidad de agente asociada al S.I. (m <sup>3</sup> )
Moldeo y machería	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito de proceso	S.M.1a	Resina furánica	Volúmen del depósito: 2 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 50%	1,00
		Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito de proceso	S.M.1b	Catalizador líquido 1	Volúmen del depósito: 2 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 50%	1,00
		Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito de proceso	S.M.1c	Catalizador líquido 2	Volúmen del depósito: 2 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 50%	1,00
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2a	Resina furánica	Volúmen del depósito: 20 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 70%	14,00
		Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2b	Catalizador líquido 1	Volúmen del depósito: 20 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 70%	14,00
		Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2c	Catalizador líquido 2	Volúmen del depósito: 20 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 70%	14,00
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina fenólica	Fuga/derrame de resina fenólica desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6a	Resina fenólica	Volúmen del depósito: 1 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 100%	1,00
		Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Fuga/derrame de resina furánica secundaria desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6b	Resina furánica secundaria	Volúmen del depósito: 1 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 100%	1,00
Almacenamiento de combustibles	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo por rotura de depósito subterráneo de almacenaje	S.C.5	Gasóleo	Volúmen del depósito: 15 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 50%	7,50

**Tabla 1.** Cantidad de agente causante del daño asociada a cada suceso iniciador tipo derrame. Fuente: Elaboración propia



Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Agente causante del daño	Datos	Cantidad de agente asociada al S.I. (m <sup>3</sup> )
Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.TA.5	Circuito de refrigeración	Fuga/derrame de aguas calientes por fallo de instrumentación en el sistema de refrigeración o por fuga desde el intercambiador de calor	S.TA.7y8	Aguas calientes	Caudal del dispositivo: 0,50 m <sup>3</sup> /min Tiempo de respuesta: 10 minutos	5,00
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga	S.CD.1a	Resina furánica	Caudal del dispositivo: 0,60 m <sup>3</sup> /min Tiempo de respuesta: 2 minutos	1,20
		Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 en operación de carga y descarga	S.CD.1b	Catalizador líquido 1	Caudal del dispositivo: 0,60 m <sup>3</sup> /min Tiempo de respuesta: 2 minutos	1,20
		Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga	S.CD.1c	Catalizador líquido 2	Caudal del dispositivo: 0,60 m <sup>3</sup> /min Tiempo de respuesta: 2 minutos	1,20
		Carga y descarga de depósito de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga	S.CD.1d	Gasóleo	Caudal del dispositivo: 0,60 m <sup>3</sup> /min Tiempo de respuesta: 2 minutos	1,20
Sistemas de tuberías	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2a	Resina furánica	Caudal del dispositivo: 0,15 m <sup>3</sup> /min Tiempo de respuesta: 10 minutos	1,50
		Tuberías aéreas de catalizador líquido 1	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 1 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2b	Catalizador líquido 1	Caudal del dispositivo: 0,15 m <sup>3</sup> /min Tiempo de respuesta: 10 minutos	1,50
		Tuberías aéreas de catalizador líquido 2	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 2 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2c	Catalizador líquido 2	Caudal del dispositivo: 0,15 m <sup>3</sup> /min Tiempo de respuesta: 10 minutos	1,50
		Tuberías aéreas de resina fenólica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina fenólica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2d	Resina fenólica	Caudal del dispositivo: 0,10 m <sup>3</sup> /min Tiempo de respuesta: 10 minutos	1,00

**Tabla 1 (continuación).** Cantidad de agente causante del daño asociada a cada suceso iniciador tipo derrame. Fuente: Elaboración propia

## 2. Cálculo de la cantidad de agente causante del daño asociada a incendios

En caso de incendio, el agente causante del daño puede ser el propio fuego —en caso de que se extienda más allá de los límites de la instalación y afecte a recursos naturales adyacentes— y/o las aguas de extinción que, al entrar en contacto con sustancias contaminantes almacenadas en la planta, actúen como agente causante del daño o como vector de la contaminación.

En caso de que el agente causante del daño sea el fuego, no es necesario estimar una cantidad de agente causante del daño. Este es el caso del suceso iniciador S.TR.2 (incendio en transformador eléctrico). Por un lado, el transformador eléctrico es de tipo seco, por lo que no es posible que, asociado al incendio, se produzca un derrame de sustancias como aceites dieléctricos de los que disponen transformadores de otro tipo; por otro lado, la subestación eléctrica se encuentra situada a suficiente distancia de depósitos con sustancias contaminantes, siendo los almacenes más próximos el depósito de arenas de moldeo y los silos de materia prima metálica, por lo que puede desestimarse que el incendio del transformador afecte a depósitos con sustancias contaminantes. Por otra parte, la disposición de este equipo hace que esta zona pueda calificarse de tipo E. Finalmente, la situación del transformador en el límite occidental de la instalación, próximo al bosque de frondosas, hace que sea necesario plantear que el incendio de este equipo pueda extenderse a este recurso natural y provocar daños medioambientales.

El resto de sucesos iniciadores caracterizados por la aparición de un incendio o explosión (S.M.2, S.A.3y4, S.A.7y8, S.A.10, S.C.6, S.CD.2a, S.CD.2b, S.TB.3y4 y S.TB.7y8) se encuentran vinculados al vertido o derrame de sustancias inflamables, involucrando en el incendio ya sea a la sustancia vertida (gasóleo, resinas furánicas, etc.) o a sustancias próximas (GRG de resina fenólica afectado por un incendio por fuga de DMEA).

La estimación de la cantidad de agente causante del daño asociada a incendios dependerá del tipo de zona en la que se ubique el suceso iniciador (tipo C o tipo E) (y, con ello, de los equipos de extinción de incendios de los que se disponga en cada una de ellas) y la superficie de referencia que tenga esa zona:

- Los sucesos iniciadores S.M.2 y S.A.7y8 tienen lugar en la zona de moldeo y machería y en la zona APQ, ambas calificadas como zonas tipo C.
  - o La superficie de referencia de los sucesos iniciadores S.M.2 es de 500 m<sup>2</sup>, superficie de la zona de moldeo y machería. La sustancia involucrada en el incendio es la resina furánica, procedente del depósito de proceso instalado en esta zona.
  - o Por su parte, la superficie de referencia del suceso iniciador S.A.7y8 es de 300 m<sup>2</sup>, extensión del almacén APQ. La sustancia involucrada es la resina furánica secundaria contenida en GRG en dicha zona.
  - o En estas zonas tipo C se encuentran instaladas bocas de incendio equipadas (BIE), que podrán ser usadas para la extinción del incendio.

- Los sucesos iniciadores S.A.3y4, S.A.10, S.C.6, S.CD.2a, S.CD.2b, S.TB.3y4 y S.TB.7y8 tienen lugar en zonas calificadas como tipo E.
  - o La superficie de referencia de los sucesos iniciadores S.A.3y4, S.A.10, S.CD.2a, S.TB.3y4 y S.TB.7y8, que se ubican en la zona de almacén de materias primas, se estima en 1.000 m<sup>2</sup>. La sustancia involucrada en esta zona es la resina furánica empleada en el moldeo (S.A.3y4, S.CD.2a y S.TB.3y4) o la resina fenólica usada para la fabricación de machos (S.A.10 y S.TB.7y8) y que se vería involucrada en caso de incendio por fuga de DMEA, cuyo depósito se encuentra en las proximidades.
  - o La superficie de referencia de los sucesos iniciadores S.C.6 y S.CD.2b es de 500 m<sup>2</sup>. La sustancia involucrada en estos incendios será el propio gasóleo contenido en el depósito (S.C.6) o vertido en la operación de carga y descarga (S.CD.2b).
  - o De acuerdo a las exigencias normativas, estas zonas tipo E se encuentran equipadas con hidrantes que se utilizarán para sofocar incendios que pudieran aparecer en estas zonas.

Finalmente, la duración del incendio se ha establecido, para el conjunto de sucesos iniciadores en los que se produce un incendio, en dos horas, en base al registro de incendios ocurridos en la instalación.

La Tabla 2 recopila toda la información y los resultados obtenidos en la estimación de la cantidad de agente causante del daño asociada a los sucesos iniciadores en los que se produce un incendio. La proximidad de la masa forestal situada al oeste de la instalación induce a considerar que únicamente en los sucesos iniciadores S.TR.2 (incendio del transformador), S.C.6 (incendio del depósito de gasóleo) y S.CD.2b (incendio por fuga de gasóleo en operación de carga y descarga) al daño ambiental asociado a las aguas de extinción habría que añadir el daño medioambiental derivado del incendio de la masa forestal.

Tal y como se recoge en el MIRAT para el sector de la fundición, el coeficiente Fm que se recoge en la Tabla 2 hace referencia a la miscibilidad de la sustancia en las aguas de extinción; ante la ausencia de información, en el propio MIRAT se sugiere el empleo de un valor del 30%. Para el caso del gasóleo, del que sí que se dispone de datos sobre solubilidad (0,0005 g/100 ml) y de densidad (entre 0,87 y 0,95 g/cm<sup>3</sup>), dicho porcentaje se ha estimado como el cociente entre ambos datos.

### **3. Cálculo de la cantidad de agente causante del daño asociada a vertido de sólidos**

Finalmente, es necesario proceder a la estimación de la cantidad de agente causante del daño asociado al suceso iniciador S.A.11y12, que se caracteriza por ser un vertido de sólidos desde el depósito de arenas de moldeo. Al igual que en el caso de los derrames de sustancias líquidas, el procedimiento de cálculo se basa en el volumen del depósito desde el que se produce el vertido (35 m<sup>3</sup>) y el porcentaje medio de llenado (70%). Por otra parte, el cálculo del Índice de Daño Medioambiental (IDM) exige para este tipo de combinación agente-recurso (vertido de inertes – lecho

continental) que la cantidad de agente causante del daño se exprese en toneladas; para ello, se utiliza una densidad de la arena de moldeo de 1,5 t/m<sup>3</sup>. La Tabla 3 recoge estos resultados.

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Agente causante del daño	Fm	V <sub>sust</sub> (m <sup>3</sup> )	Datos	Cantidad de agente asociada al S.I. (m <sup>3</sup> )
Moldeo y machería	F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito + Derrame de aguas de extinción	S.M.2	Aguas de extinción (resina furánica)	30,00%	1,00	Tipo de zona: C Superficie de referencia: 500 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	10,93
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.3y4	Aguas de extinción (resina furánica)	30,00%	14,00	Tipo de zona: E Superficie de referencia: 1.000 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	29,80
	F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito móvil (GRG) con resina furánica secundaria o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.7y8	Aguas de extinción (resina furánica secundaria)	30,00%	1,00	Tipo de zona: C Superficie de referencia: 300 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	7,33
	F.A.6	Depósito/recipiente móvil de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame desde depósitos móviles a presión de DMEA + Derrame de aguas de extinción	S.A.10	Aguas de extinción (resina fenólica)	30,00%	1,00	Tipo de zona: E Superficie de referencia: 1.000 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	27,20
	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito subterráneo con gasóleo + Derrame de aguas de extinción	S.C.6	Incendio + Aguas de extinción (gasóleo)	0,001%	7,50	Tipo de zona: E Superficie de referencia: 500 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	1,50
Transformadores eléctricos	F.TR.1	Transformador	Incendio/explosión de transformador + Derrame de aguas de extinción	S.TR.2	Incendio	—	—	Tipo de zona: E Superficie de referencia: 700 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	—

**Tabla 2.** Cantidad de agente causante del daño asociada a cada suceso iniciador tipo incendio. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Agente causante del daño	Fm	V <sub>sust</sub> (m <sup>3</sup> )	Datos	Cantidad de agente asociada al S.I. (m <sup>3</sup> )
Carga y descarga	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2a	Aguas de extinción (resina furánica)	30,00%	1,20	Tipo de zona: E Superficie de referencia: 1.000 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	27,24
		Carga y descarga de depósito de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2b	Incendio + Aguas de extinción (gasóleo)	0,001%	1,20	Tipo de zona: E Superficie de referencia: 500 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	0,24
Sistemas de tuberías	F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.3y4	Aguas de extinción (resina furánica)	30,00%	1,50	Tipo de zona: E Superficie de referencia: 1.000 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	27,30
	F.TB.5	Tuberías aéreas de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con DMEA o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.7y8	Aguas de extinción (resina fenólica)	30,00%	1,00	Tipo de zona: E Superficie de referencia: 1.000 m <sup>2</sup> Tiempo de incendio: 2 horas	27,20

**Tabla 2 (continuación).** Cantidad de agente causante del daño asociada a cada suceso iniciador tipo incendio. Fuente: Elaboración propia



Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Agente causante del daño	Datos	Cantidad de agente asociada al S.I. (t)
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.7	Depósito/recipiente fijo aéreo con arenas de moldeo	Vertido de arenas de moldeo desde depósitos atmosféricos de almacenaje o por colisión de vehículo	S.A.11y12	Arenas de moldeo	Volúmen del depósito: 35 m <sup>3</sup> Porcentaje medio de llenado: 70% Densidad de las arenas: 1,5 t/m <sup>3</sup>	36,75

**Tabla 3.** Cantidad de agente causante del daño asociada a cada suceso iniciador tipo vertido de sólidos. Fuente: Elaboración propia

## VI.5.CANTIDAD DE AGENTE ASOCIADA AL ESCENARIO ACCIDENTAL

Una vez estimada la cantidad de agente asociada a cada suceso iniciador, es necesario identificar la evolución que cada suceso iniciador podrá seguir en función de los factores condicionantes que participe en cada uno de ellos.

Los factores condicionantes que participan en la evolución del accidente dependerán del tipo de suceso iniciador al que se apliquen (derrame, incendio y vertido de sólidos) y de los equipos instalados en la planta (por ejemplo, la instalación objeto de estudio en este caso práctico no dispone de un sistema de gestión de aguas y derrames).

En las páginas siguientes se muestra la capacidad de retención, en caso de éxito y de fracaso, de los factores condicionantes que aplican a cada suceso iniciador, siguiendo de nuevo el esquema por tipo de suceso iniciador (derrame, incendio y vertido de sólidos). Como se ha comentado anteriormente, el Anejo A.III recoge todos los árboles de sucesos del presente análisis de riesgos medioambientales, en los cuales se muestran tanto los factores condicionantes que aplican a cada suceso iniciador como el efecto de los mismos sobre la cantidad de agente causante del daño.

### 1. Cálculo de la cantidad de agente causante del daño en los escenarios accidentales derivados de derrames

En el caso de los sucesos iniciadores asociados a derrames, los factores condicionantes que participan en la evolución del accidente hacen referencia a los sistemas de contención presentes en la instalación. Estos sistemas de contención pueden actuar de forma automática (contención automática) o precisar de la actuación del personal de la instalación (contención manual).

#### a) Contención automática.

Los sucesos iniciadores S.M.1a, S.M.1b, S.M.1c, S.A.1y2a, S.A.1y2b, S.A.1y2c, S.A.5y6a, S.A.5y6b, S.TA.7y8, S.C.5, S.CD.1a, S.CD.1b, S.CD.1c y S.CD.1d, vinculados a un derrame (ya sea desde depósito o recipiente, durante los procedimientos de carga y descarga o desde el sistema de refrigeración), disponen en la presente instalación de contención automática. La capacidad de retención, en el caso de que dichos dispositivos sirvan a un depósito (S.M.1a, S.M.1b, S.M.1c, S.A.1y2a, S.A.1y2b, S.A.1y2c, S.A.5y6a y S.C.5), será igual que la capacidad del depósito al que prestan servicio. En el caso de las sustancias almacenadas en el APQ (S.A.5y6b), la capacidad de contención que se aplica es la superficie del almacén ( $300 \text{ m}^2$ ) multiplicado por la profundidad del mismo respecto al resto de la instalación (15 cm), dando un resultado de  $45 \text{ m}^3$ . En la zona de carga y descarga de sustancias líquidas (S.CD.1a, S.CD.1b, S.CD.1c y S.CD.1d), la contención automática que aplica es de  $20 \text{ m}^3$ . Finalmente, en el caso del suceso iniciador S.TA.7y8 (sistema de refrigeración), se ha estimado una capacidad de contención de  $5 \text{ m}^3$ .

La capacidad de retención en caso de éxito del factor condicionante será igual a la capacidad del cubeto de retención o, en su caso, a las capacidades indicadas anteriormente para determinados

sucesos iniciadores; en caso de fracaso, en el presente caso práctico se considera que, aunque el sistema de contención automática se encontrara en malas condiciones y/o no actuara según lo previsto, aun así lograría retener un porcentaje del vertido, que se ha establecido en un 10% de la capacidad del cubeto.

La Tabla 4 recoge la capacidad de retención, tanto en caso de éxito como de fracaso del factor condicionante, de la contención automática que aplica a los distintos sucesos iniciadores asociados a derrame.

#### ***b) Contención manual.***

En el caso de los sucesos iniciadores S.M.1a, S.M.1b, S.M.1c, S.A.1y2a, S.A.1y2b, S.A.1y2c, S.A.5y6a, S.A.5y6b, S.TA.7y8, S.C.5, S.CD.1a, S.CD.1b, S.CD.1c y S.CD.1d, además de la contención automática comentada en páginas anteriores, se aplica la denominada contención manual (mantas absorbentes, kits de contención de derrames, etc.).

Por otra parte, esta contención manual es la única que aplica para los sucesos iniciadores S.TB.1y2a, S.TB.1y2b, S.TB.1y2c y S.TB.1y2d; en los equipos de tuberías no existen dispositivos de contención automática pero el derrame que se pudiera producir sí puede contenerse, total o parcialmente, por la acción de los operarios de la instalación.

La capacidad de retención de la contención manual se ha establecido en 1 m<sup>3</sup>, atendiendo a los equipos de los que se dispone en la instalación. El modo de operación de la planta (3 turnos diarios de lunes a domingo) permite confiar en la presencia de personal de forma continua en la instalación; dicha presencia continua de personal en la planta permite aplicar cierta capacidad de retención incluso en caso de fracaso de la contención manual: en el marco del presente caso práctico se ha seguido la recomendación del MIRAT del sector de la fundición, en el que se sugiere una capacidad de retención en caso de fracaso del 10% de la capacidad de retención de los equipos empleados.

La Tabla 5 muestra la capacidad de retención de la contención manual para cada suceso iniciador en cuya evolución participa.

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Factor condicionante	Capacidad de retención (m <sup>3</sup> )	
						Éxito	Fracaso
Moldeo y machería	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito de proceso	S.M.1a	Contención automática de derrames	2,00	0,20
		Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito de proceso	S.M.1b	Contención automática de derrames	2,00	0,20
		Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito de proceso	S.M.1c	Contención automática de derrames	2,00	0,20
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2a	Contención automática de derrames	20,00	2,00
		Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2b	Contención automática de derrames	20,00	2,00
		Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2c	Contención automática de derrames	20,00	2,00
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina fenólica	Fuga/derrame de resina fenólica desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6a	Contención automática de derrames	1,00	0,10
		Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Fuga/derrame de resina furánica secundaria desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6b	Contención automática de derrames	45,00	4,50
Almacenamiento de combustibles	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo por rotura de depósito subterráneo de almacenaje	S.C.5	Contención automática de derrames	15,00	1,50

**Tabla 4.** Cantidad retenida por la contención automática de derrames. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Factor condicionante	Capacidad de retención (m <sup>3</sup> )	
						Éxito	Fracaso
Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.TA.5	Circuito de refrigeración	Fuga/derrame de aguas calientes por fallo de instrumentación en el sistema de refrigeración o por fuga desde el intercambiador de calor	S.TA.7y8	Contención automática de derrames	5,00	0,50
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga	S.CD.1a	Contención automática de derrames	20,00	2,00
		Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 en operación de carga y descarga	S.CD.1b	Contención automática de derrames	20,00	2,00
		Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 en operación de carga y descarga	S.CD.1c	Contención automática de derrames	20,00	2,00
		Carga y descarga de depósito de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga	S.CD.1d	Contención automática de derrames	20,00	2,00
Sistemas de tuberías	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas de resina furánica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2a	Contención automática de derrames	No existe, ya que no hay cubeto de retención para esta fuente de peligro	
		Tuberías aéreas de catalizador líquido 1	Fuga/derrame desde tuberías aéreas de catalizador líquido 1 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2b	Contención automática de derrames	No existe, ya que no hay cubeto de retención para esta fuente de peligro	
		Tuberías aéreas de catalizador líquido 2	Fuga/derrame desde tuberías aéreas de catalizador líquido 2 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2c	Contención automática de derrames	No existe, ya que no hay cubeto de retención para esta fuente de peligro	
		Tuberías aéreas de resina fenólica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas de resina fenólica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2d	Contención automática de derrames	No existe, ya que no hay cubeto de retención para esta fuente de peligro	

**Tabla 4 (continuación).** Cantidad retenida por la contención automática de derrames. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Factor condicionante	Capacidad de retención (m <sup>3</sup> )	
						Éxito	Fracaso
Moldeo y machería	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito de proceso	S.M.1a	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito de proceso	S.M.1b	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito de proceso	S.M.1c	Contención manual de derrames	1,00	0,10
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2a	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2b	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2c	Contención manual de derrames	1,00	0,10
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina fenólica	Fuga/derrame de resina fenólica desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6a	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Fuga/derrame de resina furánica secundaria desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6b	Contención manual de derrames	1,00	0,10
Almacenamiento de combustibles	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo por rotura de depósito subterráneo de almacenaje	S.C.5	Contención manual de derrames	1,00	0,10

**Tabla 5.** Cantidad retenida por la contención manual de derrames. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Factor condicionante	Capacidad de retención (m <sup>3</sup> )	
						Éxito	Fracaso
Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.TA.5	Circuito de refrigeración	Fuga/derrame de aguas calientes por fallo de instrumentación en el sistema de refrigeración o por fuga desde el intercambiador de calor	S.TA.7y8	Contención manual de derrames	1,00	0,10
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga	S.CD.1a	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 en operación de carga y descarga	S.CD.1b	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 en operación de carga y descarga	S.CD.1c	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Carga y descarga de depósito de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga	S.CD.1d	Contención manual de derrames	1,00	0,10
Sistemas de tuberías	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas de resina furánica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2a	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Tuberías aéreas de catalizador líquido 1	Fuga/derrame desde tuberías aéreas de catalizador líquido 1 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2b	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Tuberías aéreas de catalizador líquido 2	Fuga/derrame desde tuberías aéreas de catalizador líquido 2 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2c	Contención manual de derrames	1,00	0,10
		Tuberías aéreas de resina fenólica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas de resina fenólica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2d	Contención manual de derrames	1,00	0,10



**Tabla 5 (continuación).** Cantidad retenida por la contención manual de derrames. Fuente: Elaboración propia

## **2. Cálculo de la cantidad de agente causante del daño en los escenarios accidentales derivados de incendios**

Ante la ausencia de un sistema de gestión de aguas y derrames en la instalación (salvo la consideración como tal del cubeto de retención que conforma el almacén APQ o la balsa de recogida para las operaciones de carga y descarga, como se recoge en la Tabla 6), el único factor condicionante que participa en la evolución de los sucesos iniciadores relacionados con un incendio es el sistema de detección y extinción temprana de incendios.

### ***a) Detección y extinción temprana de incendios.***

El éxito o fracaso de la detección y extinción temprana de incendios determinará la consideración o no de las aguas de extinción como agente causante del daño, ya sea por dilución de contaminantes presentes en la instalación o por arrastre de los mismos.

En caso de éxito de la detección y extinción temprana de incendios, se considerará que no se generan aguas de extinción y, con ello, que no existe daño medioambiental. Sin embargo, en caso de fracaso de los sistemas de detección y extinción temprana de incendios se considerará que el incendio ha alcanzado tales dimensiones que precisa del empleo de medios de extinción más importantes, incorporándose en este punto al análisis las aguas de extinción estimadas en la fase anterior (cantidad de aguas de extinción asociadas a los sucesos iniciadores de incendio).

## **3. Cálculo de la cantidad de agente causante del daño en los escenarios accidentales derivados de vertido de sólidos**

El MIRAT para el sector de la fundición contempla únicamente la participación de un factor condicionante en el caso de los sucesos iniciadores relacionados con un vertido de sólidos: la posibilidad de que la instalación disponga de algún tipo de contención automática (cubeto de retención, muro, etc.) que evite que el potencial vertido de sólidos llegue a afectar a los recursos naturales.

### ***a) Contención automática.***

Para el suceso iniciador S.A.11y12, el analista ha de estimar el volumen que el dispositivo automático de retención pudiera contener en caso de vertido desde los depósitos de arenas de moldeo. En el presente caso práctico, se ha estimado una capacidad de retención de 15 m<sup>3</sup>. El cálculo del Índice de Daño Medioambiental exige al analista para la combinación agente-recurso vertido de inertes – lecho continental expresar la cantidad de agente causante del daño en toneladas, empleando para ello una densidad de la arena de moldeo de 1,5 t/m<sup>3</sup>; de esta forma, la capacidad de retención del muro situado en la zona donde se ubica el depósito de arenas de moldeo asciende a 22,50 t.

De forma paralela a lo indicado en páginas anteriores respecto a la capacidad de retención en caso de fallo de la contención automática, se estima que, incluso en caso de fallo, estos sistemas son

capaces de retener una parte del vertido; de nuevo, esta capacidad de retención en caso de fallo se estima en un 10% de la capacidad de retención del dispositivo, en este caso 2,25 t.

La Tabla 7 recoge estos datos sobre el factor condicionante que actúa en caso de vertido de sólidos.

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Factor condicionante	Capacidad de retención (m <sup>3</sup> )	
						Éxito	Fracaso
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito móvil (GRG) con resina furánica secundaria o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.7y8	Gestión de aguas y derrames automática (cubeto de retención conformado por el almacén APQ)	45,00	4,50
Carga y descarga	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2a	Gestión de aguas y derrames automática (balsa de recogida)	20,00	2,00
	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2b	Gestión de aguas y derrames automática (balsa de recogida)	20,00	2,00

**Tabla 6.** Cantidad retenida por la contención automática de derrames que conforma el almacén APQ y la balsa de recogida para las operaciones de carga y descarga.

Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Factor condicionante	Capacidad de retención (t)	
						Éxito	Fracaso
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.7	Depósito/recipiente fijo aéreo con arenas de moldeo	Vertido de arenas de moldeo desde depósitos atmosféricos de almacenaje o por colisión de vehículo	S.A.11y12	Contención automática de vertido de sólidos	22,50	2,25

**Tabla 7.** Cantidad retenida por la contención automática de vertido de sólidos. Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8 recopila los datos de cantidad de agente causante del daño de cada escenario accidental que surge de los distintos sucesos iniciadores identificados como relevantes en el presente caso práctico.

De entre los escenarios accidentales recogidos en la Tabla 8, aquellos que tengan asignada una cantidad de agente causante del daño nula podrán ser considerados como no relevantes a efectos de riesgo medioambiental pues supondrán la ausencia de daño medioambiental, salvo en el caso de los sucesos iniciadores S.TR.2, S.C.6 y S.CD.2b.

En el caso de estos sucesos iniciadores (S.TR.2, S.C.6 y S.CD.2b), al daño medioambiental asociado al vertido de una sustancia (que en el suceso iniciador S.TR.2 no existe, como se refleja en la Tabla 8) habría que añadir el daño medioambiental ocasionado por la extensión del incendio a la masa forestal al oeste de la instalación. Para los escenarios de incendio no es necesario estimar una cantidad de agente causante del daño.

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Agente causante del daño	Cantidad de agente asociada al escenario accidental	Unidad
Moldeo y machería	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito de proceso	S.M.1a	S.M.1 / E.1.1(a)	Resina furánica	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.2(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.3(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.4(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.5(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.6(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.7(a)		0,70	m <sup>3</sup>
	S.M.1 / E.1.8(a)	0,70	m <sup>3</sup>					
	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito de proceso	S.M.1b	S.M.1 / E.1.1(b)	Catalizador líquido 1	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.2(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.3(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.4(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.5(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.6(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.7(b)		0,70	m <sup>3</sup>
	S.M.1 / E.1.8(b)	0,70	m <sup>3</sup>					
	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito de proceso	S.M.1c	S.M.1 / E.1.1(c)	Catalizador líquido 2	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.2(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.3(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.4(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.5(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.6(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.7(c)		0,70	m <sup>3</sup>
	S.M.1 / E.1.8(c)	0,70	m <sup>3</sup>					
F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito + Derrame de aguas de extinción	S.M.2	S.M.2 / E.2.1	Aguas de extinción (resina furánica)	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.M.2 / E.2.2		10,93	m <sup>3</sup>	
				S.M.2 / E.2.3		10,93	m <sup>3</sup>	

**Tabla 8.** Cantidad de agente causante del daño de cada escenario accidental. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Agente causante del daño	Cantidad de agente asociada al escenario accidental	Unidad
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2a	S.A.1y2 / E.1.1(a)	Resina furánica	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.2(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.3(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.4(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.5(a)		11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.6(a)		11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.7(a)		11,90	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.8(a)		11,90	m <sup>3</sup>
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2b	S.A.1y2 / E.1.1(b)	Catalizador líquido 1	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.2(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.3(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.4(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.5(b)		11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.6(b)		11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.7(b)		11,90	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.8(b)		11,90	m <sup>3</sup>
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2c	S.A.1y2 / E.1.1(c)	Catalizador líquido 2	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.2(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.3(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.4(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.5(c)		11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.6(c)		11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.7(c)		11,90	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.8(c)		11,90	m <sup>3</sup>
	F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.3y4	S.A.3y4 / E.2.1	Aguas de extinción (resina furánica)	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.3y4 / E.2.2		29,80	m <sup>3</sup>
					S.A.3y4 / E.2.3		29,80	m <sup>3</sup>
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina fenólica	Fuga/derrame de resina fenólica desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6a	S.A.5y6 / E.1.1(a)	Resina fenólica	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.2(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.3(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.4(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.5(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.6(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.7(a)		0,80	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.8(a)		0,80	m <sup>3</sup>
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Fuga/derrame de resina furánica secundaria desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6b	S.A.5y6 / E.1.1(b)	Resina furánica secundaria	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.2(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.3(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.4(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.5(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.6(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.7(b)		0,00	m <sup>3</sup>
S.A.5y6 / E.1.8(b)					0,00		m <sup>3</sup>	
F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito móvil (GRG) con resina furánica secundaria o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.7y8	S.A.7y8 / E.2.1	Aguas de extinción (resina furánica secundaria)	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.A.7y8 / E.2.2		0,00	m <sup>3</sup>	
				S.A.7y8 / E.2.3		2,83	m <sup>3</sup>	
F.A.6	Depósito/recipiente móvil de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame desde depósitos móviles a presión de DMEA + Derrame de aguas de extinción	S.A.10	S.A.10 / E.2.1	Aguas de extinción (resina fenólica)	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.A.10 / E.2.2		27,20	m <sup>3</sup>	
				S.A.10 / E.2.3		27,20	m <sup>3</sup>	
F.A.7	Depósito/recipiente fijo aéreo con arenas de moldeo	Vertido de arenas de moldeo desde depósitos atmosféricos de almacenaje o por colisión de vehículo	S.A.11y12	S.A.11y12 / E.4.1	Arenas de moldeo	14,25	t	
				S.A.11y12 / E.4.2		34,50	t	

**Tabla 8 (continuación).** Cantidad de agente causante del daño de cada escenario accidental. Fuente:  
Elaboración propia



Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Agente causante del daño	Cantidad de agente asociada al escenario accidental	Unidad
Almacenamiento de combustibles	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo por rotura de depósito subterráneo de almacenaje	S.C.5	S.C.5 / E.1.1	Gasóleo	0,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.2		0,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.3		0,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.4		0,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.5		5,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.6		5,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.7		5,90	m <sup>3</sup>
	S.C.5 / E.1.8	5,90	m <sup>3</sup>					
	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame depósito subterráneo de gasóleo + Derrame de aguas de extinción	S.C.6	S.C.6 / E.2.1	Incendio + Aguas de extinción (gasóleo)	0,00	m <sup>3</sup>
	S.C.6 / E.2.2	1,50	m <sup>3</sup>					
S.C.6 / E.2.3	1,50	m <sup>3</sup>						
Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.TA.5	Circuito de refrigeración	Fuga/derrame de aguas calientes por fallo de instrumentación en el sistema de refrigeración o por fuga desde el intercambiador de calor	S.TA.7y8	S.TA.7y8 / E.1.1	Aguas calientes	0,00	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.2		0,00	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.3		0,00	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.4		0,00	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.5		3,50	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.6		3,50	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.7		4,40	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.8		4,40	m <sup>3</sup>
Transformadores eléctricos	F.TR.1	Transformador	Incendio/explosión de transformador + Derrame de aguas de extinción	S.TR.2	S.TR.2 / E.2.1	Incendio	—	—
					S.TR.2 / E.2.2		—	—
					S.TR.2 / E.2.3		—	—
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga	S.CD.1a	S.CD.1 / E.1.1(a)	Resina furánica	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.2(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.3(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.4(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.5(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.6(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.7(a)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.8(a)		0,00	m <sup>3</sup>
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 en operación de carga y descarga	S.CD.1b	S.CD.1 / E.1.1(b)	Catalizador líquido 1	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.2(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.3(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.4(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.5(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.6(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.7(b)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.8(b)		0,00	m <sup>3</sup>
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 en operación de carga y descarga	S.CD.1c	S.CD.1 / E.1.1(c)	Catalizador líquido 2	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.2(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.3(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.4(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.5(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.6(c)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.7(c)		0,00	m <sup>3</sup>
S.CD.1 / E.1.8(c)	0,00	m <sup>3</sup>						

**Tabla 8 (continuación).** Cantidad de agente causante del daño de cada escenario accidental. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Agente causante del daño	Cantidad de agente asociada al escenario accidental	Unidad
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga	S.CD.1d	S.CD.1 / E.1.1(d)	Gasóleo	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.2(d)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.3(d)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.4(d)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.5(d)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.6(d)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.7(d)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.8(d)		0,00	m <sup>3</sup>
	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2a	S.CD.2 / E.2.1(a)	Aguas de extinción (resina furánica)	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.2 / E.2.2(a)		7,24	m <sup>3</sup>
					S.CD.2 / E.2.3(a)		25,24	m <sup>3</sup>
	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2b	S.CD.2 / E.2.1(b)	Incendio + Aguas de extinción (gasóleo)	0,00	m <sup>3</sup>
S.CD.2 / E.2.2(b)					0,00		m <sup>3</sup>	
S.CD.2 / E.2.3(b)					0,00		m <sup>3</sup>	
Sistemas de tuberías	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2a	S.TB.1y2 / E.1.1(a)	Resina furánica	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.2(a)		0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.3(a)		1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.4(a)		1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.5(a)		0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.6(a)		0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.7(a)		1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.8(a)		1,40	m <sup>3</sup>
					F.TB.1 / F.TB.2		Tuberías aéreas de catalizador líquido 1	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 1 o por colisión de vehículo
	S.TB.1y2 / E.1.2(b)	0,50	m <sup>3</sup>					
	S.TB.1y2 / E.1.3(b)	1,40	m <sup>3</sup>					
	S.TB.1y2 / E.1.4(b)	1,40	m <sup>3</sup>					
	S.TB.1y2 / E.1.5(b)	0,50	m <sup>3</sup>					
	S.TB.1y2 / E.1.6(b)	0,50	m <sup>3</sup>					
	S.TB.1y2 / E.1.7(b)	1,40	m <sup>3</sup>					
	S.TB.1y2 / E.1.8(b)	1,40	m <sup>3</sup>					
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de catalizador líquido 2	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 2 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2c	S.TB.1y2 / E.1.1(c)	Catalizador líquido 2	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.2(c)		0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.3(c)		1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.4(c)		1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.5(c)		0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.6(c)		0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.7(c)		1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.8(c)		1,40	m <sup>3</sup>
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina fenólica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina fenólica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2d	S.TB.1y2 / E.1.1(d)	Resina fenólica	0,00	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.2(d)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.3(d)		0,90	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.4(d)		0,90	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.5(d)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.6(d)		0,00	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.7(d)		0,90	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.8(d)		0,90	m <sup>3</sup>
					F.TB.2		Tuberías aéreas de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción
	S.TB.3y4 / E.2.2	27,30	m <sup>3</sup>					
	S.TB.3y4 / E.2.3	27,30	m <sup>3</sup>					
	F.TB.5	Tuberías aéreas de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con DMEA o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.7y8	S.TB.7y8 / E.2.1	aguas de extinción (resina fenólica)	0,00	m <sup>3</sup>
S.TB.7y8 / E.2.2					27,20		m <sup>3</sup>	
S.TB.7y8 / E.2.3					27,20		m <sup>3</sup>	

**Tabla 8 (continuación).** Cantidad de agente causante del daño de cada escenario accidental. Fuente:  
Elaboración propia

## **VII. ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD ASOCIADA A CADA ESCENARIO**

Tal y como se ha desarrollado en el MIRAT para el sector de la fundición, la probabilidad de ocurrencia tanto de los sucesos como de los factores condicionantes se estima de forma cuantitativa, recurriendo a bibliografía especializada sobre tasas de fallo o de accidente de los equipos involucrados en cada uno de los sucesos iniciadores y factores condicionantes.

### **VII.1. PROBABILIDAD DEL SUCESO INICIADOR**

El Anejo III del MIRAT para el sector de la fundición recopila la probabilidad de ocurrencia de los distintos sucesos iniciadores en función de los equipos y tipo de sustancias involucrados en cada suceso iniciador.

La Tabla 9 recoge los valores de probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores considerados en el presente caso práctico, atendiendo a las sustancias presentes en la instalación y al modo de operación de la misma.

### **VII.2. PROBABILIDAD DEL ESCENARIO ACCIDENTAL**

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios accidentales generalmente no coincide con la probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores, al incorporarse en el análisis los distintos factores condicionantes que intervienen en el desarrollo del accidente.

De esta forma, la probabilidad de ocurrencia de los escenarios accidentales estará conformada por, en primer lugar, la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador que desencadena la situación de operación anómala y, en segunda instancia, por la probabilidad de éxito o fracaso en la intervención de los distintos factores condicionantes que intervienen en el desarrollo de dicha operación anómala.

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Datos	Probabilidad (veces/año)
Moldeo y machería	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito de proceso	S.M.1a	Número de depósitos de proceso: 1	5,00E-05
	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito de proceso	S.M.1b	Número de depósitos de proceso: 1	5,00E-05
	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito de proceso	S.M.1c	Número de depósitos de proceso: 1	5,00E-05
	F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito + Derrame de aguas de extinción	S.M.2	Número de depósitos de proceso: 1 Sustancia líquida combustible	3,00E-07
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2a	Número de depósitos de almacenaje: 1 Tanque atmosférico de almacenaje de Tipo 3	2,20E-08
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2b	Número de depósitos de almacenaje: 1 Tanque atmosférico de almacenaje de Tipo 2	5,10E-07
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2c	Número de depósitos de almacenaje: 1 Tanque atmosférico de almacenaje de Tipo 2	5,10E-07
	F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.3y4	Número de depósitos de almacenaje: 1 Tanque atmosférico de almacenaje de Tipo 3 Sustancia líquida combustible	1,32E-10
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina fenólica	Fuga/derrame de resina fenólica desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6a	Número de depósitos móviles: 1	2,01E-06
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Fuga/derrame de resina furánica secundariades de depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6b	Número de depósitos móviles: 2	4,01E-06
	F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito móvil (GRG) con resina furánica secundaria o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.7y8	Número de depósitos móviles: 4 Sustancia líquida combustible	4,81E-08
	F.A.6	Depósito/recipiente móvil de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame desde depósitos móviles a presión de DMEA + Derrame de aguas de extinción	S.A.10	Número de depósitos móviles a presión: 1	6,60E-07
	F.A.7	Depósito/recipiente fijo aéreo con arenas de moldeo	Vertido de arenas de moldeo desde depósitos atmosféricos de almacenaje o por colisión de vehículo	S.A.11y12	Número de depósitos: 1 Tanque atmosférico de almacenaje de Tipo 1	5,01E-06

**Tabla 9.** Probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores identificados como relevantes en el presente caso práctico. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Datos	Probabilidad (veces/año)
Almacenamiento de combustibles	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo por rotura de depósito subterráneo de almacenaje	S.C.5	Número de depósitos subterráneos: 1	1,00E-08
	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito subterráneo con gasóleo + Derrame de aguas de extinción	S.C.6	Número de depósitos subterráneos: 1 Sustancia líquida inflamable	2,00E-10
Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.TA.5	Circuito de refrigeración	Fuga/derrame de aguas calientes por fallo de instrumentación en el sistema de refrigeración o por fuga desde el intercambiador de calor	S.TA.7y8	Número anual de horas de operación: 7.500 horas Intercambiador de tubería Número de intercambiadores de calor: 1	5,41E-03
Transformadores eléctricos	F.TR.1	Transformador	Incendio/explosión de transformador + Derrame de aguas de extinción	S.TR.2	Número de transformadores: 1	9,00E-04
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga	S.CD.1a	Manguera Número anual de horas de operación: 7 horas	2,80E-05
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 en operación de carga y descarga	S.CD.1b	Manguera Número anual de horas de operación: 7 horas	2,80E-05
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 en operación de carga y descarga	S.CD.1c	Manguera Número anual de horas de operación: 7 horas	2,80E-05
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga	S.CD.1d	Manguera Número anual de horas de operación: 3 horas	1,20E-05
	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2a	Manguera Sustancia líquida combustible Número anual de horas de operación: 7 horas	1,68E-07
	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2b	Manguera Sustancia líquida inflamable Número anual de horas de operación: 3 horas	2,40E-07

**Tabla 9 (continuación).** Probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores identificados como relevantes en el presente caso práctico. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Datos	Probabilidad (veces/año)
Sistemas de tuberías	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2a	Longitud de las tuberías: 15.000 mm Diámetro interior de las tuberías: 100 mm	3,31E-06
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de catalizador líquido 1	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 1 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2b	Longitud de las tuberías: 20.000 mm Diámetro interior de las tuberías: 100 mm	4,41E-06
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de catalizador líquido 2	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 2 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2c	Longitud de las tuberías: 20.000 mm Diámetro interior de las tuberías: 100 mm	4,41E-06
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina fenólica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina fenólica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2d	Longitud de las tuberías: 20.000 mm Diámetro interior de las tuberías: 40 mm	1,10E-05
	F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.3y4	Longitud de las tuberías: 15.000 mm Diámetro interior de las tuberías: 100 mm Sustancia líquida combustible	1,99E-08
	F.TB.5	Tuberías aéreas de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con DMEA o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.7y8	Longitud de las tuberías: 12.000 mm Diámetro interior de las tuberías: 50 mm	3,17E-06

**Tabla 9 (continuación).** Probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores identificados como relevantes en el presente caso práctico. Fuente: Elaboración propia

El Anejo IV del MIRAT para el sector de la fundición recopila todas las probabilidades de fallo de los factores condicionantes que pueden encontrarse en los operadores de dicho sector. Seleccionando aquellos relevantes para el presente caso práctico, la Tabla 10 recoge la probabilidad de fallo de los factores condicionantes que operan en los distintos sucesos iniciadores identificados en este caso práctico.

Finalmente, en la Tabla 11 se recogen los factores condicionantes, junto con su probabilidad de fallo, que intervienen en cada uno de los sucesos iniciadores identificados en el presente caso práctico.

Factor condicionante	Probabilidad	Unidad
Contención automática	1,00E-01	fallos/demanda
Contención manual	5,00E-01	fallos/demanda
Sistema de detección manual de incendios	9,00E-01	fallos/demanda
Sistema de extinción manual de incendios	9,00E-01	fallos/demanda
Sistema de detección y extinción manual de incendios	8,10E-01	fallos/demanda

**Tabla 10.** Probabilidad de fallo de los factores condicionantes que operan en los distintos sucesos iniciadores identificados en el presente caso práctico. Fuente: Elaboración propia

Con la probabilidad de ocurrencia de cada suceso iniciador —recogida en la Tabla 9— y con la probabilidad de fallo de cada uno de los factores condicionantes que intervienen en el desarrollo de cada suceso iniciador —tal y como se recoge en la Tabla 11— es posible conocer la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental.

El cálculo de la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental se obtiene mediante el operador “Y” o intersección de las probabilidades del suceso iniciador y de los factores condicionantes que desembocan en el escenario a evaluar. La expresión matemática de esta intersección de probabilidades es la siguiente:

$$P_E = prob\_S.I \times P_1 \times P_2 \dots \times P_n$$

Donde:

- $P_E$ , es la probabilidad de ocurrencia asociada al escenario “E”, el cual para acontecer requiere que se den conjuntamente el suceso iniciador “S.I” y los factores condicionantes “1, 2, ..., y n”.
- $Prob\_S.I$ , es la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador cuya evolución desencadena el escenario accidental “E”.
- $P_i$ , es la probabilidad de fallo de cada factor condicionante.





Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Factor condicionante	Probabilidad (fallos/demanda)
Moldeo y machería	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito de proceso	S.M.1a	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito de proceso	S.M.1b	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito de proceso	S.M.1c	Contención automática	1,00E-01	
				Contención manual	5,00E-01	
F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito + Derrame de aguas de extinción	S.M.2	Sistema manual de detección y extinción de incendios	8,10E-01	
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2a	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2b	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2c	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
	F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.3y4	Sistema manual de detección y extinción de incendios	8,10E-01
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina fenólica	Fuga/derrame de resina fenólica desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6a	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Fuga/derrame de resina furánica secundaria desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6b	Contención automática	1,00E-01	
				Contención manual	5,00E-01	
F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito móvil (GRG) con resina furánica secundaria o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.7y8	Sistema manual de detección y extinción de incendios	8,10E-01	
				Gestión de aguas y derrames automática	1,00E-01	
F.A.6	Depósito/recipiente móvil de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame desde depósitos móviles a presión de DMEA + Derrame de aguas de extinción	S.A.10	Sistema manual de detección y extinción de incendios	8,10E-01	
F.A.7	Depósito/recipiente fijo aéreo con arenas de moldeo	Vertido de arenas de moldeo desde depósitos atmosféricos de almacenaje o por colisión de vehículo	S.A.11y12	Contención automática	1,00E-01	

**Tabla 11.** Factores condicionantes que participan en cada uno de los sucesos iniciadores identificados en el presente caso práctico y probabilidad de fallo de los mismos.

Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Factor condicionante	Probabilidad (fallos/demanda)
Almacenamiento de combustibles	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo por rotura de depósito subterráneo de almacenaje	S.C.5	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito subterráneo de gasóleo + Derrame de aguas de extinción	S.C.6	Sistema manual de detección y extinción de incendios	8,10E-01
					F.TA.5	Circuito de refrigeración
Transformadores eléctricos	F.TA.5	Circuito de refrigeración	Fuga/derrame de aguas calientes por fallo de instrumentación en el sistema de refrigeración o por fuga desde el intercambiador de calor	S.TA.7y8	Contención manual	5,00E-01
					F.TR.1	Transformador
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga	S.CD.1a	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 en operación de carga y descarga	S.CD.1b	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 en operación de carga y descarga	S.CD.1c	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga	S.CD.1d	Contención automática	1,00E-01
					Contención manual	5,00E-01
	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2a	Sistema manual de detección y extinción de incendios	8,10E-01
					Contención automática	1,00E-01
	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2b	Sistema manual de detección y extinción de incendios	8,10E-01
					Contención automática	1,00E-01

**Tabla 11 (continuación).** Factores condicionantes que participan en cada uno de los sucesos iniciadores identificados en el presente caso práctico y probabilidad de fallo de los mismos. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Factor condicionante	Probabilidad (fallos/demanda)
Sistemas de tuberías	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2a	Contención manual	5,00E-01
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de catalizador líquido 1	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 1 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2b	Contención manual	5,00E-01
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de catalizador líquido 2	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 2 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2c	Contención manual	5,00E-01
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina fenólica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina fenólica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2d	Contención manual	5,00E-01
	F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.3y4	Sistema manual de detección y extinción de incendios	8,10E-01
	F.TB.5	Tuberías aéreas de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con DMEA o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.7y8	Sistema manual de detección y extinción de incendios	8,10E-01

**Tabla 11 (continuación).** Factores condicionantes que participan en cada uno de los sucesos iniciadores identificados en el presente caso práctico y probabilidad de fallo de los mismos. Fuente: Elaboración propia

La aplicación de la ecuación anterior a la información recogida en las Tablas 9 y 11 del presente caso práctico permite obtener la probabilidad de ocurrencia de los escenarios accidentales generados en el análisis de riesgos realizado en el presente caso práctico.

La Tabla 12 recopila los datos sobre probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental. Aquellos escenarios accidentales con una probabilidad de ocurrencia nula podrán considerarse escenarios accidentales no relevantes a efectos de riesgo medioambiental.

Por su parte, y como se ha comentado en páginas anteriores, el Anejo A.III del presente caso práctico recopila todos los árboles de sucesos que se construyen a partir de cada suceso iniciador considerado como relevante, siguiendo el esquema propuesto por el MIRAT para el sector de la fundición. Se han generado un total de 29 árboles de sucesos: 18 correspondientes al tipo de árbol 1 (derrame), 10 del Tipo 2 (incendio) y 1 del Tipo 4 (vertido de sólidos).

En estos árboles de sucesos se recogen los datos relativos a probabilidad —de ocurrencia del suceso iniciador, de éxito y fallo de los distintos factores condicionantes que intervienen en el suceso iniciador concreto y, finalmente, de cada escenario accidental— y a cantidad de agente causante del daño —ya sea a partir del suceso iniciador y de las sucesivas contenciones que, en su caso, apliquen o, como ocurre en el caso de los incendios, la cantidad de aguas de extinción generadas en caso de fracaso de la detección y extinción temprana del incendio—.

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)
Moldeo y machería	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito de proceso	S.M.1a	S.M.1 / E.1.1(a)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.2(a)	2,25E-05
					S.M.1 / E.1.3(a)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.4(a)	2,25E-05
					S.M.1 / E.1.5(a)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.6(a)	2,50E-06
					S.M.1 / E.1.7(a)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.8(a)	2,50E-06
	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito de proceso	S.M.1b	S.M.1 / E.1.1(b)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.2(b)	2,25E-05
					S.M.1 / E.1.3(b)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.4(b)	2,25E-05
					S.M.1 / E.1.5(b)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.6(b)	2,50E-06
					S.M.1 / E.1.7(b)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.8(b)	2,50E-06
	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito de proceso	S.M.1c	S.M.1 / E.1.1(c)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.2(c)	2,25E-05
					S.M.1 / E.1.3(c)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.4(c)	2,25E-05
					S.M.1 / E.1.5(c)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.6(c)	2,50E-06
					S.M.1 / E.1.7(c)	0,00E+00
					S.M.1 / E.1.8(c)	2,50E-06

**Tabla 12.** Probabilidad de ocurrencia de los escenarios accidentales. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)
Moldeo y machería	F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito + Derrame de aguas de extinción	S.M.2	S.M.2 / E.2.1	5,70E-08
					S.M.2 / E.2.2	0,00E+00
					S.M.2 / E.2.3	2,43E-07
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2a	S.A.1y2 / E.1.1(a)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.2(a)	9,90E-09
					S.A.1y2 / E.1.3(a)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.4(a)	9,90E-09
					S.A.1y2 / E.1.5(a)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.6(a)	1,10E-09
					S.A.1y2 / E.1.7(a)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.8(a)	1,10E-09
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2b	S.A.1y2 / E.1.1(b)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.2(b)	2,30E-07
					S.A.1y2 / E.1.3(b)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.4(b)	2,30E-07
					S.A.1y2 / E.1.5(b)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.6(b)	2,55E-08
					S.A.1y2 / E.1.7(b)	0,00E+00
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2c	S.A.1y2 / E.1.1(c)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.2(c)	2,30E-07
					S.A.1y2 / E.1.3(c)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.4(c)	2,30E-07
					S.A.1y2 / E.1.5(c)	0,00E+00
					S.A.1y2 / E.1.6(c)	2,55E-08
					S.A.1y2 / E.1.7(c)	0,00E+00
	F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.3y4	S.A.3y4 / E.2.1	2,51E-11
					S.A.3y4 / E.2.2	0,00E+00
					S.A.3y4 / E.2.3	1,07E-10
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina fenólica	Fuga/derrame de resina fenólica desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6a	S.A.5y6 / E.1.1(a)	0,00E+00
					S.A.5y6 / E.1.2(a)	9,05E-07
					S.A.5y6 / E.1.3(a)	0,00E+00
					S.A.5y6 / E.1.4(a)	9,05E-07
					S.A.5y6 / E.1.5(a)	0,00E+00
					S.A.5y6 / E.1.6(a)	1,01E-07
					S.A.5y6 / E.1.7(a)	0,00E+00
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Fuga/derrame de resina furánica secundaria desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6b	S.A.5y6 / E.1.1(b)	0,00E+00
					S.A.5y6 / E.1.2(b)	1,80E-06
					S.A.5y6 / E.1.3(b)	0,00E+00
					S.A.5y6 / E.1.4(b)	1,80E-06
					S.A.5y6 / E.1.5(b)	0,00E+00
					S.A.5y6 / E.1.6(b)	2,01E-07
					S.A.5y6 / E.1.7(b)	0,00E+00
					S.A.5y6 / E.1.8(b)	2,01E-07
	F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito móvil (GRG) con resina furánica secundaria o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.7y8	S.A.7y8 / E.2.1	9,13E-09
					S.A.7y8 / E.2.2	3,50E-08
S.A.7y8 / E.2.3					3,89E-09	

**Tabla 12.** Probabilidad de ocurrencia de los escenarios accidentales. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.6	Depósito/recipiente móvil de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame desde depósitos móviles a presión de DMEA + Derrame de aguas de extinción	S.A.10	S.A.10 / E.2.1	1,25E-07
					S.A.10 / E.2.2	0,00E+00
					S.A.10 / E.2.3	5,35E-07
	F.A.7	Depósito/recipiente fijo aéreo con arenas de moldeo	Vertido de arenas de moldeo desde depósitos atmosféricos de almacenaje o por colisión de vehículo	S.A.11y12	S.A.11y12 / E.4.1	4,51E-06
					S.A.11y12 / E.4.2	5,01E-07
Almacenamiento de combustibles	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo por rotura de depósito subterráneo de almacenaje	S.C.5	S.C.5 / E.1.1	0,00E+00
					S.C.5 / E.1.2	4,50E-09
					S.C.5 / E.1.3	0,00E+00
					S.C.5 / E.1.4	4,50E-09
					S.C.5 / E.1.5	0,00E+00
					S.C.5 / E.1.6	5,00E-10
					S.C.5 / E.1.7	0,00E+00
	F.C.2	Depósito/recipiente fijo subterráneo de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame depósito subterráneo con gasóleo + Derrame de aguas de extinción	S.C.6	S.C.6 / E.2.1	3,80E-11
					S.C.6 / E.2.2	0,00E+00
					S.C.6 / E.2.3	1,62E-10
Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.TA.5	Circuito de refrigeración	Fuga/derrame de aguas calientes por fallo de instrumentación en el sistema de refrigeración o por fuga desde el intercambiador de calor	S.TA.7y8	S.TA.7y8 / E.1.1	0,00E+00
					S.TA.7y8 / E.1.2	2,44E-03
					S.TA.7y8 / E.1.3	0,00E+00
					S.TA.7y8 / E.1.4	2,44E-03
					S.TA.7y8 / E.1.5	0,00E+00
					S.TA.7y8 / E.1.6	2,71E-04
					S.TA.7y8 / E.1.7	0,00E+00
					S.TA.7y8 / E.1.8	2,71E-04
Transformadores eléctricos	F.TR.1	Transformador	Incendio/explosión de transformador + Derrame de aguas de extinción	S.TR.2	S.TR.2 / E.2.1	1,71E-04
					S.TR.2 / E.2.2	0,00E+00
					S.TR.2 / E.2.3	7,29E-04
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga	S.CD.1a	S.CD.1 / E.1.1(a)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.2(a)	1,26E-05
					S.CD.1 / E.1.3(a)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.4(a)	1,26E-05
					S.CD.1 / E.1.5(a)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.6(a)	1,40E-06
					S.CD.1 / E.1.7(a)	0,00E+00
	S.CD.1 / E.1.8(a)	1,40E-06				
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 en operación de carga y descarga	S.CD.1b	S.CD.1 / E.1.1(b)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.2(b)	1,26E-05
					S.CD.1 / E.1.3(b)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.4(b)	1,26E-05
					S.CD.1 / E.1.5(b)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.6(b)	1,40E-06
					S.CD.1 / E.1.7(b)	0,00E+00
	S.CD.1 / E.1.8(b)	1,40E-06				
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 en operación de carga y descarga	S.CD.1c	S.CD.1 / E.1.1(c)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.2(c)	1,26E-05
					S.CD.1 / E.1.3(c)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.4(c)	1,26E-05
					S.CD.1 / E.1.5(c)	0,00E+00
S.CD.1 / E.1.6(c)					1,40E-06	
S.CD.1 / E.1.7(c)					0,00E+00	
S.CD.1 / E.1.8(c)	1,40E-06					



**Tabla 12 (continuación).** Probabilidad de ocurrencia de los escenarios accidentales. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga	S.CD.1d	S.CD.1 / E.1.1(d)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.2(d)	5,40E-06
					S.CD.1 / E.1.3(d)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.4(d)	5,40E-06
					S.CD.1 / E.1.5(d)	0,00E+00
					S.CD.1 / E.1.6(d)	6,00E-07
					S.CD.1 / E.1.7(d)	0,00E+00
	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2a	S.CD.2 / E.2.1(a)	3,19E-08
					S.CD.2 / E.2.2(a)	1,22E-07
					S.CD.2 / E.2.3(a)	1,36E-08
	F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2b	S.CD.2 / E.2.1(b)	4,56E-08
					S.CD.2 / E.2.2(b)	1,75E-07
S.CD.2 / E.2.3(b)					1,94E-08	
Sistemas de tuberías	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2a	S.TB.1y2 / E.1.1(a)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.2(a)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.3(a)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.4(a)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.5(a)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.6(a)	1,66E-06
					S.TB.1y2 / E.1.7(a)	0,00E+00
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de catalizador líquido 1	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 1 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2b	S.TB.1y2 / E.1.1(b)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.2(b)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.3(b)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.4(b)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.5(b)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.6(b)	2,21E-06
					S.TB.1y2 / E.1.7(b)	0,00E+00
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de catalizador líquido 2	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 2 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2c	S.TB.1y2 / E.1.1(c)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.2(c)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.3(c)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.4(c)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.5(c)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.6(c)	2,21E-06
					S.TB.1y2 / E.1.7(c)	0,00E+00
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina fenólica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina fenólica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2d	S.TB.1y2 / E.1.1(d)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.2(d)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.3(d)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.4(d)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.5(d)	0,00E+00
					S.TB.1y2 / E.1.6(d)	5,51E-06
					S.TB.1y2 / E.1.7(d)	0,00E+00
	F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.3y4	S.TB.3y4 / E.2.1	3,77E-09
					S.TB.3y4 / E.2.2	0,00E+00
S.TB.3y4 / E.2.3					1,61E-08	
F.TB.5	Tuberías aéreas de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con DMEA o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.7y8	S.TB.7y8 / E.2.1	6,03E-07	
				S.TB.7y8 / E.2.2	0,00E+00	
				S.TB.7y8 / E.2.3	2,57E-06	

**Tabla 12 (continuación).** Probabilidad de ocurrencia de los escenarios accidentales. Fuente: Elaboración propia

A partir de la combinación de los datos recogidos en las Tablas 8 y 12 —y/o de los escenarios accidentales que surgen de los árboles de sucesos recopilados en el Anexo A.II— es posible identificar aquellos escenarios accidentales relevantes en un principio, es decir, aquellos cuya cantidad de agente causante del daño y probabilidad de ocurrencia sea mayor que cero o exista un agente causante del daño que no lleve asociado una cantidad, como un incendio. La Tabla 13 identifica a estos escenarios accidentales relevantes; los escenarios accidentales no relevantes, cuya cantidad de agente causante del daño y/o probabilidad es igual a cero, aparecen en gris.

Existen un total de 34 escenarios accidentales relevantes; los escenarios S.CD.2 / E.2.2(b) y S.CD.2 / E.2.3(b) se han agregado en uno al corresponderse ambos con un escenario de idénticas consecuencias: incendio que supera los límites de la instalación.

Prácticamente dos tercios de estos escenarios accidentales (21) se corresponden con derrames de sustancias líquidas (resinas, catalizadores líquidos y gasóleo); este tipo de escenarios accidentales acumulan casi el 90% de la probabilidad del conjunto de los escenarios accidentales relevantes, aunque las cantidades de agente causante del daño asociadas a muchos de estos escenarios de vertido son pequeñas. En definitiva, existe una alta probabilidad de que se genere un escenario accidental relevante asociado al derrame de una sustancia, aunque la cantidad de agente causante del daño involucrada en el mismo sea escasa.

Once escenarios accidentales relevantes se caracterizan por la aparición de un incendio. Estos once escenarios acumulan alrededor del 12% de la probabilidad de ocurrencia total del conjunto de escenarios accidentales relevantes. En 8 de estos casos el incendio no trasciende los límites de la planta y el daño medioambiental que pudieran generar se asocia al derrame de aguas de extinción contaminadas por distintas sustancias (en concreto, resinas); en un único caso (escenario accidental S.C.6 / E.2.3, incendio del depósito de gasóleo) el daño medioambiental se asociará tanto a incendio como a derrame de aguas de extinción, en este caso contaminadas con gasóleo; y, finalmente, en dos casos, el incendio sí que trasciende los límites de la planta y no lleva asociado derrame de aguas de extinción (S.TR.2 / E.2.3, incendio del transformador eléctrico, y S.CD.2 / E.2.2(b) y E.2.3(b), incendio durante la carga y descarga de gasóleo).

Finalmente, dos únicos escenarios accidentales (S.A.11y12 / E.4.1 y S.A.11y12 / E.4.2), que apenas suman el 0,1% de la probabilidad de todos los escenarios accidentales relevantes, generarán un daño medioambiental por vertido de sustancias sólidas, en este caso inertes (arenas de moldeo).

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)	Cantidad de agente asociada al escenario accidental	Unidad
Moldeo y machería	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito de proceso	S.M.1a	S.M.1 / E.1.1(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.2(a)	2,25E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.3(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.4(a)	2,25E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.5(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.6(a)	2,50E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.7(a)	0,00E+00	0,70	m <sup>3</sup>
		<b>S.M.1 / E.1.8(a)</b>	<b>2,50E-06</b>	<b>0,70</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			
	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito de proceso	S.M.1b	S.M.1 / E.1.1(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.2(b)	2,25E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.3(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.4(b)	2,25E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.5(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.6(b)	2,50E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.7(b)	0,00E+00	0,70	m <sup>3</sup>
		<b>S.M.1 / E.1.8(b)</b>	<b>2,50E-06</b>	<b>0,70</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			
	F.M.1 / F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito de proceso	S.M.1c	S.M.1 / E.1.1(c)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.2(c)	2,25E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.3(c)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.4(c)	2,25E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.5(c)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.6(c)	2,50E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.M.1 / E.1.7(c)	0,00E+00	0,70	m <sup>3</sup>
		<b>S.M.1 / E.1.8(c)</b>	<b>2,50E-06</b>	<b>0,70</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			
F.M.2	Depósito/recipiente de proceso fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito + Derrame de aguas de extinción	S.M.2	S.M.2 / E.2.1	5,70E-08	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.M.2 / E.2.2	0,00E+00	10,93	m <sup>3</sup>	
				S.M.2 / E.2.3	2,43E-07	10,93	m <sup>3</sup>	
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2a	S.A.1y2 / E.1.1(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.2(a)	9,90E-09	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.3(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.4(a)	9,90E-09	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.5(a)	0,00E+00	11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.6(a)	1,10E-09	11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.7(a)	0,00E+00	11,90	m <sup>3</sup>
	S.A.1y2 / E.1.8(a)	1,10E-09	11,90	m <sup>3</sup>				
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2b	S.A.1y2 / E.1.1(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.2(b)	2,30E-07	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.3(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.4(b)	2,30E-07	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.5(b)	0,00E+00	11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.6(b)	2,55E-08	11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.7(b)	0,00E+00	11,90	m <sup>3</sup>
	S.A.1y2 / E.1.8(b)	2,55E-08	11,90	m <sup>3</sup>				
	F.A.1 / F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo	S.A.1y2c	S.A.1y2 / E.1.1(c)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.2(c)	2,30E-07	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.3(c)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.4(c)	2,30E-07	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.5(c)	0,00E+00	11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.6(c)	2,55E-08	11,00	m <sup>3</sup>
					S.A.1y2 / E.1.7(c)	0,00E+00	11,90	m <sup>3</sup>
	S.A.1y2 / E.1.8(c)	2,55E-08	11,90	m <sup>3</sup>				
F.A.2	Depósito/recipiente fijo aéreo de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica desde depósito fijo aéreo o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.3y4	S.A.3y4 / E.2.1	2,51E-11	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.A.3y4 / E.2.2	0,00E+00	29,80	m <sup>3</sup>	
				S.A.3y4 / E.2.3	1,07E-10	29,80	m <sup>3</sup>	

**Tabla 13.** Probabilidad de ocurrencia y cantidad de agente causante del daño de cada escenario accidental e identificación de escenarios accidentales relevantes. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)	Cantidad de agente asociada al escenario accidental	Unidad
Almacenamiento de materias primas, otras sustancias químicas y residuos	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina fenólica	Fuga/derrame de resina fenólica desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6a	S.A.5y6 / E.1.1(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.2(a)	9,05E-07	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.3(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.4(a)	9,05E-07	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.5(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.6(a)	1,01E-07	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.7(a)	0,00E+00	0,80	m <sup>3</sup>
	S.A.5y6 / E.1.8(a)	1,01E-07	0,80	m <sup>3</sup>				
	F.A.3 / F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Fuga/derrame de resina furánica secundaria desde depósito móvil (GRG) o por colisión de vehículo	S.A.5y6b	S.A.5y6 / E.1.1(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.2(b)	1,80E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.3(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.4(b)	1,80E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.5(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.6(b)	2,01E-07	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.5y6 / E.1.7(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
	S.A.5y6 / E.1.8(b)	2,01E-07	0,00	m <sup>3</sup>				
	F.A.4	Depósitos/recipientes móviles (GRG) de resina furánica secundaria	Incendio/explosión por fuga/derrame de depósito móvil (GRG) con resina furánica secundaria o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.A.7y8	S.A.7y8 / E.2.1	9,13E-09	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.7y8 / E.2.2	3,50E-08	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.7y8 / E.2.3	3,89E-09	2,83	m <sup>3</sup>
	F.A.6	Depósito/recipientes móviles de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame desde depósitos móviles a presión de DMEA + Derrame de aguas de extinción	S.A.10	S.A.10 / E.2.1	1,25E-07	0,00	m <sup>3</sup>
					S.A.10 / E.2.2	0,00E+00	27,20	m <sup>3</sup>
S.A.10 / E.2.3					5,35E-07	27,20	m <sup>3</sup>	
F.A.7	Depósito/recipientes fijo aéreo con arenas de moldeo	Vertido de arenas de moldeo desde depósitos atmosféricos de almacenaje o por colisión de vehículo	S.A.11y12	S.A.11y12 / E.4.1	4,51E-06	14,25	t	
				S.A.11y12 / E.4.2	5,01E-07	34,50	t	
Almacenamiento de combustibles	F.C.2	Depósito/recipientes fijo subterráneo de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo por rotura de depósito subterráneo de almacenaje	S.C.5	S.C.5 / E.1.1	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.2	4,50E-09	0,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.3	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.4	4,50E-09	0,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.5	0,00E+00	5,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.6	5,00E-10	5,00	m <sup>3</sup>
					S.C.5 / E.1.7	0,00E+00	5,90	m <sup>3</sup>
	S.C.5 / E.1.8	5,00E-10	5,90	m <sup>3</sup>				
	F.C.2	Depósito/recipientes fijo subterráneo de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame depósito subterráneo de gasóleo + Derrame de aguas de extinción	S.C.6	S.C.6 / E.2.1	3,80E-11	0,00	m <sup>3</sup>
					S.C.6 / E.2.2	0,00E+00	1,50	m <sup>3</sup>
S.C.6 / E.2.3					1,62E-10	1,50	m <sup>3</sup>	
Tratamiento de aguas de proceso y residuales	F.TA.5	Circuito de refrigeración	Fuga/derrame de aguas calientes por fallo de instrumentación en el sistema de refrigeración o por fuga desde el intercambiador de calor	S.TA.7y8	S.TA.7y8 / E.1.1	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.2	2,44E-03	0,00	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.3	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.4	2,44E-03	0,00	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.5	0,00E+00	3,50	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.6	2,71E-04	3,50	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.7	0,00E+00	4,40	m <sup>3</sup>
					S.TA.7y8 / E.1.8	2,71E-04	4,40	m <sup>3</sup>
Transformadores eléctricos	F.TR.1	Transformador	Incendio/explosión de transformador + Derrame de aguas de extinción	S.TR.2	S.TR.2 / E.2.1	1,71E-04	—	—
					S.TR.2 / E.2.2	0,00E+00	—	—
					S.TR.2 / E.2.3	7,29E-04	—	—

**Tabla 13 (continuación).** Probabilidad de ocurrencia y cantidad de agente causante del daño de cada escenario accidental e identificación de escenarios accidentales relevantes. Fuente: Elaboración propia

Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)	Cantidad de agente asociada al escenario accidental	Unidad
Carga y descarga	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga	S.CD.1a	S.CD.1 / E.1.1(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.2(a)	1,26E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.3(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.4(a)	1,26E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.5(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.6(a)	1,40E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.7(a)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.8(a)	1,40E-06	0,00	m <sup>3</sup>
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 1	Fuga/derrame de catalizador líquido 1 en operación de carga y descarga	S.CD.1b	S.CD.1 / E.1.1(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.2(b)	1,26E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.3(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.4(b)	1,26E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.5(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.6(b)	1,40E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.7(b)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.8(b)	1,40E-06	0,00	m <sup>3</sup>
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de catalizador líquido 2	Fuga/derrame de catalizador líquido 2 en operación de carga y descarga	S.CD.1c	S.CD.1 / E.1.1(c)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.2(c)	1,26E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.3(c)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.4(c)	1,26E-05	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.5(c)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.6(c)	1,40E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.7(c)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.8(c)	1,40E-06	0,00	m <sup>3</sup>
	F.CD.1 / F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga	S.CD.1d	S.CD.1 / E.1.1(d)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.2(d)	5,40E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.3(d)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.4(d)	5,40E-06	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.5(d)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.CD.1 / E.1.6(d)	6,00E-07	0,00	m <sup>3</sup>
S.CD.1 / E.1.7(d)					0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>	
S.CD.1 / E.1.8(d)					6,00E-07	0,00	m <sup>3</sup>	
F.CD.2	Carga y descarga de depósito de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de resina furánica en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2a	S.CD.2 / E.2.1(a)	3,19E-08	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.CD.2 / E.2.2(a)	1,22E-07	7,24	m <sup>3</sup>	
				S.CD.2 / E.2.3(a)	1,36E-08	25,24	m <sup>3</sup>	
F.CD.2	Carga y descarga de depósito de gasóleo	Incendio/explosión por fuga/derrame de gasóleo en operación de carga y descarga + Derrame de aguas de extinción	S.CD.2b	S.CD.2 / E.2.1(b)	4,56E-08	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.CD.2 / E.2.2(b)	1,75E-07	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.CD.2 / E.2.3(b)	1,94E-08	0,00	m <sup>3</sup>	

**Tabla 13 (continuación).** Probabilidad de ocurrencia y cantidad de agente causante del daño de cada escenario accidental e identificación de escenarios accidentales relevantes. Fuente: Elaboración propia



Zona	Código F. MIRAT	Fuente de peligro instalación	Suceso iniciador	Código S.I.	Código escenario accidental	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)	Cantidad de agente asociada al escenario accidental	Unidad
Sistemas de tuberías	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2a	S.TB.1y2 / E.1.1(a)	0,00E+00	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.2(a)	0,00E+00	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.3(a)	0,00E+00	1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.4(a)	0,00E+00	1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.5(a)	0,00E+00	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.6(a)	1,66E-06	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.7(a)	0,00E+00	1,40	m <sup>3</sup>
	S.TB.1y2 / E.1.8(a)	1,66E-06	1,40	m <sup>3</sup>				
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de catalizador líquido 1	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 1 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2b	S.TB.1y2 / E.1.1(b)	0,00E+00	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.2(b)	0,00E+00	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.3(b)	0,00E+00	1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.4(b)	0,00E+00	1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.5(b)	0,00E+00	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.6(b)	2,21E-06	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.7(b)	0,00E+00	1,40	m <sup>3</sup>
	S.TB.1y2 / E.1.8(b)	2,21E-06	1,40	m <sup>3</sup>				
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de catalizador líquido 2	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con catalizador líquido 2 o por colisión de vehículo	S.TB.1y2c	S.TB.1y2 / E.1.1(c)	0,00E+00	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.2(c)	0,00E+00	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.3(c)	0,00E+00	1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.4(c)	0,00E+00	1,40	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.5(c)	0,00E+00	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.6(c)	2,21E-06	0,50	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.7(c)	0,00E+00	1,40	m <sup>3</sup>
	S.TB.1y2 / E.1.8(c)	2,21E-06	1,40	m <sup>3</sup>				
	F.TB.1 / F.TB.2	Tuberías aéreas de resina fenólica	Fuga/derrame desde tuberías aéreas con resina fenólica o por colisión de vehículo	S.TB.1y2d	S.TB.1y2 / E.1.1(d)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.2(d)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.3(d)	0,00E+00	0,90	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.4(d)	0,00E+00	0,90	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.5(d)	0,00E+00	0,00	m <sup>3</sup>
					S.TB.1y2 / E.1.6(d)	5,51E-06	0,00	m <sup>3</sup>
S.TB.1y2 / E.1.7(d)					0,00E+00	0,90	m <sup>3</sup>	
S.TB.1y2 / E.1.8(d)	5,51E-06	0,90	m <sup>3</sup>					
F.TB.2	Tuberías aéreas de resina furánica	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con resina furánica o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.3y4	S.TB.3y4 / E.2.1	3,77E-09	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.TB.3y4 / E.2.2	0,00E+00	27,30	m <sup>3</sup>	
				S.TB.3y4 / E.2.3	1,61E-08	27,30	m <sup>3</sup>	
F.TB.5	Tuberías aéreas de DMEA	Incendio/explosión por fuga/derrame de tuberías aéreas con DMEA o por colisión de vehículo + Derrame de aguas de extinción	S.TB.7y8	S.TB.7y8 / E.2.1	6,03E-07	0,00	m <sup>3</sup>	
				S.TB.7y8 / E.2.2	0,00E+00	27,20	m <sup>3</sup>	
				S.TB.7y8 / E.2.3	2,57E-06	27,20	m <sup>3</sup>	

**Tabla 13 (continuación).** Probabilidad de ocurrencia y cantidad de agente causante del daño de cada escenario accidental e identificación de escenarios accidentales relevantes. Fuente: Elaboración propia

## VIII. CÁLCULO DEL IDM DE CADA ESCENARIO

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, establece el Índice de Daño Medioambiental (IDM) como un estimador semicuantitativo de las consecuencias medioambientales; en el marco del establecimiento de la garantía financiera obligatoria, el uso del IDM es obligatorio de acuerdo a la nueva redacción del artículo 33 del Reglamento, como etapa intermedia del procedimiento de selección del escenario de referencia sobre el cual se estimará la cuantía de la garantía financiera.

El IDM estima de forma semicuantitativa el daño medioambiental asociado a los escenarios accidentales identificados como relevantes a partir de una serie de coeficientes que dependen, a grandes rasgos, de las características del agente causante del daño, del tipo de recurso natural afectado y, finalmente, de las características del entorno donde se produce el daño medioambiental.

Los escenarios identificados como relevantes en el capítulo anterior atienden a tres tipos de agentes causantes del daño:

- Químicos. Cualquier vertido de una sustancia química o de aguas de extinción contaminadas.
- Físicos. Vertido de inertes y daños por temperatura.
- Incendio. Fuego que supera los límites de la instalación y provoca un daño sobre los recursos naturales.

Las sustancias químicas involucradas en los escenarios accidentales relevantes identificados en el capítulo anterior son las siguientes:

- Resinas furánicas (resina furánica y resina furánica secundaria).
- Aguas de extinción contaminadas con resinas furánicas.
- Catalizador líquido 1.
- Catalizador líquido 2.
- Resina fenólica.
- Aguas de extinción contaminadas con resina fenólica.
- Gasóleo.
- Aguas de extinción contaminadas con gasóleo.

Para la caracterización de estas sustancias se ha procedido a una búsqueda de fichas de seguridad de compuestos empleados por el sector de la fundición. La selección de los parámetros que caracterizan cada sustancia se ha realizado siguiendo un criterio de realismo pero sin hacer referencia a un preparado concreto de una marca comercial determinada; en un escenario real de

aplicación del MIRAT para el sector de la fundición, el analista identificará los productos que emplea y, acudiendo a los datos recogidos en las respectivas fichas de seguridad, caracterizará a los mismos para su introducción en el marco de análisis del IDM.

Cuando la ficha de seguridad no informe sobre algún parámetro exigido para el cálculo del IDM o dicho parámetro se exprese en forma de rango, se recomienda (y así se ha hecho en el presente caso práctico) seleccionar el valor del modificador menos favorable en términos de daños medioambientales.

El Cuadro 2 recoge la caracterización de las sustancias químicas involucradas en el presente caso práctico atendiendo al marco de análisis del IDM. En el Anejo A.IV se recopilan las características de cada sustancia que determinan los valores recogidos en este Cuadro 2.

Sustancia	Agente IDM	Biodegradabilidad	Solubilidad	Toxicidad	Viscosidad	Volatilidad
		M <sub>B1</sub>	M <sub>B12</sub>	M <sub>B15</sub>	M <sub>B17</sub>	M <sub>B18</sub>
Resina furánica	COSV no halogenado	Alta (0,8)	Soluble (0,8)	Alta (2)	Poco viscosa (1,25)	Media (0,9)
Aguas de extinción (resina furánica)	COSV no halogenado	Alta (0,8)	Soluble (0,8)	Alta (2)	Poco viscosa (1,25)	Media (0,9)
Catalizador líquido 1	Inorgánica	Baja (1)	Muy soluble (0,8)	Alta (2)	Poco viscosa (1,25)	Baja (1)
Catalizador líquido 2	COSV no halogenado	Alta (0,8)	Alta (0,8)	Alta (2)	Poco viscosa (1,25)	Media (0,9)
Resina fenólica	COSV no halogenado	Baja (1)	Muy soluble (0,8)	Alta (2)	Muy viscosa (1)	Media (0,9)
Aguas de extinción (resina fenólica)	COSV no halogenado	Baja (1)	Muy soluble (0,8)	Alta (2)	Poco viscosa (1,25)	Media (0,9)
Gasóleo	CONV	Media (0,9)	Poco soluble (0,9)	Alta (2)	Poco viscosa (1,25)	Baja (1)
Aguas de extinción (gasóleo)	CONV	Media (0,9)	Poco soluble (0,9)	Alta (2)	Poco viscosa (1,25)	Baja (1)

**Cuadro 2.** Valores de los modificadores del IDM según sustancia química. Fuente: Elaboración propia

Respecto a los daños ocasionados por agentes físicos (vertido de inertes y temperatura), únicamente el daño por temperatura exige llevar a cabo una caracterización del agente causante del daño. El Cuadro 3 recopila el valor del único modificador relativo al agente causante del daño que interviene en el IDM para estimar los daños por temperatura: la diferencia de temperatura entre el vertido y el medio receptor. Se ha estimado que esta diferencia estará comprendida entre los 20 y los 50°C, teniendo en cuenta que el agua del circuito de refrigeración alcanza valores máximos de unos 60°C y que el cauce fluvial donde potencialmente podría verse afectado raramente baja de los 10°C y nunca llega a los 40°C.

Sustancia	Agente IDM	Diferencia de temperatura
		M <sub>B4</sub>
Agua	Temperatura	Media (1,5)

**Cuadro 3.** Valores de los modificadores del IDM de agentes físicos. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, los incendios, en el marco del IDM, no precisan una caracterización del agente causante del daño sino únicamente del entorno en el que se ubica la instalación.

La identificación de los recursos naturales afectados y, con ello, las combinaciones agente-recurso a considerar dentro del marco de estimación del IDM, exige de un análisis de la posición relativa de los equipos y actividades presentes como fuentes de peligro respecto a los propios recursos naturales.

En la Figura 1 del presente caso práctico se ha recogido un esquema de la instalación y de la situación de los principales recursos naturales próximos a la misma. En virtud de este esquema y de consideraciones adicionales que se incluirán a continuación, las combinaciones agente-recurso relevantes para el presente caso práctico son las siguientes:

- **Grupo 2. Agua superficial – químicos.** Cualquier vertido de sustancias químicas líquidas que tenga lugar en la instalación y no sea contenido por los distintos sistemas de contención presentes en la misma acabará entrando en la red de pluviales que dispone la planta y, con ello, alcanzará a través de un colector una EDAR próxima a la instalación y que vierte en el mismo cauce con el que la industria limita al norte. De esta forma, ante un vertido que, total o parcialmente, no sea contenido en la instalación y, por ello, alcance la EDAR, y debido a que no es posible conocer cómo procederá la EDAR ante la llegada de un efluente para el que no dispone de equipos de depuración, se plantea la posibilidad, como opción conservadora, de que se proceda al vertido a cauce de dicho efluente. De esta forma, un vertido en la planta no contenido en la misma ocasionaría un daño a las aguas superficiales.  
El asfaltado de toda la superficie de la instalación y el buen estado del mismo impide una posible afección de sustancias químicas al suelo y, con ello, a las aguas subterráneas.
- **Grupo 16. Especies animales – químicos.** Debido a la presencia de fauna piscícola en el cauce próximo a la instalación, el daño a las aguas superficiales identificado anteriormente llevará consigo la afección por agente químico a especies animales, en este caso a los peces y a los anfibios, ya sean amenazados o no.
- **Grupo 4. Agua superficial y suelo – físicos (temperatura).** La rotura del sistema de refrigeración o un mal funcionamiento del mismo puede llevar al vertido de aguas calientes al cauce con parámetros superiores a los establecidos en la autorización de vertido. Se considera que este vertido de aguas calientes afectará de forma relevante al agua superficial y no al suelo.
- **Grupo 18. Especies animales – físico (temperatura).** De forma paralela a lo indicado en el caso de vertidos de sustancias químicas al agua superficial, un vertido de aguas calientes a un cauce llevará aparejado también un daño a las especies animales (peces y anfibios, ya sean amenazados o no) presentes en el cauce receptor.

- **Grupo 14. Especies vegetales no amenazadas y amenazadas – incendio.** La proximidad de una masa forestal al oeste de la instalación y la presencia de fuentes de peligro que implican un riesgo de incendio (transformador eléctrico, depósito de gasóleo y carga y descarga del mismo) hace necesario considerar la posibilidad de que un incendio originado en estos puntos pudiera superar los límites de la instalación y afectar a las especies vegetales que conforman la masa forestal.
- **Grupo 19. Especies animales – incendio.** Esta combinación agente-recurso se identifica de forma paralela al anterior Grupo 14, al considerar la posibilidad de que un incendio que se ocasionara en el límite occidental de la instalación pudiera extenderse fuera de la misma, alcanzar la masa forestal con la que limita y afectar a las especies animales presentes.
- **Grupo 8. Lecho continental y marino – físicos (inertes).** La proximidad del depósito de arenas de moldeo al cauce fluvial con el que la instalación limita al norte y su disposición elevada exige la consideración de que una rotura del depósito pudiera afectar al río y, debido a la densidad de las arenas, al lecho del mismo.

Finalmente, una vez identificados los recursos naturales que podrán verse afectados por los distintos escenarios de accidente definidos en el presente caso práctico, a continuación se recopilan los parámetros relativos a las características del medio ambiente en el que se sitúa la instalación.

La exposición de estos parámetros se realiza a partir de los multiplicadores A, B y C del Índice de Daño Medioambiental (IDM) y del valor de los distintos modificadores que en cada uno de ellos intervienen. El Reglamento establece, para cada combinación agente-recurso, aquellos modificadores que intervienen en la estimación semicuantitativa del daño medioambiental. En los cuadros siguientes se recopilan, para cada uno de estos modificadores, las características del territorio relacionadas, el valor del modificador y la fuente (bibliográfica, cartográfica, etc.) a la que se ha acudido para su cumplimentación.

El Cuadro 4 recopila los modificadores que intervienen en el cálculo del multiplicador A, que afecta al estimador del coste unitario del proyecto de reparación.

Parámetro	Modificador	Descripción	Valor
Tipo de vegetación	—	Arbolado. Bosque de ribera de chopo en estado latizal <sup>1</sup>	—
Densidad de la vegetación	M <sub>A1</sub>	La densidad de la masa es de 339 pies/ha <sup>1</sup>	1,00
Afección a un Espacio Natural Protegido	M <sub>A2</sub>	No <sup>1</sup>	1,00
Pedregosidad	M <sub>A3</sub>	No pedregoso <sup>2</sup>	1,00
Pendiente	M <sub>A4</sub>	Baja <sup>1</sup>	1,00

<sup>1</sup> Fuente: Visor MORA (<http://eportal.magrama.gob.es/mora/login.action>)

<sup>2</sup> Fuente: Observación directa del terreno

**Cuadro 4.** Valores de los modificadores del IDM que aplican sobre el multiplicador A, que afectan al coste unitario del proyecto de reparación. Fuente: Elaboración propia

Por su parte, el Cuadro 5 recoge los modificadores, relativos al entorno donde se ubica la instalación, que intervienen en el cálculo del multiplicador B, que afecta al estimador de la cantidad de receptor afectado.

Parámetro	Modificador	Descripción	Valor
Densidad de población	M <sub>B2</sub>	Este parámetro es objeto de exposición en un apartado específico dado que la densidad de población puede referirse a la población de diferentes especies <sup>1</sup>	—
Densidad de la vegetación	M <sub>B3</sub>	La densidad de la masa es de 339 pies/ha <sup>2</sup>	1,00
Diferencia de temperatura	M <sub>B4</sub>	La temperatura del agua del río se ha estimado en 15,11 °C. Considerando un vertido de agua caliente a 60 °C, la diferencia de temperatura ascendería a 44,89 °C <sup>3</sup>	1,50
Lago o embalse	M <sub>B5</sub>	No existe afección <sup>2</sup>	1,00
Pendiente	M <sub>B7</sub>	Baja <sup>2</sup>	0,50
Precipitación	M <sub>B10</sub>	La precipitación media anual se ha fijado en 1.507 mm <sup>4</sup>	0,50
Río	M <sub>B11</sub>	El caudal promedio del río se ha establecido en 8,98 m <sup>3</sup> /s <sup>5</sup>	1,50
Temperatura	M <sub>B13</sub>	La temperatura media anual se ha estimado en 13,5 °C <sup>4</sup>	1,00
Viento	M <sub>B16</sub>	Los datos indican que en la zona la velocidad del viento varía entre 0 y 12,5 m/s; si bien los valores más frecuentes oscilan entorno a 2,5 m/s <sup>6</sup>	1,00

<sup>1</sup> Fuente: Inventario Español de Especies Terrestres (<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-especies-terrestres/default.aspx>)

<sup>2</sup> Fuente: Visor MORA (<http://eportal.magrama.gob.es/mora/login.action>)

<sup>3</sup> Fuente: [http://servicios2.magrama.es/sia/visualizacion/lda/redes/superficiales\\_calidad\\_saica.jsp](http://servicios2.magrama.es/sia/visualizacion/lda/redes/superficiales_calidad_saica.jsp)

<sup>4</sup> Fuente: AEMET: Valores climatológicos normales (<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>)

<sup>5</sup> Fuente: Identificación de ríos en el visor MORA (<http://eportal.magrama.gob.es/mora/login.action>) y caudales tomados del anuario de aforos (<http://sig.magrama.es/aforos/visor.html>)

<sup>6</sup> Fuente: <http://www.globalwindmap.com/VisorCENER/mapviewer.jsf?width=973&height=845>

**Cuadro 5.** Valores de los modificadores del IDM que aplican sobre el multiplicador B, que afectan al estimador de la cantidad de receptor afectado. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el Cuadro 6 recoge los modificadores del multiplicador C, que afectan al estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación y depende de la combinación agente-recurso y de la duración estimada de los daños.

Parámetro	Modificador	Descripción	Valor
Duración estimada del daño por agentes químicos al agua superficial	M <sub>C1</sub>	Se ha estimado la duración de los daños en 18 meses acudiendo a MORA <sup>1</sup>	1,25
Duración estimada del daño por vertido de inertes al lecho del agua superficial	M <sub>C1</sub>	Se ha estimado la duración de los daños en 1 mes acudiendo a MORA <sup>1</sup>	1,00
Duración estimada del daño por temperatura al agua superficial	M <sub>C1</sub>	Se ha estimado la duración de los daños en 1 mes acudiendo a MORA <sup>1</sup>	1,00
Duración estimada del daño por incendio a arbolado joven (en estado latizal)	M <sub>C4</sub>	La masa de arbolado circundante se encuentra en estado latizal <sup>2</sup>	1,10
Duración estimada del daño a las especies animales	M <sub>C5</sub>	Se ha estimado que los daños producidos no afectarían de forma relevante a los mamíferos <sup>3</sup>	1,00

<sup>1</sup> Fuente: Selección de técnicas de reparación de MORA (<http://eportal.magrama.gob.es/mora/login.action>)

<sup>2</sup> Fuente: Visor MORA (<http://eportal.magrama.gob.es/mora/login.action>)

<sup>3</sup> Fuente: Inventario Español de Especies Terrestres (<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-especies-terrestres/default.aspx>)

**Cuadro 6.** Valores de los modificadores del IDM que aplican sobre el multiplicador C, que afectan al estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación. Fuente: Elaboración propia

En los dos cuadros anteriores se ha hecho referencia a modificadores del IDM relacionados con las especies animales, para cuya caracterización se ha recurrido al Inventario Español de Especies Terrestres (IEET), publicado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

El IEET ofrece un listado de las especies presentes en cada una de las celdas de 10 x 10 km en las que divide el territorio nacional. Dada la escala del IEET (precisión de 100 km<sup>2</sup>) no puede asumirse que la totalidad de las especies identificadas en este inventario existan en todos los puntos de cada celda. Por lo tanto, de entre el listado ofrecido por el IEET deben seleccionarse exclusivamente las especies que se considere que podrían sufrir un daño relevante atendiendo a la ubicación concreta de la instalación evaluada, a la localización estimada de los daños y a las hipótesis establecidas en el análisis de riesgos.

En este sentido, se considera que las especies de aves no sufrirán daños relevantes bajo las hipótesis establecidas en el presente análisis. En concreto, en el caso de los vertidos al río se considera que las aves no contactarían con el agente causante de daño o que, al menos, este contacto no ocasionaría un efecto relevante sobre estas especies. Por otra parte, en el caso de incendio se estima que las aves, dada su elevada movilidad, podrían escapar del mismo, no sufriendo sus efectos. Estas asunciones se reafirman por la ausencia de nidos en las proximidades de la instalación.

Por otra parte, se considera que los mamíferos no serían objeto de un daño relevante por incendio debido a su elevada movilidad y a la, al menos en principio, limitada extensión del incendio (la instalación se encuentra en un ámbito industrial con escasa superficie boscosa). De la misma forma, no se considera que el contacto de estas especies con el hipotético vertido ocasionado al río derivase



en un efecto relevante sobre las mismas a nivel de población. Esto es, si bien se acepta que podrían existir contactos puntuales de algunos individuos con el agua potencialmente contaminada se asume que estos contactos no influirían de forma relevante en el estado de las poblaciones.

Por último, se considera que las especies de flora no vascular y de invertebrados no serían objeto de una reparación específica. Esto es, se asume que las mismas se recuperarán en el momento en el que se repare el conjunto del hábitat (agua, suelo, vegetación, etc.).

En definitiva, y tal y como se recoge en la Tabla 14, se considera que únicamente anfibios, reptiles y peces continentales podrán verse afectados de forma relevante por los escenarios accidentales identificados en el presente análisis de riesgos.

Tipo especie	Especies amenazadas			Especies no amenazadas		Otras especies		Total general	Tipo de escenario al que se aplican
	Crítico (CR)	En peligro (EN)	Vulnerable (VU)	Casi amenazado (NT)	Preocupación menor (LC)	Sin datos	No evaluadas		
Anfibios y reptiles				1	14	2		17	Vertido al río de sustancias químicas Incendio
Peces continentales	1				5	2		8	Vertido al río de sustancias químicas
Total con daño relevante	1			1	19	4		25	

**Tabla 14.** Especies de anfibios, reptiles y peces continentales potencialmente afectados por un episodio accidental en la instalación del presente caso práctico. Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario Español de Especies Terrestres (IEET)

En el caso de los anfibios y reptiles, el IEET no identifica ninguna especie amenazada presente en la cuadrícula donde se ubica la instalación y en donde se generarían los daños medioambientales que por una condición anormal de funcionamiento en la misma pudieran causarse.

En un escenario de incendio, se ha considerado que se verían afectadas únicamente las especies de reptiles. Ante la ausencia de estudios sobre densidad de población de estas especies en el entorno de la instalación, y siguiendo un criterio de prudencia (y ante el hecho adicional de que se trata de distintas especies de reptiles presentes en el entorno de la instalación y potencialmente afectados por un incendio), se ha considerado que la población de reptiles es muy densa.

En caso de vertido al río, los daños medioambientales sobre las especies animales se ocasionarían sobre especies de anfibios y peces continentales.

Al igual que ocurría en el caso de los reptiles, todos los anfibios localizados por el IEET en la cuadrícula no se encuentran amenazados ni se han encontrado estudios sobre densidad de población de los mismos en el entorno de la instalación. Aplicando el mismo criterio de prudencia que el aplicado en el caso de los reptiles, se ha considerado que la población de anfibios es muy densa.

Por su parte, en el caso de los peces continentales existe en el entorno de la instalación, según el IEET, una especie en peligro crítico (la anguila o *Anguilla anguilla*) y otras especies no amenazadas.

En el caso de los peces continentales no amenazados, se ha seguido el mismo criterio que el aplicado a los reptiles y anfibios no amenazados: se considera que la población de peces

continentales no amenazados es muy densa, siguiendo un criterio de prudencia y considerando la presencia de varias especies en el entorno de la instalación.

Finalmente, en cuanto a *Anguilla anguilla*, los muestreos realizados en el marco del *Estudio de Calidad de los Ríos de Gipuzkoa. Año 2014* (EKOLUR, 2014) indican que la densidad de anguilas en la zona de la instalación se encuentra en la media de los valores arrojados por las estaciones disponibles en el conjunto de la región; si bien en algunos cauces o tramos de cauces se alcanzan densidades de varios miles de individuos por hectárea y en otros la anguila no se encuentra presente, en el lugar donde se produce el vertido en el presente caso práctico puede considerarse una densidad media de anguilas.

El Cuadro 7 recopila estos criterios empleados para la determinación de la densidad de población de las especies animales que podrían verse afectadas por una mala operación de la instalación objeto de estudio.

Agente	Grupos de especies potencialmente afectados	Categoría de amenaza	Especie de referencia	Nombre común	Categoría de amenaza	Densidad de población	Descripción	M <sub>B2</sub>
Químico	Anfibios	No amenazadas	Especies generalistas	-	-	Alta	No se dispone de inventarios específicos que ofrezcan la densidad de anfibios de la zona. Dado que se trata de especies generalistas (no amenazadas) se asume que en la zona existen poblaciones elevadas. De esta forma, se sitúa el estudio del lado de la precaución al prever las peores consecuencias <sup>1</sup>	2,00
	Peces	Amenazadas	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguila	En peligro crítico (CR)	Media	La estación de muestreo de anguila más próxima a la zona hipotéticamente afectada arroja unos valores de densidad situados en la media de los ofrecidos por las restantes estaciones de muestreo existentes en la región <sup>2</sup>	1,50
		No amenazadas	Especies generalistas	-	-	Alta	No se dispone de inventarios específicos que ofrezcan la densidad de peces de la zona. Dado que se trata de especies generalistas (no amenazadas) se asume que en la zona existen poblaciones elevadas. De esta forma, se sitúa el estudio del lado de la precaución al prever las peores consecuencias <sup>1</sup>	2,00
Incendio	Reptiles	No amenazadas	Especies generalistas	-	-	Alta	No se dispone de inventarios específicos que ofrezcan la densidad de peces de la zona. Dado que se trata de especies generalistas (no amenazadas) se asume que en la zona existen poblaciones elevadas. De esta forma, se sitúa el estudio del lado de la precaución al prever las peores consecuencias <sup>1</sup>	2,00

<sup>1</sup> Fuente: Criterio experto

<sup>2</sup> Fuente: EKOLUR (2014) (<http://www4.gipuzkoa.net/oohh/web/estudios/C0000002.pdf>)

**Cuadro 7.** Criterios considerados para la determinación de la densidad de población de las especies presentes en el entorno de la instalación que pueden verse potencialmente afectadas por un accidente en la misma.

Fuente: Elaboración propia

Con los datos recogidos en los Cuadros 2, 3, 4, 5, 6 y 7, además del dato de cantidad de agente causante del daño (en su caso) recogido en la Tabla 13 para cada escenario accidental considerado como relevante, es posible estimar el valor del Índice de Daño Medioambiental de cada escenario accidental.

El Anejo A.V del presente caso práctico recoge el valor de los modificadores que intervienen en el cálculo del IDM para cada escenario accidental relevante. Por su parte, la Tabla 15 recopila el valor del IDM de cada escenario accidental, indicándose además, a modo informativo, el tipo de accidente al que puede adscribirse cada escenario accidental.

Código escenario accidental	Tipo de accidente	Índice de Daño Medioambiental (IDM)
S.M.1 / E.1.8(a)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	136.187,26
S.M.1 / E.1.8(b)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	139.208,31
S.M.1 / E.1.8(c)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	136.187,26
S.M.2 / E.2.3	Incendio en la instalación y aguas de extinción contaminadas que alcanzan al río	312.637,35
S.A.1y2 / E.1.6(a)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	313.844,73
S.A.1y2 / E.1.8(a)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	329.368,20
S.A.1y2 / E.1.6(b)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	361.318,34
S.A.1y2 / E.1.8(b)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	380.726,01
S.A.1y2 / E.1.6(c)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	313.844,73
S.A.1y2 / E.1.8(c)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	329.368,20
S.A.3y4 / E.2.3	Incendio en la instalación y aguas de extinción contaminadas que alcanzan al río	638.112,72
S.A.5y6 / E.1.8(a)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	141.361,75
S.A.7y8 / E.2.3	Incendio en la instalación y aguas de extinción contaminadas que alcanzan al río	172.926,14
S.A.10 / E.2.3	Incendio en la instalación y aguas de extinción contaminadas que alcanzan al río	710.555,57
S.A.11y12 / E.4.1	Vertido de inertes a lecho continental	6.199,44
S.A.11y12 / E.4.2	Vertido de inertes a lecho continental	9.124,17
S.C.5 / E.1.6	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	221.085,07
S.C.5 / E.1.8	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	238.539,96
S.C.6 / E.2.3	Incendio que se extiende fuera de la instalación y aguas de extinción que alcanzan al río	175.677,89
S.TA.7y8 / E.1.6	Vertido de aguas calientes que alcanza al río	39.462,39
S.TA.7y8 / E.1.8	Vertido de aguas calientes que alcanza al río	44.308,75
S.TR.2 / E.2.3	Incendio que se extiende fuera de la instalación	22.472,95
S.CD.2 / E.2.2(a)	Incendio en la instalación y aguas de extinción contaminadas que alcanzan al río	248.991,13
S.CD.2 / E.2.3(a)	Incendio en la instalación y aguas de extinción contaminadas que alcanzan al río	559.460,49
S.CD.2 / E.2.2 y E.2.3(b)	Incendio que se extiende fuera de la instalación	44.945,89
S.TB.1y2 / E.1.6(a)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	132.737,60
S.TB.1y2 / E.1.8(a)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	148.261,07
S.TB.1y2 / E.1.6(b)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	134.895,50
S.TB.1y2 / E.1.8(b)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	154.303,17
S.TB.1y2 / E.1.6(c)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	132.737,60
S.TB.1y2 / E.1.8(c)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	148.261,07
S.TB.1y2 / E.1.8(d)	Vertido de sustancias químicas que alcanza al río	143.517,79
S.TB.3y4 / E.2.3	Incendio en la instalación y aguas de extinción contaminadas que alcanzan al río	594.991,98
S.TB.7y8 / E.2.3	Incendio en la instalación y aguas de extinción contaminadas que alcanzan al río	710.555,57

**Tabla 15.** Índice de Daño Ambiental (IDM) de cada escenario accidental relevante. Fuente: Elaboración propia

## IX. ESTIMACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A CADA ESCENARIO

El artículo 33 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental exige la estimación del riesgo como etapa intermedia para la selección del escenario de referencia, del cual se procederá a cuantificar y monetizar los daños medioambientales que se generan en el mismo para establecer la cuantía de la garantía financiera obligatoria. Este riesgo se define como el producto entre la probabilidad de ocurrencia del escenario y el Índice de Daño Medioambiental asociado al escenario.

La Tabla 16 recoge el cálculo del riesgo medioambiental de cada escenario identificado como relevante en el presente análisis de riesgos.

## X. SELECCIÓN DEL ESCENARIO ACCIDENTAL DE REFERENCIA

Una vez estimado el riesgo medioambiental de cada escenario accidental relevante, la selección del escenario de referencia se realiza escogiendo el escenario con menor IDM de entre los que concentran el 95% del riesgo total de la instalación.

Para ello, se procede a ordenar los escenarios accidentales relevantes en sentido decreciente de IDM y se selecciona aquel a partir del cual se concentra más del 95% del riesgo medioambiental total de la instalación.

La Tabla 17 desarrolla este procedimiento de selección del escenario de referencia. En el caso del presente caso práctico, el escenario de referencia seleccionado es el S.A.1y2 / E.1.8(c), caracterizado por el vertido de 11,90 m<sup>3</sup> de catalizador líquido 2; este vertido, a través de la red de drenaje de la instalación, llega a la EDAR que procesa las aguas pluviales generadas por la misma. Ante la incertidumbre respecto a la reacción de los gestores de la EDAR por la llegada a la misma de un *influyente* alejado de la capacidad de tratamiento de la depuradora, se asume como probable el peor escenario posible: que la EDAR, con el fin de no comprometer su proceso de depuración, derive el vertido ocasionado en la instalación al río, con lo que dicho vertido alcanza el cauce fluvial y genera un daño medioambiental al agua y a los seres vivos presentes en ella.

La cuantía de la garantía financiera obligatoria que deberá cubrir el operador de la instalación se estimará a partir de la cuantificación y monetización del daño ocasionado por este escenario de referencia: el S.A.1y2 / E.1.8(c). Los siguientes capítulos de este apéndice proceden a describir el proceso de cuantificación y monetización del daño medioambiental asociado a este escenario accidental.

Código escenario accidental	Índice de Daño Medioambiental (IDM)	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)	Riesgo
S.M.1 / E.1.8(a)	136.187,26	2,50E-06	0,3404681583
S.M.1 / E.1.8(b)	139.208,31	2,50E-06	0,3480207775
S.M.1 / E.1.8(c)	136.187,26	2,50E-06	0,3404681583
S.M.2 / E.2.3	312.637,35	2,43E-07	0,0759708755
S.A.1y2 / E.1.6(a)	313.844,73	1,10E-09	0,0003452292
S.A.1y2 / E.1.8(a)	329.368,20	1,10E-09	0,0003623050
S.A.1y2 / E.1.6(b)	361.318,34	2,55E-08	0,0092136175
S.A.1y2 / E.1.8(b)	380.726,01	2,55E-08	0,0097085132
S.A.1y2 / E.1.6(c)	313.844,73	2,55E-08	0,0080030406
S.A.1y2 / E.1.8(c)	329.368,20	2,55E-08	0,0083988890
S.A.3y4 / E.2.3	638.112,72	1,07E-10	0,0000682270
S.A.5y6 / E.1.8(a)	141.361,75	1,01E-07	0,0142068561
S.A.7y8 / E.2.3	172.926,14	3,89E-09	0,0006726827
S.A.10 / E.2.3	710.555,57	5,35E-07	0,3798630095
S.A.11y12 / E.4.1	6.199,44	4,51E-06	0,0279532888
S.A.11y12 / E.4.2	9.124,17	5,01E-07	0,0045712115
S.C.5 / E.1.6	221.085,07	5,00E-10	0,0001105425
S.C.5 / E.1.8	238.539,96	5,00E-10	0,0001192700
S.C.6 / E.2.3	175.677,89	1,62E-10	0,0000284598
S.TA.7y8 / E.1.6	39.462,39	2,71E-04	10,6804958535
S.TA.7y8 / E.1.8	44.308,75	2,71E-04	11,9921621049
S.TR.2 / E.2.3	22.472,95	7,29E-04	16,3827783630
S.CD.2 / E.2.2(a)	248.991,13	1,22E-07	0,0304944416
S.CD.2 / E.2.3(a)	559.460,49	1,36E-08	0,0076131383
S.CD.2 / E.2.2 y E.2.3(b)	44.945,89	1,94E-07	0,0087374818
S.TB.1y2 / E.1.6(a)	132.737,60	1,66E-06	0,2203444223
S.TB.1y2 / E.1.8(a)	148.261,07	1,66E-06	0,2453720736
S.TB.1y2 / E.1.6(b)	134.895,50	2,21E-06	0,2981190440
S.TB.1y2 / E.1.8(b)	154.303,17	2,21E-06	0,3402384832
S.TB.1y2 / E.1.6(c)	132.737,60	2,21E-06	0,2933501044
S.TB.1y2 / E.1.8(c)	148.261,07	2,21E-06	0,3269156630
S.TB.1y2 / E.1.8(d)	143.517,79	5,51E-06	0,7900654328
S.TB.3y4 / E.2.3	594.991,98	1,61E-08	0,0095713980
S.TB.7y8 / E.2.3	710.555,57	2,57E-06	1,8267957459

**Tabla 16.** Valores de riesgo para cada escenario accidental. Fuente: Elaboración propia

Código escenario accidental	Probabilidad de ocurrencia del escenario accidental (veces/año)	Índice de Daño Medioambiental (IDM)	Riesgo	Riesgo relativo (%)	Riesgo relativo acumulado (%)
S.A.10 / E.2.3	5,35E-07	710.555,57	0,3798630	0,84%	100,000%
S.TB.7y8 / E.2.3	2,57E-06	710.555,57	1,8267957	4,06%	99,156%
S.A.3y4 / E.2.3	1,07E-10	638.112,72	0,0000682	0,00%	95,099%
S.TB.3y4 / E.2.3	1,61E-08	594.991,98	0,0095714	0,02%	95,099%
S.CD.2 / E.2.3(a)	1,36E-08	559.460,49	0,0076131	0,02%	95,077%
S.A.1y2 / E.1.8(b)	2,55E-08	380.726,01	0,0097085	0,02%	95,060%
S.A.1y2 / E.1.6(b)	2,55E-08	361.318,34	0,0092136	0,02%	95,039%
S.A.1y2 / E.1.8(a)	1,10E-09	329.368,20	0,0003623	0,00%	95,018%
<b>S.A.1y2 / E.1.8(c)</b>	<b>2,55E-08</b>	<b>329.368,20</b>	<b>0,0083989</b>	<b>0,02%</b>	<b>95,018%</b>
S.A.1y2 / E.1.6(a)	1,10E-09	313.844,73	0,0003452	0,00%	94,999%
S.A.1y2 / E.1.6(c)	2,55E-08	313.844,73	0,0080030	0,02%	94,998%
S.M.2 / E.2.3	2,43E-07	312.637,35	0,0759709	0,17%	94,980%
S.CD.2 / E.2.2(a)	1,22E-07	248.991,13	0,0304944	0,07%	94,812%
S.C.5 / E.1.8	5,00E-10	238.539,96	0,0001193	0,00%	94,744%
S.C.5 / E.1.6	5,00E-10	221.085,07	0,0001105	0,00%	94,744%
S.C.6 / E.2.3	1,62E-10	175.677,89	0,0000285	0,00%	94,743%
S.A.7y8 / E.2.3	3,89E-09	172.926,14	0,0006727	0,00%	94,743%
S.TB.1y2 / E.1.8(b)	2,21E-06	154.303,17	0,3402385	0,76%	94,742%
S.TB.1y2 / E.1.8(a)	1,66E-06	148.261,07	0,2453721	0,55%	93,986%
S.TB.1y2 / E.1.8(c)	2,21E-06	148.261,07	0,3269157	0,73%	93,441%
S.TB.1y2 / E.1.8(d)	5,51E-06	143.517,79	0,7900654	1,75%	92,715%
S.A.5y6 / E.1.8(a)	1,01E-07	141.361,75	0,0142069	0,03%	90,960%
S.M.1 / E.1.8(b)	2,50E-06	139.208,31	0,3480208	0,77%	90,928%
S.M.1 / E.1.8(a)	2,50E-06	136.187,26	0,3404682	0,76%	90,155%
S.M.1 / E.1.8(c)	2,50E-06	136.187,26	0,3404682	0,76%	89,399%
S.TB.1y2 / E.1.6(b)	2,21E-06	134.895,50	0,2981190	0,66%	88,643%
S.TB.1y2 / E.1.6(a)	1,66E-06	132.737,60	0,2203444	0,49%	87,981%
S.TB.1y2 / E.1.6(c)	2,21E-06	132.737,60	0,2933501	0,65%	87,491%
S.CD.2 / E.2.2 y E.2.3(b)	1,94E-07	44.945,89	0,0087375	0,02%	86,840%
S.TA.7y8 / E.1.8	2,71E-04	44.308,75	11,9921621	26,64%	86,820%
S.TA.7y8 / E.1.6	2,71E-04	39.462,39	10,6804959	23,72%	60,184%
S.TR.2 / E.2.3	7,29E-04	22.472,95	16,3827784	36,39%	36,461%
S.A.11y12 / E.4.2	5,01E-07	9.124,17	0,0045712	0,01%	0,072%
S.A.11y12 / E.4.1	4,51E-06	6.199,44	0,0279533	0,06%	0,062%

**Tabla 17.** Selección del escenario accidental de referencia. Fuente: Elaboración propia

## XI. DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL DAÑO ASOCIADO AL ESCENARIO ACCIDENTAL DE REFERENCIA

Una vez seleccionado el escenario de referencia —en este caso, el S.A.1y2 / E.1.8(c), que se define como un vertido de 11,9 m<sup>3</sup> de catalizador líquido 2 que llega al río—, el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental exige la cuantificación del daño y, posteriormente, su monetización.

Atendiendo al artículo 11 del Reglamento, para la cuantificación del daño “los operadores identificarán, describirán y evaluarán la extensión, la intensidad y la escala temporal del daño”. En los siguientes apartados se procede al tratamiento de cada uno de estos parámetros necesarios para la cuantificación del daño.

De forma previa al análisis de la extensión, intensidad y escala temporal del daño medioambiental, se procede a continuación a describir de forma más detallada el ambiente en el que se produce el daño y las condiciones en las que se produce el vertido.

El vertido de 11,9 m<sup>3</sup> de catalizador líquido 2 (un ácido orgánico empleado como catalizador en el proceso de moldeo químico) acaba contaminando un cauce fluvial cuyas características relevantes para la cuantificación del daño se recogen en la Tabla 18.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal del río	8,98	m <sup>3</sup> /s
Velocidad del agua en el cauce del río	0,50	m/s
Anchura del río en las proximidades del vertido	15,00	m
Distancia desde el punto de vertido hasta el límite mareal	8,00	km
Anchura media del río desde el punto de vertido hasta el límite mareal	53,00	m
Profundidad media del río desde el punto de vertido hasta el límite mareal	2,00	m

**Tabla 18.** Parámetros del cauce fluvial relevantes para la cuantificación del daño. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Anuario de Aforos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y de Sistemas de Información Geográfica

Por otra parte, el vertido se realiza a través de la EDAR a la que llega la sustancia contaminante y que, como se ha comentado anteriormente, vierte dicha sustancia al río ante la imposibilidad de tratarla sin comprometer su capacidad de depuración. La EDAR tiene una capacidad de vertido de 150 l/s, dato localizado en la página web de la depuradora que sirve a la instalación.



Por último, la solubilidad del catalizador líquido 2 en agua se ha determinado como alta, por lo que el vertido acabará disuelto en el agua del río en su totalidad. Se han localizado en distintas fichas de seguridad dos CTD relevantes para la cuantificación del daño: un LC50 de 100 mg/l para peces (daño agudo) y un PNEC de 0,073 mg/l para el agua dulce (que se aplicará tanto a peces como a anfibios); ante la ausencia de un dato sobre NOEC o NOAEL para la sustancia involucrada en el escenario accidental, que permitirían delimitar los daños crónicos, y siguiendo un criterio de precaución, se propone emplear para los daños a la ictiofauna un porcentaje de afectación del 10%, límite superior de los daños potenciales según el Reglamento.

### **XI.1. EXTENSIÓN DEL DAÑO MEDIOAMBIENTAL**

El vertido al río de 11,9 m<sup>3</sup> de catalizador líquido 2 producirá un daño medioambiental al recurso agua y al recurso especies silvestres (en concreto, peces continentales y anfibios).

Las características del entorno en el que se produce el vertido reducen las posibilidades de proceder a una reparación del recurso agua: una distancia al mar de 8 km y una velocidad del agua en el cauce de 0,5 m/s indican que en casi 4 horas y media el vertido llega al mar, donde la masa de agua diluirá el contaminante hasta niveles de concentración que no generan daño medioambiental. De forma adicional, no existen entre el punto de vertido y el límite mareal ninguna infraestructura que pudiera facilitar la contención del agua (presas, azudes, etc.). En definitiva, ante la ausencia de infraestructuras de contención y considerando que el tiempo de reacción para construir una de ellas sería sensiblemente superior a esas 4 horas y media, no se considera realista plantear, en este caso práctico, técnicas de tratamiento, confiando por tanto, para este caso y recurso, en la recuperación natural.

En consecuencia, el volumen aproximado de agua del río que se verá contaminada de una u otra forma serán unos 848.000 m<sup>3</sup>, resultado de multiplicar la longitud (8 km, desde el punto de vertido hasta el límite mareal), la anchura media (53 m) y la profundidad media (2 m).

Respecto a daños a las especies silvestres, se han localizado datos sobre densidad de ictiofauna en las proximidades del punto de vertido y sobre densidad de herpetofauna en ambientes similares, por lo que es posible estimar el número de individuos que podrían verse afectados por un vertido como el del escenario de referencia.

Tal y como se argumentará en páginas siguientes, cuando se trate la denominada intensidad del daño, se han identificado tres zonas de afección de la contaminación a la ictiofauna:

- Zona de afección letal. Es la superficie de río más afectada por la contaminación antes de que ésta se diluya por la solubilidad del compuesto.
- Zona de afección aguda. En esta zona, el compuesto se ha diluido en las aguas del río pero no lo suficiente como para que su concentración no afecte de forma intensa a la ictiofauna; no

ha podido evaluarse los daños agudos a anfibios por ausencia de umbrales de toxicidad para los mismos.

- Zona de afección potencial. El compuesto se ha diluido tanto que ya no produce daño inmediato en la mayoría de la ictiofauna y de la herpetofauna, pero aún aparece en concentraciones con potenciales efectos en los peces y anfibios presentes en el cauce.

La cuantificación del daño medioambiental a especies silvestres se realiza estimando el número de individuos afectados por el daño medioambiental; para ello, se emplearán los datos de densidades que se recogen en la Tabla 19.

Grupo taxonómico	Especie	Valor (ind/ha)	Fuente
Peces	Varias especies	5.940,00	EKOLUR (2014)
Anfibios	<i>Rana temporaria</i>	3,63	[1]
	<i>Pelophylax perezi</i>	4,00	Onrubia <i>et al.</i> (2003)
	<i>Alytes obstetricans</i>	12,57	Onrubia <i>et al.</i> (2003) y Belamendia (2010)
	<i>Rana perezi</i>	3,25	Onrubia <i>et al.</i> (2003)
	<i>Lissotriton helveticus</i>	3,30	Onrubia <i>et al.</i> (2003)
	<i>Salamandra salamandra</i>	1,90	Gosá <i>et al.</i> (2009)

**Tabla 19.** Densidades de especies presentes en el punto de vertido. Fuentes: Elaboración propia a partir de las fuentes indicadas en la tabla. [1] Dada la ausencia de datos para esta especie se ha tomado como referencia el promedio de *Pelophylax perezi* y *Rana perezi*

A continuación se procede a desarrollar los cálculos para cada una de las tres zonas identificadas anteriormente.

#### Daños medioambientales en la zona de afección letal

Con un caudal de vertido de 150 l/s, los 11,9 m<sup>3</sup> de catalizador líquido 2 tardan unos 80 segundos en ser vertidos en su totalidad al río. En este tiempo, el agua del río recorre unos 40 metros (0,5 m/s de velocidad del agua). Por otra parte, la anchura del río en el punto de vertido es de unos 15 m, lo que ofrece una superficie de río afectado de unos 600 m<sup>2</sup>. Teniendo en cuenta una densidad de individuos de casi 6.000 N/ha, el número de peces afectado por el vertido en primera instancia es de unos 360.

Debido a la elevada concentración del compuesto en esta zona, y adoptando un criterio conservador, se considera que se produce una mortandad del 100% en la misma, por lo que el daño medioambiental que se produce en esta zona debido al vertido se cuantifica en 360 individuos de ictiofauna.

En el caso de los anfibios, la densidad es mucho menor y el número de individuos afectados en ese tramo de 40 metros de río ascendería a 2, sumando el de todas las especies de este grupo taxonómico.

### **Daños medioambientales en la zona de afección aguda**

Para la estimación del daño medioambiental a peces en la zona de afección aguda, se ha estimado, en primer lugar, el volumen de agua necesario para diluir el compuesto por debajo del LC50 identificado en la literatura (100 mg/l); los 11,9 m<sup>3</sup> (que, dada la densidad de esta sustancia, 1,345 g/cm<sup>3</sup>, equivalen a 16.005,50 kg) de catalizador líquido 2 precisan de un volumen de 160.055 m<sup>3</sup> para encontrarse en una concentración inferior a 100 mg/l.

Asumiendo una profundidad media del río de 2 m, la superficie de masa de agua afectada por una concentración aguda es de unas 8 hectáreas; en esta superficie, y empleando para ello la misma densidad de ictiofauna, se encuentran un total de 48.000 peces.

Tal y como se indica en el artículo 2 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, los efectos agudos suponen un nivel de afección de, al menos, el 50% de la población expuesta al agente causante del daño; es decir, en este caso se considera que el vertido supone la muerte de 24.000 peces.

Este nivel de contaminación, suponiendo una anchura media del río de 53 m, hace que la pluma de contaminación con un grado de intensidad agudo se extienda por unos 1.500 m del cauce; en unos 50 minutos, el vertido se ha diluido desde una concentración letal hasta el límite del carácter agudo.

La ausencia de LC50 para el caso de los anfibios impide la evaluación de los daños agudos a los mismos.

### **Daños medioambientales en la zona de afección potencial**

Ante la ausencia de umbrales de toxicidad NOEC o NOAEL, y la imposibilidad, por ello, de evaluar los daños crónicos que este episodio de contaminación pudiera causar, y aplicando un criterio de prudencia, se ha empleado el umbral de toxicidad PNEC de 0,073 mg/l para estimar los daños en la zona de afección potencial tanto a peces como a anfibios, aplicando el límite superior (10%) de población afectada que se indica en el artículo 2 del Reglamento para daños potenciales.

Para ello, se procede de manera similar a lo realizado en la zona de afección aguda: se estima el volumen de agua necesario para diluir el vertido por debajo del umbral de toxicidad del PNEC. El volumen de vertido y el bajo umbral de toxicidad hacen que este volumen roce los 200 millones de metros cúbicos o, en términos del cauce afectado por el vertido, una longitud del cauce de más de 2.000 km. Es decir, el vertido alcanza el límite mareal con una concentración que supera el PNEC y que, en términos del presente caso práctico, supone un impacto de carácter potencial. En total, unos 6,5 km del río (8 km de río hasta el límite mareal, a los que hay que restar los 40 m de afección letal y los 1,5 km de afección aguda) se verán afectados por este nivel de contaminación en el caso de los

daños a los peces; en el caso de los anfibios, esta distancia asciende a 7.960 m (8 km de cauce hasta la desembocadura, a los que hay que restar los 40 metros de afección letal).

Para el caso de los peces, la superficie afectada por este nivel de contaminación asciende a unas 34 hectáreas, en las cuales pueden encontrarse unos 204.000 peces. Como se ha comentado anteriormente, y recurriendo al artículo 2 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, se ha asumido que dicho nivel de contaminación afecta de manera letal al 10% de la población de peces. En definitiva, unos 20.400 peces mueren en esta zona de afección crónica.

En el caso de los anfibios, la superficie afectada asciende a unas 42 hectáreas (7.960 metros de cauce por una anchura media de 53 m); aplicando las densidades de anfibios de la Tabla 19 y el citado 10% de población de anfibios afectados de manera letal por daños potenciales, el número de individuos de anfibios que mueren por el episodio de contaminación asciende a unos 120.

En total, y redondeando los números que se han obtenido respecto a mortalidad de ictiofauna, puede afirmarse que el vertido de 11,9 m<sup>3</sup> de catalizador líquido 2 al río supone la muerte de unos 45.000 peces y unos 125 individuos de distintas especies de anfibios.

## **XI.2.INTENSIDAD DEL DAÑO MEDIOAMBIENTAL**

En los cálculos realizados para el cálculo de la extensión del daño se han apuntado ya los tres niveles de intensidad del daño medioambiental que se generan por el vertido de 11,9 m<sup>3</sup> de catalizador líquido 2 al río:

- **Zona de afección letal.** En los primeros 80 segundos de vertido o 40 metros de cauce se produce un impacto de nivel letal, en el que muere el 100% de la población de ictiofauna y herpetofauna presente en ese tramo del río.
- **Zona de afección aguda.** Conociendo un umbral de toxicidad LC50 de 100 mg/l para la ictiofauna, se precisan de poco más de 1,5 km de río para que la mezcla y solución del contaminante en el agua del río hagan descender el nivel de concentración por debajo del nivel de concentración que produce efectos agudos. Se considera que en este tramo del río de 1,5 km se produce una mortandad del 50% de la población de ictiofauna presente en el mismo.
- **Zona de afección potencial.** Finalmente, en los restantes 6,5 km de río hasta la desembocadura del mismo en el mar el compuesto alcanza niveles de contaminación con efectos potenciales para la ictiofauna. Se ha empleado para este nivel de contaminación, siguiendo un criterio de prudencia y ante la ausencia de valores de NOEC y NOAEL para el contaminante vertido, un PNEC de 0,073 mg/l. Debido a la imposibilidad de evaluar los

efectos crónicos, y sin ignorar el criterio de prudencia, se ha escogido un nivel de mortalidad del 10% de la población expuesta, el nivel más elevado del propuesto por el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental en su artículo 2 para los daños potenciales.

Para anfibios, se ha empleado el mismo PNEC y el mismo porcentaje de población expuesta; en este caso, y ante la imposibilidad de evaluar la afección aguda a este taxón por ausencia de LC50, la extensión del cauce en el que los anfibios se verán afectados por una afección potencial es de 7.960 m.

### XI.3. ESCALA TEMPORAL DEL DAÑO MEDIOAMBIENTAL

El estudio de la escala temporal del daño, atendiendo a las exigencias derivadas del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, ha de incluir los siguientes aspectos:

- a) **Duración del daño.** La duración del daño al agua termina una vez la contaminación llega al mar, es decir, al cabo de unas 4 horas y media, aproximadamente. Por su parte, en el caso de los daños a las especies silvestres (peces y anfibios), MORA ofrece una duración estimada del daño de 6 meses.
- b) **Frecuencia del daño.** La frecuencia del daño es igual a la probabilidad de ocurrencia del escenario accidental del cual deriva el daño medioambiental:  $2,55 \times 10^{-8}$  veces al año.
- c) **Reversibilidad del daño.** Las características del escenario evaluado permiten considerar al escenario como reversible, es decir, un vertido de catalizador líquido 2 al río podría repararse en un plazo de tiempo razonable y con un coste de reparación proporcionado.

### XI.4. SIGNIFICATIVIDAD DEL DAÑO MEDIOAMBIENTAL

La cuantificación del daño medioambiental realizada en páginas previas ha determinado que el daño se considera significativo, siendo necesario de esta forma proceder a la reparación primaria de los siguientes recursos y cantidades:

- 848.000 m<sup>3</sup> de agua superficial continental. Las características del punto donde se produce el vertido y del cauce que lo soporta sugieren una reparación por recuperación natural.
- Muerte de 45.000 peces continentales.
- Muerte de 125 anfibios.

## XII. MONETIZACIÓN DEL DAÑO ASOCIADO AL ESCENARIO ACCIDENTAL DE REFERENCIA

El daño medioambiental que ocasionaría el escenario de referencia S.A.1y2 / E.1.8(c) —vertido de 11,9 m<sup>3</sup> de catalizador líquido 2 al río— se ha valorado económicamente empleando el Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA), disponible de forma pública y gratuita a través de la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). El Anejo A.VI del presente caso práctico recoge el informe de valoración obtenido, si bien se recogen los principales resultados en la siguiente Tabla 20.

Medida reparadora	Tipo de daño	Valor (€)
Reparación primaria	COSV no halogenados biodegradables en Agua superficial continental	15.284,94
	COSV no halogenados biodegradables en Otros Peces continentales (Muerte)	901.578,63
	COSV no halogenados biodegradables en Otros Anfibios continentales (Muerte)	39.169,67
<b>Total Primaria</b>		<b>956.033,24</b>
Reparación compensatoria	COSV no halogenados biodegradables en Agua superficial continental	78.644,95
	COSV no halogenados biodegradables en Otros Peces continentales (Muerte)	31.833,98
	COSV no halogenados biodegradables en Otros Anfibios continentales (Muerte)	25.566,57
<b>Total Compensatoria</b>		<b>136.045,50</b>
<b>Total medidas reparadoras</b>		<b>1.092.078,74</b>

**Tabla 20.** Resultado de la aplicación MORA para el escenario de referencia. Fuente: Elaboración propia a partir de la aplicación informática MORA

Tal y como se recoge en la Tabla 20, la reparación primaria se valora en 956.033,24 €, mientras que las reparaciones compensatorias ascienden a 136.045,50 €.

### **XIII.EVALUACIÓN DE LA NECESIDAD DE CONSTITUIR UNA GARANTÍA FINANCIERA**

La nueva redacción del artículo 37 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental establece que los operadores incluidos en los siguientes tres ámbitos deberán constituir una garantía financiera obligatoria por responsabilidad medioambiental:

- 1) Las actividades e instalaciones sujetas al ámbito de aplicación del Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, 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.

Debido a las características y actividades que se desarrollan en la instalación, ésta se encuentra sujeta al punto 2 anterior, es decir, es una instalación IPPC, por lo que, en virtud del Reglamento de

desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, ha de constituir una garantía financiera obligatoria.

Sin embargo, el artículo 28 de la Ley de Responsabilidad Medioambiental establece que aquellos operadores adheridos con carácter permanente y continuado al sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS) o al sistema de gestión medioambiental UNE-EN ISO 14001 vigente y cuya reparación de daños medioambientales se evalúe en una cantidad comprendida entre los 300.000 y los 2.000.000 € quedarán exentos de constituir una garantía financiera obligatoria.

Atendiendo al artículo 33 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, al coste de reparación primaria (956.033,24 €) han de añadirse los costes de prevención y evitación que, como mínimo, serán el 10% del coste de reparación primaria (95.603,32 €). De esta forma, la cuantía de la garantía financiera obligatoria, en caso de ser necesaria su constitución, se establece en 1.051.636,56 € (ver Tabla 21).

Concepto	Valor (€)
Prevención y evitación	95.603,32
Reparación primaria	956.033,24
<b>Garantía financiera</b>	<b>1.051.636,56</b>
Reparación compensatoria	136.045,50
<b>Valor total del daño</b>	<b>1.187.682,06</b>

**Tabla 21.** Importe de la garantía financiera y del valor total del daño. Fuente: Elaboración propia a partir de la aplicación informática MORA

En definitiva, la instalación descrita en el presente caso práctico estaría exenta de constituir una garantía financiera obligatoria, pues puede acogerse a las exenciones establecidas en la Ley de Responsabilidad Medioambiental: se ha estimado para la instalación un valor de los daños y de los costes de prevención y evitación comprendido entre los 300.000 y los 2.000.000 euros y tiene implantado un sistema de gestión medioambiental a través de la norma UNE-EN ISO 14001.

No obstante, la actividad de la fundición se encuentra entre las actividades incluidas en el Anexo III de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, por lo que sus instalaciones serán responsables de los daños medioambientales y de las amenazas inminentes de tales daños que pudieran ocasionar, aunque no exista dolo, culpa o negligencia. De esta forma, como medida de gestión del riesgo y ante la responsabilidad objetiva a la que se ve sujeto, el operador, a pesar de estar exento de constituir una garantía financiera obligatoria, siempre tiene la opción de constituir una garantía financiera con el fin de cubrirse ante posibles daños medioambientales ocasionados en el ámbito de sus actividades. La cuantía de esta garantía financiera *voluntaria* podría incluir en la cobertura no solo lo establecido



como mínimo para la garantía financiera obligatoria según la normativa (costes de prevención y evitación y costes de reparación primaria) sino extenderse a los costes de reparación compensatoria (a los que el operador debería también hacer frente en caso de que se los exijan); de esta forma, en el ámbito del presente caso práctico se recomendaría al operador constituir una garantía financiera, que tendrá carácter voluntario, por una cuantía de 1.187.682,06 €, cantidad que permitiría al operador responder al valor total del daño que podría causarse atendiendo a las hipótesis establecidas en el escenario accidental de referencia.

#### **XIV.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BELAMENDIA, G. (2010) *Estudio de la comunidad de anfibios y reptiles de la cuenca de Bolintxu: propuesta para el conocimiento de la diversidad de herpetofauna, detección de especies de interés y propuestas de gestión.*

EKOLUR (2014) *Estudio de la Calidad del Agua de los Ríos de Gipuzkoa. Año 2014.* Diputación Foral de Gipuzkoa.

GOSÁ, A., UOTILA, E., CRESPO-DÍAZ, A., MARTÍNEZ-JORQUERA, J., SANZ-AZKUE, I. y RUBIO, X. (2009) *Biología reproductora y estudio poblacional de la salamandra común en el Parque Urbano de Urgull (Donostia-San Sebastián).* Aranzadi Sociedad de Ciencias. Observatorio de Herpetología.

ONRUBIA, A., CANALES, F., SÁENZ, M., CAMPOS, M.A. y BALMORÍ, A. (2003) *Inventario faunístico del Rincón del Gimileo y Sotos de Labastida.* Biodiversidad y paisaje. Consultora de Recursos Naturales, S.L. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco.



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

