



Dirección General
de Protección Civil



GUIA TECNICA

Metodologías para el análisis de riesgos
Visión general

GUIA TECNICA

**Metodologías para
el análisis de riesgos**

Visión general

PRESENTACION

Los Reales Decretos 886/1988 y 952/1990, junto con la Directriz Básica para la Elaboración y Homologación de los Planes Especiales del Sector Químico, constituyen la normativa estatal de aplicación de la Directiva 82/501/CEE y modificaciones, relativa a la Prevención de Accidentes Mayores en determinadas actividades industriales.

La Directriz Básica fue desarrollada con el objeto de establecer, sin menoscabo de las competencias de las Comunidades Autónomas en esta materia, los requisitos exigibles a los planes de emergencia del sector químico, considerándose un documento autosuficiente para la elaboración de dichos planes.

*Para facilitar la aplicación de la Directriz Básica, sobre todo en lo que se refiere a ciertos aspectos técnicos, se dispuso que habrían de elaborarse unas Guías Técnicas de **carácter recomendatorio general**, para la revisión o el desarrollo de ciertos documentos técnicos previstos en la misma.*

Con este fin, la Dirección General de Protección Civil ha elaborado, entre otras, una trilogía de guías que describen las distintas metodologías de Análisis de Riesgos existentes, presentando la primera de ellas una visión general de conjunto, para pasar a especificar en las otras dos las metodologías de análisis cualitativos y las metodologías de análisis cuantitativos, fijando criterios de selección para la elección de uno u otro método.

El desarrollo de estas Guías Técnicas se ha basado en el análisis de documentos publicados en otros países con propósitos similares y en las experiencias obtenidas de su aplicación.

Esta Dirección General de Protección Civil considera que, con las presentes Guías, se ha conseguido una herramienta de trabajo y consulta eficaz para los órganos de las Administraciones Públicas que han de revisar y aprobar los correspondientes estudios de seguridad, objetivo inicial, así como para los industriales de las empresas que estén o no afectadas por la legislación citada, y para aquellas organizaciones, entidades o personas interesadas en las metodologías de análisis de riesgos.

FRANCISCO CRUZ DE CASTRO
Director General de Protección Civil

	Pág.
CAPITULO 1. INTRODUCCION	11
1.1 Objeto	13
1.2 Alcance	13
CAPITULO 2. GENERALIDADES	17
2.1 Objetivos del análisis de riesgos	19
2.2 Ambito de aplicación	20
2.2.1 Tipos de instalación	20
2.2.2 Situaciones operativas de la instalación.	22
2.2.3 Tipos de riesgos a considerar	23
CAPITULO 3. ESTUDIO DE SEGURIDAD. ANALISIS DE RIESGOS DETERMINISTA	25
3.1 Descripción general de la metodología	27
3.2 Identificación de riesgos. Métodos existentes y criterios de selección	34
3.2.1 Objetivo y etapas a seguir	34
3.2.2 Métodos existentes	40
3.2.3 Criterios de selección	41
3.3 Cálculo de consecuencias	46
3.4 Clasificación de accidentes	48
3.5 Recursos necesarios	50
CAPITULO 4. ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS (ACR)	51
4.1 Criterios para exigir un ACR	53
4.2 Descripción general de la metodología	58

4.3	Identificación de riesgos. Métodos existentes y criterios de selección	61
4.3.1	Objetivo y etapas a seguir	61
4.3.2	Métodos existentes.	63
4.3.3	Criterios de selección	63
4.4	Cálculo de frecuencias accidentales	63
4.4.1	Objetivo y etapas a seguir	63
4.4.2	Métodos existentes	64
4.4.2.1	<i>Obtención directa de frecuencias</i>	64
4.4.2.2	<i>Arbol de fallos</i>	65
4.4.2.3	<i>Arbol de sucesos</i>	66
4.4.3	Criterios de selección	67
4.5	Cálculo de consecuencias	67
4.6	Determinación del riesgo	68
4.6.1	Objetivo y etapas a seguir	68
4.6.2	Métodos existentes	69
4.6.3	Criterios de selección	69
4.6.4	Criterios de aceptación	69
4.7	Mejoras a la instalación y reducción del riesgo	71
4.8	Recursos necesarios	71
4.9	Ejemplos	72
CAPÍTULO 5.	OTRAS METODOLOGÍAS	75
5.1	Análisis de riesgos mediante índices de frecuencia/gravedad. Descripción general	77
5.1.1	Método UCSIP	77
5.1.2	Métodos cualitativos	78
5.2	Índices de DOW y MOND	80
CAPÍTULO 6.	RECOPILACION GENERAL Y CRITERIOS DE SELECCION.....	83
6.1	Introducción	85
6.2	Criterios de selección de una metodología	85
6.3	Criterios de selección de un método	87

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Esquema general de un Estudio de Seguridad	28
Figura 4.1	Esquema general de un Análisis Cuantitativo de Riesgos	59
Figura 5.1	Matriz de análisis de riesgos según RMPP	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Condiciones de cálculo de los accidentes	39
Tabla 3.2	Criterios para la selección de un método de identificación de riesgos	43
Tabla 3.3	Métodos para la identificación de riesgos	45
Tabla 4.1	Cálculo del factor de vulnerabilidad del entorno (FV)	54
Tabla 4.2	Criterios para exigir un ACR	55
Tabla 4.3	Cálculo del umbral de letalidad 1 por 100	56
Tabla 4.4	Ecuaciones de Probit de algunos productos	57
Tabla 5.1	Definición de probabilidad de ocurrencia/severidad de consecuencias según el RMPP	78
Tabla 6.1	Resumen de las metodologías y métodos para el análisis de riesgos	86

ABREVIATURAS

ES	Estudio de Seguridad.
DB	Directriz Básica.
ACR	Análisis Cuantitativo de Riesgos.
IBA	Información Básica para la Administración.
PEI	Plan de Emergencia Interior.
PEE	Plan de Emergencia Exterior.

1

Introducción

1.1 OBJETO

En el Real Decreto 886/1988, de 15 julio, sobre prevención de accidentes mayores en determinadas actividades industriales, consta la obligación, para los industriales afectados, de presentar un *Estudio de Seguridad* —**ES en adelante**. Posteriormente, y para los industriales afectados por los artículos 6 y 7, en la Directriz Básica para la elaboración y homologación de los Planes Especiales del sector Químico (Resolución del Ministerio del Interior de 30 de enero de 1991) —**DB en adelante**— se amplía el contenido del ES y se indica que la Autoridad Competente podrá, en casos excepcionales, exigir, adicionalmente al ES, un *Análisis Cuantitativo de Riesgos* —**ACR en adelante**—, especificando también su contenido.

Ambos estudios, ES y ACR, tienen como objetivo identificar y evaluar las condiciones de seguridad de las instalaciones de almacenamiento y/o proceso de productos peligrosos, así como identificar los posibles riesgos y las consecuencias de los accidentes que se pueden derivar de sus actividades. Quedan englobados en lo que se podría denominar más genéricamente: *Análisis de Riesgos* *, siendo el segundo, el ACR, el más completo en su enfoque.

El objeto de esta Guía consiste en describir las distintas metodologías de Análisis de Riesgos existentes (ES en el Capítulo 3, ACR en el Capítulo 4 y otras metodologías en el Capítulo 5), así como fijar unos criterios de selección de las metodologías y métodos aplicables (Capítulo 6).

Esta Guía tiene un carácter *recomendatorio*, lo que implica que se podrá recurrir a metodologías o métodos distintos a los descritos, siempre y cuando cumplan con los objetivos fijados, ofrezcan garantías de su adecuación y se justifique debidamente su uso.

1.2 ALCANCE

En esta Guía Técnica se establecen las distintas *metodologías* aplicables para llevar a cabo un análisis de riesgos en una instalación química. Se entiende por *metodología* la secuencia de pasos a seguir para cumplir con el objetivo pro-

* Aunque estrictamente la palabra riesgo corresponda a un concepto probabilista, se emplea aquí en su sentido más amplio que no restringe su uso a un análisis cuantitativo.

puesto, sin entrar en cuales son los métodos o las técnicas concretas que pueden utilizarse para cubrir cada paso. Este último desarrollo es el que se encuentra en las Guías Técnicas: «Métodos cualitativos para el análisis de riesgos» y «Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos».

Esta Guía pretende ser de utilidad para:

- La elaboración de los análisis de riesgos.
- La revisión de su contenido por las Autoridades Competentes de su aprobación.
- La determinación del grado de detalle con el que se deben realizar los análisis de riesgos en función de las condiciones de las instalaciones y su entorno.
- La planificación del uso del territorio.
- La información básica para la elaboración de los planes de emergencia (interiores y exteriores).
- La elaboración de otros estudios parciales con enfoques y objetivos distintos de los fijados en la DB. Por ejemplo, dotación y organización de la Seguridad en una instalación Industrial, etc.

Por lo expuesto, esta Guía se dirige fundamentalmente a los siguientes colectivos:

- Industriales afectados por la legislación vigente en materia de accidentes mayores y obligados a presentar un ES en cualquiera de las siguientes circunstancias:
 - Instalación nueva afectada por los artículos 6 y 7 del Real Decreto 886/1988.
 - Ampliación o modificación de una instalación ya existente afectada por los artículos 6 y 7 del Real Decreto 886/1988.
 - Revisión periódica (cada cuatro años) de la Declaración obligatoria.
- Industriales citados en el primer punto a los cuales las Autoridades Competentes exigen por unas circunstancias determinadas un estudio más profundo de sus instalaciones.

- Industriales que, aún sin ser afectados por la legislación vigente en materia de accidentes mayores, deseen acogerse a esta guía técnica para realizar el estudio de sus instalaciones con fines diversos (elección del emplazamiento más adecuado para una instalación nueva, mejora general de la seguridad de sus instalaciones, presentar a unas autoridades locales o poblaciones vecinas un estudio de riesgo de una instalación, etc.).
- Autoridades Competentes para la revisión y aprobación de los correspondientes estudios.
- Empresas que realizan este tipo de estudios.

La elaboración de esta Guía Técnica se ha basado en:

- Búsqueda bibliográfica relativa a Guías Técnicas publicadas en otros países y con propósitos similares, así como enseñanzas obtenidas, de su aplicación.
- Recopilación bibliográfica general y específica referida al análisis de riesgos.
- Experiencia adquirida en la aplicación de diferentes metodologías.

2

Generalidades

2.1 OBJETIVOS DEL ANALISIS DE RIESGO

Los objetivos últimos de los análisis de riesgos son la prevención de la ocurrencia y mitigación de los efectos de accidentes en instalaciones industriales potencialmente peligrosas a través de un estudio sistemático de las mismas.

Básicamente consisten en:

- Identificar los riesgos que puede representar una instalación industrial para las personas, bienes y medio ambiente.
- Tipificarlos en una serie de accidentes mayores cuya ocurrencia es factible.
- Determinar los alcances que puedan tener estos accidentes.
- Definir las zonas vulnerables.
- Calcular los daños que puedan provocar.
- Analizar las causas de los accidentes, eventualmente cuantificando sus frecuencias.
- Determinar las medidas de prevención y protección, incluyendo las de carácter organizativo, para evitar su ocurrencia o mitigar las consecuencias.
- Determinar el nivel de riesgo asociado a las instalaciones.

Más ampliamente los análisis de riesgos deberían ser un medio para evaluar también la política general de la seguridad de la empresa, junto con otros documentos, Plan de Emergencia Interior o Información Básica para la Administración (**IBA en adelante**) en su caso, abarcando:

- Organización y gestión de la empresa.
- Diseño y legislación aplicables.
- Mantenimiento e inspecciones periódicas.
- Permisos de trabajo y procedimientos operativos.
- Registro de accidentes.
- Formación e información a los operarios.

2.2 AMBITO DE APLICACION

2.2.1 Tipos de instalación

Para poder recomendar la metodología más idónea para el análisis de riesgos de una instalación es necesario fijar una serie de criterios.

En este sentido, en esta Guía se han considerado básicamente dos aspectos:

- La *legislación vigente* en materia de riesgo de accidentes que se fundamenta en una clasificación de las instalaciones basadas principalmente en las cantidades y características de las sustancias peligrosas. Esta clasificación condiciona de forma objetiva y directamente la metodología a aplicar para el análisis marcando las exigencias mínimas legales.
- Otras *características de las instalaciones* (extensión, tipo de instalación, proceso, entorno etc.) pueden condicionar también la metodología y métodos a seguir en cada caso.

Se desarrollan en los apartados que siguen estos dos puntos.

- a) Desde el punto de vista **legal** se pueden contemplar, tal como se indicó en el apartado 1.2. de esta Guía, las siguientes instalaciones:
- Instalaciones que queden afectadas por los artículos 6 y 7 del RD 886/1988 (instalación nueva, instalación ya existente, ampliación o modificación de una instalación ya existente, revisión de una declaración obligatoria).
 - Las instalaciones citadas en el primer punto a las que la autoridad competente exige un estudio adicional más completo.
 - Las instalaciones afectadas únicamente por el artículo 5 del RD 886/1988 pero que deseen realizar un estudio más completo.
 - Otras instalaciones que requieran la realización de un estudio de sus riesgos con fines diversos (elección del emplazamiento más adecuado para una instalación nueva, mejora general de la seguridad de unas instalaciones, presentar a unas autoridades locales o poblaciones vecinas un estudio del riesgo de una instalación, etc.).

- b) Las **características de las instalaciones** que pueden condicionar de forma decisiva las metodologías a aplicar. Son:

– *Extensión de la instalación*

El tamaño de una instalación determina la complejidad del estudio (una Refinería, por el gran número de unidades que la componen, requiere un análisis amplio). Asimismo, en cuanto a número de empleados, proporciona también una estimación de los recursos humanos y materiales disponibles para los estudios.

– *Tipo de instalación*

Básicamente pueden distinguirse entre cuatro tipos de instalación:

- Instalaciones de almacenamiento de productos químicos. Las operaciones que les son asociadas son principalmente operaciones de carga/descarga desde/a distintos elementos (camiones cisternas, vagones cisternas o barco), de trasiego y envasado.
- Instalaciones de producción, transformación o tratamiento de sustancias químicas.
- Instalaciones en las cuales existen a la vez áreas de almacenamiento (materias primas, productos intermedios o productos acabados) y de proceso.
- En algunos casos, instalaciones de tratamiento de residuos industriales.

En las primeras el riesgo asociado proviene más, en general, de los inventarios de producto que de la complejidad de las instalaciones. En el segundo caso el riesgo puede ser más disperso y el estudio es normalmente más laborioso por los distintos tipos de productos que intervienen, las condiciones variables de operación, las mayores interrelaciones entre distintos sistemas etc.

– *Tipo de proceso*

En las instalaciones de producción, transformación o tratamiento de sustancias químicas conviene también distinguir entre procesos continuos y procesos discontinuos o «*batch*». Estos últimos son secuenciales lo que obliga a un planteamiento de análisis de las distintas fa-

ses de la operación, tanto en la identificación de los riesgos, como en su posterior tratamiento. Intervienen factores como el orden de los pasos seguidos, errores en la naturaleza, cantidad y calidad de las materias primas, etc. porque a menudo se suelen compartir las líneas de proceso para la fabricación de productos distintos. Por otra parte suelen ser procesos poco mecanizados y con mayor contribución manual.

En los primeros existen una variables de proceso estacionarias que suelen oscilar mínimamente entre unos valores determinados.

- *Entorno de la instalación*

El entorno, a su vez, juega un papel decisivo a la hora de seleccionar la metodología a seguir. La presencia de puntos vulnerables (poblaciones, lugares de concentración ocasionales de personas, edificios singulares o zonas protegidas, etc.), justifican estudios más precisos no sólo en cuanto a alcances de posibles daños, sino también en cuanto a riesgo. Por otro lado, la proximidad de plantas y otros lugares potencialmente peligrosos en la vecindad de la instalación requerirán un tratamiento específico en el análisis de riesgos.

2.2.2 Situaciones operativas de la instalación

Las situaciones operativas distintas de una instalación constituyen también un factor a tomar en consideración. Un análisis de riesgos completo debería contemplarse cada una de las posibles situaciones operativas posibles en la medida en que cada una de ellas contribuye al riesgo total de la instalación. En cada una de ellas, por otra parte, los riesgos pueden ser distintos e inherentes a la propia situación. Su tratamiento, asimismo, será diferente.

Así, para instalaciones de proceso, se podría distinguir:

- Las puestas en marcha.
- Los arranques.
- Las paradas programadas.
- Las paradas de emergencia.
- Desmantelamiento y residuos en casos singulares.

Todas ellas son habitualmente secuenciales con sus particularidades propias y requerirán un enfoque que atienda a cada una de las fases que las compongan.

La situación operativa de funcionamiento normal dependerá tal como ya se ha indicado anteriormente del tipo de proceso.

Por último, las operaciones de mantenimiento son operaciones que en determinados casos pueden realizarse durante el proceso productivo o condicionar el estado de determinados componentes de un sistema (indisponibilidad de válvulas no restauradas a su posición normal tras una operación de mantenimiento o pruebas).

Para instalaciones de almacenamiento, tanto fijas como temporales (estaciones de clasificación, instalaciones portuarias) deberá distinguirse entre:

- Las operaciones de trasiego: continuos (por ejemplo, de suministro de materias primas a la parte de proceso) o las intermitentes (carga/descarga desde/a algún medio de transporte a instalación fija).
- Sin actividad pero con los recipientes parcial o totalmente llenos.
- Operaciones de mantenimiento, planificadas o no, de depósitos (vaciado, inertizado, aireado, etc.).

2.2.3 Tipos de riesgos a considerar

Aunque los análisis de riesgos se centran principalmente en los accidentes que finalmente involucren productos químicos, también deberían de contemplar todos aquellos otros accidentes que puedan causar daño.

Básicamente el análisis de riesgos debería reflejar los siguientes riesgos químicos:

- Riesgos químicos provocados por causas internas. Entre estos destacan:
 - Fallo de servicios (suministro eléctrico, agua de refrigeración, corte de vapor de calefacción ...).
 - Fallo de operación (sobrellenado, vaciado, sobrepresurizado, entrada en vacío, ...).
 - Pérdida de contención (fugas, colapsos, roturas ...)
 - Fallos humanos (error en un procedimiento, ...)

3

**Estudio de seguridad.
Análisis de riesgos
determinista**

3.1 DESCRIPCION GENERAL DE LA METODOLOGIA

Los objetivos principales de un estudio de seguridad son:

- Identificar la naturaleza y uso de sustancias peligrosas en la actividad desarrollada.
- Determinar el tipo, frecuencia relativa y consecuencias de los accidentes mayores que pueden acontecer.
- Dar cuenta de las medidas adoptadas para garantizar una operación segura, el control de las desviaciones que podrían conducir a accidentes mayores y los procedimientos de emergencia previstos.

Aunque debe constar de un estudio somero de las posibles causas de los accidentes y de una estimación cualitativa de su frecuencia, no existe una valoración cuantitativa de las frecuencias de ocurrencia con el fin de calcular el riesgo de la instalación, tal como se hace en el ACR.

Desde el punto de vista formal el ES deberá ser redactado en un estilo claro y conciso, con el fin de que sea claramente comprensible por parte de quién tenga que proceder a su consulta o revisión.

Los pasos sucesivos a seguir en un ES son los descritos en la figura 3.1 junto con los resultados parciales obtenidos en cada fase y la división en apartados del correspondiente informe.

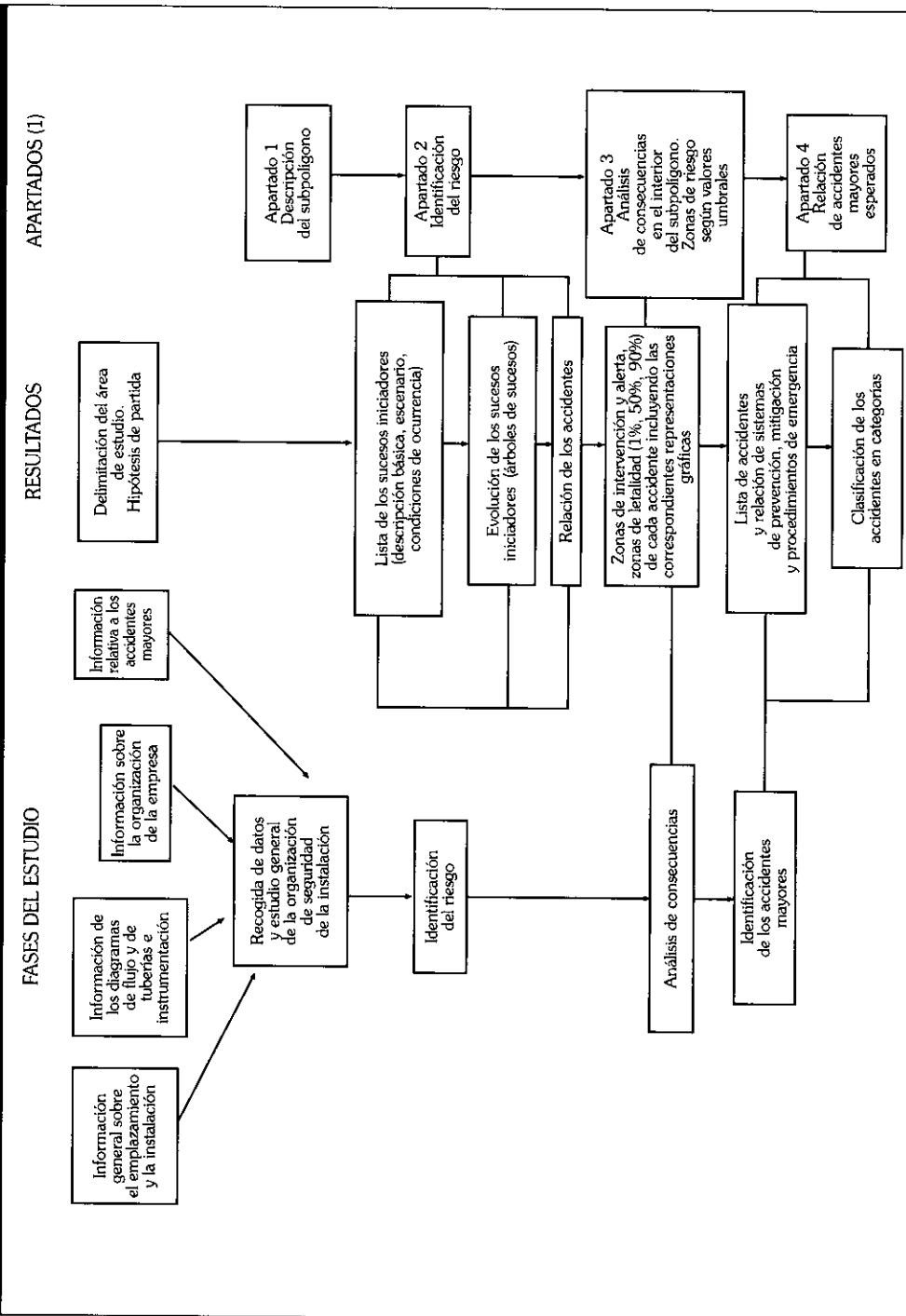
Estará estructurado preferentemente en los siguientes apartados sobre la base de lo previsto en el artículo 3, apartado 3.3 de la DB:

- Apartado 1 Descripción de subpolígono.
- Apartado 2 Identificación del riesgo.
- Apartado 3 Cálculo de consecuencias. Zonas de riesgos según valores umbrales.
- Apartado 4 Relación de accidentes mayores esperados.

Desde el punto de vista técnico se aportará en anexos las referencias, documentos y cálculos necesarios para evaluar las afirmaciones que en él consten.

Los **pasos sucesivos** para desarrollar un ES serán básicamente los que se describen a continuación.

FIGURA 3.1 ESQUEMA GENERAL DE UN ESTUDIO DE SEGURIDAD



(1) Contenido previsto en el artículo 3, apartado 3.3 de la DB.

1.a) RECOGIDA DE INFORMACION Y ESTUDIO GENERAL DE LA ORGANIZACION GENERAL DE SEGURIDAD DE LA INSTALACION

Información general sobre el emplazamiento y la instalación

- Elementos principales del entorno: natural (orografía, ecología, hidrología):
 - Demográficos (núcleos urbanos cercanos, puntos de concentración ocasionales, vías de circulación)
 - Clasificación urbanística; puntos singulares a proteger (monumentos históricos...);
 - Puntos que puedan constituir una fuente de daños a la instalación (instalaciones vecinas, transporte de MMPP...);
 - Infraestructuras (carreteras y vías de acceso). Esta información forma parte de la Información Básica para la elaboración del Plan de Emergencia Exterior (IBA en adelante).
- Ubicación de las distintas áreas de la instalación (oficinas, proceso, laboratorio, zonas de carga y descarga). Esta información es la que se reseña en el apartado A1.3 del Anexo 1 de la DB, como Capítulo 3 del apartado de descripción del subpolígono (planos de implantación a y b).
- Datos del censo industrial (coincide con el Capítulo 1 de identificación del subpolígono del apartado ya citado del Anexo 1 de la DB) incluyendo también datos generales sobre contratistas.

Información técnica

- Será la citada en el apartado A1.3 del anexo 1 del Capítulo 2 de descripción del polígono de la DB. Estará basada en los diagramas de tubería e instrumentación, diagramas de flujo, manuales de operación, planos de implantación de unidades, etc.
- Descripción de las condiciones de operación normal y de otras fases operativas según se describe en el apartado 2.2.2. de esta Guía.

Información sobre la organización de la empresa

- Política de seguridad de la empresa y forma de comunicación al personal.
- Esquemas de organización generales de la empresa para explicar la situación de los departamentos, cuerpos y personas de más relevancia con respecto de la seguridad. Si es necesario esta información incluirá:
 - Número de personas de cada departamento.
 - Descripción de las actividades y responsabilidades de los departamentos, cuerpos y personas de mayor relevancia en materia de seguridad.
 - Descripción de las asesorías y auditorías externas realizadas en materia de seguridad y actividades de los comités de seguridad, en caso de que existan.
 - Disposiciones adoptadas en materia de mantenimiento periódico e inspecciones. Descripción de las previsiones adoptadas para las operaciones de mantenimiento:
 - Permisos de fuego, (cualquier trabajo que implique un punto de ignición en un área clasificada requiere autorización).
 - Trabajos en presión, (cualquier trabajo que implique manipulaciones no habituales en equipos con presión interna requiere autorización).
 - Entradas en equipos (cualquier trabajo que implique la entrada de operarios en equipo requiere autorización).
- Para conocer con más precisión la política general de seguridad de la empresa puede ser necesario verificar los siguientes elementos:
 - Operativa que se sigue para modificaciones del proceso.
 - Operativa que se sigue con cambios de equipos.
 - Desarrollo e investigación de la seguridad de nuevos procesos o nuevos productos.

- Actuación de diagramas de tuberías instrumentación, procedimientos de operación, manuales de operación y otras documentaciones.
- Disponibilidad de licencias.
- Instrucciones escritas.
- Trabajos fuera de jornada normal.
- Formación, ejercicios, entrenamiento y asistencia de los empleados (nuevos empleados, específica de dirección).
- Criterios de selección del personal técnico.
- Establecimiento de los objetivos de seguridad e incentivos para su consecución.
- Registro e investigaciones de accidentes, incidentes y fallos.
- Criterios básicos de selección de contratistas en materia de seguridad.
- Consultores externos en materia de seguridad. Estandars aplicados.
- Uso, vigilancia y entrenamiento en el empleo de los equipos de Seguridad y Alarma para prevención y atenuación de accidentes.
- Descripción de los trabajos más habituales realizados en la instalación tanto por personal propio como por personal externo a la misma.
- Procedimientos de trabajos. Permisos.
- Otros.

Información relativa a los accidentes mayores

- Cantidades, condiciones de almacenamiento y procesos de las sustancias clasificadas. Esta información es la citada en el apartado A1.3 del anexo 1 de descripción del capítulo 2 de descripción del polígono.
- Características físico-químicas de las sustancias peligrosas. Esta información también consta en la IBA.
- Datos meteorológicos.

Toda la información de los apartados anteriores será recopilada y formará parte del primer apartado del ES. Será debidamente analizada con el fin de tener un buen conocimiento de la instalación, de su organización y nivel general de seguridad.

1.b) DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO. HIPOTESIS DE PARTIDA

Una vez conocida la instalación, tanto desde el punto de vista de su organización como desde su modo de operación, habrá que definir claramente los límites del estudio. Esta fase establecerá de forma clara:

- Las razones por las cuales se procede a un ES, especificando en particular las cantidades y sustancias que condicionen su realización desde el punto de vista legal.
- Las áreas objeto de estudio.

Si bien la legislación vigente requiere el ES, en sentido estricto, para las sustancias «clasificadas», sin embargo, el ES debería constituir una reflexión global sobre toda la instalación, abarcando, por tanto, todas las áreas de la misma. Efectos sinérgicos como consecuencias de un accidente pueden traer consigo daños sobre partes de la instalación que contengan sustancias no clasificadas y viceversa. Por otra parte, el ES también constituye la base fundamental para la elaboración del PEI y en esta medida debería contemplar además de los accidentes mayores todos aquellos que al margen de su gravedad, puedan producirse en la instalación.

También es lícito, siempre y cuando se justifique específicamente, estudiar de forma global las zonas de la instalación para las cuales se considera a priori que no requieren un estudio detallado.

- Las fases operativas que se considerarán. Como en el caso anterior de descartarse alguna, deberán justificarse plenamente las razones.
- Por último, también constarán todas aquellas hipótesis o criterios generales aplicados en el estudio.

Todas estas consideraciones deberán incluirse de forma resumida al final del apartado primero del ES.

2. IDENTIFICACION DEL RIESGO

Esta fase, decisiva para el ES, se reflejará en el apartado segundo del ES. Constará de los siguiente elementos:

- Selección del/los métodos más adecuados según las características de la instalación.
- Aplicación del/los métodos.
- Análisis de los resultados.
- Formulación de sucesos iniciadores (definición, escenarios y condiciones).
- Estudio de las posibles causas, métodos de prevención y mitigación.
- Estudio de su evolución. Definición de accidentes.

Se desarrollan detalladamente los anteriores puntos en el apartado 3.2. esta Guía.

3. EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS ASOCIADAS A LOS ACCIDENTES IDENTIFICADOS

Esta evaluación se describirá en el apartado tercero del ES. Se detalla en el apartado 3.3. de esta Guía.

4. CLASIFICACION DE LOS ACCIDENTES

En este apartado se resumirán para cada uno de los accidentes considerados los sistemas de prevención, mitigación y procedimientos de emergencia existentes.

Se procederá a la determinación de las categorías de accidentes según la definición dada en artículo 1, apartado 1.3 de la DB y en base a los resultados del cálculo de consecuencias.

Los puntos citados se incluirán en el apartado cuarto del ES.

3.2 IDENTIFICACION DE RIESGOS. METODOS EXISTENTES Y CRITERIOS DE SELECCION

3.2.1 Objetivo y etapas a seguir

OBJETIVO

La identificación de riesgos es una fase decisiva del ES en la medida en que constituye el punto de partida del estudio y que condiciona todo su planteamiento.

Con el fin de normalizar el planteamiento de los ES se definen a continuación una serie de términos básicos.

DEFINICIONES

ACCIDENTE: suceso incontrolado capaz de producir daño (de acuerdo con la definición dada en la DB). Ejemplos de accidentes pueden ser: BLEVE de un depósito, UVCE (*Unconfined Vapor Cloud Explosion*), contaminación de aguas, etc. El objetivo final de la identificación de riesgos consiste en la determinación de los accidentes característicos de la instalación.

SUCESO INICIADOR: evento interno o externo anómalo que puede conducir a un accidente. Un ejemplo de suceso iniciador podría ser: fallo de un sistema de refrigeración, fuga, seísmo, etc.

ESCENARIO DE SUCESO INICIADOR: es el lugar real en el cual éste se produce. En el caso de una fuga, incluirá, entre otros, los siguientes datos objetivos:

- Tipo de retención de la fuga: existencia de cubetos, pendientes, naturaleza del substrato, sistema de evacuación del producto vertido, etc.
- Proximidad de equipos o puntos de ignición.
- Elementos de detección y aviso: detectores de gas, vigilancia permanente del operador, alarmas...
- Elementos de intervención automáticos (válvulas de exceso de flujo, cortinas de agua...) o manuales (válvulas de seccionamiento accesibles en caso de accidente).

Todos estos factores pueden condicionar la cantidad y/o duración de la fuga y han de ser considerados en la evolución del suceso iniciador.

CONDICIONES DE OCURRENCIA DEL SUCESO INICIADOR: en este apartado se incluyen todas las consideraciones subjetivas o hipótesis de trabajo que se postulan para completar la definición del suceso iniciador. Estas hipótesis abarcarán:

- Las condiciones de partida de la instalación. En caso de fuga, por ejemplo, habrá que definir la cantidad de producto en el equipo (inventario) desde donde se produce la fuga, las condiciones físico-químicas del producto que se libera (composición, temperatura, presión, etc.).
- En caso de fuga, el diámetro equivalente a considerar: Porcentaje del diámetro total para roturas parciales o francas; el caudal en la impulsión de bombas o compresores.
- Condiciones meteorológicas: temperatura, velocidad y dirección del viento, categorías de estabilidad...
- Funcionamiento correcto o no de determinados sistemas de seguridad o de mitigación.

ETAPAS A SEGUIR

I. *Determinación de los sucesos iniciadores*

El objetivo de esta fase consiste, en primer lugar, en la determinación de los sucesos iniciadores susceptibles de provocar en su evolución un accidente mayor.

El procedimiento a seguir debería de ser lo más exhaustivo posible para garantizar la identificación de todos los posibles iniciadores.

Se recomienda en este sentido, y al margen de las técnicas específicas que se apliquen, revisar una lista de «iniciadores potenciales» en la instalación. Como consecuencia de este repaso preliminar se pueden descartar iniciadores a la vista de la levedad de sus consecuencias.

Es importante, sin embargo, que quede constancia escrita de este proceso de reflexión, con el fin de justificar adecuadamente los sucesos iniciadores finalmente retenidos para un estudio más detallado.

La lista de los posibles sucesos iniciadores deberá constar como mínimo de:

- Sucesos iniciadores internos:

Fallo de servicios (suministro eléctrico, agua de refrigeración o de proceso, aire, vapor, nitrógeno, combustible).

Fallo en el suministro/extracción de productos químicos.

Fallos de contención (fugas, escapes, colapsos, etc.)

- Sucesos iniciadores externos

De origen natural: inundaciones, seísmos, lluvias torrenciales, incendios, vendavales, rayos, temperaturas externas extremas etc.

Tecnológicos u otros: actos de sabotaje, accidentes en instalaciones vecinas, accidente en vías de circulación próximas con mercancías peligrosas, etc.

- Efectos sinérgicos y dominó:

- Otros.

Como consecuencia de la aplicación de los métodos seleccionados se obtendrá una lista de los iniciadores.

La definición de los sucesos iniciadores constará de:

- Descripción básica del iniciador.
- Breve revisión de las causas que lo pueden provocar.
- Descripción del escenario.
- Descripción de las condiciones supuestas de su ocurrencia.

En la descripción completa del suceso iniciador deberá constar una estimación de las causas que puedan provocarlo.

3. Estudio de seguridad

Se pueden citar las siguientes:

- Operación fuera de los límites de seguridad por errores humanos o fallo en los sistemas de control (temperatura, nivel, presión, composición).
- Reacciones fuera de control (reacciones exotérmicas, polimerizaciones, descomposiciones).
- Contaminación con productos incompatibles a través de las redes de servicios.
- Retroceso de reactivos hacia el almacenamiento.
- Errores en la gestión y almacenamiento de residuos.
- Corrosión interna.
- Corrosión externa.
- Erosión.
- Obstrucciones.
- Rotura de elementos de la instalación (principalmente los más débiles: cierres mecánicos, fuelles metálicos, mangueras, juntas de expansión, etc.)
- Expansión térmica.
- Posibles errores en la toma de muestras.
- Errores de diseño.
- Etc.

En este último punto es preciso indicar que el ES como tal debe contemplar de forma prioritaria dos tipos de iniciadores:

- Aquellos que pueden provocar los accidentes más probables a priori.
- Aquellos que pueden provocar los accidentes más graves razonablemente postulables.

Tradicionalmente los estudios deterministas tienen como objetivo la determinación de los accidentes más graves postulables en una instalación para así definir la envolvente máxima de daños.

Ahora bien, se matiza este enfoque completándolo con accidentes más probables ya que:

- El ES debería ser también una base para la elaboración del Plan de Emergencia Interior (**PEI en adelante**).
- El dimensionamiento de recursos de intervención internos/externos debería preverse sobre la base de los accidentes más probables y en algunos casos excepcionales sobre los más graves.

Para los accidentes más probables «a priori», un iniciador tipo de pérdida parcial de la cantidad total de producto almacenado (o inventario) deberá ser:

- Roturas de las tuberías de diámetro medio.

y las condiciones de ocurrencia del suceso iniciador deberán reflejar:

- Roturas parciales (10% de la sección total).
- Equipo desde donde se produce la fuga con un nivel de llenado medio (o el más frecuente).
- Condiciones meteorológicas más probables.
- Funcionamiento correcto de sistemas de detección y mitigación.

Para los accidentes más graves postulables, sin embargo, iniciadores tipo de pérdida de inventario deberán ser:

- Pérdida de todo el contenido (o inventario) del equipo.
- Roturas de las tuberías de diámetro mayor.

y las condiciones de ocurrencia de estos sucesos iniciadores deberán de reflejar:

- Roturas totales.
- Equipo con nivel de llenado máximo (según normas).
- Condiciones meteorológicas más desfavorables.
- Funcionamiento de sistemas de protección pasivos exclusivamente.

3.2.2 Métodos existentes para la identificación de riesgos

Básicamente pueden considerarse tres tipos de métodos que se describen en los siguientes apartados.

a) *Métodos cualitativos*

Estos métodos se caracterizan esencialmente por no recurrir a cálculos numéricos.

Suelen estar basados en técnicas de análisis crítico en las que intervienen distintos expertos de la planta. Depende su eficacia de la calidad de la información disponible, su exhaustividad.

Destacan los siguientes:

Análisis histórico. Consiste en un estudio lo más amplio posible sobre accidentes ocurridos en el pasado en instalaciones y/o con productos similares a los estudiados.

HAZOP (o AFO, Análisis Funcional de Operabilidad). Análisis de operabilidad. Técnica inductiva de análisis crítica realizada por un equipo pluridisciplinario para identificar desviaciones de proceso que pueden conducir a accidentes.

Análisis del modo, efecto y criticidad de los fallos (FMEAC). Método inductivo de reflexión sobre las causas/consecuencias de fallos de componentes en un sistema.

Análisis preliminar de riesgos. Método inductivo en el que se analiza de forma sistemática las causas, efectos principales y medidas preventivas/correctivas asociadas.

Check list. Constituyen listas exhaustivas de posibles iniciadores/accidentes a contemplar en la identificación de riesgos.

What if...? Método inductivo en el cual se analiza sistemáticamente las consecuencias de determinados sucesos.

Pueden considerarse también en su raíz, como métodos cualitativos, los métodos de Arboles de Fallos y Arboles de Sucesos, siempre que no se les aplique el Cálculo de Frecuencias.

b) *Métodos semicualitativos*

Estos métodos se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de una instalación en base a una serie de índices que miden su potencial para ocasionar daño en función de una serie de magnitudes y criterios (cantidad de producto, características de peligrosidad etc.).

Entre estos destacan:

Clasificación mediante índice de Mond de fuego, explosión y toxicidad.

Clasificación mediante el índice de Dow de fuego, explosión y toxicidad.

c) *Otros métodos de apoyo*

Básicamente se incluyen aquí las **auditorías de seguridad** que suelen responder a otros objetivos (relativas a la organización de seguridad, el cumplimiento de una legislación, etc.), pero que pueden constituir una base para la identificación de riesgos.

3.2.3 Criterios de selección

DEFINICIONES

INSTALACION: Conjunto de maquinaria, equipos, recipientes y sistemas para la fabricación, transformación, trasiego o almacenamiento de sustancias, el local que los contiene, las dependencias necesarias para su funcionamiento y la extensión de suelo donde se ubican (según DB).

UNIDAD: Es la parte de la instalación en la que se lleva a cabo un proceso determinado. Ejemplos: planta de fabricación de aromáticos, unidad de crudo, etc.

AREA: Subdivisión de la instalación con una entidad funcional propia. Ejemplos: zona de carga/descarga de cisternas, reacción, recuperación de disolventes, etc.

Las técnicas de identificación de riesgos citados tienen unas peculiaridades que hacen que su aplicación puede resultar más provechosa en una circunstancia u otra.

Por otra parte, las áreas de una instalación compleja tienen unas características propias que hacen aconsejable unas u otras técnicas.

Con el fin de asesorar la selección de los métodos más apropiados a una instalación según sus características, se han fijado una serie de criterios que se han considerado importantes para definir los métodos a aplicar.

Los criterios son los reseñados en las tablas 3.2 y 3.3. Básicamente se distingue entre:

– Criterios aplicables a toda la instalación:

- Tamaño de la instalación.
- Plantilla.

El primer criterio puede determinar la aplicación de un método previo para clasificar las áreas. El segundo puede condicionar los recursos disponibles para desarrollar el estudio.

– Criterios aplicables a cada unidad:

- Cantidades almacenadas.
- Tipo de proceso.
- Condiciones de almacenamiento/operación.
- Control.
- Edad de la unidad.
- Ampliación o modificación.
- Vulnerabilidad del entorno.
- Fase operativa.
- Diseño.

TABLA 3.2 CRITERIOS PARA LA SELECCION DE UN METODO DE IDENTIFICACION DE RIESGOS

I. CRITERIOS GENERALES

A. TAMAÑO DE LA INSTALACION

Grande

Más de tres unidades

B. PLANTILLA TOTAL DE LA INSTALACION

Pequeña

< 50 personas

Importante

50 a 250 personas

Muy importante

> 250 personas

II. CRITERIOS A APLICAR A CADA UNIDAD

A. CANTIDADES ALMACENADAS

A.1 Almacenamiento independiente

Pequeño

Cantidad < Umbral 1

Mediano

Umbral 1 ≤ Cantidad < Umbral 2

Grande

Cantidad ≥ Umbral 2

Los umbrales 1 y 2 corresponden a las cantidades de sustancias o grupo de sustancias, expresadas en toneladas, y que constan, respectivamente, en la primera columna (para la aplicación del artículo 5.º del Real Decreto 886/1988) y segunda columna (para la aplicación de los artículos 6.º y 7.º del Real Decreto 886/1988) del Anexo II (parte I/II) del Real Decreto 952/1990.

A.2 Proceso

Pequeño

Cantidad < Umbral 3

Importante

Cantidad ≥ Umbral 3

El umbral 3 corresponde a las cantidades de sustancias clasificadas, expresadas en toneladas o kilogramos, que constan en el anexo III del Real Decreto 886/1988 (con las modificaciones señaladas por el Real Decreto 952/1990). Para la aplicación de los artículos 6.º y 7.º del Real Decreto 886/1988.

B. TIPO DE PROCESO

Continuo

Discontinuo o batch

C. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO/OPERACION

C.1 Almacenamiento

Severas

$T_a(^{\circ}) - 10 \geq T_e(^{\circ})$

No severas

$T_a < T_e$

(*) T_a : Temperatura de almacenamiento (°C).

(**) T_e : Temperatura de ebullición (°C).

TABLA 3.2 CRITERIOS PARA LA SELECCION DE UN METODO DE IDENTIFICACION DE RIESGOS (Continuación)

C.2. Operación	
Muy severas	$P_o(^*) \geq 50$ bar y $T_o(^{**}) \geq 250$ °C o reacciones exotérmicas
Severas	$P_o \geq 50$ bar o $T_o \geq 250$ °C o reacciones exotérmicas
Poco severas	$P_o < 50$ bar y $T_o < 250$ °C y no existen reacciones exotérmicas
D. CONTROL	
Control distribuido	
E. EDAD DE LA UNIDAD	
Nueva < 10 años	
Antigua > 10 años	
En fase proyecto	
F. AMPLIACION/MODIFICACION	
Ampliación	
Modificación	
G. VULNERABILIDAD DEL ENTORNO	
Poco vulnerable	$FV < 10$
Vulnerable	$10 \leq FV < 30$
Muy vulnerable	$FV \geq 30$
Ver tabla 4.2 para el cálculo del factor de vulnerabilidad FV.	
H. FASE OPERATIVA	
Puesta en marcha	
Arranque	
Funcionamiento normal	
Parada	
I. DISEÑO	
Nuevo	
Antiguo	

(*) P_o : Presión relativa de operación (bar).
(**) T_o : Temperatura de operación (°C).

TABLA 3.3 METODOS DE IDENTIFICACION DE RIESGOS

Método	Generales			Unidad			J. Diseño		
	A. Tamaño 1. Jist. más de 3 unidades	B. Cantidad Almac. y Proc. 1. Importante 2. Medio 3. Pequeño	C. Proceso 1. Continua 2. Batch	D. Condiciones Alm./Oper. 1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	E. Control 1. Control alístic.	F. Edad 1. Nueva 2. Antigua 3. Proyec.	G. Amp./Mod. 1. Ampliac. 2. Modific.	H. Vul./Entor. 1. Poco vuln. 2. Vulnerable 3. Muy vuln.	I. Fase Oper. 1. P. marcha 2. Armoniz. 3. Funciona. 4. Parada
Análisis histórico de accidentes.	1 2 3	1 2 3	1 2	1 2 3	1	1 2 3	1 2	1 2 3	1 2 3 4
HAZOP	1 2	1 2	1	1 2		1 3	1	2 3	3 1
Análisis modo efecto e importan. fallos					1				
Análisis modo efecto import. y crític. fallos					1				
Análisis preliminar riesgos									
Check list		3	2	3	1	2	2	1 3	1 2 4
What if...?		3	2	3	1	2	2	1 3	1 2 4
Ind. Mond. fuego, explo. y toxic.						3			
Indice Dow fuego, explo.						3			
Safety review	3	1		1		1 3		3	
Aud. Seguri.	3	1		1		1 3		3	1

Las consideraciones que han conducido a recomendar unas u otras técnicas según los criterios establecidos son las que se reseñan a continuación:

El HAZOP (o AFO) se considera un método muy completo, muy ampliamente utilizado sobre todo para plantas de proceso. Permite identificar iniciadores asociados a las desviaciones de operación, proceso y sucesos externos.

Por tanto se considera preferente su uso para plantas de proceso, de riesgo intrínseco elevado u/o diseños nuevos.

El análisis histórico de accidentes se considera un método general que no requiere muchos recursos y que por tanto se recomienda como un punto de partida en prácticamente todos los casos. En instalaciones de diseños nuevos su aplicación se ciñe más a las características de las sustancias que a la operación ya que no existe experiencia operativa de referencia. Su mayor utilidad reside en instalaciones y productos con amplia difusión (productos energéticos, productos químicos de base).

Para instalaciones con un elevado número de áreas, como Refinerías por ejemplo, se recomienda realizar en primer término un análisis tipo Dow o Mond para identificar las áreas de mayor riesgo de la instalación. A estas se les deberá aplicar posteriormente métodos más precisos para un estudio más profundo ya que el método citado solo da una estimación orientativa de riesgo.

De todas formas conviene resaltar que es aconsejable recurrir a varias de las técnicas citadas para obtener una identificación más completa.

3.3 CALCULO DE CONSECUENCIAS

Esta fase del ES tiene como objeto principal la determinación de las zonas vulnerables asociadas a los accidentes identificados.

DEFINICIONES

Efecto: fenómeno físico asociado a un accidente y capaz de producir daño directo a las personas, bienes y medio ambiente. Básicamente se considera: radiación térmica, sobrepresión, concentraciones tóxicas, proyección de fragmentos. Un mismo accidente puede tener asociado distintos efectos.

Áreas vulnerables: Se incluyen aquí dos tipos de áreas.

- Las áreas a considerar para la planificación de emergencia y dimensionamiento de recursos. Son las definidas en la DB como zonas de intervención y alerta. La DB especifica en este caso unos valores umbrales a considerar para cada tipo de efecto.
- Las áreas en las cuales se produce un daño determinado a personas, bienes y medio ambiente. Según el caso la vulnerabilidad puede evaluarse a través de unas ecuaciones de PROBIT (PROBability unIT) o valores de referencia.

El cálculo de consecuencias, en términos generales, debería cumplir las siguientes especificaciones:

- Deberán determinarse todos los efectos posibles del accidente con especial incidencia sobre los más graves.
- Adicionalmente a las zonas de intervención y alerta, deberán calcularse las zonas de letalidad del 1%, 50% y 99% de víctimas, así como las zonas de daños materiales típicas y de daño al medio ambiente, y daños materiales y/o al medio ambiente.

Estas zonas de letalidad y de daños materiales y/o al medio ambiente son decisivas para:

- La determinación de las categorías de accidentes (definidas según la DB sobre esta base).
- La determinación de la vulnerabilidad del entorno (ver apartado 4.1 de esta Guía).
- Para efectos que evolucionan en función del tiempo (radiación térmica, concentraciones tóxicas) deberían tenerse en cuenta también los tiempos de exposición al efecto (dosis).
- Deberá dejarse clara constancia de las condiciones de cálculo consideradas (caudales de fuga, variables meteorológicas, valores umbrales adoptados...) (1), de los modelos matemáticos aplicados (referen-

(1) Especialmente en cuanto a productos para los cuales existan discrepancias entre distintas fuentes.

cias concretas, listados de ordenador obtenidos si existen, justificación de la adecuación del modelo al caso de aplicación...).

- Deberá darse una estimación de la incertidumbre o rango aproximado del resultado obtenido.

3.4 CLASIFICACION DE ACCIDENTES

Este apartado consta en primer lugar de una recopilación sistemática para cada uno de los accidentes estudiados de los sistemas de prevención, mitigación y procedimientos de emergencia existentes y que condicionan su frecuencia y gravedad.

Se recogen a continuación los elementos a considerar en cada caso.

Sistemas de prevención de accidentes

- Sistemas que permiten asegurar la **seguridad en el diseño**:
 - Estandars reconocidos de diseño, por ejemplo: códigos de construcción de equipos, dobles cierres en bombas, etc.
 - Descargas de elementos de protección o venteos a antorcha.
 - Sistemas de bloqueo y parada de emergencia.
 - Redundancias.
 - Suministros vitales doblados, etc.
- Sistemas para la seguridad en la **construcción mantenimiento** y la **operación**, por ejemplo:
 - Procedimientos operativos.
 - Procedimientos de mantenimiento.
 - Inspecciones.
- Dispositivos/equipos de aviso/seguridad: alarmas, disparos, tanques de descarga, etc.

Sistemas de mitigación de accidentes

- Para la **detección** temprana: detectores de gases/humos/radiación, pinturas especiales (pinturas que varían de color por ser sensibles a la temperatura o a diferentes productos químicos, denunciando así fugas muy pequeñas desde su mismo inicio) rondas de vigilancia de operadores, sistemas audiovisuales de supervisión, etc.
- Sistemas de **mitigación** de las fugas:
 - Las **protecciones pasivas**, que por el mero hecho de existir, constituyen un factor de reducción de la magnitud de las consecuencias. Es el caso de los cubetos de retención, pavimentación, pendientes, drenajes a cubetos de dilución o neutralización.
 - Las **protecciones activas** constituyen elementos de seguridad que, en situaciones determinadas, son activados automáticamente o manualmente. Se incluyen aquí las válvulas de seccionamiento, cortinas de agua para abatir los vapores y diluirlos, *sprinklers*, red contraincendios, etc.

Procedimientos de emergencia

Por último, en este punto se reflejan las actuaciones previstas para hacer frente al accidente: operativa a seguir y procedimientos concretos según la naturaleza del accidente.

En este apartado también se llevará a cabo la clasificación de los accidentes en categorías de acuerdo con las definiciones dadas en el artículo 1, apartado 1.3 de la DB. Al respecto caben las siguientes consideraciones:

- Se clasificarán todos los accidentes considerados incluyendo distintas condiciones de cálculo.
- Se recurrirá no solamente a la clasificación de las zonas de intervención y alerta sino también a los valores umbrales de letalidad, daños materiales y al medio ambiente adoptados (ver apartado 3.3 de esta Guía).
- Si existen varias situaciones posibles se elegirá siempre la más desfavorable (punto de origen de fuga más próximo al límite de la factoría, dirección de viento más desfavorable...).

3.5 RECURSOS NECESARIOS

Los recursos humanos necesarios para realizar un ES varían según:

- La complejidad de la instalación.
- La complejidad de las técnicas aplicadas en cada paso.

La formación específica de las personas que realicen los estudios requiere:

- Buen conocimiento de la planta.
- Conocimientos específicos sobre las distintas técnicas.
- Experiencia industrial general.

Una valoración aproximada de la dedicación necesaria para un ES muy completo de una instalación de menos de tres áreas sería de **200 horas hombre**.

Los recursos materiales necesarios serán en general los siguientes:

- Documentación detallada de la instalación (diagramas de tuberías e instrumentación, diagramas de flujo, hojas de especificaciones técnicas, implantación, distribución del personal en la planta, plantilla, registro y descripción de accidentes ocurridos en la planta...). Esta información está normalmente disponible en la instalación.
- Documentación general sobre el entorno. Esta información puede ser recopilada a través de organismos oficiales (Centros meteorológicos, Institutos geológicos y mineros, Ayuntamientos, etc.).
- Según el caso, informaciones de bancos de datos de accidentes, modelos matemáticos de cálculo de consecuencias, etc.

4

Análisis cuantitativo de riesgos (ACR)

4.1 CRITERIOS PARA EXIGIR UN ACR

El objeto final de un ACR es la determinación cuantitativa del riesgo de una instalación, en base a la determinación de las frecuencias y consecuencias de los accidentes que pueden ocurrir en la misma.

Por otra parte, al estudiarse tanto las causas como las frecuencias, permite poner de manifiesto las medidas correctivas que pueden prevenir y/o mitigar los accidentes.

Se distingue del ES en que éste pretende básicamente identificar y calcular los accidentes más graves postulables en una instalación, mientras que el ACR con su enfoque probabilista toma en consideración todos los accidentes que pueden tener una contribución al riesgo.

En la DB se concibe como un estudio adicional exigible por la administración que profundiza y completa los planteamientos del ES.

Los criterios objetivos que podrían condicionar tal exigencia por parte de la administración, se basan en la definición de dos conceptos:

- Vulnerabilidad del entorno. Se distinguen tres casos: zona poco vulnerable, medianamente vulnerable y muy vulnerable, de acuerdo con la ponderación marcada. Ver tabla 4.1, para la definición de la puntuación.
- Alcance del umbral de letalidad del 1%. Se define como la distancia a la cual el daño asociado a un efecto físico derivado de un accidente provocaría un 1% de muertes en la población existente.

Los criterios para exigir un ACR se indican en la tabla 4.2. Estos criterios deben considerarse de forma orientativa y no excluyente.

La búsqueda de este valor permite determinar si pueden existir víctimas mortales en el exterior del recinto.

Para determinar este alcance se realizarán los siguientes pasos:

- Definir el accidente más grave que se puede producir en la unidad y bajo las condiciones meteorológicas más desfavorables.

TABLA 4.1 CALCULO DEL FACTOR DE VULNERABILIDAD DEL ENTORNO (FV)

	Grave	Medio	Ligero	Nulo
A. Existe riesgo de contaminación de aguas destinadas al consumo humano o agrícola.	10	7	5	1
B. Existe riesgo de que un vertido afecte a áreas recreativas, de producción pesquera o de interés ecológico.	10	7	5	1
C. Existe densidad de población > 3.000 habitantes/km ² en un área de 5 kilómetros de radio.		SI	NO	
D. Existe concentración de población > 10.000 personas en un área de 5 kilómetros de radio.		10	—	
E. Existen instalaciones afectadas por el artículo 6 del Real Decreto 886 a distancia < 1 kilómetro.		10	—	
F. Existen servicios públicos:				
— Concentraciones de población de alto riesgo (hospitales, escuelas, residencias) a distancia < 5 kilómetros.		10	—	
— Puntos de concentración transitoria de población (estadios deportivos, terminales de autobuses, estaciones de ferrocarril, centros comerciales de gran superficie) a distancia < 2 kilómetros.		10	—	
G. Áreas protegidas de patrimonio público a distancia < 2 kilómetros.		10	—	
H. Sistemas de carreteras y vías de transporte: Carreteras con gran volumen de tráfico o líneas férreas a una distancia < 500 metros.		10	—	
I. Aeropuerto a distancia < 5 kilómetros.		10	—	
J. Zona crítica por motivos político-sociales.		10	—	
K. Zona de clasificación sísmica.		10	—	
L. Zona inundable.		10	—	

CALCULO DE FV

$$FV = \sum_{i=1}^L P_i$$

donde P_i es la puntuación asociada al factor i .

CLASIFICACION DE FV

$FV < 10$	Entorno poco vulnerable.
$10 \leq FV < 30$	Entorno medianamente vulnerable.
$FV \geq 30$	Entorno muy vulnerable.

Nota: La puntuación será llevada a cabo para cada unidad de la instalación, siendo FV el valor máximo encontrado entre todas ellas.

4. Análisis cuantitativo de riesgos

- Identificar el efecto físico más grave asociado: concentración tóxica, radiación térmica o sobrepresión.
- Calcular el umbral de letalidad 1%, es decir, la concentración tóxica, radiación térmica o sobrepresión que provocaría un 1% de muertes

TABLA 4.2 CRITERIOS PARA EXIGIR UN ACR

Afectación artículo Real Decreto 886	Factor vulnerabilidad entorno FV (2)	Alcance 1% letalidad superior a límites de instalación (1)	ES	ACR	Otras metodologías	Observaciones
6	FV < 10 (3)	SI	SI	—	—	
		NO	SI	—	—	
	10 ≤ FV < 30 (4)	SI	SI	SI	—	Habrà un estudio de propuestas de mejoras.
		NO	SI	—	—	
5	FV ≥ 30 (5)	SI	SI	SI	—	Se exigirá un importante estudio de mejoras.
		NO	SI	—	—	
	< 10	SI	—	—	SI	
		NO	—	—	—	
NI 6 NI 5	10 ≤ FV < 30	SI	SI	—	—	Habrà un estudio de potenciales mejoras.
		NO	—	—	SI	
	FV ≥ 30	SI	SI	—	—	Habrà un estudio importante de mejoras insistiendo en medidas de protección y prevención.
		NO	—	—	SI	
NI 6 NI 5	FV < 10	SI	—	—	—	
		NO	—	—	—	
	10 ≤ FV < 30	SI	—	—	—	
		NO	—	—	SI	
	FV ≥ 30	SI	—	—	—	
		NO	—	—	SI	Las autoridades analizarán según el entorno y consecuencias potenciales la necesidad de exigir mayor profundidad en el estudio.

- (1) Calculado para el accidente más grave postulable y las condiciones del entorno más desfavorable. En caso de instalaciones que en circunstancias especiales incrementen de forma importante el personal presente en su interior, este límite de letalidad no debe limitarse exclusivamente al exterior.
- (2) Ver tabla 4.1 para su cálculo.
- (3) Entorno poco vulnerable.
- (4) Entorno medianamente vulnerable.
- (5) Entorno muy vulnerable.

en la población existente. Se indica el modo de cálculo de este valor en las tablas 4.3 y 4.4, respectivamente.

TABLA 4.3 CÁLCULO DEL ÚMBRAL DE LETALIDAD 1%

Efecto	Umbral de letalidad 1%
Concentración tóxica	- Productos con ecuación de Probit: Concentración calculada mediante la ecuación $Pr = a + b \ln (c \cdot t)$ donde: • a, b, n, son constantes que dependen del producto (1) • t es el tiempo de exposición en minutos (se adoptará 10 minutos) • Pr es el Probit valor correspondiente al tanto por ciento de muertes (para el 1% $Pr = 2,67$) • C concentración expresada en ppm - Productos que no tengan ecuación de Probit: • Seleccionar un producto de características tóxicas parecidas y para el cual se disponga de ecuación de probit. • Calcular su umbral de letalidad 1%. • Determinar la relación de IPVS (2). • Multiplicar el umbral de letalidad calculado por esta relación. En caso de no existir un producto de referencia, se adoptará como valor la décima parte del IPVS.
Radiación térmica	Radiación térmica calculada mediante la ecuación de Eisenberg et al 1975. $Pr = -14,9 + 2,56 \ln (t \cdot q^{4/3} \times 10^{-4})$ donde: - t es el tiempo de exposición por segundo (se adopta 1 minuto) - q es la radiación térmica expresada en W/m^2 - Pr es el probit (para 1% $Pr = 2,67$) El valor obtenido es de $8 kW/m^2$
Sobrepresión	- Sobrepresión calculada mediante la ecuación de Eisenberg et al., 1975 para los efectos directos del pico de la onda: $Pr = -77,1 + 6,91 \ln p^o$ donde: • p^o es el pico de sobrepresión expresado en N/m^2 (3) • Pr es el probit (para 1% $Pr = 2,67$) El valor obtenido es de $103.170 N/m^2$ - Sobrepresión calculada mediante la ecuación de Eisenberg et al., 1975 para los efectos indirectos de fragmentos al impulso. $Pr = -27,1 + 4,26 \ln J$ donde: • J es aproximadamente $1/2 p^o t$ • p^o es el pico de sobrepresión expresado en N/m^2 • t tiempo de duración del impulso (s) El valor obtenido para el impulso es $1083 N.s/m^2$

- (1) En la tabla 4.4 se reseñan las ecuaciones de Probit de algunos productos.
(2) Concentración inmediatamente peligrosa para la vida y la salud.
(3) Equivalencia. $100 N/m^2 = 1 \text{ mbar}$.

4. Análisis cuantitativo de riesgos

TABLA 4.4 ECUACIONES DE PROBIT PARA ALGUNOS PRODUCTOS

$$Pr = a + b \ln (C^n t) \quad (1)$$

C (ppm)

t (min)

Producto	a	b	c
Acroleína	- 9,9315	2,0488	1
Acronitrilo	- 29,4224	3,008	1,43
Amoníaco	- 35,9	1,85	2
Benceno	- 109,78	5,3	2
Bromina	- 9,04	0,92	2
Monóxido de carbono	- 37,98	3,7	1
Tetracloruro de carbono	- 6,29	0,408	2,50
Cloro	- 8,29	0,92	2
Formaldehído	- 12,24	1,3	2
Cloruro de hidrógeno	- 16,85	2,00	1,00
Cianuro de hidrógeno	- 29,4224	3,008	1,43
Fluoruro de hidrógeno	- 35,8680	3,3545	1,00
Sulfuro de hidrógeno	- 31,42	3,008	1,43
Bromuro de metilo	- 56,81	5,27	1,00
Metil isocianato	- 5,642	1,637	0,653
Dióxido de nitrógeno	- 13,79	1,4	2
Fósforo	- 19,2736	3,6861	1
Oxido de propileno	- 7,413	0,509	2,00
Dióxido de azufre	- 15,670	2,10	1,00
Tolueno	- 6,794	0,408	2,50

(1) Fuente AIChE, 1988 (*American Institute for Chemical Engineers*).

- Determinar bien sea mediante modelos de simulación u otras técnicas la distancia a la cual se alcanza el umbral de letalidad.
- Comparar los límites de la Instalación. Si se sobrepasan estos límites existe la posibilidad de que se produzcan víctimas letales en el exterior de la misma.

4.2 DESCRIPCION GENERAL DE LA METODOLOGIA

Desde el punto de vista formal, el ACR, como el ES, deberá ser redactado en un estilo claro y conciso, con el fin de que sea claramente comprensible por parte de quien tenga que proceder a su consulta, revisión u homologación.

Los pasos sucesivos a seguir en un ACR son los descritos en la figura 4.1 junto con los resultados parciales obtenidos en cada fase y la división en apartados del correspondiente informe, de acuerdo con lo especificado por la DB artículo 3 apartado 3.4.

Estará estructurado preferentemente en los siguientes apartados:

- Apartado 1. Breve descripción del subpolígono.
- Apartado 2. Identificación del riesgo.
- Apartado 3. Determinación de las causas y frecuencias de los accidentes.
- Apartado 4. Análisis de consecuencias.
- Apartado 5. Determinación del riesgo.
- Apartado 6. Mejoras a la instalación y reducción del riesgo.
- Apartado 7. Conclusiones.

Desde el punto de vista técnico se aportarán en anexos las referencias, documentos y cálculos necesarios para evaluar las afirmaciones que en él consten.

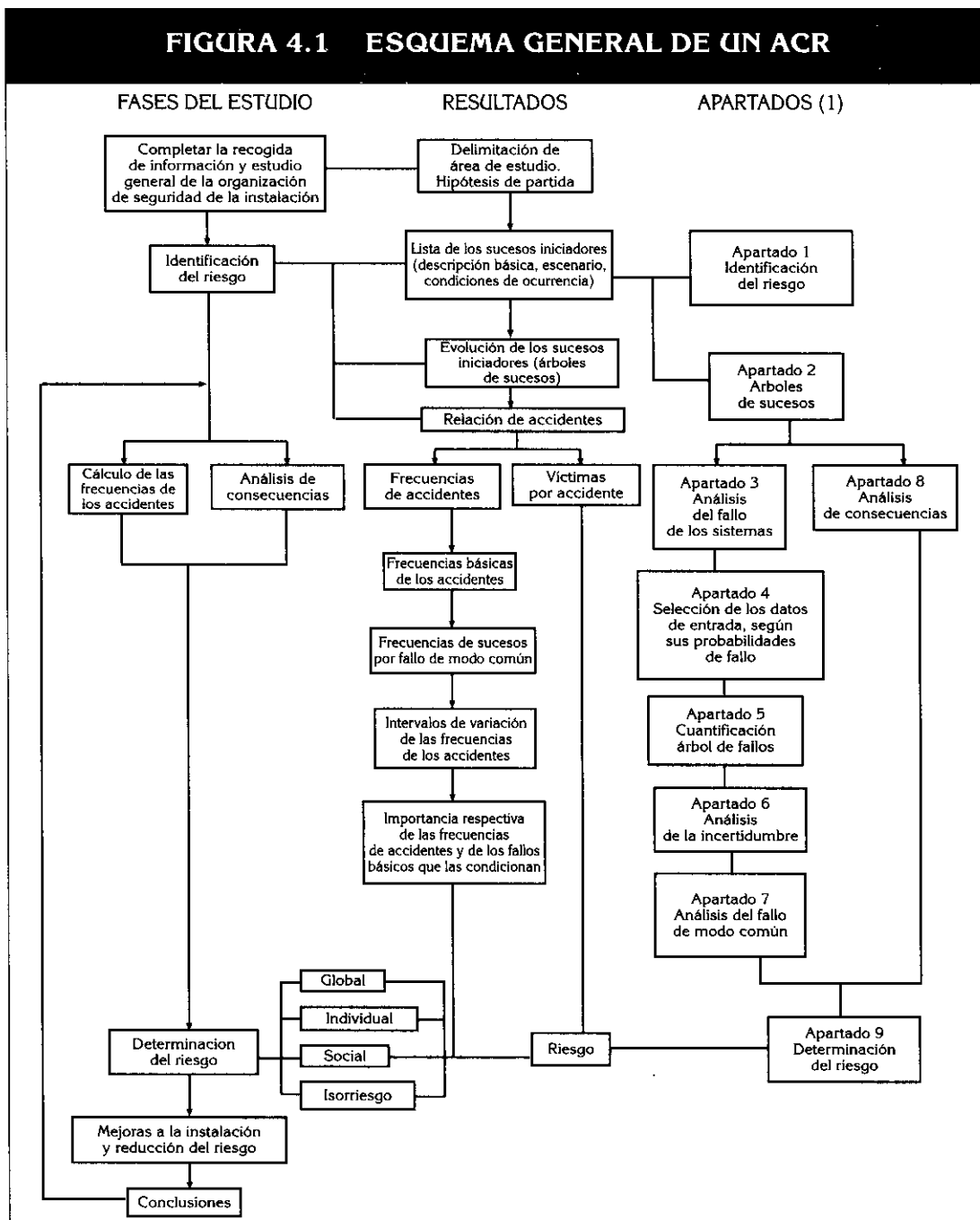
Los **pasos sucesivos** para llevar a cabo un ACR serán básicamente los que se describen a continuación:

- 1a) COMPLETAR LA RECOGIDA DE INFORMACION Y ESTUDIO GENERAL DE LA ORGANIZACION DE LA SEGURIDAD DE LA INSTALACION CON RESPECTO DE LA REALIZADA PARA EL ES

La información a recoger será básicamente la misma que la citada para el ES (apartado 3) y se incluirá un breve resumen de la misma remitiendo al apartado correspondiente del ES.

4. Análisis cuantitativo de riesgos

FIGURA 4.1 ESQUEMA GENERAL DE UN ACR



(1) Contenido previsto en el artículo 3, apartado 3.3 de la DB.

1b) DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO. HIPOTESIS DE PARTIDA

Una vez conocida la instalación tanto desde el punto de vista de su organización, como desde su modo de operación habrá que definir claramente los límites del estudio. Esta fase establecerá de forma clara:

- Las razones por las cuales se procede a un ACR.
- Las áreas objeto de estudio.

En el caso del ACR el objetivo último es el cálculo del riesgo de una instalación; por tanto debería contemplar todas las áreas de la misma con un grado de detalle ajustado a la importancia en cuanto a posible contribución al riesgo.

- Las fases operativas que se consideraran. De descartarse alguna, deberán justificarse plenamente los motivos.
- Por último, también constarán todas aquellas hipótesis o criterios generales aplicados en el estudio.

Todas estas consideraciones deberán incluirse de forma resumida al final del apartado primero del ACR.

2) IDENTIFICACION DEL RIESGO

Esta fase, todavía más decisiva si cabe que para el Estudio de Seguridad, se reflejará en el apartado segundo del ACR. Constará de los siguientes elementos:

- Selección del/los métodos más adecuados según las características de la instalación.
- Aplicación del/los métodos.
- Análisis de los resultados.
- Formulación de sucesos iniciadores (descripciones, escenarios y condiciones).
- Estudio de las posibles causas, métodos de prevención y mitigación.
- Estudio de su evolución. Definición de accidentes.

Se desarrollan detalladamente los anteriores puntos en el apartado 4.3 de esta Guía.

3) DETERMINACION DE LAS CAUSAS Y FRECUENCIAS DE LOS ACCIDENTES

Se describirá en el apartado 3 del ACR. Se detalla en el apartado 4.4 de esta Guía.

4) CALCULO DE CONSECUENCIAS

Se describirá en el apartado 4 del ACR. Se detalla en el apartado 4.5. de esta Guía.

5) CALCULO DEL RIESGO

Se describirá en el apartado 5 del ACR. Se detalla en el apartado 4.6. de esta Guía.

6) MEJORAS A LA INSTALACION Y REDUCCION DEL RIESGO

Se describirá en el apartado 6 del ACR. Se detalla en el apartado 4.7. de esta Guía.

7) CONCLUSIONES

Se destacarán las conclusiones más importantes del estudio en el último apartado del ACR.

4.3 IDENTIFICACION DE RIESGOS. METODOS EXISTENTES Y CRITERIOS DE SELECCION

4.3.1 Objetivo y etapas a seguir

La identificación de riesgos es una fase decisiva del ACR en la medida en que el riesgo se calcula en base a las hipótesis de accidente que se obtendrán como resultado de esta fase.

La terminología que se utilizará en el ACR será la misma que la planteada en el apartado 3.2.1 de esta Guía, del ES, en cuanto a *accidente, suceso iniciador, escenario del suceso iniciado y condiciones de ocurrencia del suceso iniciador*.

ETAPAS A SEGUIR

I. *Determinación de los sucesos iniciadores*

Se seguirá el procedimiento descrito en el apartado 3.2.1 de esta Guía, punto I, del ES, tomando en consideración las siguientes salvedades:

El ACR debe contemplar de forma prioritaria los iniciadores que puedan tener una contribución más importante al riesgo, es decir:

- Aquellos que puedan provocar los accidentes más probables a priori.
- Aquellos que pueden provocar los accidentes más graves razonablemente postulables.
- Aquellos que puedan conducir a accidentes que tengan a la vez una frecuencia media/alta y unas consecuencias intermedias/graves.

Por su carácter probabilista cualquier supuesto elegido deberá por tanto quedar afectado por su probabilidad de ocurrencia, debiéndose abarcar el máximo de casos posibles.

Así, un iniciador tipo de pérdida de inventario deberá ponderar con las frecuencias relativas:

- Tanto las roturas de diámetro completo con las consecuencias asociadas, como las de diámetro medio (10% de la sección total).
- El nivel de llenado del equipo desde donde se produce la pérdida.
- Las diferentes condiciones meteorológicas existentes y sus probabilidades.
- El funcionamiento correcto o el fallo de sistemas de detección y mitigación.

II. *Determinación de la evolución de los sucesos iniciadores*

Se seguirá el procedimiento descrito en el apartado 3.2.1, de esta Guía punto II, del ES.

III. *Relación de los accidentes*

Se seguirá el procedimiento descrito en el apartado 3.2.1 de esta Guía, punto III, del ES.

La relación de accidentes obtenidos al elaborar el ACR forzosamente deberá ser más extensa que la contemplada en el ES de la misma instalación o unidad, debido a las mismas razones ya expuestas en el punto I.

4.3.2 **Métodos existentes**

Se emplean los métodos descritos para el ES en el apartado 3.2.2 de esta Guía.

4.3.3 **Criterios de selección**

La terminología utilizada en este apartado en cuanto a instalación, unidad, área es la definida para el ES en el apartado 3.2.3 de esta Guía.

Con el fin de asesorar la selección de los métodos se han fijado una serie de criterios.

Estos son los reseñados en las tabla 3.2 y 3.3 del Capítulo 3. Esta tabla se comenta en el apartado 3.2.3 del citado Capítulo de esta Guía.

4.4 **CALCULO DE FRECUENCIAS ACCIDENTALES**

4.4.1 **Objetivo y etapas a seguir**

El objetivo principal de esta fase consiste en la determinación de las frecuencias de los accidentes planteados.

Las etapas a seguir para cada suceso iniciador:

1. Estudio de las causas que pueden ocasionar el suceso iniciador.
2. Estudio de los sistemas de prevención que pueden evitar el suceso.

-
3. Estudio de los sistemas que intervienen en la evolución del suceso iniciador.
 4. Selección de los métodos de cálculo más adecuados.
 5. Búsqueda de bases de datos más apropiadas. Análisis de fiabilidad.
 6. Bases específicas de datos de la propia instalación (principalmente en los Sistemas con mayor impacto de riesgo).
 7. Asignación/cálculo de frecuencias expresándolas en ocasiones/año.
 8. Estudio del fallo de modo común.
 9. Estudios de incertidumbre.
 10. Análisis de resultados cuantitativos y cualitativos.
 11. Análisis de importancia.
 12. Propuestas de mejoras y análisis de resultados.

Esta fase, sean cuales sean los métodos aplicados, debe aportar toda la información que permita:

- Evaluar la solvencia de los datos utilizados u obtenidos citando procedencia y adecuación al caso estudiado.
- Especificar el margen de incertidumbre esperable sobre los datos utilizados y/o calculados.

4.4.2 Métodos existentes

4.4.2.1 Obtención directa de frecuencias

Las frecuencias de algunos sucesos pueden ser obtenidas directamente. La información puede extraerse por ejemplo de:

- Estadísticas de fallos elaboradas en la propia instalación.
- Datos proporcionados por fabricantes de componentes.
- Bancos de datos genéricos.
- Datos correspondientes a análisis históricos.

A modo de ejemplo se reseñan los datos que proporcionan el informe WASH-1400 de la U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research, Probabilistic Analysis Branch, para roturas de tuberías.



4. Análisis cuantitativo de riesgos

- La probabilidad de rotura de una tubería de diámetro inferior o igual a 3" que proporciona la fuente citada es de 10^{-9} ocasiones por hora de operación y por sección de tubería (considerando una longitud de sección de aproximadamente 10 m).
- El intervalo de dispersión de este dato es de : [$3 \cdot 10^{-11}$ /hr sección; $3 \cdot 10^{-8}$ /hr].
- El factor de error: 30. Se supone que la dispersión sobre la tasa de fallos se distribuye según una ley de distribución lognormal de mediana 10^{-9} /hr sección. El parámetro característico de esta distribución es el factor que multiplicado o dividido por la mediana da el intervalo de variación.

Del mismo modo, para tuberías de mayor diámetro, la fuente citada proporciona para la rotura:

- Probabilidad de ocurrencia: 10^{-10} ocurrencia/hr por sección de tubería.
- Intervalo de variación: [$3 \cdot 10^{-12}$ /hr sección; $3 \cdot 10^{-9}$ /hr sección].
- Factor de error: 30.

Según las fuentes, los valores cambian sustancialmente, poniéndose de nuevo de manifiesto la necesidad de un estudio de incertidumbre para acotar los resultados obtenidos en un margen de confianza.

4.4.2.2 *Arbol de fallos*

Para sucesos más complejos (tanto iniciadores como otros) en los cuales intervienen distintos tipos de elementos: componentes técnicos, operador, etc. se puede recurrir a la técnica del árbol de fallos que consiste en descomponer un suceso de forma sistemática en sucesos intermedios hasta llegar a fallos básicos cuyas probabilidades se pueden encontrar en bancos de datos de fiabilidad.

La técnica del árbol de fallos permite la obtención de resultados cualitativos (los denominados minimal cut sets o conjunciones de fallos que pueden generar el suceso estudiado) y también resultados cuantitativos (probabilidad del suceso estudiado). A través de los análisis de importancia, permite el análisis de los puntos más débiles del sistema.

Mediante técnicas de Montecarlo (1) se puede determinar la incertidumbre que pesa sobre el suceso estudiado con evaluaciones sucesivas del árbol de fallos, dando valores aleatorios, dentro de su intervalo de variación a los fallos básicos.

La técnica se basa sobre la hipótesis de independencia estadística de los sucesos básicos (la ocurrencia del fallo de un componente no condiciona el fallo de otro). Ello implica que deberá completarse con un estudio del fallo de modo común que ponga de manifiesto las dependencias estadísticas entre componentes básicos y reevalúe la frecuencia del suceso estudiado tomándolo en consideración.

Como en el apartado anterior será necesario ser lo más explícito posible en cuanto a las probabilidades utilizadas para los componentes básicos. Se deberá citar la fuente, las consideraciones adoptadas en su cálculo, etc.

4.4.2.3 *Arbol de sucesos*

Esta técnica inductiva se aplica para describir la evolución de un suceso iniciador. Permite plantear las secuencias accidentales en función de los diferentes factores que pueden condicionar el desarrollo del accidente.

En el caso de una fuga líquida de un producto inflamable se analizaría a través de la técnica, las secuencias que pueden conducir a distintas consecuencias como por ejemplo: explosión no confinada, BLEVE de un equipo próximo según se den unos determinados fenómenos (ignición inmediata, retardada, etc.).

Por último, permite determinar la frecuencia de un accidente en función de:

- La frecuencia del suceso iniciador.
- Las probabilidades de los factores que intervienen en la evolución secuencial del suceso.

Los datos utilizados en el árbol de sucesos serán en general de procedencia variable según el tipo de factor condicionante:

(1) Nombre genérico de los Métodos de análisis numérico que consisten en utilizar números aleatorios para representar procesos.

4. Análisis cuantitativo de riesgos

- Resultado de un árbol de fallos específico para sucesos complejos.
- Probabilidad directa.
- Estimación.

También en este caso se procurarán especificar los márgenes de variación del resultado con el fin de acotar el resultado en un intervalo de confianza.

4.4.3 Criterios de selección

Ya han sido citados en los anteriores apartados. Si el iniciador es un suceso poco complejo y bien definido en cuanto a las causas que lo provocan, se podrá obtener su frecuencia directamente de Bases de Datos.

La técnica del árbol de fallos es relativamente laboriosa y se aplicará en aquellos casos en que ésto se justifique:

- Ausencia de dato directo en fuentes consultadas.
- Por la complejidad del suceso estudiado.
- Alto grado de interrelación entre sistemas, operador, etc.

La técnica del árbol de sucesos se utilizará normalmente para calcular la frecuencia de un accidente cuando se conoce la frecuencia del suceso iniciador correspondiente en función de las probabilidades de los distintos eventos que condicionan la evolución del suceso iniciador.

4.5 CALCULO DE CONSECUENCIAS

Esta fase del ACR tiene como objeto principal la determinación de:

- La delimitación de las áreas en torno al origen de cada accidente en las cuales se produce un determinado nivel de daño a las personas.
- La evaluación del número de víctimas generadas en estas áreas para cada uno de los accidentes estudiados.

En el primer caso se recurre a las zonas definidas por criterios de letalidad. Las *ecuaciones de Probit* relacionan las dosis (acumuladas al cabo de un determinado tiempo de exposición) de determinados efectos (radiación térmica, concentración, sobrepresión) con probabilidades de daño, normalmente muerte.

En el segundo caso se determina, en función de la población situada en la zona de letalidad, el *número de víctimas* que ocasiona cada accidente.

Deberían cumplirse las siguientes **especificaciones**:

- Deberán contabilizarse todos los efectos posibles del accidente con especial incidencia sobre los *más graves*.
- El cálculo de víctimas deberá integrar ponderando con sus respectivas probabilidades, las *distintas condiciones meteorológicas* de la zona.
- Deberá dejarse clara constancia de las *condiciones de cálculo consideradas* (caudales de fuga, variables meteorológicas, valores umbrales adoptados...); de los *modelos matemáticos aplicados* (referencias concretas, listados de ordenador obtenidos si existen, justificación de la adecuación del modelo al caso de aplicación...).
- Deberá darse una estimación de la *incertidumbre* o rango aproximado del resultado obtenido. En este caso es el asociado al cálculo de las áreas letales, a las ecuaciones de Probit, a la evaluación de las poblaciones afectadas, etc.

4.6 DETERMINACION DEL RIESGO

4.6.1 Objetivo y etapas a seguir

El objetivo principal de esta fase consiste en combinar los resultados obtenidos en las anteriores etapas calculando el riesgo asociado a cada una de las hipótesis accidentales contempladas, expresado como producto de su frecuencia y del número de víctimas que puede ocasionar.

Esta fase final del ACR debería de cumplir las siguientes especificaciones:

- Existen diversas formas de representación del riesgo que se comentan en los apartados sucesivos. Debería recurrirse a distintos tipos de representación para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos.
- Determinar: en qué lugares se concentra el riesgo, qué hipótesis contribuyen más al mismo, qué factor contribuye más al riesgo (frecuencia o daño), que áreas vecinas son más vulnerables, que accidentes pueden generar un número elevado de víctimas, etc.
- Comparar con otras actividades industriales y/o criterios de aceptación.



4.6.2 Métodos existentes

Existen distintos conceptos de riesgos que responden a distintas definiciones y que se complementan entre sí. Así se distingue básicamente entre el riesgo global, individual o social.

El **riesgo global** corresponde al sumatorio de los riesgos de cada uno de los accidentes calculados. Esto es frecuencia global expresada en ocasiones por año y víctimas por ocasión.

El **riesgo individual** corresponde a la frecuencia de daño, como consecuencia de un accidente, de una persona situada en un punto determinado del entorno.

El **riesgo social** agrupa los accidente por probabilidades de causar un determinado número de víctimas, o expresado de otro modo, como la relación entre el número de víctimas de un accidente y la probabilidad de que tal número sea excedido.

El riesgo se puede presentar de distintas maneras:

- Tablas en las cuales se indican para las hipótesis de accidentes seleccionadas para cada área el número de víctimas (interiores/exteriores) asociadas, las frecuencias, los riesgos globales.
- Curvas isoriesgo en las que se unen los puntos del espacio con un nivel de riesgo individual igual.
- Curvas F-N que representan el riesgo social de frecuencia del accidente frente a un número de afectados.

4.6.3 Criterios de selección

Se considera que para una visión completa del riesgo de la instalación es necesario recurrir al cálculo de los tres tipos de riesgo citados anteriormente y a las representaciones mencionadas.

4.6.4 Criterios de aceptación

La Directriz Básica especifica un criterio de aceptación del riesgo de **10⁶ víctimas/año**. Expresado con estas unidades tal valor responde a un criterio de riesgo global (frecuencia expresada en ocasiones por año y víctimas por ocasión).

Ahora bien, cabe interpretar que el criterio de aceptación fijado se basaba, como suele hacerse habitualmente, en un criterio de riesgo individual (frecuencia de daño a un individuo como consecuencia de un accidente) expresado en años⁻¹.

En los casos en que el ACR proporciona un riesgo individual superior a este umbral, la DB especifica que la autoridad competente determinará las medidas correctoras convenientes.

Con respecto de la aceptación del riesgo caben, no obstante, los siguientes comentarios:

1. La mayoría de los países es reacia a fijar un umbral de aceptabilidad del riesgo por una serie de razones:
 - Incertidumbre asociada a todas las fases del proceso de cálculo del riesgo.
 - Convierte el ACR en un proceso numérico, para demostrar que la instalación está por debajo de unos umbrales, no valorándose suficientemente los resultados cualitativos.
 - Arbitrariedad del umbral fijado cuando existen otros elementos de juicio: vulnerabilidad del entorno, ...

En un informe de 1989 del HSE (*Health and Safety Executive*, autoridad competente inglesa en materia de riesgo tecnológico), se comparan los resultados de varios ACR en distintos campos, en los cuales se pone de manifiesto la dificultad en fijar un umbral que abarque todos los casos de forma satisfactoria.

2. En este sentido se considerará el umbral marcado como un elemento más de referencia efectuándose una evaluación global, tanto relativa a los resultados cualitativos, como a los cuantitativos.
3. La recomendación de mejoras en la instalación debe ser uno de los objetivos prioritarios de este tipo de estudio y no debería estar basada únicamente sobre el umbral de aceptación. La administración y el industrial, en función de los criterios objetivos aportados por el ACR, evaluarán las mejoras a aportar a la instalación, considerando todos los elementos importantes: factores económicos, reducción del riesgo, etc.

4.7 MEJORAS A LA INSTALACION Y REDUCCION DEL RIESGO

Una de las características principales del ACR es que a lo largo de todo su desarrollo *permite poner de manifiesto una serie de posibles mejoras a la instalación*:

- En la fase de identificación del riesgo. Algunos de los métodos, como *por ejemplo el HAZOP (AFO)*, *contemplan específicamente este aspecto en su aplicación.*
- En la fase del análisis de consecuencias a la vista de los elementos de mitigación de las fugas.
- *En la fase de la determinación de las causas y frecuencias de los accidentes, a través del cálculo de los *minimal cut sets* en la aplicación de la técnica del árbol de fallos o en los estudios de importancia.*

La realización del ES también *permite evidenciar posibles mejoras a la instalación*, si bien la diferencia reside en que en el caso del ACR se puede determinar el impacto que tendrían en la instalación si fueran implementadas.

Este impacto se calcula de forma global procediendo a la nueva determinación del riesgo asociado a la instalación, considerando la inclusión de las mejoras estudiadas.

Destaca en este caso que la reducción del riesgo se expresa en términos relativos, es decir al margen de los valores absolutos de los datos adoptados sobre los cuales pesa tal como ya se ha indicado, cierta incertidumbre.

De la decisión final sobre la incorporación de las mejoras a la instalación dependen otros factores como el de la reducción de riesgo conseguido, los aspectos económicos, la vulnerabilidad del entorno etc.

4.8 RECURSOS NECESARIOS

Los recursos humanos necesarios para realizar un ES varían según:

- La complejidad de la instalación.
- La complejidad de las técnicas aplicadas en cada paso.

La formación específica de las personas que realicen los estudios requiere:

- Buen conocimiento de la planta.
- Conocimientos específicos sobre las distintas técnicas.
- Experiencia industrial general.

El ACR complementa el ES, es decir, que gran parte de la labor realizada para desarrollar el ES es una buena base para el ACR, aunque tal como se ha recomendado en los capítulos anteriores sus objetivos difieren y por lo tanto habrá que ampliar el abanico de iniciadores a considerar. Adicionalmente, es necesario proceder a la determinación de las frecuencias de los accidentes y al cálculo de víctimas para completar el ACR. La determinación de las frecuencias es precisamente una fase del ACR que requiere una dedicación importante, así como el cálculo del riesgo asociado a la instalación, considerando las mejoras identificadas. En resumidas cuentas, se considera que una valoración aproximada de la dedicación necesaria para un ACR de una instalación de menos de tres áreas sería de 150 horas hombre, en el caso en que ya estuviese hecho el ES. Lógicamente de iniciarse directamente el estudio habría que considerarse en torno a las **350 horas hombre**.

Los recursos materiales necesarios serán en general los citados para el ES, en el apartado 3.5 de esta Guía, añadiéndose:

- Demografía de la zona.
- Información sobre bancos de fiabilidad de componentes.
- Modelos matemáticos para el cálculo de frecuencias, etc.

4.9 EJEMPLOS

Desde el punto de vista histórico existen dos estudios ACR que marcaron las pautas de realización de tales estudios en el campo químico. Se citan y describen de forma muy resumida en los apartados que siguen:

Canvey report

El informe Canvey fue encargado en marzo de 1976 por una comisión del HSE (*Health and Safety Executive*, autoridad competente inglesa en materia de riesgos tecnológicos) para estudiar el riesgo asociado a varias instalaciones ubica-

das en Canvey Island en la proximidad de Thurrock. La petición de estudio respondía a la conveniencia de revocar los permisos dados en 1973 a una empresa para construir una refinería en esta zona cercana a núcleos urbanos.

Constituye un ACR de toda una zona industrial con las siguientes fases:

- Identificación de las sustancias peligrosas, su situación, las cantidades almacenadas y en proceso de las siete industrias principales (líquidos inflamables, amoníaco, LPG (gases licuados del petróleo), LNG (gas natural) y HF (ácido fluorhídrico).
- Obtención y revisión de las características principales de los productos (inflamabilidad y toxicidad).
- Identificación de los mecanismos por los cuales los accidentes en estas instalaciones pueden afectar a las poblaciones.
- Identificar los mecanismos que pueden conducir a los accidentes postulados (errores del operador, fatiga o desgaste, corrosión, pérdida del control del proceso, impurezas, incendio, explosión, etc.).
- Cuantificación de las probabilidades de los accidentes postulados y de sus consecuencias.

Las características más destacables de este estudio son:

1. Se procede a una **asignación directa de las frecuencias** de los accidentes en base a distintas fuentes bibliográficas.
2. Se estudia la posibilidad de interracción entre accidentes y eventualidad de un efecto «dominó».
3. Se determinan los riesgos sociales asociados a las instalaciones de la zona y los riesgos individuales correspondientes a las situaciones en el momento del estudio y considerando la implementación de unas mejoras identificadas en el estudio.

Rijnmond

El informe Rijnmond es un estudio piloto publicado en noviembre de 1981 a petición de la administración holandesa sobre seis instalaciones situadas en el área de Rijnmond. Los pasos seguidos en este ACR fueron:

-
- Recogida de datos y determinación de los límites del estudio.
 - Identificación de los accidentes potenciales.
 - Selección y aplicación de los modelos de cálculo para los fenómenos físicos.
 - Selección y aplicación de los modelos de cálculo de las consecuencias de los efectos físicos sobre las personas.
 - Recogida y aplicación de los datos básicos y modelos para calcular las probabilidades de los accidentes.
 - Selección y desarrollo de las distintas formas de presentación de los resultados finales.
 - Estudio de la sensibilidad de los resultados con respecto a las variaciones en las hipótesis de partida y estimación de la precisión y fiabilidad de estos resultados.
 - Estudio de la influencia de las medidas de reducción del riesgo.

Las características más destacables de este informe son:

1. Se hace un extensivo uso de los **árboles de fallos** para calcular las frecuencias de los accidentes.
2. Se utilizan las **curvas FN** (curvas de frecuencia de accidente-número de víctimas) para representar el riesgo social de estos accidentes, así como los contornos de riesgo individual (curvas isoriesgo).
3. Se calcula la **incertidumbre** asociada a los resultados: en los árboles de fallos, vía métodos de Montecarlo y también en los modelos físicos (llegándose a una incertidumbre aproximada de un orden de magnitud).
4. No se procede a un estudio sistemático de la reducción del riesgo con la adopción de determinadas medidas.

5

**Otras
metodologías**



5.1 ANALISIS DE RIESGOS MEDIANTE INDICES DE FRECUENCIA/GRAVEDAD. DESCRIPCION GENERAL

Se han desarrollado diferentes métodos para conseguir una clasificación semi cuantitativa o cualitativa del riesgo tomando en cuenta un índice de daños y un índice de frecuencia, y combinándolos finalmente en una tabla que proporcionará el nivel de riesgo del accidente o del área estudiada. Entre los distintos métodos existentes, destacan:

- Metodología UCSIP (*Union des Chambres Syndicales de l'Industrie du Pétrole*), desarrollado para la realización de los *Etudes de dangers* en las refinerías.
- Metodologías puramente cualitativas.

Estas metodologías han tenido diferentes grados de aceptación a lo largo del período histórico desde su desarrollo hasta ahora.

5.1.1 Métodos UCSIP

Se realiza mediante los siguientes pasos:

1. *Inventario de riesgos inherentes a las instalaciones*

Se realiza un inventario exhaustivo de los riesgos tecnológicos asociados a los equipos de las unidades, distinguiéndose entre:

- Riesgos comunes: son los generales asociados a toda la Refinería.
- Riesgos inherentes a las unidades.

2. *Determinación del nivel de riesgo asignado a los sistemas y equipos. Se basa en los siguientes puntos*

- a) El riesgo se expresa como una cifra de dos dígitos, el primero es asignado a la clase de gravedad y el segundo a la clase de probabilidad.
- b) La clase de gravedad tiene cinco niveles (1 al 5) en función del nivel de daños generados, de los que únicamente el nivel 5 supone que los efectos sobrepasan los límites de la refinería.

La asignación del nivel de gravedad se basa en el empleo de unos diagramas de puertas lógicas que hacen intervenir unos criterios de cálculo expresados en ecuaciones simplificadas extraídas de la bibliografía.

- c) La clase de probabilidad se asigna a seis niveles (numerados de 1 a 5 y x) variando la probabilidad contemplada entre 10^{-10} ocasiones/h y 10^{-4} ocasiones/h y siendo el último -x- el correspondiente a sucesos a los cuales no se puede asignar en valor numérico, como por ejemplo sucesos de sabotaje.

La asignación se basa en la determinación de un factor de seguridad (FS) que tiene en cuenta doce parámetros diferentes relativos al equipo estudiado.

5.1.2 Métodos cualitativos

Estas metodologías recurren a una asignación directa de unos niveles de probabilidad y de severidad de las consecuencias de los eventos identificados. Existen distintos tipos de escalas. En la tabla 5.1 se incluye a modo de ejemplo el correspondiente al RMPP (*Risk Management and Prevention Program*).

Posteriormente se definen unos umbrales de aceptabilidad en función de las combinaciones entre los valores de probabilidad y severidad de las consecuencias. En la figura 5.1 se muestra la tabla correspondiente al ejemplo citado anteriormente.

TABLA 5.1 (I) DEFINICION DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA SEGUN EL RMPP (1)

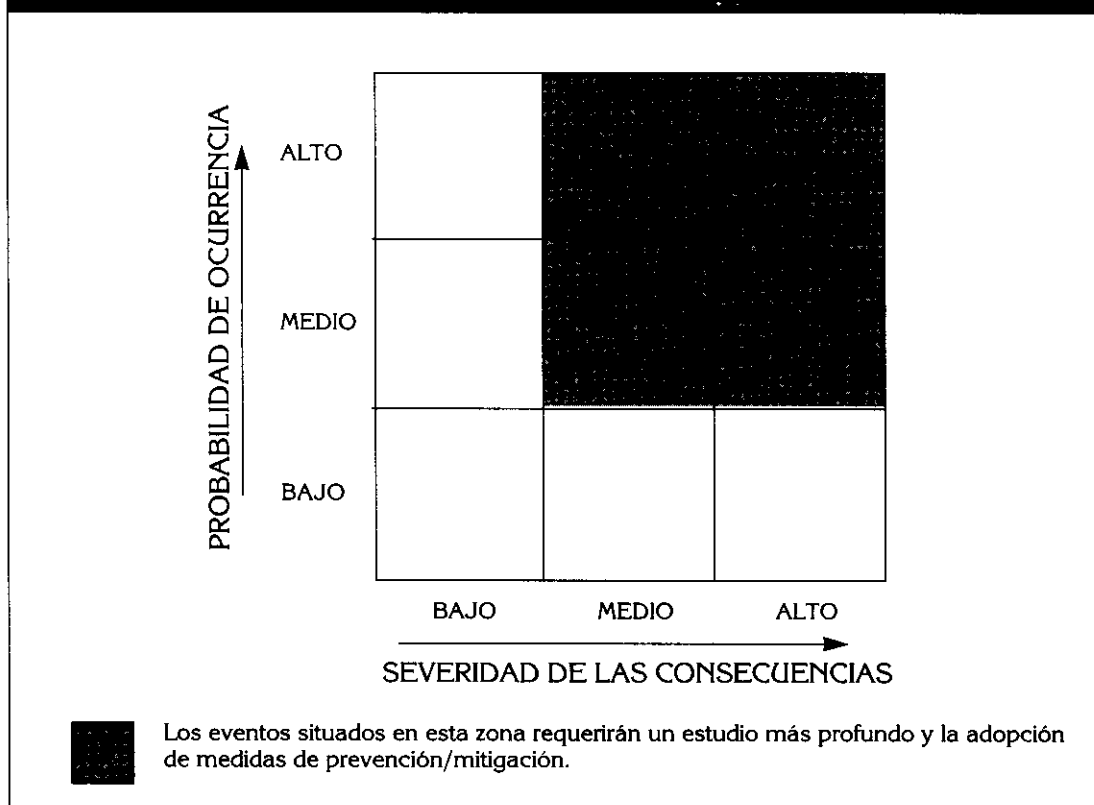
I Baja:	Ocurrencia considerada <i>improbable</i> durante la vida media de la planta, en condiciones normales de operación y mantenimiento.
II Media:	Ocurrencia considerada <i>posible</i> durante la vida media de la instalación.
III Alta:	Probabilidad de ocurrencia suficientemente alta como para poder suponer que el suceso <i>ocurrirá</i> al menos una vez durante la vida media de la instalación.

(1) *Risk Management and Prevention Program*.

TABLA 5.1 (II) DEFINICION DE SEVERIDAD DE CONSECUENCIAS SEGUN EL RMPP (1)

I. Baja:	Se puede considerar que el producto químico se dispersará en el entorno en concentraciones despreciables. Cabe esperar lesiones para exposiciones largas o individuos con condiciones de salud susceptibles de crear complicaciones.
II. Media:	Se puede considerar que el producto químico se dispersará en el entorno en concentraciones suficientes para causar lesiones serias y/o muertes si no se toman medidas correctivas efectivas con rapidez.
III. Alta:	Se puede considerar que el producto químico se dispersará en el entorno en concentraciones suficientes para causar lesiones serias y/o muertes por exposición. Cabe esperar que un elevado número de personas serán afectadas.

(1) Risk Management and Prevention Program (USA).

FIGURA 5.1 MATRIZ DE ANALISIS DE RIESGOS SEGUN RMPP (1)

(1) Risk Management and Prevention Program (USA).

5.2 INDICES DE DOW Y MOND

Si bien se han citado ya estos dos métodos en el apartado de identificación de riesgos, se pueden considerar como una metodología de análisis de riesgos ya que permiten una clasificación global de una instalación. No obstante, tal como se indica en el correspondiente apartado, constituye una metodología muy simplificada y somera.

EL METODO INDICE DE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION se desarrolla siguiendo las etapas que se comentan a continuación:

- a) Dividir la planta química en estudio en «unidades de proceso» para cada una de las cuales se determinará su «Índice de Incendio y Explosión».

El criterio básico de adopción para seleccionar estas unidades será, por un lado, el nivel de detalle pretendido en el estudio y, por otro, la homogeneidad necesaria que permita la aplicación correcta del método.

- b) Determinar el «**Factor de Material**» para cada Unidad.

Este factor (FM) proporciona una medida de la intensidad de liberación de energía de una sustancia o mezcla de sustancias.

- c) Evaluar los Factores de Riesgo **F1** y **F2**:

- Factor de Riesgos Generales del Proceso (*General Process Hazards*) (F1),
- Factor de Riesgos Especiales del Proceso (*Special Process Hazards*) (F2),

considerando las condiciones generales de proceso (reacciones exotérmicas o endotérmicas, transporte de material, accesos inadecuados, etc.) y los riesgos específicos del proceso (producto tóxico, operación en vacío, operación dentro o cerca del rango de inflamabilidad, u otras).

- d) Calcular el «**Factor de Riesgo**» (F3) como producto de F1 y F2 y el «Factor de Daño» para cada Unidad determinada en a). El factor de daño es función del factor de riesgo y el factor de material y se obtiene mediante una gráfica que proporciona el manual del método.

- e) Determinar los «**Índices de Fuego y Explosión**» (IIE como producto de FM y F3) y el **Area de Exposición** para cada Unidad de Proceso seleccionada. El Area de Exposición es función del Índice de Fuego y Explosión y se obtiene mediante una gráfica que proporciona el manual del método.
- f) Calcular el «**Daño Máximo Probable a la Propiedad**» (MPPD), tanto básico como real, por consideración de los factores de bonificación.
- g) Calcular el «**Daño Máximo Probable a la propiedad real**», por consideración de los factores de bonificación, reflejo de los sistemas de protección de los que dispone la unidad. Estos factores son tres: por control de proceso, aislamiento del material o protección contra el fuego y contemplan los siguientes aspectos:

C1: Energía de emergencia, refrigeración, control de explosiones, paro de emergencia, control por ordenador, disponibilidad de gas inerte, procedimientos de operación, programas de revisión de procesos y operaciones.

C2: Válvulas de control remoto, drenajes, enclavamientos, tanques para vertidos de emergencia.

C3: Detectores, protección de estructuras, tanques de doble pared, suministro de agua contra incendios, sistemas especiales (Hálón, CO₂, detectores de humos y de llama), rociadores, cortinas de agua, espuma contra incendios, extintores manuales, protección de cables eléctricos y de instrumentación.

Del Factor de Bonificación FB y a través de un sistema gráfico, se obtiene el «**Factor de Bonificación Efectivo**» (FBE).

- h) Determinación de los «**Máximos Días de Interrupción**» (MPDO) y los costes por interrupción de la Actividad (BI) en estos días, como consecuencia del incendio o explosión en la unidad.

EN REFERENCIA AL METODO DEL INDICE DE MOND, debe comentarse que la principal diferencia frente al Índice de Dow, reside en que Índice de Mond considera la toxicidad de las sustancias presentes, y este parámetro es introducido como un factor independiente, considerando los efectos de las sustancias tóxicas por contacto cutáneo o por inhalación.

6

**Recopilación general
y criterios
de selección**

6.1 INTRODUCCION

En esta Guía se han expuesto tres tipos generales de metodologías para realizar un análisis de riesgos (en la acepción más amplia del término) (1).

- Estudio determinista o **ES** cuyo propósito primordial es la evaluación de la máxima envolvente de daños.
- El Análisis Cuantitativo de Riesgos o **ACR** que evalúa el riesgo asociado a la instalación.
- **Otras metodologías** más cualitativas basadas en general en la ponderación cualitativa de unos índices de frecuencia y severidad de las consecuencias.

Es importante remarcar que en la práctica se suele recurrir también a variantes en las metodologías citadas. Por ejemplo, es factible que, en una situación determinada, la autoridad competente pida a un industrial que haya realizado un ES que complete el estudio con la determinación de las frecuencias, sin llegar a la realización de un ACR.

6.2 CRITERIOS DE SELECCION DE UNA METODOLOGIA

Criterios legales

El primer criterio a tomar en consideración es la legislación vigente en materia de riesgos tecnológicos. Según ella, los industriales afectados por el R.D. 886/88 (artículo 6) quedan obligados a realizar un ES, pudiendo la administración pedir un ACR en determinados casos, dichos estudios deben seguir lo fijado en la Directriz Básica para la elaboración y homologación de los Planes Especiales del Sector Químico (Artículo 3 apartados 3.3 y 3.4 respectivamente).

Criterios adicionales

En la tabla 6.1 se recogen criterios adicionales expuestos ya en el apartado 4.1 de esta Guía, y basados en dos conceptos:

- Vulnerabilidad del área.
- Zona de letalidad del 1%.

(1) Aunque estrictamente la palabra riesgo corresponde a un concepto probabilista, se emplea aquí en su sentido más amplio que no restringe su uso a un análisis cuantitativo.

TABLA 6.1 RESUMEN DE LAS METODOLOGIAS Y METODOS PARA EL ANALISIS DE RIESGOS

Metodología	Criterios de selección de la metodología	Fases	Métodos	Criterios de selección del método
ES	- Todas las instalaciones afectadas por el artículo 6 del Real Decreto 886/1988. - Instalaciones afectadas por el artículo 5 del Real Decreto 886/1988 que tengan un entorno medianamente o muy vulnerable (1) y con un alcance del 1 % de letalidad que supere a los límites de la instalación.	1. Identificación de riesgos. 2. Determinación de las consecuencias de los accidentes.	CUALITATIVOS: Análisis histórico HAZOP FMEA/FMEAC Análisis preliminar Check list What is...? SEMICUALITATIVOS: Índice DOW Índice MOND OTROS: Auditorías de Seguridad	Los métodos citados son prácticamente aplicables en todos los casos, pero según las características de la instalación, el uso de algunos de ellos sea más apropiado. En la tabla 3.3 se reservan estos criterios.
ACR	Instalaciones afectadas por el artículo 6 del Real Decreto 886/1988 que tengan un entorno medianamente vulnerable o muy vulnerable y con un alcance del umbral de letalidad 1% que supere los límites de la instalación.	1. Identificación de riesgos. 2. Determinación de las consecuencias de riesgos. 3. Determinación de las frecuencias de los accidentes.	Directa (datos bibliográficos) Árbol de fallos Árbol de sucesos	Suceso sencillo de causa bien definida. Suceso complejo involucrando diversos factores. Para determinar la frecuencia de un accidente según los factores que condicionan su evolución.

(1) Ver tablas 4.1 y 4.2.

TABLA 6.1 RESUMEN DE LAS METODOLOGIAS Y METODOS PARA EL ANALISIS DE RIESGOS (Continuación)

Metodología	Criterios de selección de la metodología	Fases	Métodos	Criterios de selección del método
ACR	Instalaciones afectadas por el artículo 6 del Real Decreto 886/1986 que tengan un entorno medianamente vulnerable o muy vulnerable y con un alcance del umbral de letalidad 1 % que supere los límites de la instalación.	4. Determinación del riesgo.	Riesgo global Riesgo individual Riesgo social	Se aconseja calcular los tres tipos.
Otras	Instalaciones afectadas por el artículo 5 del Real Decreto 886/1986 que tengan un entorno poco vulnerable pero con un umbral de letalidad 1 % que supere los límites de la instalación e instalaciones medianamente o muy vulnerables cuando su umbral de letalidad 1 % no sobrepase los límites de la instalación.	-	-	Diseñado para refinerías.
UCSIP	-	-	-	Aplicable a cualquier tipo de instalación.
Clasificación mediante índices de frecuencia y severidad de consecuencias.	-	-	-	-
Clasificación con índices DOW/MOND	Instalaciones no afectadas ni por el artículo 5 ni por el 6 que tengan un entorno medianamente o muy vulnerable con un umbral de letalidad 1 % que sobrepase los límites de la instalación.	-	-	Aplicable a instalaciones de más de tres unidades.

6.3 CRITERIOS DE SELECCION DE UN METODO

Para cada uno de los pasos de los análisis se recomendaron una serie de métodos sobre la base de las características de las instalaciones y de las distintas técnicas.

Identificación de riesgos

En la tabla 3.2 se recogen los criterios generales que se han considerado para determinar los métodos apropiados a cada instalación para la identificación de riesgos.

Estos criterios se dividen en dos grupos: aplicables a toda la instalación (número de unidades y plantilla) y aquellos aplicables a cada unidad (relacionados con las sustancias, el tipo de proceso, vulnerabilidad, etc., de cada una de las unidades).

En la tabla 3.3 se reflejan los métodos aconsejados según las características anteriormente citadas.

Determinación de frecuencias

Si el suceso de accidente es poco complejo y bien definido se podrá obtener su frecuencia en base a la consulta de bancos de datos genéricos o de los registros de fallos de la propia instalación.

Si el suceso es complejo se recurrirá a la técnica del árbol de fallos.

Por último para definir la frecuencia de un accidente, conocida la frecuencia del suceso iniciador, se utilizará la técnica del árbol de sucesos (que integra los factores que condicionan la evolución del suceso).

Determinación de las consecuencias de accidentes

En esta Guía se han indicado las especificaciones básicas exigibles a esta fase. En la Guía Técnica correspondiente se detallarán los criterios de selección concretos.

Determinación del riesgo

Para el cálculo del riesgo se considera necesario recurrir al cálculo de los tres tipos de riesgo: global, individual y social.

En la tabla 6.1 se agrupan las distintas metodologías descritas en esta Guía, los criterios de selección y los métodos aplicables en cada fase.