



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO
DEMOGRÁFICO

SECRETARÍA DE ESTADO
DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y
EVALUACIÓN AMBIENTAL

EJEMPLO PRÁCTICO DE UN ESTUDIO SIMPLIFICADO DE GESTIÓN DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL A TRAVÉS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE RESPONSABILIDAD MEDIOAMBIENTAL (SIRMA)

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

Índice

1. Introducción	4
2. Descripción de la instalación	6
2.1. Identificación de fuentes de peligro, de las medidas de prevención y evitación y de los factores condicionantes	6
2.2. Descripción de las medidas para la mejora de la gestión del riesgo de la instalación. 8	
3. Cálculo de los niveles de riesgo de la instalación	10
4. Cálculo de la garantía financiera	12
5. Presupuesto de las medidas de mejora de gestión del riesgo	15
6. Estudios simplificados de gestión del riesgo y análisis de riesgos medioambientales.....	17
7. Conclusiones	20
8. Bibliografía	22

1. INTRODUCCIÓN

El módulo de los Estudios Simplificados para la Gestión del Riesgo Medioambiental dentro del Sistema de Información de Responsabilidad Medioambiental (SIRMA), en adelante módulo ESGRA, pretende aportar información sobre los riesgos medioambientales a aquellos operadores no obligados en la actualidad a la realización de análisis de riesgos medioambientales, es decir, aquellos no incluidos dentro del apartado a) del artículo 37.2 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental. Esta información es de utilidad para reducir las consecuencias o las probabilidades de ocurrencia de daños medioambientales, sin necesidad de elaborar un análisis de riesgos medioambientales completo con el alcance exigido por la normativa de responsabilidad medioambiental.

Este módulo pretende fomentar la implicación de los operadores en la gestión del riesgo ambiental antes de que se produzcan daños, bajo la premisa de que el daño medioambiental más sencillo de reparar y el menos costoso es aquel que no llega a producirse.

En el análisis realizado en el presente documento se ilustra, a través del ejemplo de un caso práctico, la utilización de la herramienta Módulo ESGRA dentro de SIRMA, cuyo propósito se centra en comprobar la importancia y los beneficios, tanto económicos como medioambientales, de realizar una buena gestión del riesgo medioambiental en una instalación.

Para cumplir con el objetivo, se realiza de manera simultánea un mismo ejemplo mediante las herramientas Módulo ESGRA y Proyecto Global—que incluye a su vez los módulos de ARM, IDM y MORA— de la aplicación SIRMA. Tras el empleo de ambas herramientas, se obtendrán valores y datos necesarios para poder compararlos y comprobar la importancia de una buena gestión del riesgo medioambiental, así como para ilustrar los resultados obtenidos con cada una de las herramientas

En el caso del Módulo ESGRA, la introducción de los datos de la instalación —se debe puntualizar que este caso práctico se basa en de una instalación ficticia pero realista— proporciona como resultado, entre otros, el indicador denominado “Nivel de riesgo de la instalación” el cual relaciona la probabilidad de ocurrencia de un determinado escenario de accidente y las consecuencias negativas del mismo sobre el entorno. Posteriormente, tras incorporar las mejoras en la gestión del riesgo y replicarlas en la herramienta, se obtendrá un nuevo valor, el “Nivel de riesgo de la instalación con acciones de mejora”. La comparación de ambos resultados permite evaluar la efectividad de las medidas implementadas, siendo esperable que el nivel de riesgo tras la aplicación de medidas de mejora sea inferior al inicial.

Paralelamente, en la herramienta Proyecto Global, por un lado, se replica el caso práctico sin las acciones de mejora, a través del cual se obtendrá un Análisis de Riesgos completo con el valor estimado de la Garantía Financiera. Este valor de garantía financiera se relacionaría con el “Nivel de riesgo de la instalación” obtenido a través del módulo ESGRA. Por otro lado, se replica en la misma herramienta Proyecto Global el caso práctico introduciendo las mismas acciones de mejora que en el apartado ESGRA. Esto da como resultado un nuevo valor de Garantía Financiera, el cual se relacionaría con el “Nivel de riesgo de la instalación con acciones de mejora” (ESGRA). Tras ello, se analizarán y compararán las garantías financieras, esperando el resultado de una reducción en la cuantía al implantar las medidas de mejora de la gestión del riesgo, lo que indicaría una disminución en las consecuencias si se produjese un daño medioambiental en la instalación.

Por último, en la herramienta Medidas de Prevención y Evitación —dentro del módulo ARM— se incluirán las medidas de mejora incluidas previamente en el módulo ESGRA, con el fin de obtener un presupuesto orientativo de la implantación de éstas en la instalación.

Una vez obtenidos estos valores, se podrán comparar entre sí y elaborar conclusiones respecto a la relevancia de implementar acciones de mejora y de llevar a cabo una gestión eficaz del riesgo medioambiental en las instalaciones que entrañan riesgos potenciales de afección al medioambiente.

2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN Y SU ENTORNO

La información utilizada para elaborar el presente caso práctico se basa principalmente en el ejemplo práctico disponible en el epígrafe III del documento “Guía para la elaboración de Estudios Simplificados para la Gestión del Riesgo Medioambiental (ESGRA)”. No obstante, parte de la información contenida en el documento original ha sido modificada y actualizada con el fin de que el ejemplo sea más ilustrativo y se ajuste a la normativa vigente.

En este documento se procede a aplicar el módulo ESGRA y los Proyectos globales (ARM-IDM-MORA) a una instalación ficticia, con el fin de ilustrar el procedimiento de análisis de riesgos medioambientales simplificados y de cálculo de la cuantía de la garantía financiera a partir de SIRMA. El diseño de la instalación ficticia tiene vocación realista con la intención de que la aplicación práctica de las herramientas informáticas permita ilustrar a los operadores la forma de proceder con sus instalaciones reales.

En concreto, se trata de una estación de apoyo para el suministro energético, la cual proporciona combustible a una instalación a través de un generador que se activa cuando el suministro eléctrico no es suficiente. El suministro es necesario durante unas horas al día para el adecuado funcionamiento de los distintos equipos de la instalación, en la cual, la red de suministro principal es inestable. Así, el equipo funciona únicamente cuando no existe suministro eléctrico o la potencia es insuficiente.

Por último, respecto a las características del entorno, la instalación se encuentra situada en el centro-sur de España, en una zona de matorral con pendiente moderada, cuyo suelo contiene arenas arcillosas. No existen espacios naturales protegidos, cursos de agua o acuíferos en sus proximidades susceptibles de verse afectados en caso de generarse un daño medioambiental. La vía más cercana se encuentra a 150 m.

Una vez realizada esta descripción general de la instalación, a continuación, se procede a describir los elementos especialmente relevantes en términos de riesgo medioambiental.

2.1. Identificación de fuentes de peligro, de las medidas de prevención y evitación y de los factores condicionantes

La instalación objeto de estudio consta de un depósito de 2.000 litros de gasóleo conectado a una bomba – instalada para alimentar de combustible al generador que forma parte de la instalación principal– y a una tubería aérea con una longitud de 20 metros, que conecta el depósito de combustible con la instalación principal. Debido al elevado consumo de gasóleo, el depósito se debe rellenar periódicamente, por parte de un operador externo.

La instalación cumple con el Real Decreto 1523/1999, de 1 de octubre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones petrolíferas, aprobado por el Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre, y las instrucciones técnicas complementarias MI-IP03, aprobada por el Real Decreto 1427/1995, de 15 de septiembre, y MI-IP04, aprobada por el Real Decreto 2201/1995, de 28 de diciembre, considerándose la misma como una instalación fija para usos internos no productivos en las industrias —grupos electrógenos, etc.— (apartado 2.1.d, Capítulo I, Anexo I de la citada norma).

El agente causante del daño de esta instalación es, fundamentalmente, el gasóleo. Según la Ficha Internacional de Seguridad Química, el gasóleo tiene el punto de inflamación a 52°C, lo que le convierte en un líquido de subclase B2 (productos de clase B cuyo punto de inflamación es igual o superior a 38°C e inferior a 55 °C) según el Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7.

Las características de los equipos o fuentes de peligro existentes en la instalación ficticia objeto de estudio son las siguientes:

- La operación de carga del gasóleo es realizada por la empresa suministradora del mismo, que dispone de sus propios equipos y personal. Esta empresa es responsable, por lo tanto, de su mantenimiento y formación. Sin embargo, el encargado de la operación de carga del depósito de gasóleo es el propietario de la instalación. Por ello, durante la operación de carga del gasóleo, se dispone de un operario encargado de que las instalaciones estén en condiciones de recibir la carga (comprobación del buen estado de la boca de depósito, del buen estado de la manguera, comprobación del producto que se carga, etc.). Este mismo operario participaría también en caso de emergencia durante la operación, con el fin de minimizar los efectos independientemente de la responsabilidad de los mismos.
- El depósito de gasóleo es un tanque atmosférico de Tipo 4 (doble capa, resistente a explosiones, escombros y bajas temperaturas y diseñado para la retención de vapores), aéreo y con una capacidad de 2.000 litros.
- La tubería por la que transcurre el gasóleo es aérea, cuyo diámetro interior es de 100 mm y cuya longitud es de 20 m (distancia entre depósito y generador).
- Esta tubería está conectada a una bomba para impulsar el combustible a la instalación adyacente. Se trata de una bomba centrífuga con juntas.

Por otro lado, los factores condicionantes o medidas de prevención y evitación presentes en la instalación son:

- El depósito de gasóleo dispone de un cubeto de retención para contener los posibles vertidos que pudieran generarse desde el mismo. Este cubeto tiene una capacidad de retención similar a la capacidad del depósito, es decir, 2.000 litros.
- Tanto la tubería dispensadora de gasóleo como la bomba disponen de un sistema semiautomático de bloqueo, el cual, en caso de fuga, tarda 600 segundos en responder (FlemishGov2009). Puesto que el caudal que extrae la bomba y, por lo tanto, transcurre por la tubería, es de 10 l/hora, se verterían 2 litros de gasóleo en caso de fuga en algún punto de la tubería o bomba. Cabe puntualizar que ninguna de estas dos fuentes de peligro cuenta con un sistema de contención automática de derrames.
- La instalación, a lo largo de toda su superficie, consta de equipos manuales tanto para la detección como para la extinción de un posible incendio. Ante la aparición de un hipotético incendio, la extinción de este se considera que originaría un vertido de un total de 1,5 m³ de aguas generadas por el empleo de los equipos de extinción.

En la siguiente tabla se resumen los elementos relevantes relacionados con el análisis de riesgos medioambientales de la instalación y el recurso natural potencialmente afectado.

Fuente de Peligro	Agente causante	Recurso afectado	Sucesos iniciadores	Factores condicionantes
Depósito gasóleo	Gasóleo	Suelo	Incendio / Vertido	Cubeto de retención
				Sistema de extinción manual de incendios
				Sistema de detección manual
Tubería aérea	Gasóleo	Suelo	Incendio / Vertido	Cubeto de retención
				Sistema de extinción manual de incendios
				Sistema de detección manual
Bomba centrífuga	Gasóleo	Suelo	Incendio / Vertido	Sistema de extinción manual de incendios
				Sistema de detección manual
				Sistema semiautomático de bloqueo
Emergencia durante la carga	Gasóleo	Suelo	Incendio / Vertido	Cubeto de retención
				Sistema de extinción manual de incendios
				Sistema de detección manual
			Vertido	Operario durante carga/descarga
				Cubeto de retención
				Operario durante carga/descarga

Figura 1. Tabla resumen de los elementos de la instalación. Fuente: Elaboración propia.

2.2. Descripción de las medidas para la mejora de la gestión del riesgo de la instalación.

Las medidas de la gestión del riesgo son aquellas acciones a realizar durante la operación normal de la instalación o actividad con fines de reducción del riesgo. Estas pueden clasificarse en dos grupos, en función de sus efectos en la modificación del riesgo:

- Acciones de mejora tecnológica: Medidas que, cambiando los procesos o los equipos, modifican o incluso eliminan los riesgos.
- Acciones de mejora de la gestión: Medidas que mejoran el comportamiento de la instalación frente al riesgo sin que impliquen cambio tecnológico.

El caso práctico incluye acciones de ambos tipos para realizar una mejor gestión del riesgo medioambiental y reducir su posible impacto. Las medidas tanto de mejora tecnológica como de mejora de la gestión implementadas son las que se desarrollan a continuación.

- Mejora tecnológica. Se introducen los siguientes equipos:

- **Sistema de detección automática de incendios** Sistema de detección y alarma, convencional, formado por central de detección automática de incendios de 2 zonas de detección, 4 detectores ópticos de humos, 3 pulsadores de alarma, sirena interior, sirena exterior y canalización de protección fija en superficie con tubo de PVC rígido, blindado, roscable, de color negro.
 - **Sistema de extinción automática de incendios.** Puesto de control de rociadores, de 3" DN 80 mm de diámetro, unión ranura y ranura, para colocar en posición vertical, con alarma hidráulica, para sistema de tubería mojada.
 - **Elementos absorbentes tubulares.** Indicados para formar una barrera de contención y absorción, evitando que el derrame se extienda. Pueden emplearse tanto en interiores como en exteriores y son resistentes a productos químicos agresivos (disolventes, ácidos, bases...), aceites, grasas e hidrocarburos. Son elementos blandos y flexibles, pudiendo rodear máquinas que gotean o colocarse en ángulos o esquinas, formando barreras de contención que impiden el avance del fluido y contribuyen a su absorción.
- Mejora de gestión. Se introducen las siguientes modificaciones:
 - **Realización de simulacros de emergencia.** Se aumenta la realización de simulacros de emergencia ante los posibles fallos de los equipos.
 - **Frecuencia de las revisiones de los equipos.** Se aumentan las revisiones periódicas de los equipos que se encuentran en la instalación.

En la siguiente figura se resume de forma esquemática los elementos de la instalación en los que aplica cada medida para la mejora de la gestión del riesgo incluida en la instalación.

Nuevas medidas de mejora	Elementos donde se aplican
Sistema de detección automática de incendios	Depósito gasóleo
	Tubería aérea
	Bomba centrífuga
	Emergencia durante la carga
Sistemas de extinción automática de incendios	Depósito gasóleo
	Tubería aérea
	Bomba centrífuga
	Emergencia durante la carga
Elementos absorbentes tubulares	Depósito gasóleo
	Tubería aérea
	Bomba centrífuga
	Emergencia durante la carga
Realización de simulacros de emergencia	Gestión de la instalación
Frecuencia de las revisiones de los equipos	Gestión de la instalación

Figura 2. Tabla resumen de las medidas de mejora de la gestión del riesgo de la instalación.

Fuente: Elaboración propia.

3. ESTUDIO SIMPLIFICADO DE GESTIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL: CÁLCULO DE LOS NIVELES DE RIESGO DE LA INSTALACIÓN

El nivel de riesgo medioambiental de una instalación se define como la estimación de la capacidad de generar un riesgo medioambiental y se determina en función de la relación entre la probabilidad de ocurrencia de un escenario accidental y las consecuencias medioambientales del mismo sobre el entorno. En este sentido, cuanto mayor sea este valor, mayor será el riesgo asociado de producir un daño ambiental por la instalación.

En el presente caso práctico, se ha utilizado el módulo ESGRA para evaluar la instalación considerando las principales fuentes de peligro o eventos identificados, estos son, el depósito de gasóleo, la tubería aérea de gasóleo, la bomba centrífuga y la carga del depósito de gasóleo desde camión. Se completa el estudio introduciendo los indicadores de gestión del riesgo e incorporando los factores condicionantes existentes, tales como el cubeto de retención, la detección manual y la extinción manual de incendios, así como las consecuencias asociadas a cada evento. A partir de esta información, la herramienta estima una serie de valores correspondientes al riesgo asociado a la instalación modelo. Finalmente, se obtiene el “**Nivel de riesgo de la instalación**” que, en este caso, presenta un valor de **0,612489**.

Posteriormente, se procede a la inclusión de las acciones de mejora de la gestión del riesgo, orientadas a reducir el potencial impacto medioambiental de la instalación. De esta forma, se replica el estudio ESGRA introduciendo en el informe dichas medidas —sistema automático de detección de incendios, sistema automático de extinción y elementos absorbentes tubulares—. Adicionalmente, se modifican los valores de gestión del riesgo de los indicadores teniendo en cuenta que se han incluido en las instalaciones nuevos hábitos que mejoran la gestión como la realización periódica de simulacros de emergencia y el aumento de la frecuencia de las revisiones de los equipos. Tras la introducción de estas medidas, la herramienta recalcula los valores obteniendo un nuevo **nivel de riesgo de la instalación con acciones de mejora** que presenta un valor de **0,215288**.

En ambos casos, el estudio detecta al evento *Bomba centrífuga* como el evento con mayor nivel de riesgo asociado, con lo cual, un error en dicha fuente de peligro originaría el daño medioambiental de referencia en la instalación.

Evento	Acciones de mejora	Suceso	Sin acciones de mejora				Con acciones de mejora			
			Código	Nivel combinado	Nivel consecuencias	Nivel de riesgo	Código	Nivel combinado	Nivel consecuencias	Nivel de riesgo
Bomba centrífuga	Evento: Bomba centrífuga G.R.	Incendio + Vertido/Liberación	SI.5	0,1715	0,95	0,162925	SI.GR.9	0,063	0,93	0,05859
		Vertido/Liberación	SI.6	0,42	0,20	0,084	SI.GR.10	0,21	0,10	0,021
Depósito gasóleo	Evento: Depósito gasóleo G.R.	Incendio + Vertido/Liberación	SI.1	0,0784	0,95	0,07448	SI.GR.3	0,0216	0,95	0,02052
		Vertido/Liberación	SI.2	0,16	0,20	0,032	SI.GR.4	0,06	0,20	0,012
Emergencia durante la carga	Evento: Emergencia durante la carga G.R.	Incendio + Vertido/Liberación	SI.7	0,09408	1,01	0,0950208	SI.GR.5	0,03456	1,01	0,0349056
		Vertido/Liberación	SI.8	0,224	0,26	0,05824	SI.GR.6	0,112	0,26	0,02912
Tubería aérea	Evento: Tubería aérea G.R.	Incendio + Vertido/Liberación	SI.3	0,1372	0,756	0,1037232	SI.GR.11	0,0504	0,756	0,0381024
		Vertido/Liberación	SI.4	0,35	0,006	0,0021	SI.GR.12	0,175	0,006	0,00105
Nivel de riesgo de la instalación			Sin acciones de mejora			0,612489	Con acciones de mejora			0,215288

Como se puede observar en la figura 3, el realizar un estudio ESGRA sobre la instalación permite cuantificar el nivel de riesgo inicial y valorar el impacto que genera en este dato la implementación de medidas de gestión del riesgo específicas para la instalación.

Inicialmente, el nivel de riesgo de la instalación se situaba en 0,612489, lo que evidencia una probabilidad significativa de que se originen sucesos como incendios y/o vertidos asociados a fallos en los eventos de bombas centrífugas, depósitos de gasóleo, operaciones de carga o tuberías aéreas con las consecuencias que ello ocasionaría.

Tras la incorporación de acciones de mejora orientadas a reducir tanto la probabilidad de ocurrencia como las consecuencias potenciales de los eventos, se observa una disminución sustancial del nivel de riesgo hasta un valor de 0,215288.

La comparación de ambos valores permite concluir que la aplicación de estas medidas ha permitido disminuir la capacidad de generar un daño al medioambiente, traduciéndose esto en una reducción del riesgo en la instalación de aproximadamente un 65 % respecto al valor inicial. En definitiva, la implementación de las medidas seleccionadas constituye una herramienta eficaz para la reducción del riesgo.

4. ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES (PROYECTO GLOBAL) DE LA INSTALACIÓN: CÁLCULO DE LA GARANTÍA FINANCIERA

En el marco de la Ley 26/2007, de Responsabilidad Medioambiental, la garantía financiera es el instrumento económico que deben constituir determinados operadores con el fin de asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios para hacer frente a las obligaciones de prevención, evitación y reparación de daños medioambientales que puedan derivarse de su actividad.

El cálculo de la garantía financiera del presente caso práctico se ha realizado en la herramienta Proyecto Global (ARM-IDM-MORA) de la aplicación SIRMA. El procedimiento para elaborar un informe en esta herramienta está descrito en la Guía de usuario, disponible en la siguiente dirección web: [Guía de usuario SIRMA](#).

En primer lugar, se utiliza la herramienta ARM para realizar un análisis de riesgo medioambiental de la instalación ficticia, donde se valoran las mismas fuentes de peligro que las consideradas en el módulo ESGRA, es decir, el depósito de gasóleo, la tubería aérea, la bomba centrífuga y la emergencia durante la carga. Cada fuente de peligro llevará asignados los factores condicionantes correspondientes con sus características específicas. Se completa el informe ARM obteniendo los escenarios accidentales asociados a cada suceso y los árboles de sucesos correspondientes a la instalación. Como resultado, se producen 34 escenarios accidentales relevantes.

A continuación, a partir de la herramienta IDM se selecciona el escenario de referencia de la instalación de entre los 34 escenarios relevantes resultantes. Para ello, se introduce en cada escenario accidental asociado a la instalación una serie de datos, coeficientes y modificadores acordes a sus características específicas. Con ello, la herramienta IDM estima el riesgo y el riesgo relativo asociado a cada escenario accidental que permite seleccionar el escenario de referencia, sobre el cual se establecerá la cuantía de la garantía financiera.

En el caso práctico, tras introducir la información necesaria, el escenario de referencia seleccionado es el “SI. 6-E.2 Fallo sistema bloqueo bomba”. Este suceso se corresponde con la fuente de peligro *Bomba centrífuga*, más concretamente con el fallo o error en el factor condicionante *Sistema semiautomático de bloqueo*. Este escenario originaría un vertido al suelo de 2000 litros del agente –gasóleo–, ya que, en el peor de los casos –principio de precaución– al estar la bomba conectada al depósito se vertería todo el volumen almacenado.

El último paso es la constitución de la garantía financiera, para lo cual MORA calcula el valor económico del daño medioambiental asociado al escenario de referencia, mediante la estimación del coste de reparación primaria correspondiente a los daños previstos en dicho escenario. Para poder calcular este dato, la aplicación MORA solicita información referente a la localización y parámetros de la zona donde se ubica la instalación, los agentes causantes del daño, la cantidad vertida y los recursos que se pueden ver afectados por el daño.

La instalación ficticia del caso práctico genera un daño medioambiental en el que se produce un vertido de 2000 litros de gasóleo al suelo adyacente a la instalación. El suelo afectado contiene arena arcillosa, con lo que la cantidad de recurso afectada se estima en un factor de 2 toneladas de suelo afectado por litro de gasóleo vertido, debido a que el gasóleo se infiltra, se dispersa lateralmente y puede movilizarse con el agua de lluvia.

Así, aplicando el Principio de Precaución que rige la normativa medioambiental se establece una cantidad de 4000 toneladas de suelo afectado, lo cual garantiza que la reparación del suelo dañado cubre tanto la zona de infiltración directa como las áreas colindantes que hayan podido alcanzar concentraciones por encima de los umbrales determinados en base a los criterios y

estándares establecidos en el Real Decreto 9/2005 y en la Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados.

Teniendo en cuenta esta información, la técnica de reparación primaria que se considera más apropiada es la Desorción térmica. La desorción térmica es un *tratamiento que consiste en calentar el suelo a temperaturas entre 250°C y 600°C para evaporar los compuestos orgánicos volátiles o los metales volátiles como el mercurio*. Aunque el gasóleo se considere una sustancia no volátil por su categoría *Fueles y Compuestos Orgánicos No Volátiles (CONV) no biodegradables*, esta designación se refiere a su característica a temperatura ambiente, por lo tanto, al elevarlo a temperaturas de 250°C a 600°C, se volatiliza.

En cuanto a la construcción del camino, la instalación se encuentra a 150 m de distancia de la vía accesible más cercana, por lo que este gasto se incluye en el cálculo de la garantía financiera.

Una vez recopilada toda la información necesaria, el cómputo de la garantía financiera para el caso práctico sin realizar mejoras de gestión es de **1.048.173,08 €**.

Concepto	%	Importe (€)
Reparaciones Primarias		940.443,54
Construcción Camino		12.441,08
Reparaciones primarias + Construcción Camino		952.884,62
% Prevención y Evitación	10,00	95.288,46
Propuesta de garantía financiera		1.048.173,08

Figura 4. Resumen de la Propuesta de Garantía Financiera del Caso Práctico antes de realizar las acciones de mejora de la gestión del riesgo. Fuente: Herramienta MORA.

A continuación, se debe calcular la garantía financiera resultante del caso práctico tras aplicar las mejoras en la gestión del riesgo, de manera similar a lo realizado en el Módulo ESGRA.

Para ello, se deberán introducir en la aplicación ARM, dentro de Proyecto Global, estas mejoras, que corresponden con la sustitución de los sistemas manuales de detección y extinción de incendios por unos sistemas automáticos y por la introducción de un sistema de contención de vertidos como los elementos absorbentes tubulares. Estos elementos se introducen en el análisis de riesgos como factores condicionantes de las fuentes de peligro, modificando los escenarios accidentales y árboles de sucesos. En este caso, el análisis tiene como resultado 56 escenarios accidentales relevantes.

De nuevo, a partir de la aplicación IDM se selecciona el escenario de referencia correspondiente de entre los escenarios relevantes. En este caso, el escenario de referencia es el “SI. 6-E.4 Fallo sistema de bloqueo y elementos tubulares bomba”. El escenario accidental deriva nuevamente de la fuente de peligro Bomba centrífuga, cuyo suceso es el fallo o error de los dos factores condicionantes asociados –*Sistema semiautomático de bloqueo y elementos tubulares absorbentes*– a la fuente de peligro. En este caso, este suceso iniciador produce un vertido de gasóleo de 1000 litros al suelo.

Por último, en la aplicación MORA se calculará la propuesta de la garantía financiera del caso práctico una vez introducidas las acciones de mejora de la gestión del riesgo. El agente causante del daño y el recurso afectado son los mismos que anteriormente a meter las acciones de mejora; el gasóleo y el suelo con arenas arcillosas; sin embargo, la cantidad de recurso afectada varía, ya que el volumen de agente contaminante vertido es diferente. Aplicando el mismo criterio que en el caso previo sin mejoras, ya que en cualquier caso el gasóleo se infiltra, se dispersa lateralmente y puede movilizarse con el agua de lluvia, se estima un factor de 2 toneladas de suelo afectado por litro de gasóleo vertido. Por lo tanto, la cantidad afectada serán 2000 toneladas de suelo.

Una vez que se introducen estos datos, la técnica de reparación primaria que se selecciona es de nuevo la Desorción térmica.

La construcción del camino sigue siendo similar al caso sin mejoras, es decir, 150 metros de construcción de camino se deben añadir para crear la garantía financiera.

Tras recopilar todos los datos, se elabora el presupuesto de la garantía financiera tras aplicar las mejoras de gestión, la cual tiene un valor de **533.795,49 €**.

Concepto	%	Importe (€)
Reparaciones Primarias		472.827,55
Construcción Camino		12.441,08
Reparaciones primarias + Construcción Camino		485.268,63
% Prevención y Evitación	10,00	48.526,86
Propuesta de garantía financiera		533.795,49

Figura 5. Resumen de la Propuesta de Garantía Financiera del Caso Práctico después de realizar las acciones de mejora de la gestión del riesgo. Fuente: Herramienta MORA

Al comparar estos valores de garantía financiera obtenidos, se puede observar que la aplicación de las mejoras en la gestión del riesgo en la instalación analizada supone una reducción muy significativa de la cuantía estimada para la garantía financiera, que pasa de 1.048.173,08 € a 533.795,49 €, es decir, un descenso cercano al 50 %. Esta disminución refleja el impacto positivo de la sustitución de sistemas manuales por sistemas automáticos de detección y extinción de incendios, junto con la implantación de sistemas de contención de vertidos, como son los elementos absorbentes tubulares, que reducen la magnitud del escenario de referencia de 2.000 a 1.000 litros de gasóleo vertidos y, en consecuencia, la cantidad de suelo contaminado a tratar.

El resultado global de realizar una buena gestión del riesgo se traduce en una disminución de más de medio millón de euros en la cuantía de la garantía financiera, lo que evidencia la eficacia de las medidas tanto en términos económicos como en la reducción del riesgo medioambiental asociado.

5. PRESUPUESTO DE LAS MEDIDAS DE MEJORA DE GESTIÓN DEL RIESGO

La gestión del riesgo del caso práctico objeto de análisis se realiza mediante la instalación de las siguientes medidas:

- Sustitución del sistema manual de detección de incendios por un sistema automático.
- Sustitución del sistema manual de extinción de incendios por un sistema automático de rociadores.
- Implantación de un sistema de contención de vertidos, especialmente hidrocarburos, como son los elementos absorbentes tubulares.
- Aumento en la frecuencia de la realización de simulacros de emergencia por parte del personal en plantilla ante los posibles fallos de los equipos.
- Aumento en la frecuencia de las revisiones de los equipos presentes en la instalación, con el fin de poder encontrar posibles defectos en estos.

Las tres primeras medidas –sistemas automáticos de detección y extinción de incendios y elementos absorbentes tubulares– son medidas de mejora tecnológica, es decir, modifican los procesos o los equipos de la instalación. Por lo tanto, este tipo de medidas suele llevar un presupuesto o coste asociado a su implementación.

Por otro lado, las medidas de aumento de frecuencia en la realización de simulacros de emergencia y en las revisiones de los equipos son medidas de mejora en la gestión. En concreto, estas dos medidas no llevan coste asociado, ya que se tratan de acciones que realiza el personal encargado del mantenimiento de la instalación.

En consecuencia, el presupuesto de las mejoras de gestión del riesgo se puede calcular íntegramente a través de la funcionalidad de Medidas de prevención y evitación, disponible en la herramienta ARM de la aplicación SIRMA. Tras introducir las medidas de sistemas automáticos de detección y extinción de incendios y elementos absorbentes tubulares en el informe ARM, se obtiene un presupuesto total de **8.263,45€**.

Tal como se puede apreciar en la figura siguiente, las medidas de prevención y evitación únicamente se han vinculado a las fuentes de peligro de *Depósito gasóleo* y de *Tubería aérea*. Esto es debido a que la aplicación informática se encuentra diseñada de manera que se tiene que asociar la medida a una fuente de peligro en concreto. Sin embargo, en el caso de la instalación del presente caso práctico, se incluye un sistema de detección y un sistema de extinción automáticos para toda la instalación, ya que su campo de actuación engloba toda la superficie, por lo que, aunque se introduzcan una sola vez en el presupuesto, su acción cubre las distintas fuentes de peligro de la instalación.

En cuanto a los elementos absorbentes tubulares ocurre algo similar, ya que se asocian a una fuente de peligro, pero están diseñados para actuar ante un vertido procedente de cualquier elemento de la instalación. Se introducen 2000 unidades puesto que el precio unitario de los elementos absorbentes tubulares está calculado en función de la capacidad de absorción de 1 litro por unidad y en la instalación el volumen máximo de vertido o derrame que se puede producir es de 2000 litros de gasóleo (ver figura siguiente).

Medida de prevención y evitación	Precio unitario sin IVA (€)	Unidad de medida	Nº unidades	IVA (%)	Total (€)
Fuente de peligro: Depósito gasóleo					
Detección automática de incendios	1.844,49	Detector automático	1	21,00	2.231,83
Sistema de rociadores con alarma	2.764,81	Sistema rociadores con alarma	1	21,00	3.345,42
Total Depósito gasóleo (€)					5.577,25
Fuente de peligro: Tubería aérea					
Elementos absorbentes tubulares	1,11	Litro retenido	2000	21,00	2.686,20
Total Tubería aérea (€)					2.686,20
Fuente de peligro: Bomba centrífuga					
Sin medidas aplicadas					
Total Bomba centrífuga (€)					0,00
Fuente de peligro: Emergencia durante la carga					
Sin medidas aplicadas					
Total Emergencia durante la carga (€)					0,00
Total informe (€)					8.263,45

Figura 6. Presupuesto de las medidas de prevención y evitación implantadas para realizar una mejora en la gestión del riesgo. Fuente: Herramienta SIRMA.

6. ESTUDIOS SIMPLIFICADOS DE GESTIÓN DEL RIESGO Y ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES

Tanto los estudios simplificados del riesgo medioambiental (ESGRA) como los análisis de riesgos medioambientales pretenden fomentar la implicación de los operadores a la hora de realizar una buena gestión del riesgo de forma anticipada a que se produzcan los daños medioambientales, adoptando la máxima de que el daño más sencillo de reparar y el menos costoso es aquél que no llega a producirse. Por ello, este apartado se centra en analizar y comparar la información y datos obtenidos en los ejemplos hipotéticos desarrollados en puntos anteriores.

En primer lugar, tal y como se desarrolla en los epígrafes anteriores, tras realizar el estudio mediante la aplicación ESGRA dentro de SIRMA, se obtienen dos valores distintos en función de las medidas de gestión aplicadas. Los resultados del nivel de riesgo de la instalación son:

- Antes de las medidas de mejora de gestión: 0,612.
- Después de las medidas de mejora de gestión: 0,215.

Estos valores muestran una reducción en el nivel de riesgo de la instalación después de mejorar la gestión del mismo, concretamente un descenso del riesgo de un 65% respecto a los datos iniciales (ver figura siguiente). El resultado indica que las medidas seleccionadas para optimizar la gestión tienen un impacto positivo en la prevención de accidentes con consecuencias medioambientales.

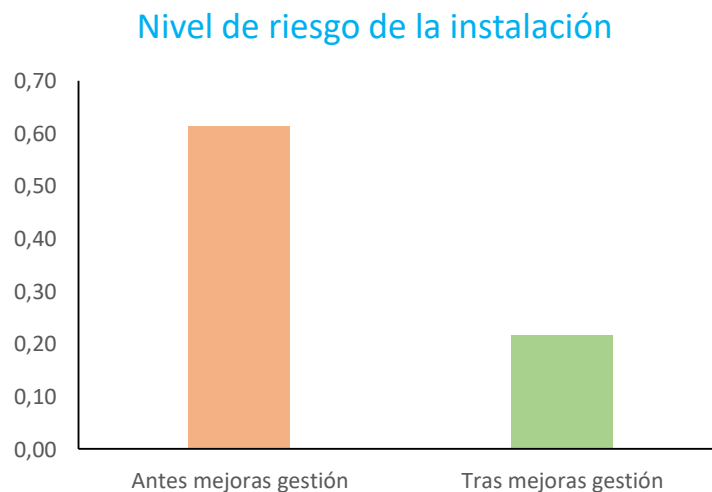


Figura 7. Gráfico de nivel de riesgo de la instalación antes de las mejoras vs. tras mejoras gestión. Fuente: Herramienta Elaboración propia.

En segundo lugar, los valores obtenidos para introducir el caso práctico en la aplicación Proyecto Global ARM-IDM-MORA son los siguientes.

- Antes de las medidas de mejora de gestión del riesgo:
 - Cantidad de agente vertido: 2000 litros.
 - Garantía financiera: 1.048.173,08 €.
- Después de las medidas de mejora de gestión del riesgo:

- Cantidad de agente vertido: 1000 litros.
- Garantía financiera: 533.795,49 €.

Los datos de garantía financiera obtenidos antes y después de la aplicación de las medidas de mejora muestran un aspecto similar al descrito en cuanto a disminución del riesgo en el estudio ESGRA. Esto es, una reducción tanto en las consecuencias ambientales del escenario de referencia, como en la cuantía de garantía financiera, reduciendo en aproximadamente un 50% ambos valores. Esto demuestra que la disminución de las consecuencias tiene una correlación directa con el resultado de garantía financiera por responsabilidad medioambiental.

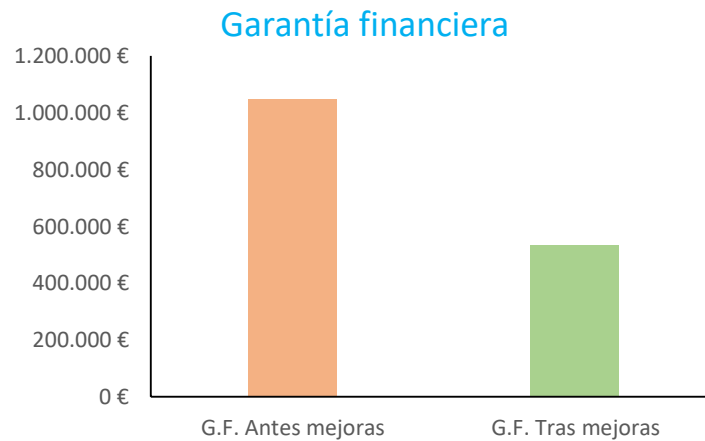


Figura 8. Gráfico de garantía financiera antes de las mejoras vs. tras mejoras gestión. Fuente: Herramienta Elaboración propia.

Por lo tanto, se puede concluir que tanto realizando un Estudio Simplificado para la Gestión del Riesgo Ambiental (ESGRA) como realizando un Análisis de Riesgo Medioambiental (ARM) detallado con su posterior cuantificación de la garantía financiera, se obtienen unos resultados generales similares. Esto es, un descenso representativo –del 50% o más– del riesgo medioambiental derivado del funcionamiento normal de la instalación. Respectivamente, la cuantía de la garantía financiera disminuye de manera similar –cercano al 50%–, produciendo una reducción económica importante al operador, en este caso ficticio, de aproximadamente medio millón de euros.

Para calcular el hipotético beneficio total de realizar una mejora en la gestión del riesgo hay que tener en cuenta, además de la reducción en el importe estimado para la garantía financiera, el presupuesto asociado a la implantación de las medidas de mejora de gestión del riesgo. En este caso, el presupuesto de las mejoras tiene un valor aproximado de 8.300 €. Tras sumar este valor al de la garantía financiera (533.795 €) después de realizar las acciones de mejora y comparar con la garantía financiera estimada inicialmente, el porcentaje de beneficios sigue siendo muy favorable para el operador, puesto que la cuantía económica final (542.058 €) se reduce en un 48% respecto la inicial (1.048.173 €). El retorno económico es, por tanto, altamente positivo, mostrando que una inversión moderada en medidas de gestión del riesgo (menos de 10.000 €) genera una reducción de los futuros costes de reparación del daño muy significativa, de más de 500.000 €.

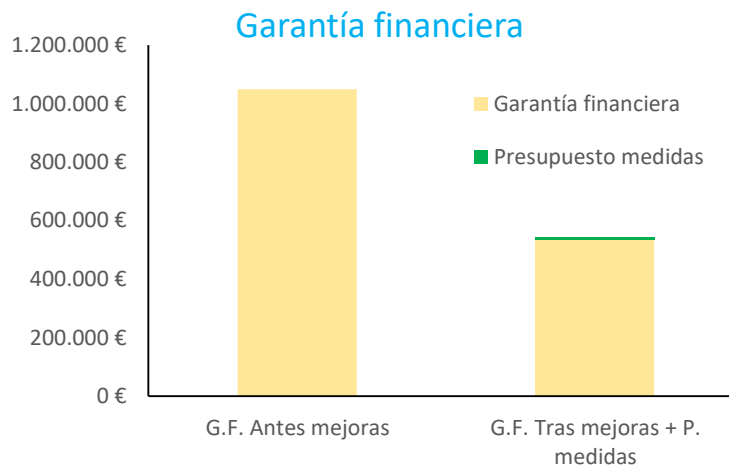


Figura 9. Gráfico de garantía financiera antes de las mejoras vs. garantía financiera tras mejoras gestión y presupuesto de medidas de mejora. Fuente: Herramienta Elaboración propia.

La correlación entre las consecuencias de aplicar mejoras para realizar una buena gestión del riesgo y la reducción en la cuantía de la garantía financiera remarca la importancia para los operadores de realizar análisis de riesgos. Más concretamente a aquellos operadores no obligados en la actualidad, para los cuales está disponible el Módulo ESGRA. Estos operadores son aquellos no incluidos dentro del apartado a) del artículo 37.2 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.

El módulo informático ESGRA resulta de utilidad al operador para tratar de reducir tanto las consecuencias como las probabilidades de ocurrencia de daños medioambientales. Esto se debe a que permiten detectar de manera relativamente sencilla los escenarios con mayor riesgo de originar un daño al medio ambiente, además de poder analizar y seleccionar que medidas tienen un impacto positivo a la hora de mejorar la gestión del riesgo.

No obstante, cabe puntualizar que el operador, aun estando exento de constituir una garantía financiera por responsabilidad medioambiental, en caso de que se produzca un daño significativo al medio ambiente por la actividad de su instalación, es el responsable de reparar dicho daño, siguiendo Las premisas de la Ley de Responsabilidad Medioambiental.

7. CONCLUSIONES

El análisis realizado durante el desarrollo del presente caso práctico permite ilustrar la utilidad de las herramientas de apoyo a la gestión del riesgo medioambiental, en particular el estudio simplificado del riesgo medioambiental – mediante el módulo ESGRA – y el análisis de riesgos medioambientales –mediante el Proyecto Global (ARM-IDM-MORA)–, ambos dentro de la aplicación SIRMA. Dichos enfoques, aun con distinto grado de complejidad y detalle, evidencian resultados coherentes, consistentes y similares que ponen de manifiesto los beneficios técnicos, ambientales y económicos de implantar medidas de mejora de la gestión del riesgo en las instalaciones.

En la siguiente figura se sintetizan los resultados obtenidos tras la realización de los análisis de riesgos medioambientales de la instalación hipotética en cuestión, de forma previa a la incorporación de las medidas de gestión del riesgo y de forma posterior a su implementación.

	Nivel de riesgo de la instalación	Garantía financiera (€)	Consecuencias - Vertido (litros)
Instalación sin mejoras	0,612	1.048.173	2000
Instalación tras mejoras	0,215	533.795	1000
Presupuesto instalación medidas (€)		8.263,45€	

Figura 10. Resumen de la información obtenida tras la realización de los análisis de riesgos en la instalación ficticia. Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, la comparación de los valores de nivel de riesgo de la instalación, obtenidos en el módulo ESGRA, refleja una reducción del nivel de riesgo del 65 % tras la aplicación de las medidas de mejora. Este resultado cuantifica de manera sencilla el impacto positivo de la introducción de sistemas automáticos de detección y extinción de incendios, elementos absorbentes tubulares y acciones de gestión como el aumento en la frecuencia de simulacros y revisiones de los equipos.

En segundo lugar, los resultados del Proyecto Global corroboran que importe estimado para la garantía financiera exigida se reduce en casi un 50 %, gracias a la disminución del volumen de vertido considerado en el escenario de referencia y de la magnitud de los daños derivados a los recursos naturales. Esto se traduce en una disminución de más de medio millón de euros en la cuantía de la garantía financiera que debería constituir el operador, cifra que se mantiene incluso al incorporar el coste de implantación de las medidas de mejora.

Ambos análisis identifican de manera coincidente la *Bomba centrífuga* como la fuente de peligro con mayor potencial de riesgo, lo que refuerza la capacidad de estas herramientas para detectar y priorizar la adopción de medidas en los puntos críticos de la instalación. Además, corrobora la funcionalidad ESGRA como una herramienta correcta para la elaboración simplificada de análisis de riesgos en el caso instalaciones que no tengan obligación de realizar un Análisis de Riesgos Medioambientales detallado.

De forma general, los resultados permiten extraer tres conclusiones principales:

- Relevancia ambiental: las mejoras de gestión del riesgo introducidas reducen significativamente la probabilidad y las consecuencias de daños al medio ambiente.
- Viabilidad económica: una inversión moderada en gestión del riesgo medioambiental genera retornos altamente positivos, tanto en términos de disminución de la cuantía de

la garantía financiera como en la reducción de costes potenciales asociados a la reparación de daños a los recursos naturales.

- Utilidad del ESGRA para operadores no obligados: el módulo ESGRA constituye una herramienta ágil y accesible que permite a los operadores exentos de constituir una GF obligatoria identificar los riesgos más relevantes y evaluar la efectividad de las medidas preventivas en sus instalaciones.

En definitiva, se confirma que la prevención es más eficaz y menos costosa que la reparación de los daños medioambientales que puedan ocasionarse. La integración de medidas de mejora tecnológica y de gestión no solo fortalece la seguridad ambiental de las instalaciones, sino que también aporta ventajas económicas significativas para los operadores, alineándose con el principio de “quien contamina, paga” y con los objetivos de la Ley 26/2007 de Responsabilidad Medioambiental.

8. BIBLIOGRAFÍA

BOE. (2007). *Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental*. Boletín Oficial del Estado, nº 255, de 24 de octubre de 2007, pp. 43285-43312.

BOE. (2008). *Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental*. Boletín Oficial del Estado, nº 314, de 30 de diciembre de 2008, pp. 52889-52926.

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

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (s.f.). *Aplicación Web SIRMA: Sistema de Información de Responsabilidad Medioambiental*. <https://servicio.mapa.gob.es/mora/>.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2025). *Guía de usuario del Sistema de Información de Responsabilidad Medioambiental (SIRMA)*. ARM-IDM-MORA. Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2025). *Guía para la elaboración de Estudios Simplificados para la Gestión del Riesgo Medioambiental (ESGRA)*. Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales.

