



**AE-AESMA. Responsabilidad medioambiental.  
Metodología para la valoración del riesgo y  
determinación de la garantía financiera.  
Asociación de Empresas del Sector  
Medioambiental de Andalucía (AESMA).**

**PROYECTO MIRAT EN EL SECTOR  
QUÍMICO Y PETROQUÍMICO**

María Osuna Arcángel  
Responsable de Riesgos Medioambientales  
Ingeniería Energética y de Contaminación, S.A. (INERCO).



# Responsabilidad Medioambiental

## Proyecto MIRAT en el Sector Químico y Petroquímico

Madrid, 4 de diciembre de 2008



## LEY 26/2007 DE RESPONSABILIDAD MEDIOAMBIENTAL

### Artículo 24 Ley RMA

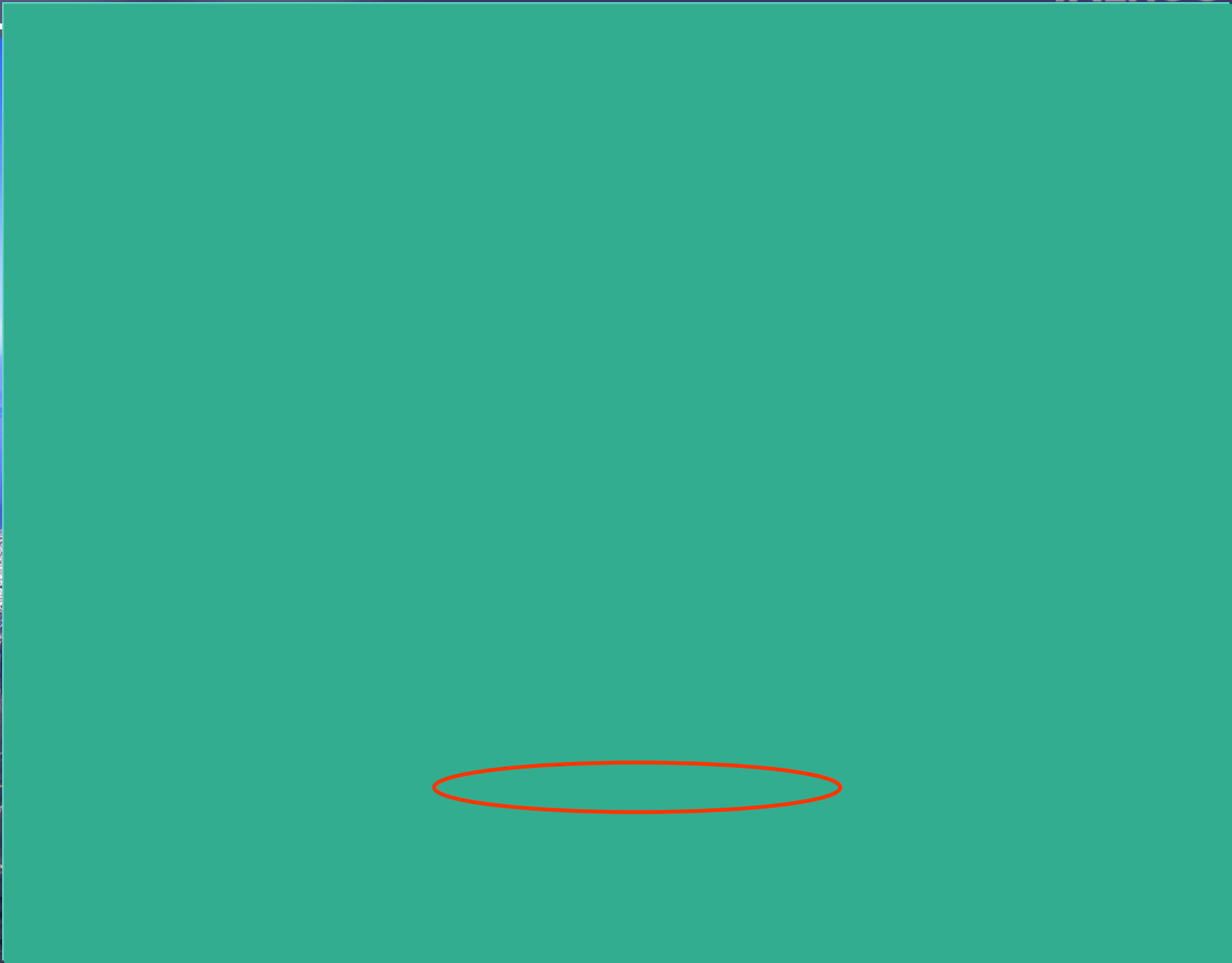
- ✓ Los operadores de las actividades incluidas en el anexo III deberán disponer de una garantía financiera que les permita hacer frente a la responsabilidad medioambiental inherente a la actividad o actividades que pretendan desarrollar.

### Proyecto de Reglamento

- ✓ La cuantía de la garantía financiera tomará como punto de partida el análisis de riesgos medioambientales de la actividad.
- ✓ El análisis de riesgos medioambientales deberá ser verificado.
- ✓ El análisis de riesgos medioambientales tendrán en cuenta los sistemas de prevención y gestión de riesgos adoptados por el operador.

## REFERENCIAS

-  Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental
-  Documentos de trabajo para la elaboración del Reglamento de la Ley de Responsabilidad Medioambiental
  - Doc. SGT DTRRAM 21 de diciembre de 2007
  - Doc. SGT RRAM 26 mayo de 2008
  - Proyecto de Real Decreto
-  Norma UNE 150.008:2008 “Análisis y evaluación del riesgo ambiental”
-  Documentación técnica de análisis de riesgos
-  Proyectos MIRAT (Modelos de Informe de Riesgos Ambientales Tipo)



## OBJETIVO


 Modelo de informe de análisis de riesgos ambientales tipo por sectores de actividad

 Sector químico y petroquímico

Gran diversidad de fuentes de peligro ambiental





Imposibilidad de disponer de un listado tipo de situaciones de accidentes

Necesidad de cálculos no generalizables para estimar probabilidades y consecuencias

 Guía metodológica para la realización de análisis de riesgos ambientales en instalaciones industriales del sector químico y petroquímico

 Monetización

## CONTENIDO

-  **Desarrollo detallado de pautas metodológicas de análisis de riesgos ambientales particularizado para instalaciones industriales del sector químico y petroquímico**
-  **Sustancias químicas como agentes causantes del daño ambiental**
-  **Ejemplos ilustrativos de aplicación**
-  **CASO PRÁCTICO: INSTALACIÓN INDUSTRIAL HIPOTÉTICA**

# ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES



CARACTERIZACIÓN  
DEL ENTORNO

IDENTIFICACIÓN  
PELIGROS



EVALUACIÓN DE RIESGOS

ANÁLISIS DE  
PROBABILIDAD  
(veces/año)

ANÁLISIS DE  
CONSECUENCIAS  
(€)



VALORACIÓN  
DEL RIESGO

# ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES



CARACTERIZACIÓN  
DEL ENTORNO

IDENTIFICACIÓN  
PELIGROS



EVALUACIÓN DE RIESGOS

ANÁLISIS DE  
PROBABILIDAD  
(veces/año)

ANÁLISIS DE  
CONSECUENCIAS  
(€)



VALORACIÓN  
DEL RIESGO

## CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO



Aguas

Riberas  
del mar  
y rías

Especies silvestres y hábitats

Instalación

Suelo



## CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO



### MEDIO BIÓTICO

- ✓ Características generales del entorno. Usos del suelo
- ✓ Identificación de los receptores ambientales vulnerables sujetos a responsabilidad ambiental según Ley 26/2007
  - Especies silvestres
  - Hábitats
  - Servicios prestados por los recursos naturales
- ✓ Valoración de la calidad ambiental de dichos receptores

### MEDIO FÍSICO

- ✓ Identificación y caracterización de los receptores ambientales vulnerables sujetos a responsabilidad ambiental según la Ley 26/2007
  - Aguas
  - Riberas del mar y sus rías
  - Suelo
- ✓ Características del medio físico en cuanto a medio de transporte, distribución y dispersión de contaminantes

**CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO: EJEMPLOS CASO PRÁCTICO**

**MEDIO FÍSICO**

Estabilidad	Porcentaje de ocurrencia (%)	Velocidad media ponderada de viento (m/s)
A	3,53	1,1
B	16,07	2,2
C	23,41	2,8
D	41,24	4,7
E	3,57	3,1
F	12,01	1,4

Pozo	Uso	Distancia a la instalación (km)	¿Aguas abajo de la instalación?
1	Agrícola	2,3	No
2	Agrícola	3,1	No
3	Agrícola	7,2	No
4	Agrícola	5,5	No
5	Agrícola	3,2	No
6	Agrícola	4,5	No
7	Industrial	1,5	No

# ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES



**CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO**

**IDENTIFICACIÓN PELIGROS**



## EVALUACIÓN DE RIESGOS



**ANÁLISIS DE PROBABILIDAD (veces/año)**

**ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (€)**

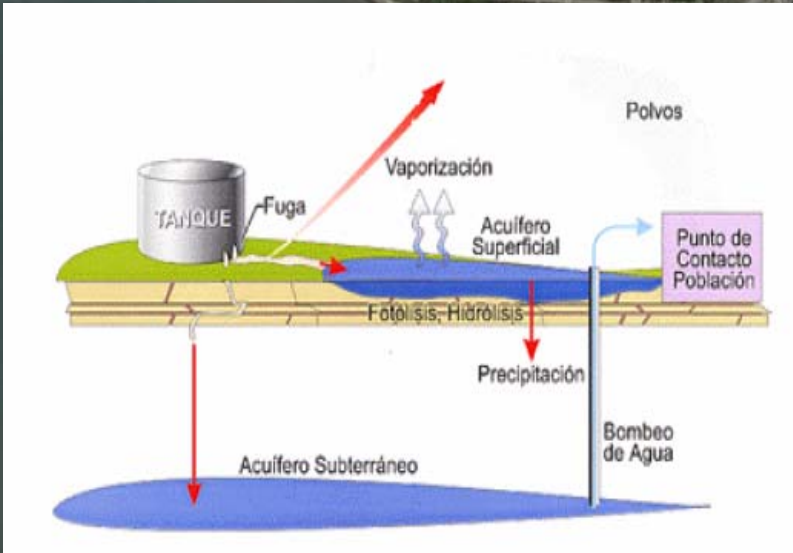
**VALORACIÓN DEL RIESGO**

## IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS



### FASES

- ✓ RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN
- ✓ VISITAS DE DIAGNÓSTICO
- ✓ ENTREVISTAS TÉCNICAS
- ✓ REVISIÓN DE INFORMES
- ✓ APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN



**INVENTARIO  
COMPLETO DE  
PELIGROS  
MEDIOAMBIENTALES**

**IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS**



**ANÁLISIS DE  
FUENTES DE PELIGRO**

- ✓ **TANQUES DE ALMACENAMIENTO**
- ✓ **ÁREAS DE CARGA Y DESCARGA DE CISTERNAS Y BBTT**
- ✓ **NAVES DE ALMACENAMIENTO**
- ✓ **INSTALACIONES PRODUCTIVAS**
- ✓ **INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE CALOR / FRÍO**
- ✓ **PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS E INSTALACIONES**
- ✓ **PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**
- ✓ **ETC.**

## IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS



**ANÁLISIS DE  
FUENTES DE PELIGRO**

**INVENTARIO DE  
SUCESOS INICIADORES  
DE ACCIDENTES**

- ✓ **FUGA POR ROTURA DE TANQUE**
- ✓ **FUGA POR DESCONEXIÓN O ROTURA DE MANGUERA O BRAZO DE CARGA**
- ✓ **INCENDIO DE NAVE ALMACÉN**
- ✓ **FUGA DE BOTELLA DE GAS TÓXICO**
- ✓ **EMISIÓN O VERTIDO FUERA DE ESPECIFICACIONES**
- ✓ **BLEVE DE EQUIPO A PRESIÓN**
- ✓ **FUGA DE ACEITE EN TRANSFORMADOR**
- ✓ **REBOSE DE Balsa de Efluentes**
- ✓ **ETC.**

## IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS



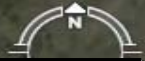
**ANÁLISIS DE  
FUENTES DE PELIGRO**

**INVENTARIO DE  
SUCESOS INICIADORES  
DE ACCIDENTES**

**MEDIDAS DE PREVENCIÓN,  
CONTENCIÓN Y MITIGACIÓN**

- ✓ **SISTEMAS DE CONTROL DE PROCESOS**
- ✓ **EQUIPOS DE MONITORIZACIÓN DE EMISIONES O VERTIDOS**
- ✓ **PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES**
- ✓ **CUBETOS DE TANQUES**
- ✓ **PAVIMENTACIÓN DEL SUELO**
- ✓ **MEDIOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS**
- ✓ **PROGRAMAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO**
- ✓ **ETC.**

**IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS: CASO PRÁCTICO**



**INVENTARIO DE ESCENARIOS DE ACCIDENTE**

Suceso iniciador		Escenario de accidente	Medios potencialmente afectados	
S1	Fuga de benceno en tanque	E1a	Formación de charco, contenido en el cubeto	Suelo (superficial)
		E1b	Ignición/explosión de nube inflamable	Atmósfera
		E1c	Generación de nube tóxica	Atmósfera
S2	Fuga de tolueno en tanque	E2a	Formación de charco, contenido en el cubeto	Suelo (superficial)
		E2b	Ignición/explosión de nube inflamable	Atmósfera
S3	Fuga de gasoil en tanque	E3	Formación de charco, contenido en el cubeto	Suelo (superficial)
S4	Fuga de benceno por picaduras en el fondo del tanque	E4	Contaminación de suelo y aguas	Suelo Aguas subterráneas Aguas superficiales (río)
S5	Fuga de tolueno por picaduras en el fondo del tanque	E5	Contaminación de suelo y aguas	Suelo Aguas subterráneas Aguas superficiales (río)
S6	Fuga de gasoil por picaduras en el fondo del tanque	E6	Contaminación de suelo y aguas	Suelo Aguas subterráneas Aguas superficiales (río)
S7	Fuga de benceno por rotura de tubería durante operación de trasiego desde puerto a tanques	E7a	Formación de charco	Suelo (superficial)
		E7b	Ignición/explosión de nube inflamable	Atmósfera
		E7c	Generación de nube tóxica	Atmósfera
		E7d	Vertido al río	Suelo Aguas superficiales (río)
S8	Fuga de tolueno por rotura de tubería durante operación de trasiego desde puerto a tanques	E8a	Formación de charco	Suelo (superficial)
		E8b	Ignición/explosión de nube inflamable	Atmósfera
		E8c	Vertido al río	Suelo Aguas superficiales (río)
S9	Fuga de gasoil por rotura de tubería durante operación de trasiego desde puerto a tanques	E9a	Formación de charco	Suelo (superficial)
		E9b	Vertido al río	Suelo Aguas superficiales (río)

**IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS: CASO PRÁCTICO**

**MEDIDAS DE PREVENCIÓN,  
CONTENCIÓN Y MITIGACIÓN**

Fuga de benceno en tanque		
Medidas de control	Existentes	Posibles
Prevención y control	<p>Protección ante sobrellenado: medidor de nivel y alarma de alto nivel independientes.</p> <p>Válvulas de seguridad.</p> <p>Tanque y tuberías de material adecuado (acero al carbono) con pintura exterior.</p> <p>Gamas de mantenimiento.</p>	<p>Parada automática de la bomba de carga en caso de alto nivel.</p> <p>Señalización de la sustancia almacenada (benceno) en el tanque y de sus riesgos asociados.</p> <p>Ficha de datos de seguridad del benceno en área de almacenamiento o fácilmente accesible para el personal.</p>
Contención	<p>Cubeto de tierra compactada.</p> <p>Válvula de drenaje del cubeto normalmente cerrada, con comprobación rutinaria (procedimentada).</p> <p>Balsa de emergencia.</p>	<p>Impermeabilización del cubeto.</p>
Mitigación	<p>Procedimiento de actuación ante fuga o derrame y ante incendio (Plan de Autoprotección).</p> <p>Medios PCI: detectores sistema de agua pulverizada para refrigeración externa del tanque, sistema de agua-espuma en el interior del tanque, hidrantes alrededor del cubeto.</p>	<p>Material absorbente para recogida de pequeños derrames.</p> <p>Equipos de protección individual para actuaciones ante emergencias.</p> <p>Sistema de detección de incendios.</p> <p>Extintores en acceso al cubeto.</p>

# ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES



CARACTERIZACIÓN  
DEL ENTORNO

IDENTIFICACIÓN  
PELIGROS



EVALUACIÓN DE RIESGOS

ANÁLISIS DE  
PROBABILIDAD  
(veces/año)

ANÁLISIS DE  
CONSECUENCIAS  
(€)



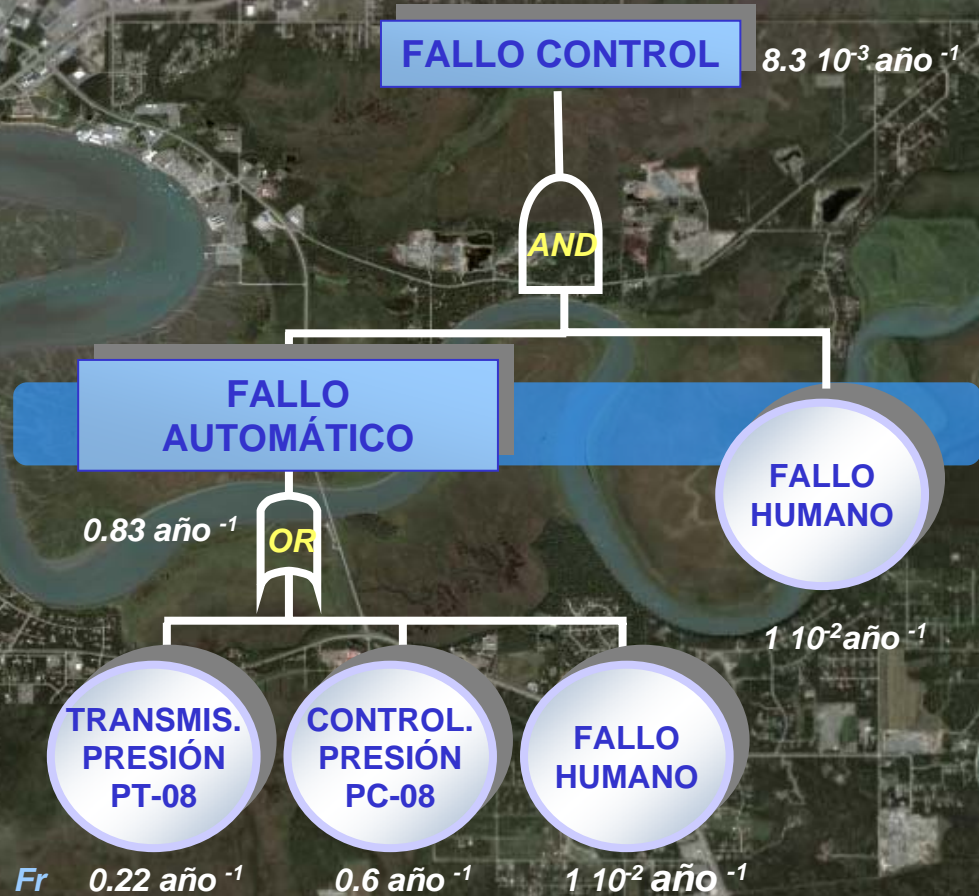
VALORACIÓN  
DEL RIESGO

# ANÁLISIS DE PROBABILIDAD



## HERRAMIENTAS

- ✓ BASES DE DATOS
- ✓ HISTÓRICO DE ACCIDENTES
- ✓ ÁRBOLES DE FALLO
- ✓ ÁRBOLES DE SUCESO



# ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES



CARACTERIZACIÓN  
DEL ENTORNO

IDENTIFICACIÓN  
PELIGROS



EVALUACIÓN DE RIESGOS

ANÁLISIS DE  
PROBABILIDAD  
(veces/año)

ANÁLISIS DE  
CONSECUENCIAS  
(€)



VALORACIÓN  
DEL RIESGO

## CÁLCULO DE CONSECUENCIAS

**VALORACIÓN  
DE EFECTOS  
Y EXPOSICIÓN**

- ✓ SELECCIÓN DE UMBRALES DE EFECTOS
- ✓ ESTIMACIÓN DE ZONAS DONDE SE SUPERAN DICHOS UMBRALES
- ✓ IDENTIFICACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y SERVICIOS POTENCIALMENTE AFECTADOS

**VALORACIÓN  
DEL DAÑO**

- ✓ PRESUPUESTO DE PROYECTO DE REPARACIÓN PRIMARIA



**Coste (M€)**

# ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS: VALORACIÓN DEL DAÑO



## EVALUACIÓN ECOLÓGICA



Coste (M€)

Aguas

Población

Entorno natural

Infraestructuras

Suelo

## CÁLCULO DE EFECTOS Y CONSECUENCIAS

# ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES



CARACTERIZACIÓN  
DEL ENTORNO

IDENTIFICACIÓN  
PELIGROS

EVALUACIÓN DE RIESGOS

ANÁLISIS DE  
PROBABILIDAD  
(veces/año)

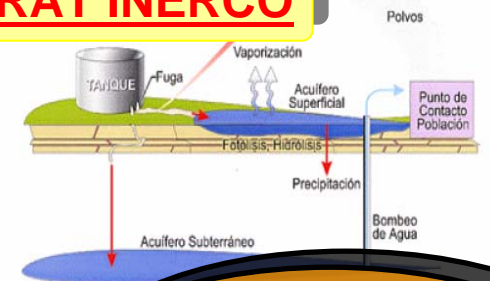
ANÁLISIS DE  
CONSECUENCIAS  
(€)

VALORACIÓN  
DEL RIESGO

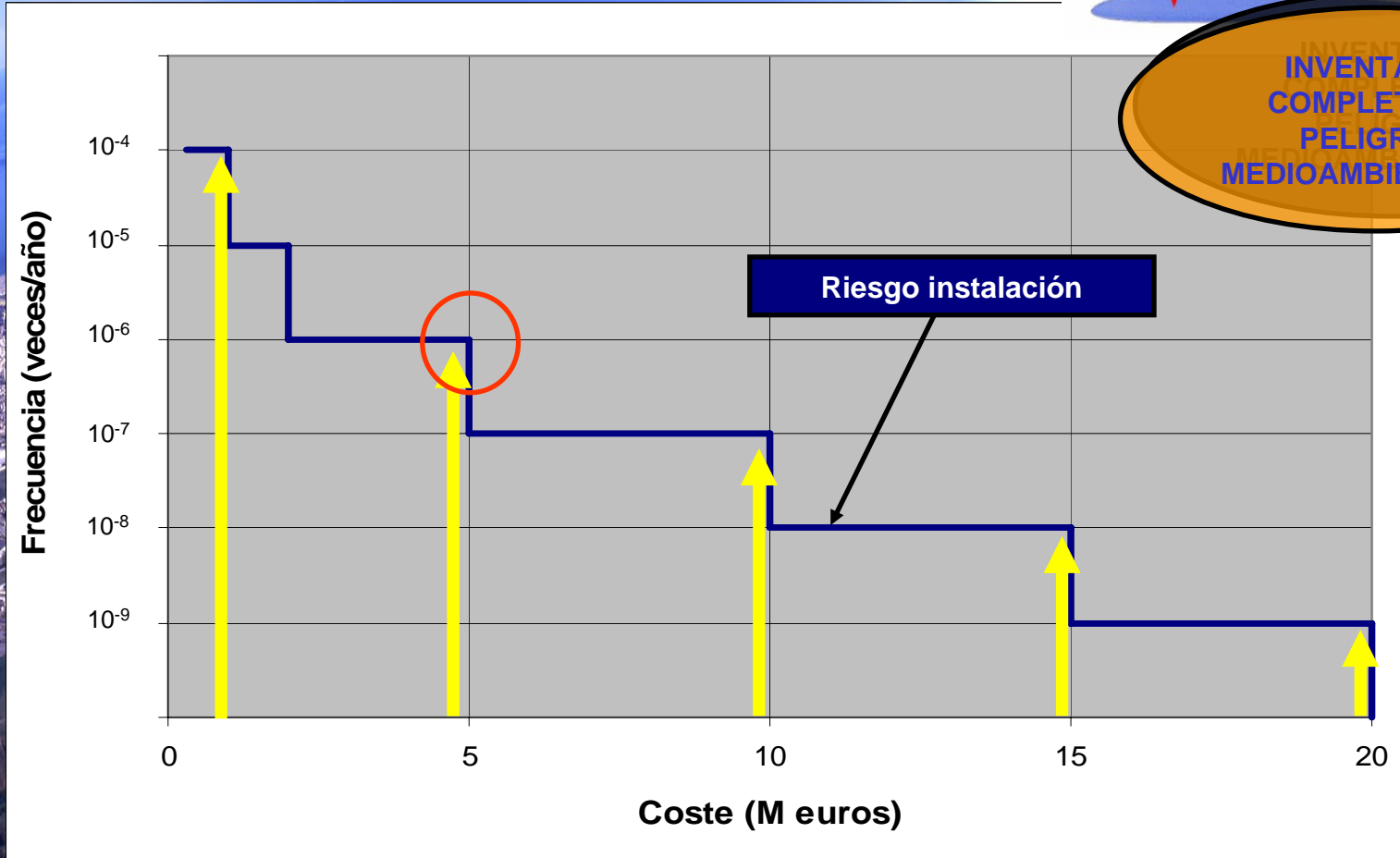


# VALORACIÓN DEL RIESGO PROPUESTA MIRAT INERCO

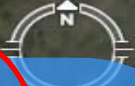
**Riesgo = Probabilidad x Consecuencias**



**INVENTARIO  
COMPLETO DE  
PELIGROS  
MEDIOAMBIENTALES**



**VALORACIÓN DEL RIESGO: CASO PRÁCTICO**



Suceso iniciador	Escenario de accidente		Probabilidad (año <sup>-1</sup> )	Daño (€)
S1 Fuga de benceno en tanque	E1a	Formación de charco contenido en el cubeto	3,2·10 <sup>-4</sup>	-
	E1b	Ignición de nube inflamable	3,1·10 <sup>-5</sup>	-
	E1c	Generación de nube tóxica	1,5·10 <sup>-5</sup>	-
S2 Fuga de tolueno en tanque	E2a	Formación de charco contenido en el cubeto	3,2·10 <sup>-4</sup>	-
	E2b	Ignición de nube inflamable	3,1·10 <sup>-5</sup>	-
S3 Fuga de gasoil en tanque	E3	Formación de charco contenido en el cubeto	3,2·10 <sup>-4</sup>	-
S4 Fuga de benceno por picaduras en el fondo del tanque	E4	Contaminación de suelo y aguas	10 <sup>-4</sup>	139.500
S5 Fuga de tolueno por picaduras en el fondo del tanque	E5	Contaminación de suelo y aguas	10 <sup>-8</sup>	-
S6 Fuga de gasoil por picaduras en el fondo del tanque	E6	Contaminación de suelo y aguas	10 <sup>-12</sup>	524.200
S7 Fuga de benceno por rotura de tubería durante operación de trasiego desde puerto a tanques	E7a	Formación de charco	2,4·10 <sup>-7</sup>	13.500
	E7b	Ignición de nube inflamable	2,3·10 <sup>-8</sup>	-
	E7c	Generación de nube tóxica	1,1·10 <sup>-8</sup>	-
	E7d	Vertido al río	2,4·10 <sup>-7</sup>	254.000
S8 Fuga de tolueno por rotura de tubería durante operación de trasiego desde puerto a tanques	E8a	Formación de charco	9,4·10 <sup>-8</sup>	13.500
	E8b	Ignición de nube inflamable	9,2·10 <sup>-9</sup>	-
	E8c	Vertido al río	9,4·10 <sup>-8</sup>	223.000
S9 Fuga de gasoil por rotura de tubería durante operación de trasiego desde puerto a tanques	E9a	Formación de charco	1,5·10 <sup>-6</sup>	27.500
	E9b	Vertido al río	1,5·10 <sup>-6</sup>	318.000

**VALORACIÓN DEL RIESGO : CASO PRÁCTICO**

**1. Escenarios ordenados de menor a mayor daño**

Escenario de accidente	Probabilidad (año <sup>-1</sup> )	Daño (€)
E7a Formación de charco de benceno	$2,4 \cdot 10^{-7}$	13.500
E8a Formación de charco de tolueno	$9,4 \cdot 10^{-8}$	13.500
E9a Formación de charco de gasoil	$1,5 \cdot 10^{-6}$	27.500
E4 Contaminación de suelo y aguas por benceno	$10^{-4}$	139.500
E8c Vertido de tolueno al río	$9,4 \cdot 10^{-8}$	223.000
E7d Vertido de benceno al río	$2,4 \cdot 10^{-7}$	254.000
E9b Vertido de gasoil al río	$1,5 \cdot 10^{-6}$	318.000
E6 Contaminación de suelo y aguas por gasoil	$10^{-12}$	524.200

**VALORACIÓN DEL RIESGO: CASO PRÁCTICO**

**2. Probabilidad acumulada F de aquellos escenarios que tengan unos daños ambientales iguales o mayores a D**

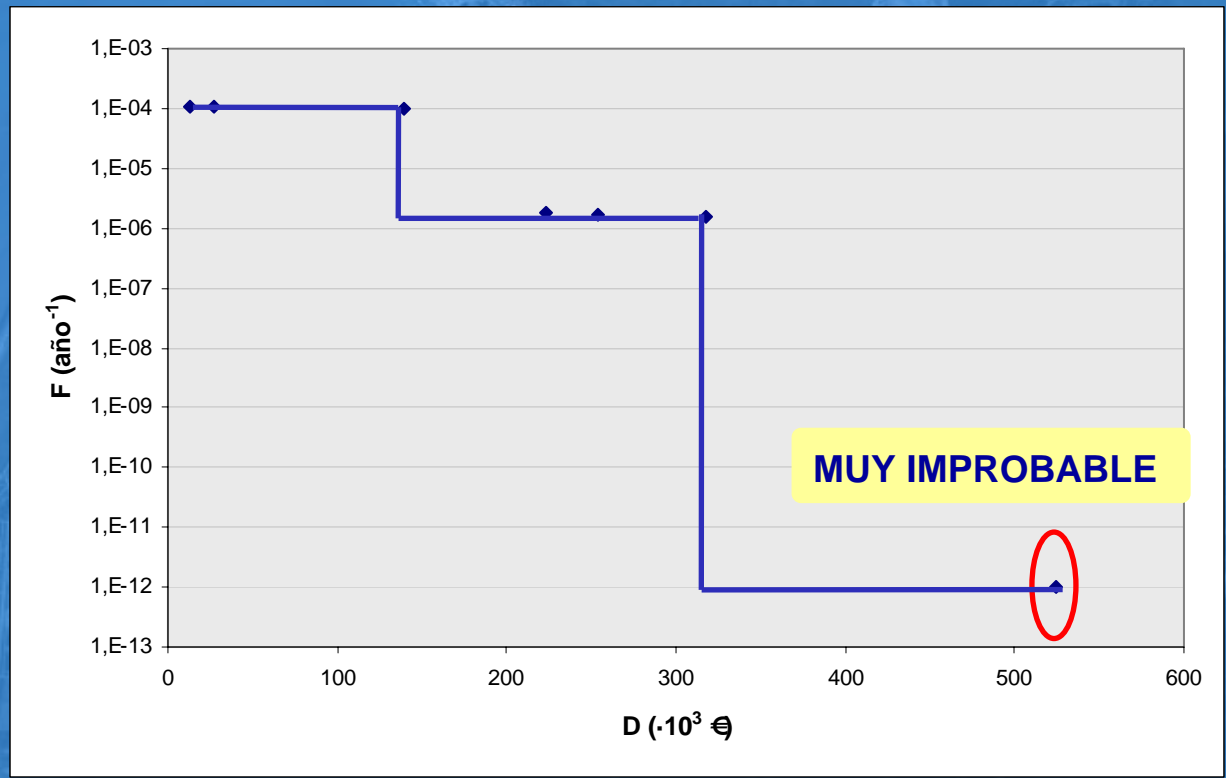
Daño (€)	Probabilidad acumulada (año <sup>-1</sup> )	
13.500	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b} + p_{E8c} + p_{E4} + p_{E9a} + p_{E8a} + p_{E7a}$	$1,037 \cdot 10^{-4}$
27.500	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b} + p_{E8c} + p_{E4} + p_{E9a}$	$1,033 \cdot 10^{-4}$
139.500	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b} + p_{E8c} + p_{E4}$	$1,018 \cdot 10^{-4}$
223.000	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b} + p_{E8c}$	$1,83 \cdot 10^{-6}$
254.000	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b}$	$1,74 \cdot 10^{-6}$
318.000	$p_{E6} + p_{E9b}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
524.200	$p_{E6}$	$10^{-12}$

# VALORACIÓN DEL RIESGO PROPUESTA MIRAT INERCO

**Riesgo = Probabilidad x Consecuencias**



Daño (€)	Probabilidad acumulada (año <sup>-1</sup> )	
13.500	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b} + p_{E8c} + p_{E4} + p_{E9a} + p_{E8a} + p_{E7a}$	$1,037 \cdot 10^{-4}$
27.500	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b} + p_{E8c} + p_{E4} + p_{E9a}$	$1,033 \cdot 10^{-4}$
139.500	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b} + p_{E8c} + p_{E4}$	$1,018 \cdot 10^{-4}$
223.000	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b} + p_{E8c}$	$1,83 \cdot 10^{-6}$
254.000	$p_{E6} + p_{E9b} + p_{E7b}$	$1,74 \cdot 10^{-6}$
318.000	$p_{E6} + p_{E9b}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
524.200	$p_{E6}$	$10^{-12}$



# ANÁLISIS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES



**CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO**

**IDENTIFICACIÓN PELIGROS**

**EVALUACIÓN DE RIESGOS**



**ANÁLISIS DE PROBABILIDAD (veces/año)**

**ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (€)**

**VALORACIÓN DEL RIESGO**

**GARANTÍAS FINANCIERAS**

**GESTIÓN DEL RIESGO**

## GARANTÍAS FINANCIERAS



### Actual proyecto de Reglamento

- ✓ Caracterizar el riesgo de cada escenario accidental como producto entre la probabilidad de ocurrencia del escenario y el valor del daño medioambiental

$$\text{Riesgo (€/año)} = \text{Probabilidad (año}^{-1}\text{)} \times \text{Consecuencias (€)}$$

- ✓ Seleccionar los escenarios de mayor riesgo que agrupen el 95% del riesgo total
- ✓ Establecer como cuantía de la garantía financiera el valor del daño medioambiental más alto entre los escenarios accidentales seleccionados

## GARANTÍAS FINANCIERAS



### Actual proyecto de Reglamento

- ✓ Caracterizar el riesgo de cada escenario accidental como producto entre la probabilidad de ocurrencia del escenario y el valor del daño medioambiental

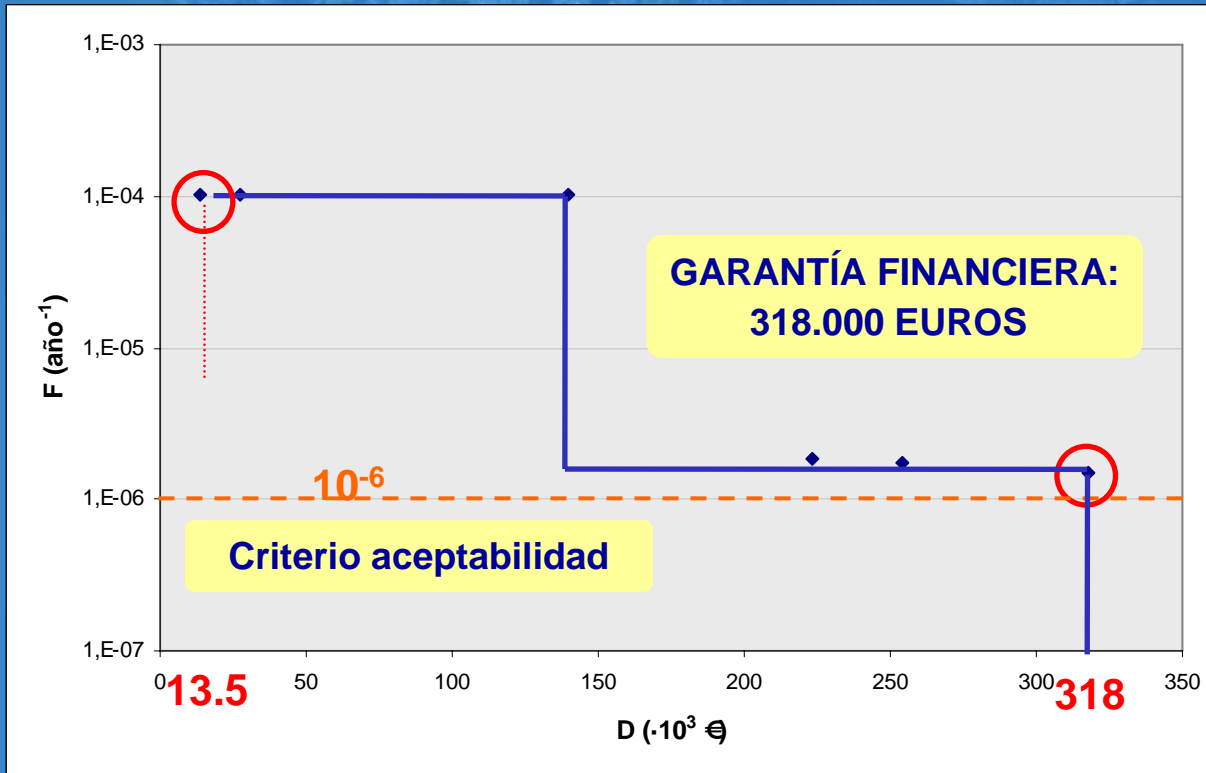
$$\text{Riesgo (€/año)} = \text{Probabilidad (año}^{-1}\text{)} \times \text{Consecuencias (€)}$$

- ✓ Seleccionar los escenarios de mayor riesgo que agrupen el 95% del riesgo total
- ✓ Establecer como cuantía de la garantía financiera el valor del daño medioambiental más alto entre los escenarios accidentales seleccionados





### Propuesta MIRAT sector químico y petroquímico

- ✓ Representación del riesgo en una curva F–D (frecuencia acumulada vs daño medioambiental €)
- ✓ Establecer como cuantía de la garantía financiera el valor del daño medioambiental con una probabilidad acumulada de ocurrencia superior o igual a  $10^{-6}$  año<sup>-1</sup>

# VALORACIÓN DEL RIESGO PROPUESTA MIRAT INERCO



## SUMARIO Y CONCLUSIONES

-  **MIRAT sector químico y petroquímico establece las pautas metodológicas de análisis de riesgos ambientales**
-  **Monetización: Valoración económica del daño**
-  **Define un criterio técnico de riesgo para determinar el escenario y cuantías de la garantía financiera que nos asegure la adecuada corbetura**
-  **Verificación de AENOR**



# Responsabilidad Medioambiental

## Proyecto MIRAT en el Sector Químico y Petroquímico

Madrid, 4 de diciembre de 2008

