

EL ANALISIS DEL RIESGO QUIMICO A PARTIR DEL REAL DECRETO 866/88 SOBRE PREVENCION DE ACCIDENTES MAYORES

Manuel Bestratén Bellovi
Coordinador de Condiciones materiales de trabajo
Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. BARCELONA

1. INTRODUCCION

La incorporación de la Directiva «Seveso» 501/82 de la CEE a la legislación española a través del Real Decreto 886/1988 de 15 de julio (BOE núm. 187 de 5-8-88), representa un significativo avance para la protección del hombre y del medio ambiente frente a los accidentes mayores de origen químico, cuyas consecuencias potencialmente puedan sobrepasar los recintos fabriles y afectar gravemente a núcleos urbanos o al medio natural.

Los mecanismos de actuación establecidos por dicha Reglamentación para la prevención y control de graves riesgos para las personas, el medio ambiente y los bienes, debidos a incendios, explosiones y/o fugas o vertidos de sustancias peligrosas, son básicamente en síntesis los siguientes:

1. **La propia labor preventiva de la empresa**, mediante la identificación-evaluación de riesgos y consiguiente adopción de medidas de seguridad, la elaboración del Plan de Emergencia Interior y la formación, información y equipamiento del personal.
2. **La declaración obligatoria por parte del fabricante a la autoridad competente** de informaciones relativas a sustancias químicas utilizadas, instalaciones y situaciones eventuales de accidente, así como

sus planes de emergencia ante las mismas.

3. **La respuesta y el compromiso de la Administración a través de la Autoridad competente** para recibir y examinar las declaraciones obligatorias de las empresas, asegurándose de que éstas adopten las medidas más apropiadas, y además elaborar e implementar los planes de emergencia exterior, procurando que todas las personas que puedan ser afectadas por un accidente mayor sean informadas debidamente. Si bien a efectos de este Real Decreto se consideran autoridades competentes el Ministerio del Interior (Dirección General de Protección Ci-

vil), los delegados del Gobierno en las Comunidades Autónomas, los gobernadores Civiles y los alcaldes; son las Comunidades Autónomas los órganos competentes con plena capacidad legal y técnica para el desarrollo y aplicación efectiva de la nueva Reglamentación, creando para ello los adecuados sistemas de inspección y control. Las Administraciones Central y Municipal ejercen principalmente funciones de colaboración en el tema y de transmisión de informaciones especialmente sobre los accidentes sucedidos, los cuales deberán ser notificados a la Comisión de la CEE por la Dirección General de Protección Civil para el desarrollo del Banco Co-



munitario de Datos (MARS) sobre Accidentes Mayores, como fuente de conocimientos y experiencias.

Una reglamentación como ésta con un marcado acento autonómico deja lógicamente abiertos una serie de interrogantes sobre los procedimientos técnicos de actuación de las empresas que, lógicamente, cada Comunidad Autónoma habrá de resolver para clarificar además de su contenido los criterios técnicos de aspectos tan importantes como son los niveles de tolerancia de los riesgos de acuerdo a sistemas de evaluación establecidos. Todo y que en plazo próximo habrán de emanar a nivel nacional Directrices Básicas de Planificación del Riesgo Químico, que facilitarán las tareas, superando ciertas ambigüedades de esta primera etapa de aplicación de la Reglamentación.

2. EL ANALISIS DE RIESGOS

En el artículo 5.º de la Reglamentación, al referirse a las medidas de autoprotección que las empresas deberán asumir, indica como una de las tres tareas fundamentales «la identificación y evaluación de los riesgos posibles de accidentes mayores en sus instalaciones», y en el artículo 7.º, cuando trata del contenido de la declaración obligatoria y sobre la información relativa a situaciones eventuales de accidente mayor, se refiere al «estudio de seguridad que contemple el análisis funcional de operabilidad, cuando se haya determinado que pueden existir consecuencias en el exterior de las instalaciones». También dice que en casos excepcionales la autoridad competente podrá exigir un análisis cuantitativo de riesgo.

Tales referencias indican claramente la obligatoriedad de la aplicación de técnicas de análisis de riesgos que al tratarse de situaciones no convencionales, potencialmente muy peligrosas, requieren de metodologías precisas que, además, garanticen la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Dos metodologías hoy conocidas que la Reglamentación de alguna forma auspicia son el método HAZOP-HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS (Análisis de peligros y modos de operación), que es uno de los más utilizados en Europa; siendo Gran Bretaña su país de origen, y el método del ARBOL DE FALLOS Y

ERRORES. Adicionalmente, existen las metodologías para la evaluación de las consecuencias de los accidentes mayores, basadas en modelos matemáticos de simulación.

2.1. El método HAZOP

Se trata de un método deductivo para el análisis cualitativo de riesgos en instalaciones principalmente de proceso, que podríamos definir como la «Aplicación de una comprobación rigurosa, sistemática y crítica a procesos y objetivos de diseño de plantas nuevas o a las existentes, para estimar qué potencial de peligrosidad puede generarse por el mal funcionamiento de la instalación o por variaciones en las condiciones de trabajo y por errores en la manipulación; y qué efectos pueden resultar para el conjunto de la instalación y el entorno».

Consiste en un trabajo necesariamente en equipo que precisa, además de completa información y conocimiento del proceso e instalación a analizar, de una buena capacidad de discernimiento, y también de habilidad para mantener el sentido de la medida al considerar la magnitud-importancia de los riesgos identificados.

Se aplica a cada una de las partes o «nudos» de la instalación (tuberías, equipos, etc.) y para cada una de las variables que intervienen en el proceso: caudal, presión, temperatura, etc., un estudio sistemático mediante el uso de una serie de palabras-guía con el siguiente significado:

De la combinación de cada una de las palabras-guía con cada una de las variables del proceso surgen desviaciones del comportamiento normal que el método pretende precisamente evidenciar, encontrando las causas que pueden originarlas, así como las consecuencias. Todo ello sin realizar una evaluación-cuantitativa del riesgo que no es objetivo de este método.

Aunque el método es muy provechoso, presenta claras limitaciones desde el punto de vista de su seguimiento y control por parte de la Administración, ya que el método tiene como objetivo principal la identificación de los riesgos y de los sucesos primarios del posible accidente, etapa inicial que dista mucho de lo que entendemos por evaluación del riesgo, que requiere de la determinación de la probabilidad del accidente y de la magnitud de las consecuencias; y ninguno de estos aspectos son asumidos por el Hazop.

2.2. El método del árbol de fallos y errores

Este método, a diferencia del anterior, es inductivo y permite estudiar a partir de los acontecimientos finales indeseados más perniciosos la secuencia de los sucesos intermedios posibles, para llegar a determinar los que se denominan sucesos «básicos» iniciales (fallos técnicos o errores humanos), y las diferentes formas secuenciales que permiten, a través de las posibles combinaciones de éstos últi-

Tabla 1. Palabras-Guía. Método Hazop.

PALABRAS GUIA	SIGNIFICADO
NO	NEGACION O AUSENCIA DE LAS ESPECIFICACIONES DE DISEÑO
MAS MENOS	AUMENTO O DISMINUCION CUANTITATIVA Se refiere a cantidades de medición como: Caudales, presión, temperatura o a actividades (calentar, reaccionar, etc.).
MAS DE o ASI COMO	AUMENTO CUALITATIVO Si bien se realiza la función deseada, junto a ella tiene lugar una actividad adicional.
PARTE DE	DISMINUCION CUALITATIVA Se realiza solamente una parte de la función deseada.
INVERSO	OPOSICION A LA FUNCION DESEADA Utilizable preferentemente para actividades (flujo de retroceso, inversión de reacción química, etc.).
DE OTRA FORMA	SUSTITUCION COMPLETA DE LA FUNCION DESEADA

mos, que el acontecimiento final tenga lugar.

La estructuración del árbol precisa del empleo de una simbología de representación que nos facilite la clarificación e interpretación de las circunstancias en que los sucesos se presentan y desencadenan.

El objetivo principal del método es determinar la probabilidad de que el acontecimiento final suceda. Ello sólo

será alcanzable si se dispone de datos fiables sobre la probabilidad de fallo o error de los sucesos básicos.

Ahí radica la principal dificultad del método, al no ser frecuente disponer de bancos de datos sobre la fiabilidad técnica y humana de los elementos que intervienen en las instalaciones y que todos tienen evidentemente su componente de seguridad.

Cuando se suele disponer de tales

bancos de datos de fiabilidad, su utilización correcta es muy discutible, ya que no son generalizables a todas las circunstancias. Por ejemplo, la posibilidad de fallo de una válvula depende del tipo y características de la misma, de su idoneidad al tipo de función deseada, de la experiencia que se tiene en su uso, de sus condiciones de trabajo y, principalmente, del programa de mantenimiento preventivo al que está sometida, aspecto éste último de vital importancia.

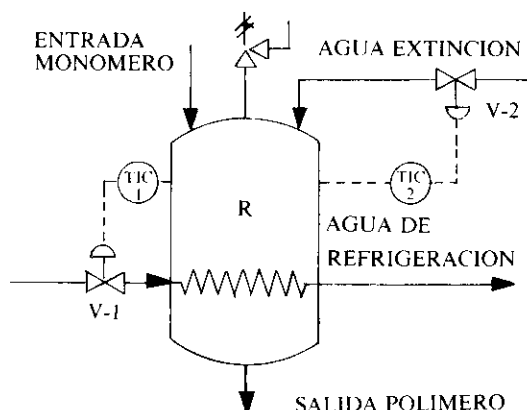
Además, la evolución tecnológica motiva que se incorporen nuevos elementos, posiblemente más seguros, pero con falta de datos para precisar su fiabilidad.

Por ello, la estandarización de los bancos de datos de fiabilidad presenta muchas limitaciones. A pesar de las dificultades de su elaboración, deberían ser asumibles e incluso exigibles por parte de la Administración, como fuente propia de generación de los mismos a las empresas de determinadas características y tamaño. Por su parte, la Administración, aprovechando estudios y experiencias de sectores productivos, debería crear, y hasta cierto punto homologar, bancos de datos de fiabilidad. La experiencia al respecto en la industria aeronáutica y nuclear demuestra su viabilidad y eficacia.

Los bancos de datos de accidentes, de los que hoy existen abundantes muestras (FACTS, MIDAS, SONATA, etc.) en el mercado, si bien son muy provechosos para disponer de información sobre accidentes ocurridos en todo el mundo con sus causas y consecuencias, conociendo así cuáles son las instalaciones y los puntos de las mismas más vulnerables, no aportan datos extrapolables para determinar la probabilidad de accidentes similares en una hipotética situación en estudio. El banco de datos comunitario MARS habrá de resultar muy provechoso a medio plazo.

Plantearse el determinar la probabilidad de un determinado acontecimiento final, generador de un posible accidente mayor, tiene interés siempre que se disponga como referencia de un nivel tolerable de probabilidad establecido por la empresa y, en especial, por la Administración, si, como es el caso, nos estamos refiriendo a la aplicación de una disposición legal para el control de riesgos de graves consecuencias. Aunque, evidentemente, la probabilidad clave que la Administración debería establecer es

MUESTRA DE ANALISIS POR EL METODO «HAZOP»



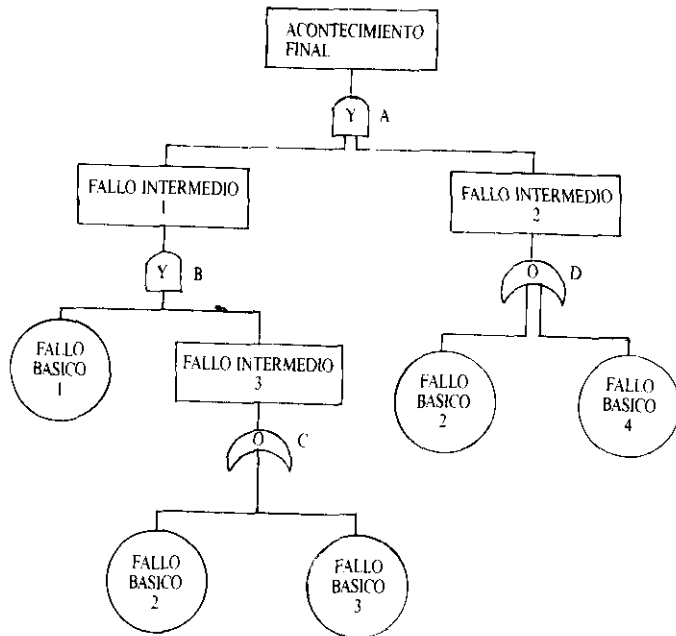
UNIDAD DE PROCESO: REACTOR QUIMICO DE POLIMERIZACION

PARTE A ANALIZAR: CONDUCCION AGUA DE REFRIGERACION

PARAMETRO A CONSIDERAR: FLUJO

PALABRA GUIA	DESVIACION	CONSECUENCIAS	CAUSAS	MEDIDAS PROPUESTAS
NO	No flujo.	<ul style="list-style-type: none"> - Ausencia refrigeración. - Aumenta temperatura en R. - Aumenta presión. - Posible explosión de R. - Posible fuga de gas. 	<ol style="list-style-type: none"> (1) Fallo Bomba. (2) Válvula V-1 estropeada, cerrada (o TIC-1 falta en posición de cerrado). (3) Obstrucción en el circuito. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar bomba adicional. - Introducir la comprobación de V-1 y TIC-1 en manual de operaciones. - Introducir comprobación periódica del circuito de refrigeración en el manual.
MENOS	poco caudal.	Idem que NO		
OTRO	Circula otro fluido.	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosión del circuito (posible). - Posible falta de refrigeración. 	Conexión errónea en el circuito.	<ul style="list-style-type: none"> - Introducir comprobación del circuito después de cualquier reparación en el manual.

MUESTRA DE ANALISIS POR ARBOL DE FALLOS Y ERRORES



VIAS SECUENCIALES DE FALLOS BASICOS GENERADORES DEL ACONTECIMIENTO FINAL:

- VIA (a) = 1.2
- VIA (b) = 1.4.2
- VIA (c) = 1.2.3
- VIA (d) = 1.4.3

PROBABILIDAD DEL ACONTECIMIENTO FINAL (P_{AF}), IGUAL A LA SUMA DE PROBABILIDADES DE LAS DIFERENTES VIAS DE FALLOS BASICOS.

$$P_{AF} = P_{VIA(a)} + P_{VIA(b)} + P_{VIA(c)} + P_{VIA(d)}$$

siendo:

$$P_{VIA(a)} = P_1 \cdot P_2$$

$$P_{VIA(b)} = P_1 \cdot P_4 \cdot P_2$$

$$P_{VIA(c)} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$$

$$P_{VIA(d)} = P_1 \cdot P_4 \cdot P_3$$

Tabla 2. Indices FAF en Gran Bretaña. Año 1986.

ACTIVIDAD	Indice FAF	Probabilidad de muerte de un trabajador al año
INDUSTRIA CONFECCION	0,15	3,75.10 ⁻⁶
INDUSTRIA DEL AUTOMOVIL	1,30	3,25.10 ⁻⁵
INDUSTRIA DE LA MADERA	3,00	7,50.10 ⁻⁵
INDUSTRIA QUIMICA	4,00	10 ⁻⁴
INDUSTRIA MECANICA	7,00	1,75.10 ⁻⁴
AGRICULTURA	10,00	2,50.10 ⁻⁴
MINERIA	12,00	3,00.10 ⁻⁴
INDUSTRIA PESQUERA	35,00	1,17.10 ⁻³
CONSTRUCCION	64,00	1,60.10 ⁻³

la que se refiere al accidente mayor en el que al factor probabilidad del acontecimiento deben integrarse los daños a personas y bienes como consecuencia del mismo. Todo ello en el sentido de que las medidas de prevención, y en último término de protección para el control de las consecuencias, sean las necesarias para que todo ciudadano no por el hecho de residir en la proximidad a una industria pueda encontrarse sometido a mucho más riesgo que otro. He aquí el papel clave del Estado en velar por una equidad en el nivel de exposición a riesgos potencialmente graves, por debajo de cotas tolerables social y técnicamente.

Como consecuencia de la Directiva Seveso, la legislación en muchos países —lo que todavía no se ha hecho en el nuestro— obliga al desarrollo de acciones preventivas y de protección para reducir los riesgos a determinados niveles tolerables.

Estos niveles, como en el caso de Holanda, han sido establecidos administrativamente, a través de los denominados niveles de riesgo individual y de grupo, que no se pueden superar por la actividad industrial considerada.

En esta línea cabe destacar la utilidad de los Indices de Frecuencia de accidentes mortales (FAF o FAR) que indican el número de muertes que se pueden esperar por el desarrollo de una actividad determinada durante 10⁸ horas de trabajo (una vida laboral de cuarenta años) en un colectivo de mil trabajadores.

Si comparamos tales índices a nivel de actividades industriales podemos comprobar que la industria química y los graves riesgos que genera se encuentran en un ranking de peligrosidad inferior a otros sectores como el de la construcción o sectores básicos (agricultura, minería y pesca), aunque en éstos los riesgos suelen quedar delimitados exclusivamente dentro de los ámbitos de trabajo.

A título orientativo, se indican los valores del Índice FAF en Gran Bretaña:

La limitación principal en el uso de tales índices FAF radica en que han sido obtenidos considerando exclusivamente el ámbito laboral, sin integrar daños en el ámbito urbano, que es fundamental en el tema que nos incumbe.

2.3. La evaluación de las consecuencias de los accidentes mayores

La evaluación cuantitativa del riesgo tan solo es completa cuando, además de determinar la probabilidad o frecuencia del mismo, se conoce la magnitud de los efectos físicos del accidente a nivel de «daños» y el área afectada.

Los métodos hoy conocidos para la evaluación de las consecuencias de incendios, explosiones y escapes de sustancias tóxicas se basan en la aplicación de modelos matemáticos de simulación extraídos de la experiencia y que son a menudo complejos.

Existe una diversidad de modelos para cada uno de los tipos fundamentales de accidentes, que suelen estar asociados a fugas de sustancias peligrosas; y, si bien se presentan coincidencias especialmente en los conceptos y variables que intervienen en las ecuaciones empíricas propuestas por sus autores, pueden existir diferencias hasta cierto punto significativas en algunos de los resultados que tales modelos aportan. Aunque en su mayoría intentan con precisión describir el fenómeno tras el acontecimiento final generador del posible accidente mayor.

Sus ecuaciones integran las características físicas y químicas de las sustancias, las condiciones de la fuga, la estructura del terreno, las condiciones meteorológicas, etc. Así, se puede estimar en el caso de explosiones la masa que estará involucrada, la sobrepresión originada y los efectos destructores a diferentes distancias. En

Tabla 3. Efectos de las sobrepresiones por explosiones y/o deflagraciones.

EFECTOS DE LAS SOBREPRESIONES		SOBREPRESION (Atm)
DAÑOS A INSTALACIONES	DAÑOS A PERSONAS	
- Vidrios rotos en un 50 %.		0,01
- Vidrios rotos en un 90 %.		0,04
- Daños graves en estructuras de construcción.	- Rotura de tímpano.	0,20
- Daños irreversibles en estructuras.	- Probabilidad 10 %.	0,20
	- Probabilidad 50 %.	0,40
	- Valor umbral de muerte por lesiones pulmonares.	0,70
- Demolición total.		0,80

Tabla 4. Niveles de máxima radiación tolerable en incendios.

MAXIMA RADIACION TOLERABLE		IRRADIACION TERMICA kw/m ²
MATERIALES	PERSONAS	
- PARED DE LADRILLOS		400
- HORMIGON ARMADO		200
- CEMENTO		60
- ACERO		40
- MADERA		10
	- Durante 20 segundos sin quemaduras.	6,5
	- Bomberos y personas protegidas.	4,7
	- Personas desprotegidas.	4,0

Tabla 5. Daños por quemaduras a personas por irradiación térmica en incendios.

DAÑOS A PERSONAS POR CALOR RADIANTE	IRRADIACION TERMICA Cal/cm ²
QUEMADURAS DE 1. ^{er} GRADO	3,5
QUEMADURAS DE 2. ^o GRADO	6,5
QUEMADURAS DE 3. ^{er} GRADO	9,5

el caso de incendios se calcula la irradiación térmica sobre las personas y las instalaciones y sus efectos. En lo que se refiere a las sustancias tóxicas, se puede prever de forma aproximada cómo tendrá lugar la difusión, y en el caso de una nube tóxica, cuáles serán sus efectos.

Aunque, como sabemos, existe un cierto desconocimiento de la acción de muchos productos sobre el hombre, especialmente a largo término; si bien para algunos de los productos más corrientes como el cloro y el amoníaco se dispone de información

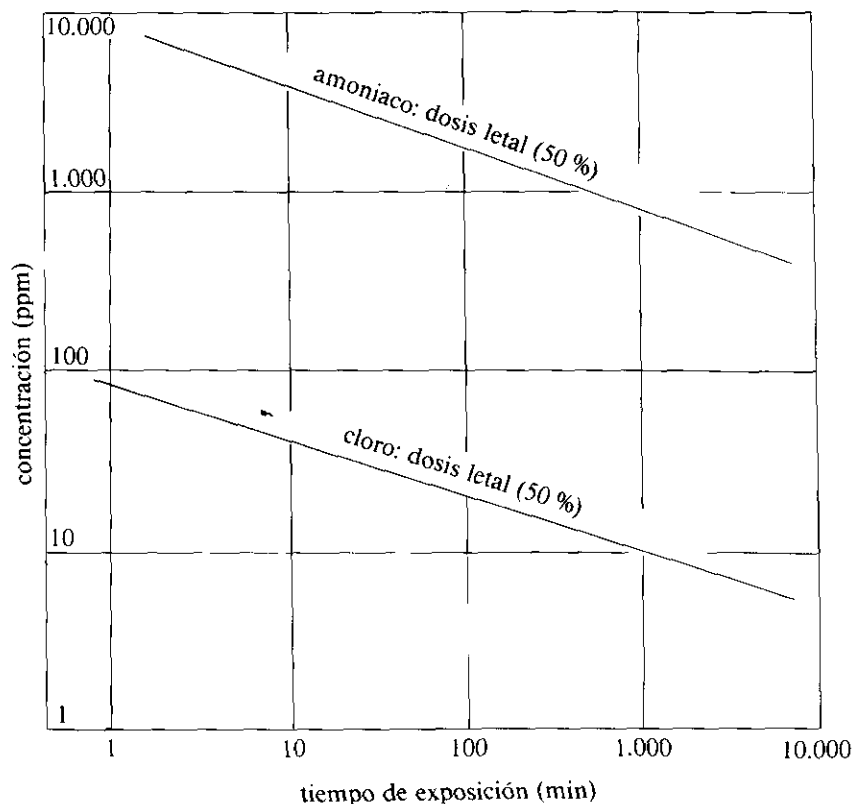
precisa sobre sus efectos toxicológicos a diferentes concentraciones en función del tiempo de exposición.

Conocidos los mapas de irradiación térmica, de sobrepresión y de concentración de productos tóxicos, se utilizan los «modelos de vulnerabilidad» para poder evaluar los daños en personas e instalaciones.

A título de ejemplo se muestran algunos datos de vulnerabilidad, extraídos de la bibliografía y debidamente contrastados:

Respecto a las emisiones de sustancias tóxicas, especial importancia adquiere la denominada «Concentración Inmediatamente Peligrosa para la Vida o la Salud» (IPVS), que en realidad fue establecida por la NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) para la selección de protecciones respiratorias. Esta concentración representa el máximo nivel del que en un plazo de treinta minutos una persona expuesta puede escapar, sin síntomas graves ni efectos irreversibles para la salud.

Dicho límite, que es conocido para un cierto número considerable de sustancias, debería ser normalizado en nuestro país como parámetro básico de referencia en la evaluación, mientras no exista otro de más precisión. Otros límites más precisos deberían ir incorporándose a la legislación o a los criterios técnicos del análisis en la



Gráfica 1. Dosis letales para el Amoniaco y el Cloro.

medida que aporten una mayor fiabilidad y alcance.

3. REFLEXIONES FINALES A MODO DE CONCLUSIONES

1. La nueva reglamentación sobre prevención de accidentes mayores representa, además de un significativo avance para la protección del hombre y del medio ambiente frente al riesgo químico de graves consecuencias, el desarrollo de un sistema de gestión integral e integrada de la prevención en las empresas afectadas.
2. Dicha reglamentación promueve la aplicación en las empresas de sistemas de evaluación de riesgos, aunque restringe la exigencia de los análisis cuantitativos a casos excepcionales. Incomprensible limitación que el desarrollo de la misma con un marcado acento autónomo habrá de subsanar para alcanzar la necesaria fiabilidad de los análisis.

3. Si bien existen diferentes sistemas de análisis de riesgos de accidentes mayores como los estudios de operabilidad, los análisis por árbol de fallos y errores y las evaluaciones de las consecuencias de los accidentes, la complementariedad entre los mismos determina su importancia, y la necesidad de su conocimiento y aplicación en las empresas afectadas.
4. Los estudios de operabilidad constituyen una metodología de análisis cualitativo del riesgo muy útil en industrias de proceso con un extraordinario valor didáctico para determinar desviaciones en el funcionamiento previsto de una instalación capaces de generar accidentes mayores. Se trata de un método básico para las etapas iniciales del análisis tras haber efectuado la selección y diseño de los elementos fundamentales de seguridad, y que permite seleccionar los principales acontecimientos no deseados sobre los que aplicar posteriormente métodos de análisis cuantitativos de mayor precisión, como el ARBOL DE FALLOS y ERRORES.

5. El rigor necesario en la adopción de las medidas preventivas y de protección y su control por parte de la Administración, requiere de la aplicación de métodos cuantitativos de evaluación a través de la determinación de la probabilidad de materialización del riesgo y de la magnitud de los daños, para mantener tales parámetros debidamente integrados por debajo de niveles de tolerancia social y técnica de riesgos, que deberían ser fijados y revisados periódicamente por la Reglamentación.
6. La aplicación de métodos cuantitativos para la determinación de la probabilidad de riesgo precisa de la utilización de bancos de datos sobre la fiabilidad, tanto de los elementos de la instalación con funciones de seguridad, como del comportamiento humano en sus actuaciones en las instalaciones con riesgo.
Bancos de datos que han de ser generados y contrastados en la industria, siendo, en último término, reconocidos y/o homologados por la Administración.

7. La evaluación de las consecuencias de los accidentes mayores es un aspecto clave de toda evaluación de riesgos para la determinación, entre otras cuestiones, de las distancias de seguridad entre las industrias peligrosas y los núcleos urbanos, incluso independientemente de los factores de probabilidad del riesgo.
La fijación de las distancias de seguridad frente a daños por sobrepresiones, irradiación térmica y concentraciones ambientales tóxicas requiere de un reconocimiento de lo que se denomina datos de vulnerabilidad, como valores letales para la vida, a los que nunca deberían verse expuestas las personas.
8. La complejidad de la aplicación de la Directiva Seveso en España y sus dificultades sólo podrán ser superadas con una estrecha colaboración entre las diferentes administraciones del Estado y las empresas.