

JORGE LANDALUCE ELVIRA

*Jefe de Riesgos y Medio Ambiente  
ICI-ZELTIA, S. A. AGROQUIMICOS*



**L**A sociedad industrial ha desarrollado tecnologías que han permitido grandes logros de bienestar sin precedentes en la historia de la humanidad. La aparición de nuevos inventos y avances científicos va acompañada inevitablemente del surgir de nuevas formas de riesgos cuyo desconocimiento por parte del hombre le hacen a éste especialmente sensible. Por ejemplo, la reducción de muertes por infección por el desarrollo de antibióticos se corresponde con el aumento de fallecimientos por cáncer, gran parte de los cuales se deben a nuevos peligros propios de las nuevas tecnologías como las radiaciones nucleares o sustancias químicas cancerígenas.

Una característica de las sociedades industriales avanzadas es la concentración del riesgo; las personas que pueden estar expuestas a un determinado peligro pueden ser muy numerosas, como es el caso de un accidente nuclear, un escape de sus-

# Prevención de Accidentes Mayores

## Aplicación de la Directiva Seveso



tancias químicas tóxicas o una explosión de GLP.

Hace ya años que la industria, los gobiernos nacionales y los organismos internacionales vienen esforzándose en reducir el número de accidentes y la magnitud de los mismos. Las inversiones efectuadas por la industria en medidas de seguridad y desarrollo de nuevas tecnologías más seguras, las leyes y normativas que controlan las actividades industriales por parte de los poderes públicos, y los estudios, reuniones de trabajo y recomendaciones patrocinadas por los organismos internacionales, dan buena prueba de ello.

A pesar, no obstante, del largo camino recorrido, se han producido en los últimos años algunos accidentes de graves consecuencias y que han atraído la atención de la opinión pública de manera prominente. Algunos de los más conocidos son recogidos en la tabla 1.

Tabla 1			
Año	Lugar	Naturaleza del desastre	N.º Fallecidos
1974	Flixboroug (Reino Unido)	Explosión en una planta de caprolactama debido a rotura de una tubería.	28 muertos
1976	Seveso (Italia)	Una explosión libera a la atmósfera dioxina.	Desconocido
1978	San Carlos (España)	Explosión de un tanque de propileno de un camión.	Cerca de 500
1984	Cuhato (Brasil)	Explosión de una tubería rota de gasolina.	Cerca de 500
1984	San Junico (Méjico)	Explosión de un tanque de GLP.	Cerca de 500
1984	Bhopal (India)	Liberación de MIC por explosión de un tanque de almacenamiento.	Más de 2.500
1986	Basilea (Suiza)	Vertido al Rhin de aguas de extinción del incendio de un almacén de sustancias tóxicas.	Daños ecológicos

## DIRECTIVA SEVESO

Precisamente a raíz del accidente ocurrido en Seveso, los Estados miembros de la CEE decidieron crear una reglamentación para ciertas actividades industriales en donde pudieran producirse este tipo de sucesos, dando paso en el año 1982 a la Directiva 82/501, familiarmente conocida como Directiva Seveso.

La Directiva contiene unos considerandos que exponen los motivos y los objetivos de la misma, y que a continuación resumidos:

- La protección de la población y del medio ambiente, así como la seguridad y la protección sanitaria en el centro de trabajo exigen dedicar una atención especial a determinadas actividades industriales que pueden dar lugar a accidentes graves.
- Para toda actividad industrial en la que intervengan sustancias peligrosas y que puedan tener en caso de accidente consecuencias graves para el hombre y el medio ambiente, es necesario que el fabricante tome todas las medidas necesarias para prevenir dichos accidentes y para limitar sus consecuencias.
- La formación y la información de las personas que trabajan en los centros de trabajo pueden desempeñar un papel especialmente importante en la prevención de los accidentes graves, y en el control de la situación.
- En lo que se refiere a las actividades industriales en las que in-

Tabla 2  
ANEXO I  
INSTALACIONES INDUSTRIALES CONTEMPLADAS

1. Instalaciones de producción o de transformación de sustancias químicas, orgánicas o inorgánicas, que utilicen a tal fin, en particular:
  - los procedimientos de alquilación,
  - los procedimientos de animación por el amoniaco,
  - los procedimientos de carbonilación,
  - los procedimientos de condensación,
  - los procedimientos de deshidrogenación,
  - los procedimientos de esterificación,
  - los procedimientos de halogenación y de fabricación de halógenos,
  - los procedimientos de hidrogenación,
  - los procedimientos de hidrólisis,
  - los procedimientos de oxidación,
  - los procedimientos de polimerización,
  - los procedimientos de sulfonación,
  - los procedimientos de sulfuración, de fabricación y de transformación de los derivados del azufre,
  - los procedimientos de nitración y de fabricación de los derivados nitrosos,
  - los procedimientos de fabricación de los derivados del fósforo,
  - la formulación de plaguicidas y de productos farmacéuticos.
- Instalaciones de tratamiento de las sustancias químicas, orgánicas o inorgánicas, que utilicen a tal fin, en particular:
  - los procedimientos de destilación,
  - los procedimientos de extracción,
  - los procedimientos de solvatación,
  - los procedimientos de mezcla.
2. Instalaciones para la destilación o el refino, o cualquier otro modo de transformación del petróleo de los productos petrolíferos.
3. Instalaciones destinadas a la eliminación total o parcial de las sustancias sólidas o líquidas por combustión o por descomposición química.
4. Instalaciones de producción o de transformación de gases que produzcan energía: por ejemplo, gas de petróleo licuado, gas natural licuado y gas natural de síntesis.
5. Instalaciones para la destilación seca del carbón y del lignito.
6. Instalaciones para la producción de metales o de no metales por vía húmeda o mediante energía eléctrica.

tervengan sustancias particularmente peligrosas en determinadas cantidades, es necesario que el fabricante transmita a las autoridades competentes una notificación que incluya informaciones relativas a las sustancias de que se trate, a las instalaciones y a las situaciones eventuales de accidentes graves.

— Conviene prever que las personas que puedan ser afectadas, fuera del establecimiento, sean informadas de forma apropiada de las medidas de seguridad y del comportamiento que se deberá seguir en caso de accidente.

— Cuando se produce un accidente grave, el fabricante debe informar inmediatamente de ello a las autoridades competentes y comunicarles las informaciones necesarias para evaluar el impacto del accidente.

Los accidentes a los que se refiere la Directiva se definen como «Mayor Accidentes» y son aquellos hechos tales como «una emisión, un incendio o una explosión resultante del desarrollo incontrolado de una actividad industrial, que entrañe un grave peligro, inmediato o diferido, para el hombre, dentro o fuera del establecimiento, y/o para el medioambiente, y en el que intervengan una o varias sustancias peligrosas».

## DECRETO DE ACCIDENTES MAYORES

La Directiva Seveso es trasladada a Derecho Interno en el Decreto 886/88 de Prevención de Accidentes Mayores, publicado el 5 de agosto del presente año en el Boletín Oficial del Estado.

Seguidamente vamos a revisar los aspectos más relevantes de este Decreto:

**Actividades Industriales:** Este Decreto es de aplicación a aquellas actividades industriales contenidas en su Anexo I (tabla 2), y a las que almacenan las sustancias, en las cantidades referenciadas en su Anexo II (tabla 3).

**Autoprotección:** Las actividades industriales relacionadas en el Anexo I que dispongan de sustancias peligrosas con el criterio del Anexo IV (tabla 4), deben probar en todo momento ante la autoridad competente de la respectiva Comunidad Autónoma que dispone de las suficientes medidas de autoprotección, y que en todo caso deben comprender:

a) La identificación y evaluación de los riesgos posibles de accidentes mayores en sus instalaciones.

Tabla 3		
ANEXO II		
ALMACENAMIENTO EN INSTALACIONES DISTINTAS DE LAS CONTEMPLADAS EN EL ANEXO I (ALMACENAMIENTO SEPARADO)		
Las cantidades que figuran a continuación se refieren a cada instalación o conjunto de instalaciones del mismo fabricante cuando la distancia entre las mismas no sea suficiente para evitar, en circunstancias previsibles, un aumento de los riesgos de accidentes graves. En todo caso, estas cantidades se refieren a cada conjunto de instalaciones del mismo fabricante cuando la distancia entre las instalaciones sea inferior, aproximadamente, 500 metros:		
Sustancias o categorías de sustancias	CANTIDADES (t) ≥	
	Para la aplicación de los artículos 3 y 4	Para la aplicación del artículo 5
1. Gases inflamables de conformidad con las letras c) e i) del Anexo IV.	50	300 <sup>(1)</sup>
2. Líquidos altamente inflamables de conformidad con las letras c) e ii) del Anexo IV.	10.000	100.000
3. Acrilonitrilo	350	5.000
4. Amoníaco	60	600
5. Cloro	10	200
6. Dióxido de azufre	20	500
7. Nitrato de amonio	500 <sup>(2)</sup>	5.000 <sup>(2)</sup>
8. Clorato de sodio	25	250 <sup>(2)</sup>
9. Oxígeno líquido	200	2.000 <sup>(2)</sup>
<sup>(1)</sup> Los Estados miembros podrán aplicar, con carácter provisional, el artículo 5 a partir de 500 t hasta la revisión del Anexo II contemplada en el artículo 19.		
<sup>(2)</sup> En la medida en que su estado confiera a esta sustancia propiedades que puedan crear un riesgo de accidente grave.		

b) La elaboración del correspondiente Plan de Emergencia Interior que contemple las adecuadas medidas de prevención de riesgos y las actuaciones ante situaciones de emergencia, así como la alarma, el socorro y la evacuación.

c) La información, formación y equipamiento adecuado de las personas que trabajan en las instalaciones con el fin de garantizar su seguridad.

**Obligación de declarar:** Sin perjuicio del cumplimiento de las medidas de autoprotección, los industriales están obligados a presentar una declaración en los siguientes casos:

a) Cuando en una actividad industrial de las catalogadas en el Anexo I intervengan o puedan intervenir una o varias de las sustancias peligrosas del Anexo III (que no reproducimos por su extensión), en las cantidades fijadas en él, siendo de aplicación tanto a las sustancias almacenadas o utilizadas, como a los productos fabricados, subproductos o residuos.

b) Cuando en una actividad industrial se almacene sustancias del Anexo II en las cantidades fijadas en su segunda columna.

c) Cuando para el conjunto de instalaciones de un mismo industrial distantes entre sí menos de 500 metros se sobrepasen en conjunto estas cantidades, aun cuando individualmente no alcancen las cantidades exigidas para la declaración.

La Declaración obligatoria debe contener información sobre las sustancias comprendidas en los anexos II y III y la relativa a las instalaciones. También debe contener información relativa a situaciones eventuales de accidente mayor:

— Planes de Emergencia Interior, que incluyan los equipos de seguridad, y los medios de alerta y de intervención previstos para el interior de la instalación en caso de accidente mayor.

— Planes de ayuda mutua entre establecimientos industriales, si los hubiere.

— Toda información necesaria que permita a la autoridad competente la elaboración de los Planes de Emergencia Exterior, incluyendo el correspondiente estudio de seguridad que contemple el análisis funcional de operabilidad, cuando

**Tabla 4**  
**ANEXO IV**  
**CRITERIOS INDICATIVOS**

**a) Sustancias muy tóxicas:**

- Sustancias que corresponden a la primera línea del cuadro siguiente.
- Sustancias que corresponden a la segunda línea del cuadro siguiente y que, debido a sus propiedades físicas y químicas, pueden ocasionar riesgos de accidentes graves análogos a los ocasionados por las sustancias de la primera línea.

	DL 50 (oral) <sup>(1)</sup> mg/kg peso corporal	DL 50 (cutáneo) <sup>(2)</sup> mg/kg peso corporal	CL 50 (inhalación) <sup>(3)</sup> mg/l
<b>1</b>	DL 50 ≤ 5	DL 50 ≤ 10	CL ≤ 0,1
<b>2</b>	5 < DL H50 ≤ 25	10 < DL 50 ≤ 50	0,1 < CL 50 ≤ 0,5

<sup>(1)</sup> DL 50 por vía oral en la rata.  
<sup>(2)</sup> DL 50 por vía cutánea en la rata o el conejo.  
<sup>(3)</sup> CL 50 por inhalación (4 horas) en la rata.

**b) Otras sustancias tóxicas:**

Las sustancias que presentan los valores siguientes de toxicidad aguda y que poseen propiedades físicas y químicas que pueden ocasionar riesgos de accidentes graves:

	DL 50 (oral) <sup>(1)</sup> mg/kg peso corporal	DL 50 (cutáneo) <sup>(2)</sup> mg/kg peso corporal	CL 50 (inhalación) <sup>(3)</sup> mg/l
	25 < DL 50 ≤ 200	50 < DL 50 ≤ 400	0,5 < CL 50 ≤ 2

<sup>(1)</sup> DL 50 por vía oral en la rata.  
<sup>(2)</sup> DL 50 por vía cutánea en la rata o el conejo.  
<sup>(3)</sup> CL 50 por inhalación (4 horas) en la rata.

**c) Sustancias inflamables:**

- i) *gases inflamables*: sustancias que en estado gaseoso a la presión normal y mezcladas con el aire, resultan inflamables y cuyo punto de ebullición es igual o inferior a 20 °C a la presión normal;
- ii) *líquidos altamente inflamables*: sustancias cuyo punto de inflamación es inferior a 21 °C y cuyo punto de ebullición es superior a 20 °C a la presión normal;
- iii) *líquidos inflamables*: sustancias cuyo punto de inflamación es inferior a 55 °C y que permanecen en estado líquido bajo el efecto de una presión, en la medida en que determinadas formas de tratamiento tales como presión y temperatura elevadas puedan ocasionar riesgos de accidentes graves.

**d) Sustancias explosivas:**

sustancias que pueden explotar bajo el efecto de la llama o que son más sensibles a los choques o los frotamientos que el dinitrobenzeno.



*Una buena evaluación de riesgos depende de la elección del método apropiado y de la experiencia del equipo que lo realiza.*

se haya determinado que pueden existir consecuencias en el exterior de las instalaciones. En casos excepcionales, la autoridad competente podrá exigir un análisis cuantitativo de riesgo.

- El nombre de la persona y de sus suplentes que sea responsable de iniciar la aplicación del Plan de Emergencia Interior.

**Control:** Los Organismos competentes de las Comunidades Autónomas establecerán los sistemas de control e inspección necesarios, pudiendo considerarse válidas las actuaciones de las Sociedades de Inspección y Control autorizadas por el Ministerio de Industria y Energía o los órganos competentes de las Comunidades Autónomas.

**Información a la población:** Se debe informar a la población, con la colaboración de los industriales y en la forma que determine el correspondiente plan de emergencia Exterior (sujeto a la 2.ª enmienda de la Directiva, ahora en fase de borrador), sobre los posibles riesgos graves de las actividades industriales, las medidas de autoprotección y las medidas a se-

guir en caso de alarma.

**Información en caso de accidente:** En caso de accidente mayor, los industriales deben comunicar a las autoridades competentes información, entre otra, relativa a los medios de combatir los efectos del accidente que garanticen la seguridad de instalaciones, personas y medio ambiente.

**Plazos:** El Decreto establece un plazo de seis meses para que los industriales que tengan que presentar la declaración obligatoria presenten una declaración simplificada en la forma que se fija en la disposición transitoria primera. También en el plazo de seis meses las actividades industriales afectadas por el Decreto deberán tener elaborados los planes de Emergencia Interior. Las Comunidades Autónomas deberán elaborar los Planes Provisionales de Emergencia Exterior, en año y medio. En dos años los industriales afectados por el artículo sexto deberán presentar la declaración obligatoria completa. En cuatro años deberán estar aprobados por las Comunidades Autónomas respectivas, los Planes definitivos de Emergencia Exterior.

## COMENTARIO A LA LEGISLACIÓN

La importancia de la declaración obligatoria es triple:

1. Representa un medio de obtener información para la elaboración de los Planes de Emergencia Exterior.
2. Es una forma sencilla de controlar la aplicación del Decreto.
3. Resulta ser la base para la información de la población afectada.

La selección de empresas que deben presentar la declaración se realiza en función de una lista de 178 sustancias del Anexo III y de 9 sustancias del Anexo II. Ambas listas no incorporan las últimas modificaciones de la CEE contempladas en la primera enmienda de la Directiva Seveso.

Por otro lado, la enorme cantidad de sustancias químicas peligrosas y la continua aparición de nuevas sustancias, hace que la lista sea excesivamente reducida; en todo caso es evidente la falta de algunas sustancias de amplia utilización y conocida peligrosidad o toxicidad.

Las cantidades límite no siguen en muchos casos un criterio isotraumático, y es criticable la inclusión de valores tan bajos como 1 kg para treinta sustancias y 10 kg para otras diez.

Por otro lado, la obligación de in-

*El breve plazo para la aplicación de la Directiva provocará importantes problemas a la Administración y a la Industria.*

formar a la población en los términos que establece la Directiva y el Decreto, así como el actual borrador de segunda enmienda (del que hablaremos más adelante con mayor profundidad) abre un procedimiento sin precedentes en la legislación española. Aunque es general la aceptación del

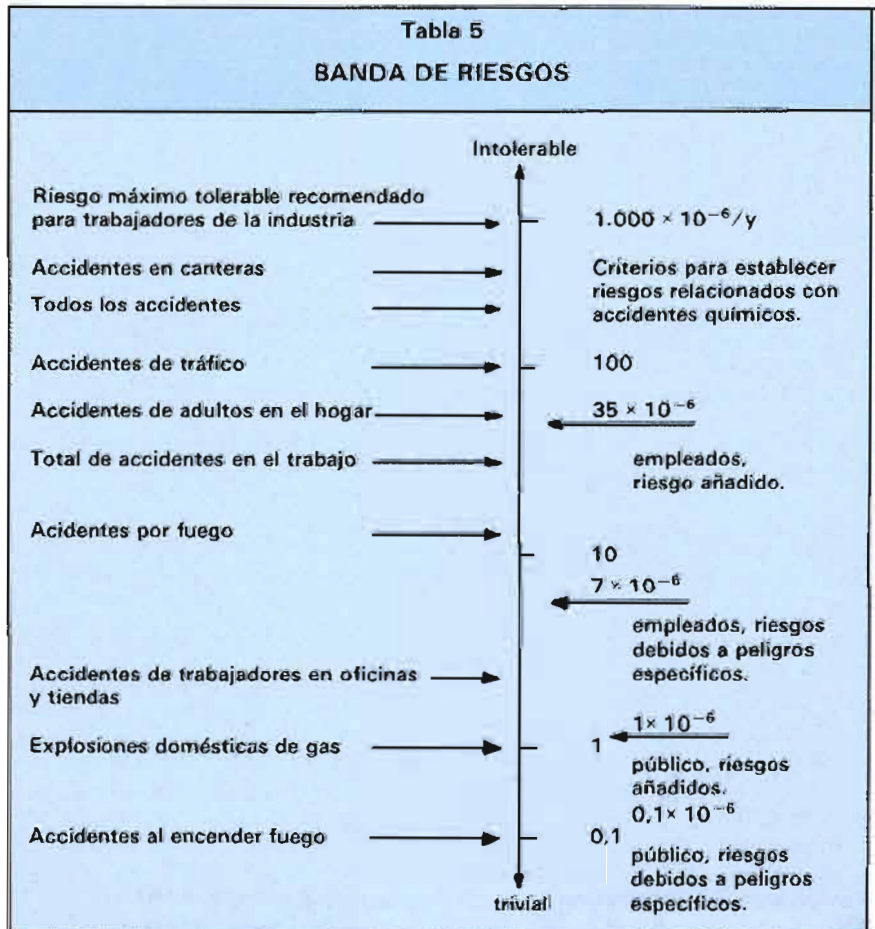
principio del «Right to Know», también es extensa la polémica sobre la forma conveniente de aplicar este principio.

En efecto, el público desconoce el significado exacto de los términos peligrosidad, tóxico, nocivo, etc., y más aún desconoce lo que podríamos llamar la «escala de riesgos» de su vida cotidiana, que sirva de base para la comparación con los riesgos por actividades industriales. Como ejemplo, de la lista de la tabla 5 obtenida de datos estadísticos de accidentes en el Reino Unido, se deduce que la relación de riesgos por escape de gases tóxicos/riesgo por accidentes caseros es de 1/31.64 en cuanto a número de fallecimientos.

## APLICACION DEL DECRETO EN LA INDUSTRIA

En aplicación del Decreto, la industria afectada debe proceder a poner en marcha una serie de medidas centradas en el conocimiento de los riesgos, prevención de accidentes y mitigación de las consecuencias, y que podríamos resumir en las siguientes:

1. Evaluación de riesgos de accidente mayor.





2. Medidas de prevención de accidentes mayores.
3. Elaboración de los Planes de Emergencia Exterior.

Seguidamente vamos a comentar cada uno de ellos.

### Evaluación de Riesgos

La evaluación de riesgos de un accidente mayor se compone de las siguientes etapas:

1. Identificación de los peligros, sus causas y mecanismos.
2. Evaluación de la posibilidad de ocurrencia de los acontecimientos peligrosos identificados.
3. Evaluación de las consecuencias de los acontecimientos peligrosos identificados.
4. Evaluación del riesgo, es decir, el producto de probabilidades y consecuencias.
5. Consideración del grado de riesgo

### Identificación de los Peligros

Los peligros que deben ser identificados como posible causa de accidente mayor son:

INCENDIOS: Pool fires, Fires Balls, BLEVE, etcétera.  
 EXPLOSIONES.  
 ESCAPE DE GASES LICUADOS.  
 ESCAPE DE SUSTANCIAS TOXICAS.

Estos peligros están asociados a determinadas sustancias químicas, materias primas, productos intermedios o productos acabados, que también deben ser identificadas: sustancias inflamables, sustancias explosi-

*La aparición de sistemas informáticos para el cálculo de consecuencias representa una gran ayuda para el evaluador.*

vas, sustancias nocivas o tóxicas, sustancias radioactivas y sustancias corrosivas.

Una vez identificados los peligros potenciales hay, que analizar los posibles fallos que puedan dar lugar a un peligro concreto y sus causas. Para realizar este análisis de forma metódica se han desarrollado en los últimos años diversas técnicas, entre las que comentaremos las siguientes:

#### — HAZAN (Hazard Analysis)

Desarrollado por Technica LTD. para el Banco Mundial, el método consiste en la identificación de fallos potenciales, cálculo de las cantidades de sustancias peligrosas liberadas, y cálculo de consecuencias sobre personas, equipos y medio ambiente.

Se comienza dividiendo la planta en componentes de importancia para el análisis; estos son: tuberías, cone-

xiones flexibles, filtros, válvulas, recipientes de procesos a presión, bombas, compresores, tanques de almacenamiento, recipientes de almacenamiento (presurizados) y antorchas y chimeneas con venteo.

Para cada componente se establecen los fallos representativos y para cada uno de éstos el rango de su magnitud.

Después se realiza la identificación de las propiedades de cada fluido. Estas propiedades son: fase (líquido, gas o dos fases), presión, temperatura, inflamabilidad y toxicidad. Se establecen cuatro categorías:

- Líquidos a presión y temperatura ambiente.
- Gases licuados bajo presión y a temperatura ambiente.
- Gases licuados a presión ambiente y baja temperatura.
- Gases bajo presión.

Para el examen de la secuencia del accidente se recurre a tres árboles de sucesos típicos: gas inflamable, líquidos y gases tóxicos.

Por último, el método suministra ecuaciones de cálculo para la valoración de descargas, dispersión e impacto resultante de los posibles modos de fallo.

En resumen, el método HAZAN permite evaluar de forma simplificada las posibles liberaciones (energía, gases o líquidos peligrosos) y la secuencia del accidente hasta la estimación de los impactos.

El método HAZAN no permite identificar fallos específicos de un sistema (como explosión por mezcla errónea del componente A con el B) o las causas intrínsecas de un fallo, por lo que el estudio debería ser completado con otros métodos de evaluación de riesgos para estudiar la aplicación de medidas correctoras.

#### — HAZOP (Hazard and Operability Studies).

El método HAZOP consiste en el escrutinio de un gran número de posibles desviaciones de las condiciones normales de operación, que se genera aplicando palabras guía como *más, menos, inverso, etc.*, a cada parámetro que describe las condiciones de cada componente o tubería en una planta, como temperatura, presión, caudal, etc. En caso de que las causas del fallo sean creíbles y los efectos significativos, se requerirá un estudio más profundo para determinar si es justificable introducir cambios en el proceso.

Los objetivos del método son:

- Identificar aquellas áreas del diseño que pueden poseer un peli-

- gro potencial significativo.
- Identificar y estudiar las características del diseño que influyen la probabilidad de que ocurra un incidente peligroso.
- Familiarizar al equipo de trabajo con la información de diseño disponible.
- Asegurar que se realiza un estudio sistemático en las áreas de peligro potencial.
- Identificar información de diseño no disponible para el equipo de trabajo normalmente.

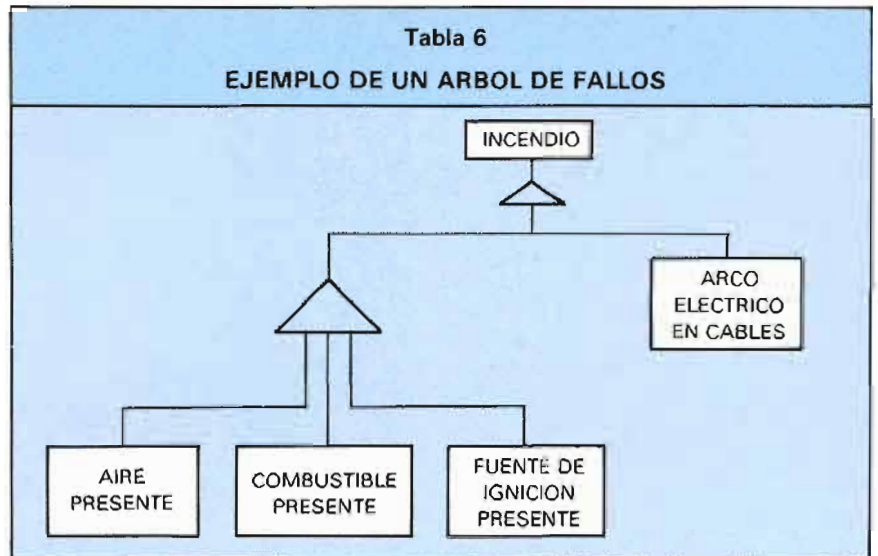
La metodología de estudio es la siguiente:

1. Identificación de planos, diagramas, manuales técnicos, y otras informaciones, relacionadas con los procesos que contienen materiales peligrosos.
2. Aplicación de las palabras claves a cada parte de la planta.
3. Someter a evaluación los casos en los que la producción de un accidente sea factible.

El método HAZOP requiere la formación de un equipo de trabajo formado por el grupo de staff de la fábrica y en un número de tres a cinco personas como máximo.

— FTA (Fault Tree Analysis)

El método permite, partiendo de un



suceso peligroso (incendio, explosión, escape, etc.), llegar a las causas que lo pueden provocar, a través del diseño de un árbol de fallos. El suceso en cuestión se coloca en la parte alta del árbol, siguiendo con la generación de posibles causas del suceso. llamados subsucesos y que descienden en orden de aparición constituyendo el tronco del árbol de fallos. Cada subsuceso forma una rama del árbol, que es desarrollada independientemente de otras ramas. Los

subsucesos están relacionados unos con otras, a través de entradas «y» y «o»; la entrada «y» se utiliza cuando un suceso es producido por ocurrencia simultánea de todos los subsucesos a los que está unido. En la tabla 6 se representa un ejemplo de uno de estos árboles de fallos.

Las características de estos y otros métodos son comparados en la tabla 7. No hay un método preferible sobre el resto, pues unos son más o menos acertados según sobre lo que se apli-

**Tabla 7**  
**CUADRO COMPARATIVO DE METODOS DE ANALISIS DE RIESGOS**

	CHECKLIST	REVISION DE SEGURIDAD	INDICES DOW Y MOND	QUE OCURRE SI (WHAT IF...)	HAZOP	ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS (FMEA)	ARBOLES DE FALLOS
OBJETO	Identificación peligros y desviaciones de normas.	Desviaciones de normas.	Ranking de Unidades por grado de riesgo.	Identificación peligros y secuencia de sucesos.	Identificación peligros y problemas de operación.	Identificación modos de fallo y sus efectos.	Secuencia de sucesos. Identificación combinaciones de fallos. Evaluación riesgo.
CUANDO	Siempre.	2-3 años.	Diseño u Operación.	Siempre.	Siempre.	Diseño y Construcción. Evaluación Equipo.	Diseño y Operación.
RESULTADOS	Peligros y grado de cumplimiento de normas.	Desviaciones. Introducción novedades.	Orden de Unidades por riesgos.	Riesgos y forma de reducirlos.	Peligros y problemas de operación. Recomendaciones.	Lista de fallos y sus efectos.	Secuencia de fallos. Nivel de riesgo.
NATURALEZA	Cualitativos.	Cualitativos.	Cualitativos. Cuantitativos relativamente.	Cualitativos.	Cualitativos.	Cualitativos.	Cualitativos y Cuantitativos.
DATOS	Listas. Manual de Normas.	Planos, Normas. Manuales, etc.	Planos. Guía del método. costes, etc.	Documentación detallada de la Planta.	Diagrama de Flujo.	De Equipo, Operación de la Unidad.	Sucesos críticos.
PERSONAL	Preparación Lista: Experto. Uso: cualquier técnico.	Familiarizado con normas y procedimientos y Especialistas.	Familiarizado con el proceso.	Experto en el Area.	1 Experto + Especialista.	Familiar con el Equipo y el proceso.	1 Experto + 2 Especialistas.
TIEMPO Y COSTE	Rápido.	1-2 semanas.	1-2 procesos por semana.	Según tamaño.	3 horas por equipo.	1 hora por 2-4 evaluaciones.	1 día por árbol.
	Económico.	2-5 personas.	1-2 personas.	2-3 personas.	3-7 personas.	2 personas.	Costoso.

que, y el éxito del análisis dependerá tanto de la elección del adecuado, como de la práctica que se posea en su manejo.

### Cálculo de la probabilidad de ocurrencia

La probabilidad de que se produzca un accidente mayor va a depender de las probabilidades individuales de las causas y sucesos encadenados que dan lugar al mismo. Normalmente se recurre a datos estadísticos sobre probabilidad de fallo, a falta de datos procedentes de experiencias reales; esto ocasiona el que los datos disponibles sean muchas veces aproximados; por otro lado es difícil predecir la probabilidad de fallo humano o la de que dos sucesos se produzcan simultáneamente, incluso existen sucesos que no son predecibles en absoluto. Ello da lugar a la dificultad de calcular probabilidades con un margen de confianza suficiente, siendo por ello una importante limitación a la aplicación de métodos cuantitativos. En ocasiones puede ser más práctico utilizar métodos cualitativos o semicuantitativos, si faltan datos fiables de probabilidades, o la experiencia en manejo de métodos más complejos es pequeña.

### Evaluación de consecuencias

La evaluación de consecuencias contempla tres etapas:

1. Estimación de flujos emitidos.
2. Cálculo de la dispersión en el entorno.
3. Estimación de daños a personas, estructuras y medio ambiente.

Existe numerosos métodos de cálculo, algunos de ellos enormemente complejos, y por lo tanto, de limitada aplicación para resolver de manera rápida la cuestión. A partir muchas veces de éstos, se han desarrollado fórmulas de cálculo más sencillas, y aproximadas, que cumplen bien la función para la que son requeridas. Algunas de ellas son las siguientes:

#### Incendios:

Método de Moorhouse y Pritchard (I. Chem. E., Rugby Symposium, Series No. 71).

Marshall (Major Chemical Hazards) Crawlay (I. Chem. Symposium No. 71).

Williamson y Mann (Combustion Science & Technology Vol. 25).

#### Explosiones:

Baker (Explosion hazards an evaluation).



Wiekema (Vapor Cloud Explosion model).

#### Dispersión de Gases:

Pasquill & Smith (Atmospheric Diffusion).

Van Ulden (First. In Loss Prevention Symposium).

Cox y Carpenter (Proc. Energ. Comb. Sci. Vol. 6).

Recientemente han aparecido dos sistemas informáticos que permiten calcular consecuencias: uno es el ya comentado HAZAN y otro es el modelo CHARM, ambos asequibles para ordenadores personales en formato IBM compatible.

El modelo HAZAN contempla el cálculo de consecuencias en diversos casos: incendios, explosiones, escapes de sustancias tóxicas, etc. Para ello utiliza métodos sencillos como los que hemos mencionado, con la ventaja del cálculo con ordenador. Actualmente dispone de una base de datos para unas veinte sustancias químicas, aunque el usuario puede utilizar los programas para otras sustancias siempre que introduzca los datos de entrada propios de cada una.

El modelo CHARM, desarrollado por RADIANT CORPORATION en Austin, USA, es específico para escapes de sustancias tóxicas y posee una base de datos para unas 70 sustancias químicas. Contempla cuatro tipos de derrames:

- Liberación continuada de líquidos.
- Liberación continuada de gases.
- Liberación instantánea de líquidos.
- Liberación instantánea de gases.

Para el cálculo de las consecuencias de un derrame de una sustancia tóxica sobre un curso de agua, puede utilizarse el también recientemente

*La mayor eficacia en la prevención de accidentes mayores se consigue actuando sobre la etapa de diseño del proyecto.*

desarrollado modelo de la EPA, SHARRA. También disponible en formato IBM, y de gran utilidad para derrames de sustancias orgánicas.

El cálculo de los efectos sobre el entorno ha de hacerse partiendo de unas hipótesis con alto grado de incertidumbre, sometidos a numerosos factores de variabilidad, lo que hace difícil obtener unos resultados siquiera aproximados. Para el estudio de los efectos de sustancias tóxicas se utilizan datos toxicológicos resultantes de experimentos con animales, lo que añade un grado más de incertidumbre. En todo caso, la aplicación de la diferente metodología existente nos puede dar una idea de si el accidente concreto que estamos estudiando podría clasificarse dentro del grupo de Accidentes Mayores.

Para el cálculo de los daños por incendio se han creado diversas tablas



expresados unas veces en términos de intensidad de la radiación, y otras de dosis potencial. El efecto en edificios, alrededores naturales y equipos son medidas en términos de probabilidad de ignición, particularmente si se encuentran estructuras de madera en el entorno. Las igniciones espontáneas y las inducidas por llamas pueden ser consideradas para varios niveles de radiación.

El cálculo de los efectos tóxicos del escape de sustancias químicas al ambiente depende de dos factores: las características de toxicidad de las sustancias en cuestión, y el tiempo de exposición de las víctimas. El Banco Mundial ha elaborado un método

### Evaluación final del riesgo

Las etapas finales en el proceso de evaluación del riesgo son el análisis de probabilidad de ocurrencia versus consecuencias y la comparación con los estándares aceptables por la compañía y la legislación, en orden a decidir si es preciso tomar medidas para reducir el nivel de riesgo.

El riesgo se puede medir en términos de Probabilidad x Consecuencias y si se evalúan los fallos en términos de ocasiones/año y las consecuencias en términos de daños materiales (costo instalación materiales) y personales (número de víctimas), el riesgo se puede expresar como:



de estimación basado en datos de LC50 y cálculo de probabilidades y recogido en el manual «Industrial Hazard Assessment Techniques».

La evaluación de consecuencias es una tarea compleja y laboriosa por varios motivos:

- Dificultad de elección de un modelo apropiado.
- Ausencia de datos de base (variables meteorológicas, caudales de agua).
- Complejidad de algunos métodos.
- Incertidumbre en la predicción del número probable de víctimas.

$$\text{Riesgo} = \frac{\text{Ocasiones}}{\text{Año}} \times \frac{\text{Personal}}{\text{Año}} \times \frac{\text{Coste económico}}{\text{Año}}$$

Aunque no existe un criterio universalmente aceptado, podemos considerar que un accidente que conlleve daños considerables al medio ambiente o cause un número de fallecimientos igual o superior a 10, puede ser clasificado como accidente mayor. Para este tipo de accidentes, un

criterio aceptable de probabilidad sería de 1 suceso en 10.000 años.

### Medidas de prevención de accidentes mayores

La mayor eficacia en la prevención de accidentes se consigue actuando sobre la etapa de desarrollo del proyecto, en el que el análisis de riesgos y la adopción de medidas para eliminarlo o reducirlo, se realizan antes de la fase de construcción, con lo que el proyecto puede ser rediseñado.

Como normas generales de prevención de accidentes mayores podemos citar:

- **Reducir inventarios:** El objetivo es reducir el inventario de materiales peligrosos, de manera que el riesgo sea eliminado o reducido, por ejemplo:

- Reduciendo el inventario de materiales peligrosos en almacenamiento y en los procesos. En ocasiones es posible operar en condiciones de más baja cantidad de materias primas y productos intermedios que los originalmente diseñados.
- Cambiar los procesos de manera que se generen menos cantidades de productos intermedios peligrosos.
- Cambiar de procesos discontinuos a continuos, rebajando el nivel de inventarios, mejorando sistemas de mezclas, etcétera.
- Utilizar procesos de alta eficiencia y bajos inventarios, por ejemplo, en sistemas de destilación y evaporación.

- **Modificar procesos o condiciones de almacenamiento:** Si no es posible reducir inventarios, podemos estudiar el cambio de procesos o condiciones de almacenamiento, por ejemplo:

- Almacenar y procesar los gases tóxicos en disolventes apropiados mejor que en grandes volúmenes.
- Almacenar y manejar todos los materiales en cantidades reducidas, mejor que en grandes volúmenes.
- Procesar los materiales peligrosos como gases mejor que como líquidos en disolventes inflamables.
- Almacenar gases peligrosos como líquidos refrigerados, mejor que bajo presión.
- Reducir presiones y temperaturas, mediante modificaciones del proceso.

- **Eliminar materiales peligrosos:** Si los anteriores medios no son facti-

bles, pudiéramos eliminar el uso de ciertos materiales peligrosos utilizando materiales o rutas del proceso alternativas.

● **Mejorar la operabilidad y seguridad de funcionamiento de la planta:** La utilización de estudios de operabilidad o fiabilidad permiten determinar los cambios en operaciones que *reduzcan* el riesgo de accidentes y proveer la adecuada protección para los trabajadores y la población circundante.

● **Instalar sistemas de protección:** En ocasiones en que no sea factible la adopción de alguna medida anterior, puede ser necesario instalar algún sistema de protección, que mitigue el impacto en caso de accidente:

- Muros de choque contra explosiones.
- Lagunas de recogida de aguas de extinción de incendios.
- Arquetas de recogida de derrames.
- Lavadores de gases para casos de escapes.
- Medios automáticos de extinción de incendios, etc.
- Medios de protección personal (mascarillas, trajes de seguridad, etcétera).

● **Instalar medios de detección:** La existencia de detectores automáticos de incendios o sustancias tóxicas o inflamables puede ser una eficaz medida para prevenir la escalada del accidente, controlando la situación en las primeras etapas del suceso.

Por último, todas las medidas comentadas deben contemplarse dentro del marco general de la gestión del riesgo y la prevención de accidentes en la empresa, en la que la información y la formación de técnicos del staff y operarios juega un papel relevante. Muchos accidentes mayores han tenido su origen en fallos humanos que podrían haberse evitado si hubiesen existido normas de seguridad para operaciones determinadas, como mantenimiento, trabajos con GLP, entrada a recipientes cerrados, etcétera. El mantenimiento debe ser siempre preventivo y planificarse en función de los requerimientos de seguridad de estructuras y equipos, lo que evitará sin duda fallos que puedan provocar accidentes con repercusiones graves.

### Plan de Emergencia Interior

El Plan de Emergencia Interior tiene como objetivo la optimización de

los recursos propios y ajenos en orden a conseguir:

- Efectuar el rescate y tratamiento de las víctimas.
- Garantizar la seguridad del resto de personas.
- Minimizar el daño a propiedades y al medio ambiente.
- Inicialmente contener el suceso y después llevarlo bajo control.
- Identificar cualquier fallecimiento.
- Atender a los familiares de los afectados.
- Suministrar información autorizada a los medios de comunicación.
- Garantizar la rehabilitación segura de las áreas afectadas.
- Conservar equipos y registro de hechos relevantes, necesarios para la investigación posterior del accidente.

propiedades y medio ambiente.

- Minimizar las pérdidas de materiales.
- Dirigir el rescate y las operaciones de extinción o contención hasta la llegada de los medios de emergencia exteriores. En este momento traspasará esta función al responsable de aquellos.
- Asegurar que en el área afectada se busca a las víctimas.
- Asegurar que todos los trabajadores que no intervienen en las tareas de control evacúen los edificios y se concentren en los puntos de encuentro preestablecidos.
- Establecer un punto de comunicaciones y enlazar con el Centro de Control.
- Hasta la llegada del Director del Plan, asumir sus funciones, en especial en cuanto a:



Los aspectos claves de un plan de emergencia interior son:

#### 1. Asignación de responsabilidades

La dirección del plan recae en dos personas claves: El Jefe de Control del incidente y el Director Principal del Plan. El primero debe ser una persona del staff técnico, preferentemente el Jefe de Ingeniería o el de Operaciones; sus funciones son:

- Investigar la dimensión de la emergencia y decidir la activación del plan de emergencia.
- Dirigir las operaciones dentro del área afectada, con las siguientes prioridades:
- Garantizar la seguridad del personal.
- Minimizar los daños a la planta,

- Dirigir la parada de las instalaciones que puedan ser afectadas por el suceso.
- Asegurar de que los servicios de emergencia exteriores han sido avisados.
- Asegurar que el personal clave ha sido llamado.
- Informar del desarrollo del incidente al Director del Plan.
- Suministrar información y apoyo al Jefe de Bomberos.
- Posibilitar la obtención de evidencias que clarifiquen las causas del accidente.

El Director del Plan debe ser el Director de Planta y entre sus funciones se encuentran:

- A su llegada, relevar al Jefe de Control del Incidente de su responsabilidad sobre el control total del Plan.

- Asegurar la llamada de los servicios de emergencia exteriores e informar en caso necesario a las plantas industriales vecinas.
- Asegurar que el personal clave del plan ha sido llamado.
- Ejercer el control directo de las operaciones fuera del área afectada.
- Mantener la revisión especulativa del posible curso de los acontecimientos.
- Dirigir la parada y evacuación de las instalaciones tras consulta con el Jefe de Control del incidente y el resto del personal clave.
- Participar con las autoridades de Protección Civil en la coordinación del Plan Interior y del Plan de Emergencia Exterior.
- Controlar los movimientos de tráfico en el interior.
- Asegurar el adecuado suministro de medios y alimentos al personal que participa en las tareas de control.
- Proporcionar notas de prensa a los medios de comunicación.
- En caso de escape de sustancias tóxicas al ambiente exterior, estar informado de la situación y evolución de las variables meteorológicas.
- Asegurar la conservación de evidencias para la investigación posterior del accidente.
- Controlar la rehabilitación del área afectada una vez ha cesado la emergencia.

Además del Director y del Jefe de Control del incidente, los responsables de ingeniería, fabricación, servicios técnicos, seguridad e higiene, etc., formarán parte del equipo director, y participarán en la toma de decisiones que afectan a parada de plantas, evacuación de personal, trabajos de ingeniería, suministro de equipos, etcétera.

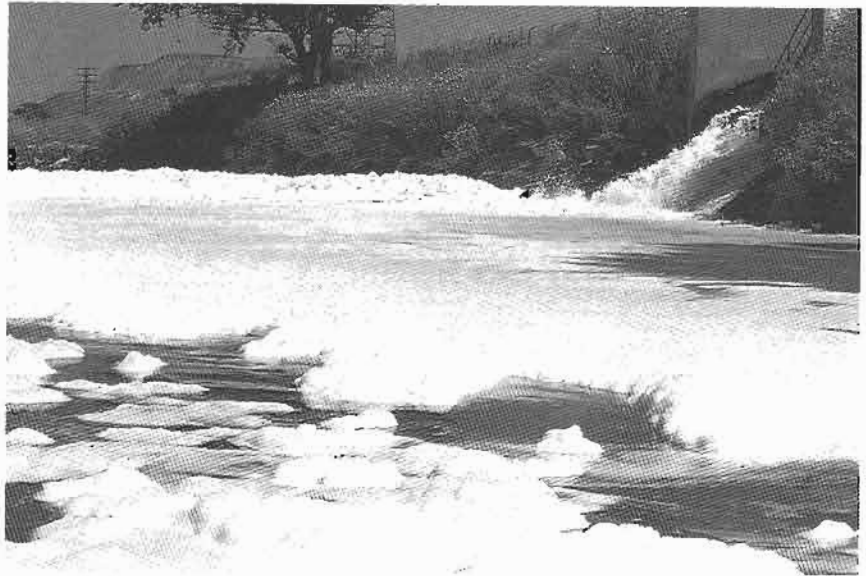
## 2. Brigada de Emergencia

El Plan debe de contar con una brigada de emergencia formada por supervisores y operarios, que se encarguen de las tareas de control del suceso, en especial de: extinción del incendio, trabajos eléctricos, trabajos mecánicos, etcétera.

También deben distribuirse tareas adicionales como: recuento de personal, movimiento de vehículos, comunicaciones, etcétera.

## 3. Centro de Control

El Centro de Control centraliza todas las operaciones del Plan de



Emergencia y en él se sitúa dirigiendo las operaciones, el Director del Plan, junto con las personas esenciales que juegan un papel en la dirección y coordinación del mismo.

Su situación debe de ser alejado de áreas de riesgo, cercano a lugares de entrada y salida.

## 4. Alarma

En principio, el disparo de la alarma debe poder ser efectuado por cualquier operario, ante el descubrimiento de un peligro. La puesta en marcha del plan de emergencia dependerá de la estimación del Jefe de Control del incidente, quien debe llegar al lugar lo antes posible.

En caso de grandes plantas, puede ser conveniente dividirla en varias zonas con alarma independiente.

## 5. Alerta

Cuando suene la alarma las personas con funciones en el plan deben actuar de acuerdo a sus instrucciones, y el resto de personal evacuar los edificios y congregarse en los puntos de reunión preestablecidos.

En el momento que se declare el plan de emergencia se deber llamar a los servicios externos de policía y bomberos. También habrá que localizar a las personas esenciales del plan que estén ausentes de su puesto de trabajo. Para ello, la central de teléfonos dispondrá de los datos que permitan localizar a estas personas en todo momento. En caso de peligros para el exterior de las instalaciones, se deberá proporcionar información a industrias vecinas sobre la situación de emergencia.

## 6. Evacuación

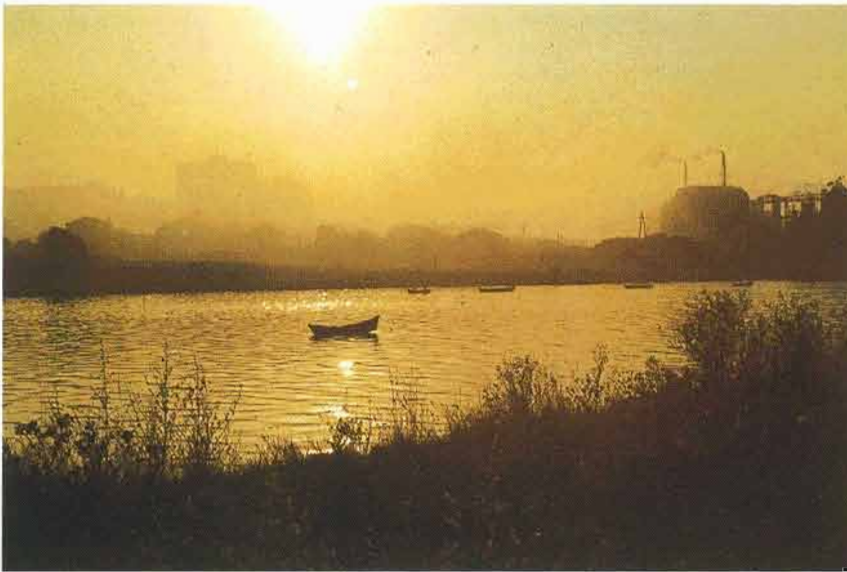
La evacuación debe ser escalonada de manera que las áreas con peligro más inminente, sean evacuadas en primer lugar. El personal debe reunirse en puntos fijados con antelación en el plan, que estarán situados preferentemente alejados de áreas de riesgos y cerca de accesos de entrada y salida. Se debe preveer más de un lugar de encuentro para evitar que los empleados crucen un área afectada para llegar al punto de encuentro, y para evitar que en caso de escape de gases nocivos y condiciones meteorológicas adversas, dicho punto sea en sí mismo un área de riesgo.

Los nombres de las personas que deben acudir a un punto de encuentro deben estar disponibles por parte de la persona encargada de tal cometido, permitiendo así disponer de un control de quienes están y quienes faltan.

## 7. Acciones de Control

El Plan de Emergencia debe contemplar las medidas a poner en marcha para contener en primer lugar y llevar a niveles de control después, los diferentes sucesos peligrosos que pueden presentarse. Las personas con responsabilidades en el plan deben disponer de las instrucciones, conocimientos y medios precisos para luchar contra el suceso. Las acciones de control en el área afectada serán dirigidas por el Jefe de Control del incidente, quien informará al Director del Plan de las acciones emprendidas.

## 8. Coordinador con el Plan de Emergencia Exterior



El Director del Plan coordinará con los Servicios de Emergencia Exterior las labores encaminadas al control del suceso. En caso de existencia de peligro para los alrededores, se proporcionará información sobre características de las sustancias peligrosas liberadas, datos toxicológicos, medios de desintoxicación, concentraciones previsible, puntos de alto riesgo si existen, necesidades de evacuación de la población, evolución futura de los acontecimientos, etc.

## 9. Relaciones Públicas

Las relaciones con los medios de comunicación deben centralizarse en el Director del Plan, de manera que ninguna otra persona esté autorizada para divulgar información. De esta manera se evita la divulgación de noticias imprecisas o contradictorias.

## 10. Rehabilitación

Una vez extinguido el incendio o controlado el escape, el lugar afectado debe ser cuidadosamente examinado con objeto de prever las medidas necesarias para su rehabilitación evitando que se produzcan accidentes posteriores.

## 11. Ayuda mutua

En lugares en donde exista una concentración industrial, puede ser beneficioso la elaboración de planes de ayuda mutua, con dos objetivos principales:

1. Reunir mayores medios de control en conjunto de individualmente.

*El desarrollo tecnológico obliga a asumir un determinado nivel de riesgo.*

2. Avisar de posibles repercusiones a plantas industriales vecinas.

## 12. Formación

Una vez elaborado el plan de emergencia, debe de ser difundido de manera que todo el personal sepa cual es el modo de actuación en caso de alarma. Especialmente deben estar formados las personas directoras del plan.

Con objeto de probar la eficacia de los procedimientos, es preciso efectuar pruebas de ciertas partes del plan; por ejemplo, podemos chequear el sistema de comunicaciones, la rapidez de actuación de la brigada de emergencia, la búsqueda, rescate y tratamiento de los heridos, la interrupción de las actividades y la evacuación, etc. Para ello se pueden programar ensayos de simulación; además de la observación de los resultados por parte del personal responsable, se pueden colocar observadores en diferentes puntos a fin de detectar fallos en el sistema.

Por último, llevarse a cabo simulacros generales, en los que es conveniente que participen también las fuerzas de emergencia exteriores.

De la realización de estos ensayos deben de salir planteamientos para mejorar la eficacia del plan, a través

de reuniones de los responsables del plan y los equipos de emergencia.

## COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

La aplicación de la Directiva Seveso a nuestro País llega con varios años de retraso, y la exigencia de su entrada en vigor de forma casi inmediata provocará importantes problemas cuya resolución requerirá por parte de la Administración y de la Industria grandes esfuerzos.

Las cuestiones más conflictivas pueden ser:

- Dificultades técnicas en la aplicación de metodologías de evaluación de riesgos.
- Necesidad de importantes inversiones en el capítulo de seguridad en muchas de nuestras plantas industriales.
- Necesidad de formación de expertos en la Administración y en la Industria.
- Complejidad de la estructura organizativa de Protección Civil.
- Falta de experiencia en la aplicación del principio del «Derecho a conocer».
- Necesidad de preparar Planes Provisionales en un plazo breve, y basados en informaciones parciales.
- Necesidad de importantes medios de inspección para el control por parte de los organismos oficiales.

Cuando aún estos temas no estén completamente resueltos, es previsible que la segunda enmienda de la Directiva, actualmente en fase de borrador, tenga que ser aplicada. Esta enmienda amplía el marco de la Directiva al almacenamiento de sustancias tóxicas y peligrosas por encima de ciertas cantidades, así como la lista de sustancias de los Anexos II y III; ello significa que en el plazo de pocos años, más actividades industriales serán afectadas por esta disposición. Además, se establece un procedimiento de información a la población y un contenido de la declaración común para todos los Estados.

No obstante, a pesar de las dificultades de aplicación del Decreto sobre Accidentes Mayores, no cabe duda que estamos ante el comienzo de una etapa más en el camino de la protección de los trabajadores, las personas y el medio ambiente, que redundará en el aumento de la calidad de vida de nuestros pueblos. La industria, la Administración y los grupos sociales, tienen ante sí un importante reto para el futuro. ■