
EL RIESGO QUÍMICO Y EL TERRITORIO

JOAQUIM CASAL FÀBREGA

Centro de Estudios del Riesgo Tecnológico (CERTEC) de la Universidad Politécnica de Cataluña

JUAN A. VÍLCHEZ SÁNCHEZ

TIPs. Trámites, Informes y Proyectos

Se analizan los diversos aspectos del riesgo asociado a las instalaciones de la industria química: concepto y tipos de riesgo, evolución de los accidentes graves en función del tiempo, tipología de los principales accidentes que pueden ocurrir en este tipo de instalaciones. Se comenta la importancia del sector químico en Cataluña y en el marco estatal, y se exponen los principales apartados de la legislación específica sobre este tema, tanto europea, como estatal, y catalana.

A continuación se expone cómo se lleva a cabo el análisis del riesgo asociado a una determinada instalación y cómo se mide y representa sobre la zona afectada; esta metodología se explica mediante un ejemplo de almacenamiento de productos de sustancias inflamables.

Finalmente, se analiza la situación, relativamente frecuente, en la que hay un solapamiento entre la zona sometida a un cierto riesgo y la población. Se comentan los valores de umbral utilizados para definir las zonas de alerta y de intervención, así como las diversas posibilidades de actuación.

The various aspects regarding risk associated with facilities in chemical industries are analyzed: concept and types of risk, evolution of major accidents depending on the time, description of the main types of accidents that can occur in this type of facilities. The importance of the chemical sector in Catalonia and in the Spanish state framework is commented and exposes the main parts of the specific legislation on this issue at both European and Catalan levels are discussed.

Next, the paper explains how the risk analysis associated with a particular installation is carried out and how it is measured and represented on the affected area, this methodology is applied, as an example, in a case of a flammable substances storage facility.

Finally, it analyzes the relatively frequent situation when there is an overlap between the area subjected to certain risks and the population. It discusses the threshold values used to define warning and intervention areas, as well as the different possible actions.

1. INTRODUCCIÓN

Cualquier actividad humana implica un cierto riesgo. El riesgo es un concepto que aparece en las actividades económicas, los negocios, el deporte, la industria y en la vida diaria. De hecho, todos tenemos una idea intuitiva. El riesgo ha sido definido como «contingencia a la que está expuesto alguien o algo»,¹ «la posibilidad

1. Instituto de Estudios Catalanes. *Diccionari de la llengua catalana*. 2a ed. Barcelona, 2007.

de que ocurra algo desagradable».² Estas definiciones tienen implícitos dos conceptos, el de probabilidad o frecuencia (algo puede ocurrir o no ocurrir) y el de «exposición a algo desagradable» (accidente).

El concepto de riesgo debe diferenciarse del de peligro, definido como «una condición física o química que tiene el potencial de causar daño a las personas, la propiedad o el entorno», (CCPs, 1999).

La ingeniería ha formalizado el concepto de riesgo, definiéndolo como el producto de las consecuencias de un determinado evento por la frecuencia del mismo.

Las consecuencias y la frecuencia se expresarán en las unidades apropiadas. La frecuencia puede darse como número de accidentes por año o por operación, mientras que las unidades para las consecuencias pueden variar en función del tipo de accidente y de elementos vulnerables expuestos al mismo. Las consecuencias sobre personas solas pueden expresarse como número de muertos o de heridos, pero también puede interesar expresarlas en términos financieros, es decir, como pérdidas económicas. Las pérdidas materiales (equipamiento) o los daños al entorno (coste de la descontaminación, por ejemplo) se expresan siempre en términos económicos.

El riesgo está presente en todas partes: la propia naturaleza provoca graves desastres tales como terremotos, erupciones volcánicas o inundaciones; estos riesgos han existido siempre. La actividad humana, en cambio, ha implicado la aparición de nuevos riesgos, que han aumentado extraordinariamente durante el siglo veinte con la industrialización.

Los peores accidentes en la industria suelen ocurrir en plantas químicas o petroquímicas, debido a la peligrosidad intrínseca de las sustancias que se almacenan, manipulan o transportan. Algunos accidentes graves —grandes incendios, explosiones o nubes tóxicas— ocurridos en las últimas décadas han tenido un importante efecto sobre la opinión pública en relación con la peligrosidad de este tipo de instalaciones. Entre ellos pueden mencionarse como significativos los siguientes.

- En Flixborough (1974), una gran explosión ocurrida en una planta de caprolactama mató a veintiocho personas, este accidente fue muy importante en el desarrollo de la seguridad y la prevención de riesgos en el Reino Unido.
- Dos años más tarde, en una industria cerca de Milán, se produjo un escape de TCDD (una dioxina extremadamente tóxica). Este accidente tuvo un impacto extraordinario en Europa y fue el causante de que el Parlamento Europeo publicara la denominada «Directiva Seveso» en 1982.
- En 1984, quinientas tres personas murieron en San Juan Ixhuatepec, cerca de Ciudad de México, como consecuencia de una serie de explosiones y bolas de fuego en una instalación de GLP.
- El mismo año, en Bhopal (India) unas tres mil ochocientas personas perdieron la vida y unas tres mil quedaron afectadas de manera seria y perma-

2. Concise Oxford English Dictionary, Soano y Stevenson, 2004

- nente, después de una fuga de isocianato de metilo. Este es el peor accidente ocurrido nunca en la industria química.
- En 2001, una fuerte explosión ocurrida en una industria en Toulouse provocó la muerte de treinta y una personas.
 - En 2005, en la planta de almacenamiento de combustibles de Buncefield, tuvo lugar el incendio más grande ocurrido en una instalación de este tipo. No hubo víctimas mortales, pero la planta quedó totalmente destruida.

Estos grandes accidentes se denominan «accidentes graves». Un accidente grave es [BOE, 2003]

Cualquier suceso, como una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes, que sea consecuencia de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento, al que sea aplicable el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, que suponga una situación de grave riesgo, inmediato o diferido, para las personas, los bienes y el medio ambiente, o bien sea en el interior, o bien el exterior del establecimiento, y en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas.

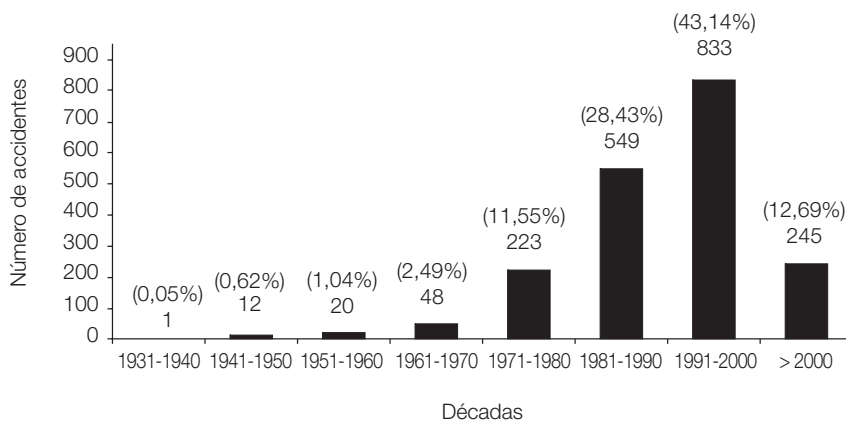
Los accidentes graves se clasifican en tres categorías:

- categoría 1: aquellos para los que se prevea, como única consecuencia, daños materiales en el establecimiento accidentado y no se prevean daños de ningún tipo en el exterior del mismo.
- categoría 2: aquellos para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas y daños materiales en el establecimiento, mientras que las repercusiones exteriores se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas.
- categoría 3: aquellos para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas, daños materiales graves o alteraciones graves del medio ambiente, en zonas extensas y en el exterior del establecimiento.

2. EVOLUCIÓN DE LA FRECUENCIA DE LOS ACCIDENTES GRAVES

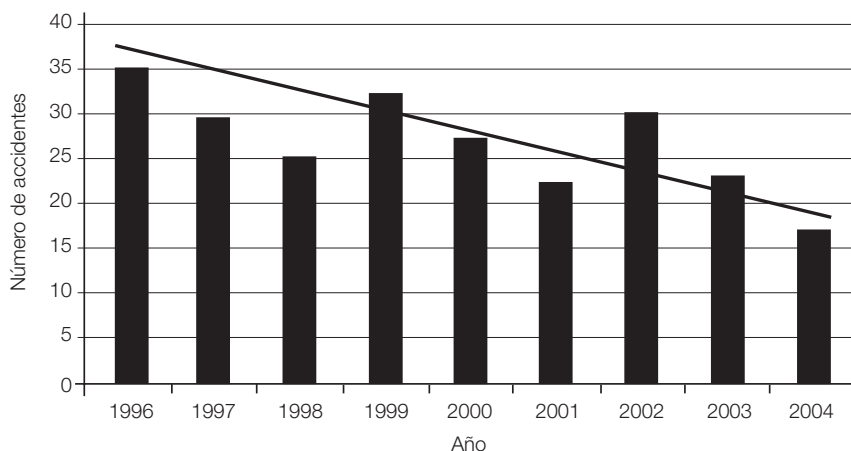
Los diferentes autores que han estudiado la variación de la frecuencia de los accidentes graves en función del tiempo en las industrias químicas, el transporte de materiales peligrosos y el transporte marítimo han encontrado en general un notable incremento en el número de accidentes en las últimas décadas. A título de ejemplo, en la fig. 1 se ha representado la variación en función del tiempo de los accidentes ocurridos en el transporte de sustancias peligrosas por carretera y por ferrocarril; esta representación está basada en el análisis histórico de mil novecientos treinta y dos accidentes ocurridos desde comienzos del siglo veinte hasta julio de 2004 (Oggero *et al.*, 2006).

Figura 1. Distribución de los accidentes graves ocurridos en el transporte por carretera y ferrocarril en función del tiempo



Puede observarse que hay un aumento gradual, con un notable incremento en el periodo 1981-2000. Este comportamiento ha de atribuirse esencialmente a la influencia de dos factores: el crecimiento de la industria y del número de plantas, y el consiguiente aumento del transporte de mercancías peligrosas. Por otra parte, también hay que tener en cuenta la mejora en el acceso a la información sobre accidentes experimentada con la aparición de bancos de datos sobre accidentes, publicaciones especializadas, etc.

Figura 2. Tendencia en la frecuencia de los accidentes graves en la UE (1996-2004) según los datos registrados en MARS. (Niemitz, 2010)



De todos modos, hay que decir que informaciones más recientes parecen indicar un cambio en esta tendencia. La fig. 2 (Niemitz, 2010) es el resultado del análisis de los accidentes graves registrados en la base de datos de la Unión Europea

Major Accident Reporting System (MARS, 2009) entre 1996 y 2004. Puede observarse nuevamente un cambio en la tendencia, con una disminución de la frecuencia en el período analizado. Resultados similares han sido obtenidos en otro análisis histórico efectuado con accidentes que involucran el efecto dominó (Darbra *et al.*, 2010.)

Esta disminución en la frecuencia de los accidentes desde 1995 podría explicarse en base a la mejora que ha habido en la cultura de la seguridad en la industria química, debida en buena parte a las nuevas regulaciones, más estrictas, y a una mejor formación de los operarios, así como a una mejor automatización de los procesos. Sin embargo, estos datos, aún no definitivos, deberán ser contrastados en los próximos años.

2.1 TIPOS DE ACCIDENTES GRAVES

En cuanto al tipo de accidente, la tabla 1 muestra su distribución, obtenida de un análisis histórico (Vílchez *et al.*, 1995). La misma tabla muestra la actividad o el tipo de instalación en la que ocurrió el accidente.

Tabla 1. Tipos de accidentes

Accidente	%
Incendio	47
Explosión	40
Nube tóxica	13
Origen	%
Transporte	39
Plantas de proceso	26
Plantas de almacenaje	17
Carga/descarga	8
Doméstico/comercial	6
Almacenaje de sólidos	4

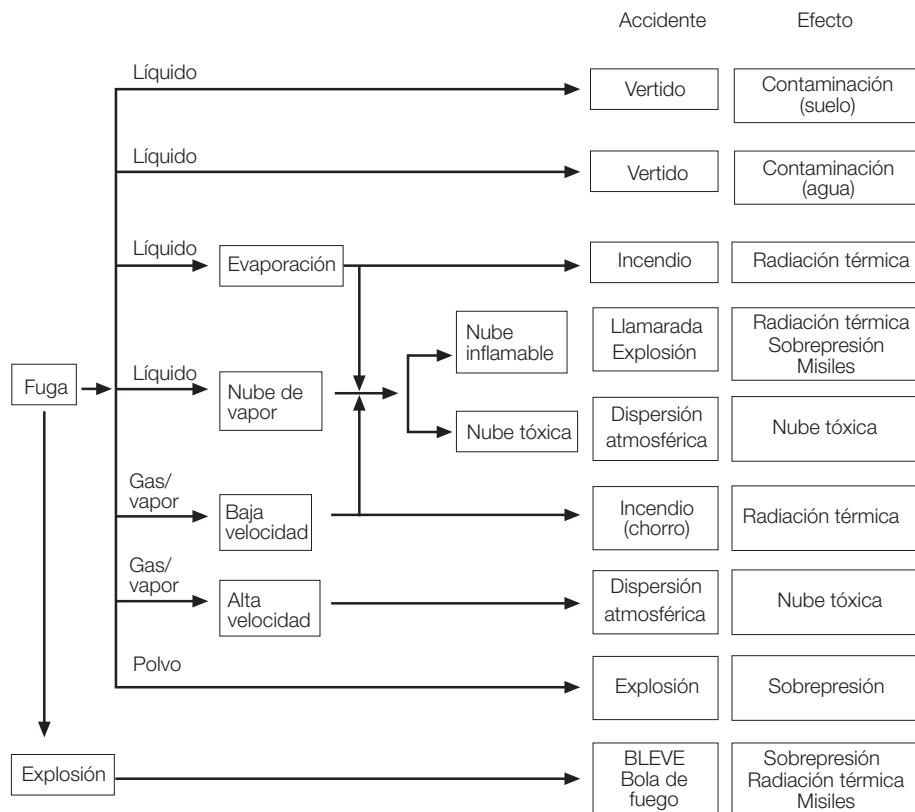
Los accidentes más frecuentes son los incendios, seguidos por las explosiones y, a bastante distancia, por las nubes tóxicas. En cuanto al tipo de planta o de actividad, el transporte es el que sufre más accidentes graves, seguido por las plantas de proceso y las de almacenamiento. Es interesante observar que en la operación de carga/descarga de cisternas y depósitos ocurre el 8% de todos los accidentes.

Los accidentes graves implican la liberación, instantánea o en un tiempo relativamente corto, de cantidades importantes de energía o de materiales peligrosos. Entre los fenómenos peligrosos más usuales asociados a este tipo de accidentes pueden mencionarse los siguientes:

- a) térmicos (radiación térmica),
- b) mecánicos (onda de sobrepresión, eyección de fragmentos),
- c) químicos (contacto con productos tóxicos dispersados en el aire).

Una vez ocurrida la fuga, el escenario accidental puede evolucionar de diferentes maneras en función de las condiciones en las que se encuentra el producto, del tipo de fuga y de las condiciones meteorológicas prevalecientes. Esto ha sido representado esquemáticamente en la figura 3.

Figura 3. Esquema simplificado de los diversos accidentes que pueden ocurrir



La fuga puede ser de líquido, de gas o vapor o una mezcla de líquido y vapor (flujo bifásico), en casos muy concretos el material que interviene puede encontrarse en forma de partículas de sólido.

Si se produce el vertido de un líquido, éste puede infiltrarse en el suelo y contaminar suelo y aguas subterráneas, o bien puede llegar hasta el agua superficial (río, lago). Si se forma un charco (por ejemplo, por la existencia de una cubeta de retención), el líquido se evaporará, pudiéndose formar una nube inflamable o tóxica si las condiciones meteorológicas lo permiten. Si una nube inflamable encuentra un punto de ignición, se producirá una llamarada y, eventualmente, dependiendo de sus dimensiones y del posible confinamiento, una explosión con efectos mecánicos. Si la nube es tóxica el peligro para las personas dependerá de la dosis recibida, función de la concentración y el tiempo de exposición.

Si la fuga es de gas o vapor, el escenario accidental dependerá de la velocidad de fuga: a baja velocidad se puede formar una nube, como en el caso anterior, o bien puede incendiarse (chorro de fuego). Si la fuga tiene lugar a alta velocidad (a presiones de salida relativamente bajas el chorro se convierte en sónico), el aire arrastrado por el mismo chorro impedirá la formación de una nube concentrada, dispersándose el producto en la atmósfera, o bien, si hay ignición, originándose un chorro de fuego.

Con sólidos finamente divididos pueden ocurrir explosiones de polvo, en cuyo caso hay que mencionar que este tipo de explosiones, que pueden ser muy violentas, ocurren en el interior de las instalaciones (molinos, silos, etc.) y nunca en el exterior.

Y, finalmente, la pérdida de contención puede coincidir con el accidente, como en el caso de la explosión de un recipiente a presión (a menudo del tipo BLEVE) que, si libera un producto inflamable, puede originar inmediatamente la formación de una bola de fuego, apareciendo así efectos tanto mecánicos como térmicos.

El resultado final de estos diversos escenarios accidentales es finalmente la contaminación de suelo, agua o aire, la liberación de grandes flujos caloríficos o de efectos de tipo mecánico: sobrepresión o proyección de fragmentos. Estos efectos pueden manifestarse en todas direcciones, cubriendo una determinada zona de forma aproximadamente circular, como en el caso de la sobrepresión o la radiación térmica, o bien pueden ser direccionales, como la eyección de fragmentos o la dispersión atmosférica, que dependerá de la dirección del viento.

Las condiciones meteorológicas pueden tener una influencia muy importante sobre los efectos del accidente, especialmente si interviene la dispersión atmosférica de un gas o un vapor: el penacho o nube se desplazará en la dirección del viento, manteniéndose o no a ras de suelo, lo que determinará qué zona será afectada y tendrá una gran influencia sobre las concentraciones en la nube.

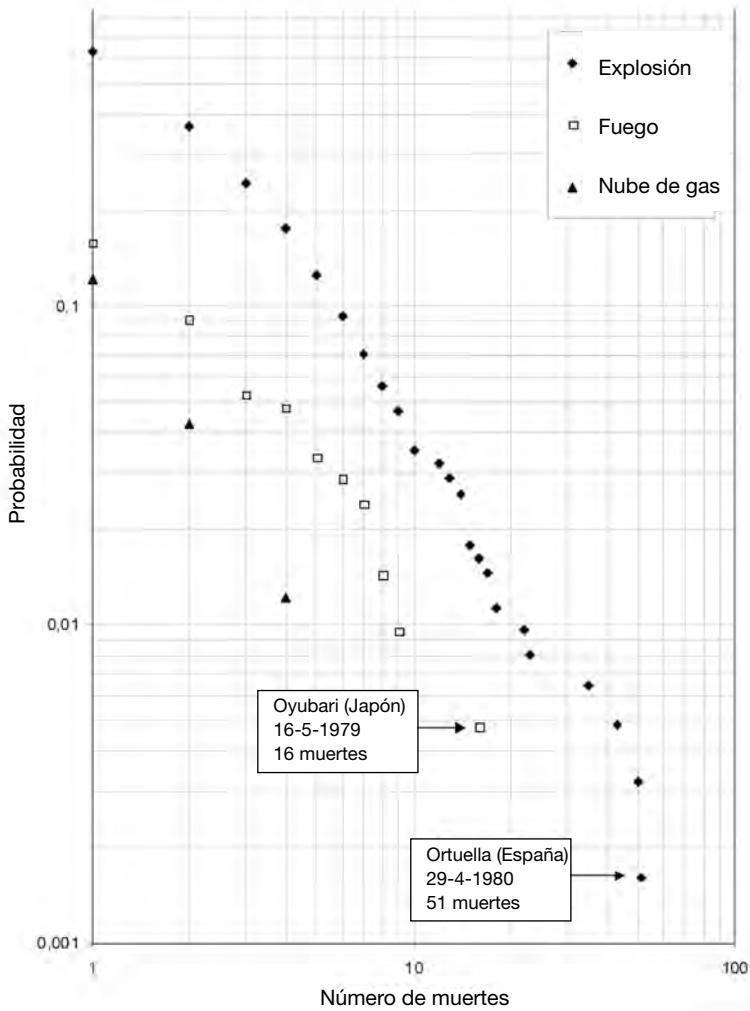
2.2 SEVERIDAD DE LOS ACCIDENTES

Una vez ocurrido un accidente, la severidad del mismo, es decir, la magnitud de sus consecuencias, dependerá del tipo de accidente (explosión, incendio o nube tóxica), de la cantidad de sustancia involucrada y del grado de desarrollo tecnológico del país en el que ocurra el accidente.

Los resultados obtenidos mediante diversos análisis históricos (Carol *et al.*, 2002) relativas a instalaciones fijas muestran claramente que, en general, las explosiones son más severas que los accidentes en los que hay fuego (comprendiendo las llamaradas y las bolas de fuego) y estos son más graves que los que implican fugas de sustancias tóxicas.

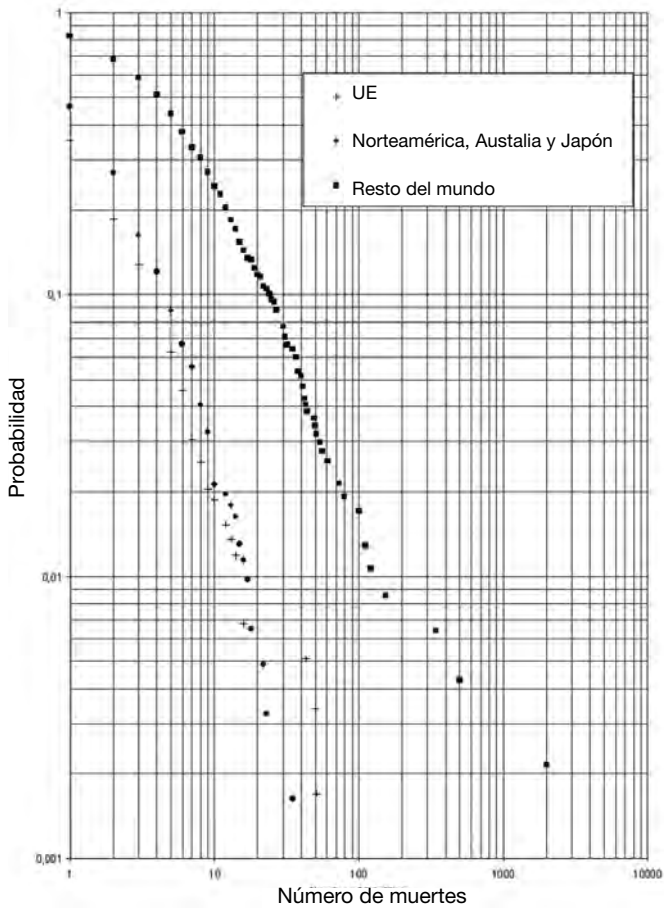
La Fig. 4 muestra estos resultados; en la misma no se han tenido en cuenta los accidentes (pocos) con 100 o más muertes, considerando que distorsionaban el conjunto. En esta figura, la abscisa representa la severidad del accidente, expresada en número de víctimas mortales, los valores del eje de ordenadas son la probabilidad de que un accidente origine un número de muertos igual o superior a N (por $N = 0$, $p = 0$).

Figura 4. Curvas p-N en función del tipo de accidente



En cuanto al grado de desarrollo tecnológico, la fig. 5 muestra que los accidentes que tienen lugar en países en vías de desarrollo son más severos que aquellos que ocurren en la Unión Europea o en países con un grado de desarrollo similar. Esto pone de manifiesto claramente la efectividad de las políticas y las reglamentaciones impuestas para mejorar la seguridad de este tipo de instalaciones.

Figura 5. Curvas p-N en función del grado de desarrollo del país



3. PRESENCIA DE LA INDUSTRIA QUÍMICA EN CATALUÑA

En Cataluña el sector químico tiene una gran importancia, que repercute notablemente en la economía y en el censo asociado de establecimientos afectados. Algunos datos representativos se resumen a continuación (Corrales, 2010):

- genera el 10% del PIB español (51.284 millones de euros facturados en 2008);
- es, junto con los bienes de equipo y el automóvil, el tercer sector exportador de la economía española;
- el número de puestos de trabajo directos de este sector era de 123.500 personas a finales de 2008. Si se incluyen los empleos indirectos, la cifra supera los 500.000;

- los contratos laborales fijos del sector se aproximan al 90% del total, mientras que la media estatal es del 70%;
- la cuarta parte de toda la inversión en I + D + I procede de este sector, que da trabajo a uno de cada cuatro investigadores del total de la industria privada;
- es el único sector que ha reducido sus emisiones de CO² desde 1990.

La importancia económica del sector químico queda resumida, en cifras, en la tabla 2.

Tabla 2. Importancia económica del sector químico

Datos de diciembre de 2008	Total España	Cataluña	% Cataluña
Ventas totales del sector, en millones de euros	51.284	23.077	45%
Número de empresas del sector	3.408	1.016	30%
Número de empresas del sector con más de 200 empleados	153	77	50%

Estos datos ponen de manifiesto que casi la mitad del sector químico se encuentra en Cataluña, siendo el polo químico de Tarragona el más importante del país y de toda la costa mediterránea.

En cuanto al número de establecimientos afectados por la normativa relativa a los accidentes graves en Cataluña, en marzo de 2005 era de 150 (74 de nivel alto, 76 de nivel bajo).

Cuatro años más tarde, en enero de 2009, el número de establecimientos afectados en Cataluña era de 161. Por lo tanto, se puede concluir que este número se mantiene relativamente estable. La distribución territorial de los establecimientos es similar entre 2005 y 2009.

3.1 LEGISLACIÓN ESPECÍFICA

En relación con el desarrollo técnico, administrativo y competencial de determinados aspectos de este artículo, hay que considerar las siguientes disposiciones de carácter legal o de exigencia rigurosa —mediante instrucciones— en Cataluña:

Normativa europea:

— *Directiva 96/82/CE del Consejo, de 9 de diciembre de 1996*, relativa al control de riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

— *Directiva 2003/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2003*, por la que se modifica la Directiva 96/82/CE del Consejo relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Normativa estatal:

— *Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio*, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

— *Real Decreto 1196/2003, de 19 de septiembre*, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

— *Real Decreto 119/2005, de 4 de febrero*, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999 de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

— *Real Decreto 948/2005, de 29 de julio*, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Normativa autonómica:

— *Decreto 174/2001, de 26 de junio*, por el que se regula la aplicación en Cataluña del Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, de medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

— *Ley 12 / 2008, de 31 de julio*, de seguridad industrial.

— *Resolución IRP/971/2010, de 31 de marzo*, por la que se da publicidad a los criterios para la elaboración de los informes referentes al control de la implantación de nuevos elementos vulnerables compatibles con la gestión de los riesgos de protección civil.

Instrucciones de Industria de la Generalitat de Cataluña (DIUE):

— *Instrucción 2/2002 DGCSI*, por la que se dictan criterios de definición de «cambio sustancial» en materia de accidentes graves, para la aplicación de la ley 3/1998, de la intervención integral de la administración ambiental.

— *Instrucción 6/2002 DGCSI*, (derogada por la instrucción 4/2006 sdi), actuaciones a realizar en la tramitación de la autorización ambiental de los establecimientos afectados por la legislación de accidentes graves incluidos en la disposición transitoria primera de la Ley 3/1998, de la intervención integral de la administración ambiental.

— *Instrucción 6/2003 DGCSI*, revisión del protocolo EIC 10/2001 sobre dictamen de seguridad relativo a las actividades industriales afectadas por el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y el Decreto 174/2001 por el que se regula la aplicación en Cataluña del Real Decreto 1254/1999.

— *Instrucción 5/2004 DGEMSI*, sobre presentación del plan de autoprotección (o plan de emergencia interior) para los establecimientos existentes afectados por la legislación vigente en materia de accidentes graves de acuerdo con la nueva directriz básica (RD 1196/2003).

— *Instrucción 13/2004 DGEMSI*, por la que se dictan criterios de actuación en cuanto a la aplicación del «efecto dominó» previsto en el Real Decreto 1254/1999 a los establecimientos existentes.

— *Instrucción 9/2005 DGEMSI*, modificación de la instrucción 2/2002 DGCSI por la que se dictan criterios de definición de «cambio sustancial» en materia de accidentes graves, para la aplicación de la ley 3/1998, de la intervención integral de la administración ambiental.

— *Instrucción 4 / 2006 SDI*, actuaciones a realizar por el departamento de trabajo e industria en la tramitación de la adecuación de la autorización ambiental y revisiones periódicas de ésta en el marco de la ley 3/1998 de 27 de febrero de intervención ambiental de la administración ambiental y posteriores modificaciones para los establecimientos afectados por la legislación de accidentes graves vigente. (Anula la instrucción 6/2002 DGCSI).

— *Instrucción 7/2007 SIE*, de la Secretaría de Industria y Empresa, de envío de la documentación de accidentes graves al Departamento de Medio Ambiente y Vivienda (modifica las instrucciones 12/2001 DGCSI y 9/2005 DGEMSI).

— *Instrucción 8/2007 SIE*. Crecimientos urbanos en los alrededores de establecimientos afectados por la Legislación de accidentes graves existentes.

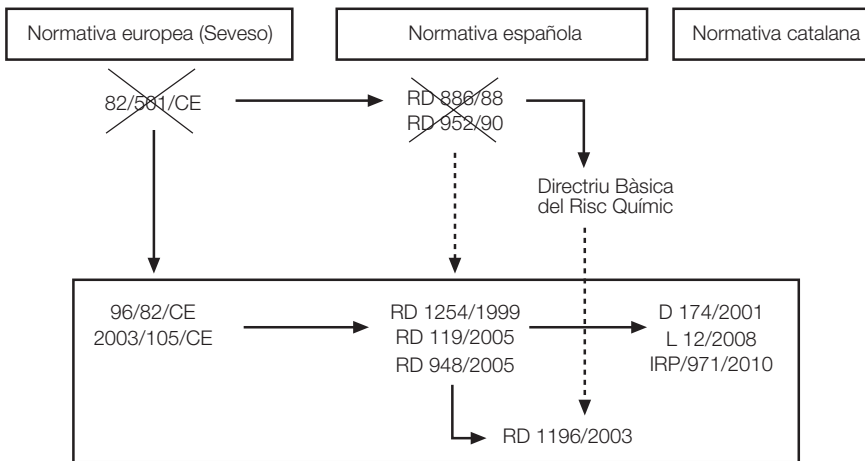
— *Instrucción 9/2007 SIE*. Criterios para la elaboración del informe o decisión vinculante previstos en los artículos 7 y 10 del Decreto 174/2001 para la solicitud de la autorización ambiental para establecimientos afectados por la legislación vigente en materia de accidentes graves nuevos o cambios sustanciales en los existentes.

— *Instrucción 11/2008 SIE*, de modificación de la instrucción 6/2003 de revisión del Protocolo EIC 10/2001 sobre dictamen de seguridad relativo a las actividades industriales afectadas por el Real Decreto 1254/1999 de 16 de julio por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos de accidentes en los que intervengan sustancias peligrosas y el decreto 174/2001 por el que se regula la aplicación en Cataluña del Real Decreto 1254/1999.

— *Instrucción 14/2008 SIE*, de criterios para la realización de los análisis cuantitativos de Riesgo en Cataluña (*Purple Book* y criterios complementarios).

— *Instrucción 7 / 2009 SIE*, de requerimiento de los análisis cuantitativos de riesgo a los establecimientos afectados por la legislación de accidentes graves en Cataluña antecedentes

Después de más de diez años de experiencia en la aplicación de la Directiva 82/501/CEE y del análisis de unos ciento treinta accidentes que han ocurrido en este periodo en la Unión Europea, la Comisión Europea consideró conveniente realizar una revisión fundamental de la legislación mediante la Directiva 96/82/CE. En la figura 6 se ha representado de forma esquemática cómo ha evolucionado esta normativa.

Figura 6. Esquema de la evolución de la normativa (Europa-España-Cataluña)

Concretamente, en estas instrucciones se especifican los métodos de cálculo y modelos descritos en las guías:

- CPR 14E. *Methods for the calculation of physical effects*. «Yellow Book»
- CPR 16E. *Methods for the determination of possible damage*. «Green Book»
- CPR 18E. *Guidelines for quantitative risk assessment*. «Purple Book». Committee for the Prevention of Disasters. Edición de 1999.
- BEVI. *Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2*, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Centre for External Safety, Bilthoven, 2009 (reedición del CPR18E, *Purple Book*).

3.2 COMENTARIOS A ESTE MARCO LEGAL

Las Directivas especifican las exigencias mínimas a escala europea para la prevención de accidentes. Los reales decretos implementan las directivas en el ordenamiento jurídico del Estado español y de Cataluña. En este sentido destaca, por su originalidad técnica y administrativa, el RD 1196/2003, que viene a ser la guía que especifica el contenido detallado de los documentos a elaborar, los umbrales peligrosos a considerar en el cálculo de efectos, las zonas de riesgo que deben ser consideradas en torno a los establecimientos afectados y las categorías de emergencias objeto de planificación.

La normativa autonómica especifica las competencias de cada departamento de la Generalidad y determina la obligatoriedad de elaborar un Análisis Cuantitativo de Riesgo (AQR) en todos los establecimientos afectados, con el objetivo de planificar el crecimiento urbanístico en torno a los mismos. Destaca el

número elevadísimo de instrucciones, algunas de ellas de desarrollo complejo y de amplio contenido técnico, que son de aplicación obligatoria y que, en algunos casos pueden determinar políticas restrictivas de crecimiento y desarrollo en el sector químico, teniendo en cuenta la estructura de polígono industrial dominante en Cataluña y las limitaciones impuestas por estas instrucciones.

3.3 SITUACIÓN EN CATALUÑA

A pesar del progreso efectuado y ya en plena vigencia de la normativa para la prevención de los accidentes graves, las situaciones de emergencia se han seguido produciendo. Algunos casos representativos han sido los siguientes:

- Sant Celoni (Barcelona). 1996. Fuga de ácido clorhídrico e hipoclorito sódico: reacción y formación de nube tóxica de cloro.
- Flix (Tarragona). 1996. Fuga de 6 toneladas de cloro que produjo una nube tóxica.
- Tarragona. 2003. Importante explosión de etileno.
- Les Franqueses del Vallés (Barcelona). 2003. Un incendio provocó la formación de una nube tóxica de cloro.

Para un período similar, el número de accidentes graves en el resto del Estado español tampoco ha sido despreciable. Se pueden destacar:

- Cartagena (Murcia). 2002. Incendio y posterior nube tóxica en una industria de fertilizantes.
- Puertollano (Ciudad Real). 2003. Deflagración de gasolina e incendio de siete tanques de gasolina. Nueve muertos y varios heridos.
- Tavernes Blanques (Valencia). 2004. Escape tóxico de cuatro toneladas de amoníaco. Evacuación de unos mil vecinos.

4. RIESGO INDIVIDUAL Y RIESGO SOCIAL. MAPAS DE RIESGO

En cuanto a las consecuencias sobre las personas, el riesgo suele expresarse como riesgo *individual* y *riesgo colectivo o social*.

El riesgo individual es el riesgo al que está sometida una persona que esté veinticuatro horas al día, trescientos sesenta y cinco días al año en una determinada posición expuesta a un peligro. Las unidades con que se mide el riesgo individual son el número de muertes por año; este riesgo da información, pues, de la probabilidad de que una persona muera al estar un año en un determinado lugar. El riesgo individual puede expresarse como (Casal, 2008):

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^{i=n} IR_{x,y,i}$$

donde

$IR_{x,y}$ es el riesgo individual total en la posición (x, y) (muertes por año⁻¹), y
 $IR_{x,y,i}$ es el riesgo individual en la posición (x, y) debido al escenario accidental. i (muertes por año⁻¹).

El riesgo social es el número total de muertes por año. Se calcula teniendo en cuenta la demografía de la zona afectada por uno o más escenarios accidentales dados:

$$\text{Riesgo social} = \int (\text{riesgo individual}) \cdot [\text{densidad de población } (x, y)] dx dy$$

Finalmente, el riesgo individual medio se puede calcular como el promedio del riesgo individual de toda la población expuesta al riesgo originado por una determinada instalación:

$$IR_m = \sum_{x,y} IR_{x,y} \cdot n_{x,y}$$

donde

IR_m es el riesgo individual medio para toda la población expuesta, (muertes por año⁻¹) y
 $n_{x,y}$ es el número de persona en la posición (x,y) .

La distribución del riesgo en una determinada zona puede representarse mediante los mapas de riesgo, en los que una serie de líneas de riesgo constante, similares a las curvas de nivel, muestran cómo varía el riesgo individual sobre el terreno. Una línea de riesgo constante o isoriesgo es la que une todos los puntos geográficos alrededor de una instalación en los que la probabilidad de muerte es la misma. Esta es la manera más frecuente y más clara de representar gráficamente el riesgo en una zona.

Para obtener una línea de riesgo constante se calcularán las respectivas contribuciones de los diversos escenarios accidentales, cada uno de los cuales tiene su propia probabilidad y letalidad. La suma de todos estos riesgos da el riesgo total.

Las líneas de riesgo constante pueden ser *circulares* si los efectos físicos de los accidentes se dispersan uniformemente en todas direcciones, o *irregulares* si la intensidad de los efectos varía con la dirección. Hay que distinguir pues entre el riesgo radial y el riesgo direccional.

El riesgo radial produce líneas de riesgo constante circulares, con el centro en el origen del accidente. Los escenarios accidentales típicamente asociados a este tipo de riesgo son los incendios de vertido de hidrocarburos y la mayoría de explosiones, incluidas las BLEVE. En estos accidentes la onda de sobrepresión y/o la radiación térmica se extienden radialmente.

En cambio, en el riesgo direccional, las líneas de riesgo constante son irregulares, debido básicamente a la heterogeneidad en la distribución de la dirección

del viento. Los escenarios accidentales asociados a este tipo de riesgo son la dispersión atmosférica de sustancias tóxicas o inflamables o la proyección de fragmentos originados por las explosiones.

5. RIESGO TOLERABLE

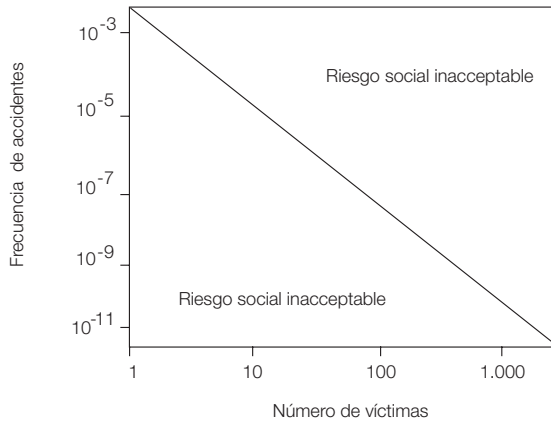
Dado que el «riesgo cero» no existe, es obvio que hay que asumir unos determinados riesgos. La mayoría de los individuos somos, de una manera u otra, conscientes de este hecho y aceptamos una variedad de riesgos en la vida normal, a cambio de determinadas compensaciones. Este es un campo complejo en el que el hecho de correr estos riesgos voluntariamente o no juega un papel muy importante. La gente acepta riesgos con una tasa de mortalidad relativamente alta (por ejemplo, los asociados a fumar o a practicar determinados deportes) sin preocuparse demasiado. Ahora bien, cuando el riesgo no se corre voluntariamente sino que es impuesto, entonces la situación se complica y, más que hablar de riesgo *acceptable* se debe hablar de riesgo *tolerable*.

El de riesgo tolerable es pues un concepto delicado, especialmente cuando es excesivamente alto —o cuando la población considera que es excesivamente alto—, y cuando el riesgo de una determinada instalación que en principio beneficia a una amplia sector de la sociedad repercute de manera desigual sobre esta población (como ocurre frecuentemente).

A pesar de ser un terreno delicado, se han hecho esfuerzos para tratar de dar unos valores umbral. Según la Instrucción 8/2007, en Cataluña se aplican los siguientes criterios de tolerabilidad.

a) Riesgo individual: el riesgo individual se considera intolerable siempre que se someta a un elemento vulnerable o muy vulnerable a valores de riesgo individual de 10^{-6} año⁻¹ o superior. Se consideran elementos vulnerables o muy vulnerables hospitales, residencias, centros penitenciarios, guarderías, áreas de acampada, viviendas, instalaciones deportivas, establecimientos comerciales, restaurantes, autopistas, líneas de ferrocarril con transporte de pasajeros, locales de reuniones y otros establecimientos afines.

b) Riesgo social: según la instrucción, el riesgo social —que no es vinculante para la toma de decisiones, es decir, su cumplimiento no condiciona la aceptabilidad del riesgo de un determinado establecimiento— se considera tolerable si su curva FN está situada bajo la línea mostrada en la figura 7.

Figura 7. Tolerabilidad del riesgo social según la Instrucción 8/2007

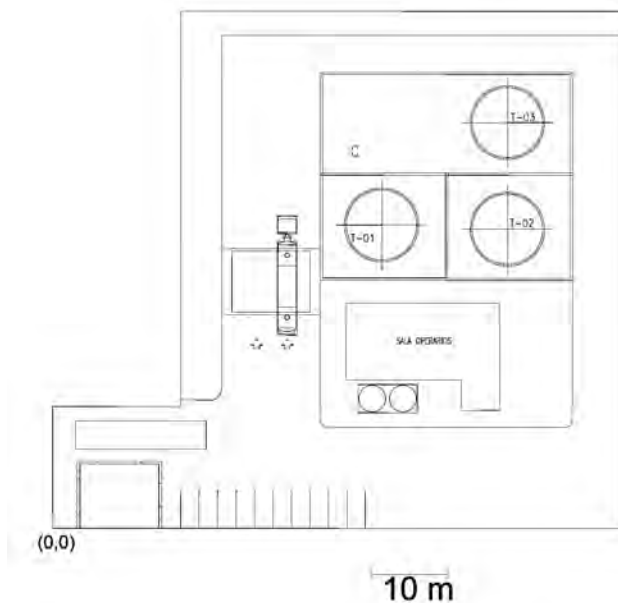
6. EJEMPLO: ANÁLISIS DE UN CASO

A continuación se presenta, de forma resumida, un ejemplo sencillo de aplicación de la metodología de análisis cuantitativo de riesgos (AQR) según las pautas de la Instrucción 14/2008 de la Generalitat de Catalunya.

Se trata de un establecimiento dedicado a la recepción, almacenamiento y expedición de productos inflamables (figura 9). Hay tres tanques que almacenan sustancias inflamables, cada uno con su cubeta independiente. Cada cubeta puede contener todo el contenido de su tanque, la cubeta núm. 3 tiene espacio adicional para contener un segundo tanque en el futuro. La recepción y expedición de sustancias se lleva a cabo mediante camiones-cisterna, en una plataforma específica equipada con drenajes para confinar un eventual escape. En el establecimiento hay equipamientos adicionales (recepción, aparcamiento, sala de control, etc.).

Para llevar a cabo la AQR, en primer lugar hay que identificar los posibles eventos iniciadores que, según cómo evolucionen, pueden conducir a diversos escenarios accidentales.

El primer paso consiste en identificar las sustancias peligrosas existentes y ver si hay o no sustancias «clasificadas». En este establecimiento, la única sustancia clasificada, asimilable a un hidrocarburo derivado del petróleo, presenta la frase de riesgo R11 y se encuentra en los tres depósitos y en la plataforma de carga/descarga. Se seleccionan por lo tanto cuatro instalaciones: las cubetas de los depósitos (todas ellos con la misma capacidad, 1.300 m^3) de almacenamiento y la zona de carga/descarga.

Figura 8. Establecimiento objeto del AQR

Para cada una de estas instalaciones hay que elaborar una lista de sucesos genéricos y específicos en función de los diferentes equipos en los que puede haber pérdidas de contención de las sustancias peligrosas. Por ejemplo, en la zona C01 sólo hay un equipo, el depósito, en la zona PL01 hay dos: las mangueras y la cisterna.

Los sucesos iniciadores genéricos aplicables a cada instalación se han resumido en la tabla 3 (LOC: «*Loss of containment*»).

Tabla 3. Sucesos iniciadores genéricos

Instalación	Sucesos iniciadores
Cubeta C01	<ul style="list-style-type: none"> • Fuga instantánea de sustancia inflamable por rotura catastrófica de un depósito (T-01 o T-02 o T03), LOC G1.
Cubeta C02	<ul style="list-style-type: none"> • Fuga de sustancia inflamable: fuga de todo el contenido del depósito en 10 min, LOC G2.
Cubeta C03	<ul style="list-style-type: none"> • Fuga continua de sustancia inflamable a través de un agujero de 10 mm en el depósito (T-01 ó T-02 ó T03), LOC G3.
Plataforma de carga P 01	<ul style="list-style-type: none"> • Rotura total de la manguera de carga durante la carga/descarga de sustancia inflamable al camión-cisterna. LOC L1. • Rotura parcial de la manguera de carga durante la carga/descarga de sustancia inflamable al camión-cisterna, LOC L2. • Fuga instantánea de sustancia inflamable debida a la rotura catastrófica de la cisterna, LOC G1. • Fuga continua de sustancia inflamable debida a la rotura de la conexión más grande de la cisterna, LOC G2.

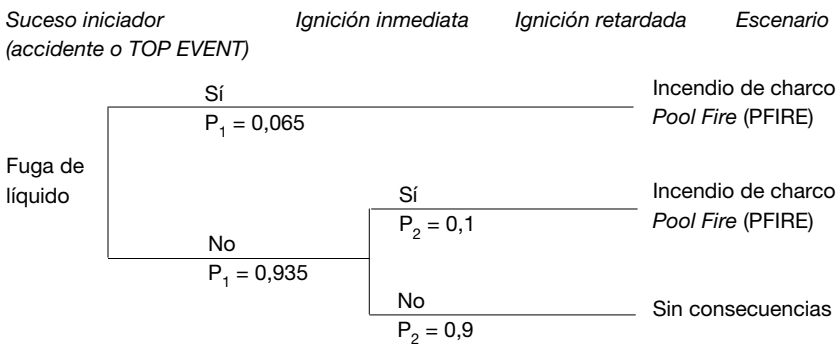
La lista de sucesos resultantes, con las frecuencias y comentarios pertinentes se ha resumido en la tabla 4.

Tabla 4. Frecuencias de los sucesos iniciadores

Suceso iniciador	Tipo de fuga	Frecuencia [a ⁻¹]	Comentario
C01/T-01-03/G1G2	Instantáneo y continuo (10 minutos)	3,0·10 ⁻⁵	Depósito de almacenaje simple. f = 3*(5·10 ⁻⁶ a ⁻¹ + 5·10 ⁻⁶ año ⁻¹)
C01/T-01/G3 C01/T-02/G3 C01/T-03/G3	Continuo (Æ10 mm)	1,0·10 ⁻⁴	Depósito de almacenaje simple. f = 1·10 ⁻⁴ año ⁻¹
PL01/MANG/L1a	Continuo (rotura total)	8,8·10 ⁻⁴ a ⁻¹	Manguera de carga a la cisterna con depósitos atmosféricos. (Manguera que trasvasa durante 220 h/año) f = 4·10 ⁻⁶ h ⁻¹ · 220 h a ⁻¹ = 8,8·10 ⁻⁴ año ⁻¹
PL01/MANG/L2a	Continuo (rotura parcial)	8,8·10 ⁻³ a ⁻¹	Manguera de carga a la cisterna con depósitos atmosféricos. (Manguera que trasvasa durante 220 h/año) f = 4·10 ⁻⁵ h ⁻¹ · 220 h a ⁻¹ = 8,8·10 ⁻³ año ⁻¹
PL01/CIST/G1	Instantáneo	2,5·10 ⁻⁷ a ⁻¹	Cisterna con depósitos atmosféricos. (cisterna presente 220 h/año) f = 1·10 ⁻⁵ a ⁻¹ · (220/8760) = 2,5·10 ⁻⁷ año ⁻¹
PL01/CIST/G2	Continuo	1,3·10 ⁻⁸ a ⁻¹	Cisterna con depósitos atmosféricos. (cisterna presente 220 h/año) f = 5·10 ⁻⁷ a ⁻¹ · (220/8760) = 1,3·10 ⁻⁸ año ⁻¹

A partir de los sucesos iniciadores, y dependiendo de las circunstancias, el accidente evolucionará hacia uno u otro escenario accidental. Las diversas posibilidades se analizan mediante los denominados árboles de sucesos, que contemplan las diversas posibilidades en función de la eventual existencia de determinadas barreras de seguridad. En la figura 9 se presenta uno de estos árboles, a título de ejemplo.

Figura 9. Árbol de sucesos para uno de los eventos iniciadores



A partir de la frecuencia del evento iniciador y de las probabilidades asociadas a las diferentes ramas del árbol, es posible calcular las frecuencias estimadas para cada escenario accidental. Esta información, para los diversos escenarios accidentales asociados al establecimiento analizado (fig. 10), se ha resumido en la tabla 5.

Tabla 5. Estimación de la frecuencia de los diversos escenarios accidentales

Accidente final	Frecuencia	Observaciones
C01/T-01/G1G2/PFIRE C01/T-01/G1G2/PFIRE C01/T-01/G1G2/PFIRE	$1,6 \cdot 10^{-6} \text{ a}^{-1}$	Frecuencia de incendio en caso de fuga instantánea o en 10 minutos del contenido del depósito en la cubeta e ignición del charco: $F = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 4,8 \cdot 10^{-6} \text{ año}^{-1}$
C01/T-01/G3/PFIRE C01/T-02/G3/PFIRE C01/T-03/G3/PFIRE	$1,6 \cdot 10^{-5} \text{ a}^{-1}$	Frecuencia de incendio en caso de fuga continua a través de un agujero de 10 mm en el depósito e ignición del charco: $F = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ año}^{-1}$
PL01/MANG/L1a/PFIRE	$1,4 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1}$	Frecuencia de incendio en caso de fuga por rotura total de la manguera de carga/descarga en la cisterna e ignición del charco: $F = 8,8 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ año}^{-1}$
PL01/MANG/L2a/PFIRE	$1,4 \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1}$	Frecuencia de incendio en caso de fuga por rotura parcial de la manguera de carga en la cisterna e ignición del charco: $F = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ año}^{-1}$
PL01/CISTG1/PFIRE	$4,0 \cdot 10^{-8} \text{ a}^{-1}$	Frecuencia de incendio en caso de fuga instantánea del contenido de la cisterna y posterior ignición del charco: $F = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 4,0 \cdot 10^{-8} \text{ año}^{-1}$
PL01/CISTG2/PFIRE	$2,1 \cdot 10^{-9} \text{ a}^{-1}$	Frecuencia de incendio en caso de fuga continua del contenido de la cisterna y posterior ignición del charco: $F = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 2,1 \cdot 10^{-9} \text{ año}^{-1}$

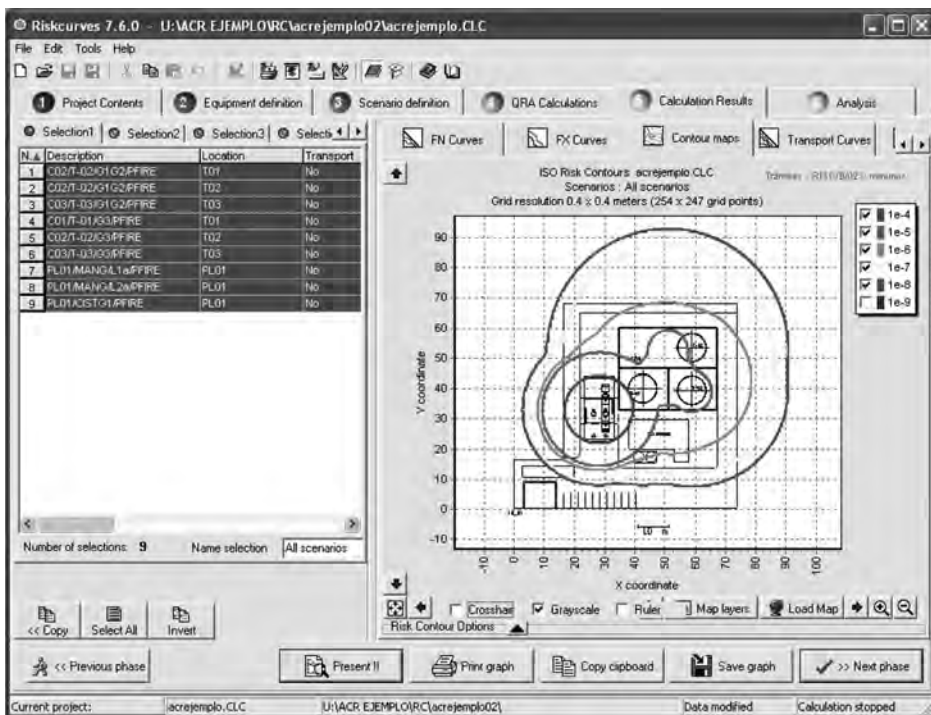
Una vez estimadas estas frecuencias, para establecer el riesgo hay que determinar los efectos y consecuencias de cada escenario accidental. Para estimar los efectos se necesita la siguiente información:

- los parámetros ambientales: temperatura, categoría de estabilidad atmosférica, tipo de terreno, cobertura del cielo, etc.
- la dirección y velocidad del viento para cada categoría de estabilidad atmosférica, de día y de noche (rosa de los vientos).

Con esta información y la correspondiente a cada escenario accidental, es posible estimar los efectos de los accidentes (radiación térmica, sobrepresión, etc.) utilizando modelos matemáticos de incendios, de explosiones y de dispersión atmosférica (Casal *et al.*, 2001). Estos efectos se evalúan en función de la distancia, teniendo en cuenta la eventual presencia de obstáculos.

Y, una vez determinados los efectos físicos, es posible calcular las consecuencias sobre la población, los bienes, etc., mediante los modelos de vulnerabilidad. En cuanto a las personas, suele estimarse el número de víctimas mortales en función de la posición, mediante la utilización de expresiones matemáticas basadas en la función estadística «Probit», el número de heridos no se suele tener en cuenta, aunque hay procedimientos para estimarlo directamente en función del número de muertos. De esta manera se determina pues el riesgo en un punto determinado y, haciéndolo de manera sistemática, se puede obtener la distribución del riesgo en una determinada zona afectada por una o más instalaciones.

Figura 10. Curvas de riesgo individual para el conjunto de escenarios accidentales posibles en el establecimiento analizado



Esto puede hacerse para un determinado escenario accidental o para el conjunto de todos los escenarios accidentales. Es decir, es posible determinar la distribución del riesgo individual y, por tanto, representar la situación de las líneas de iso-riesgo sobre la zona, obteniendo así el mapa de riesgo. La figura 10 muestra el mapa de riesgo (obtenido mediante el programa Riskcurves) para el establecimiento aquí analizado. Esta información, que es la que realmente representa el riesgo del establecimiento, es la requerida por la Generalitat de Cataluña para las empresas afectadas por la denominada Directiva Seveso.

7. ZONAS CONFLICTIVAS

Teniendo en cuenta lo expuesto en las secciones anteriores, es evidente que muchas industrias químicas tienen una zona de influencia a su alrededor, en la que hay un cierto riesgo originado por ellas mismas. Este riesgo puede afectar a otras instalaciones industriales (posibilidad de ocurrencia de efecto dominó), en zonas habitadas o zonas en las que hay circulación de personas, mercancías, etc. Estas son, pues, zonas de conflicto. Es evidente que sería deseable que no existieran, pero que existen es un hecho. Una primera manera de hacer frente a esta situación es mediante una buena planificación de la actuación en caso de emergencia. Es por ello que se han definido una serie de valores umbral de los efectos de los accidentes.

7.1 VALORES UMBRAL

A efectos de emergencias exteriores (con afectación en el exterior del establecimiento) se definen dos zonas de planificación para la protección de la población:

a) *Zona de intervención*: Las consecuencias de los accidentes producen un alto nivel de daños que justifica la aplicación inmediata de medidas de protección. En la zona de intervención, toda la población que haya puede sufrir daños como consecuencia del accidente.

b) *Zona de alerta*: Las consecuencias de los accidentes provocan efectos que, aunque perceptibles por la población, no justifican la intervención excepto para los grupos críticos, definidos por el responsable del Grupo Sanitario para cada caso concreto. En la zona de alerta, únicamente la población sensible o grupos críticos pueden sufrir daños como consecuencia del accidente.

Estas zonas, circulares, se definen en función de su radio alrededor del origen del riesgo, en función de la distancia alcanzada por los valores umbral para cada tipo de accidente; estos valores se han presentado de forma resumida en la tabla 6 (PLASEQCAT y TRANSCAT, 2005).

Tabla 6. Valores umbral

Tipo de accidente	Zona de intervención	Zona de alerta
Explosión (onda de presión)	125 mbar	50 mbar
Incendio de charco (radiación térmica)	$246 \text{ (KW/m}^2\text{)}^{4/3} \cdot s$ ($> 1,7 \text{ KW/m}^2$)	$115 \text{ (KW/m}^2\text{)}^{4/3} \cdot s$ ($> 1,7 \text{ KW/m}^2$)
Fuga tóxica	AEGL-2 ERPG-2 TEEL-2	AEGL-1 ERPG-1 TEEL-1
Llamarada	$\frac{1}{2}$ de LII	

La situación de llamarada no tiene un valor umbral legislado. Algunas organizaciones adoptan para esta situación un valor umbral equivalente al valor LII (límite inferior de inflamabilidad). En Cataluña se adopta el valor más conservador de LII / 2.

Cabe destacar que en la normativa española se impone como umbral tóxico el valor AEGL-1, ERPG-1 o TEEL-1 para la zona de alerta; estos valores son muy cercanos a los valores umbral de protección laboral para exposiciones largas y diarias (8 h/día y 40 h/semana) que al ser muy bajos hacen que las distancias de zonificación tengan valores muy elevados (kilómetros) y, a menudo, poco creíbles en el contexto en que son aplicados.

7.2 SOLAPAMIENTO RIESGO-POBLACIÓN

Estas zonas conflictivas no deberían existir en un territorio bien ordenado y planificado desde el principio; desgraciadamente, ésta no suele ser la situación, al menos en las zonas en las que el asentamiento humano viene de lejos. Bien porque la industria en cuestión ha ido creciendo, bien porque —como ocurre más frecuentemente— el área urbanizada ha ido creciendo, aproximándose más y más a las instalaciones industriales, lo cierto es que a menudo se encuentran zonas en las que hay un solapamiento del riesgo originado por uno o más establecimiento y de la población.

Un ejemplo de esta situación puede verse en el Polígono Industrial Químico de Tarragona, en el que la concentración de empresas afectadas por accidentes graves en un número reducido de municipios es relativamente grande (con una gran concentración en los términos municipales de Tarragona y La Poba de Mafumet-El Morell). En este caso, el equilibrio entre desarrollo industrial y crecimiento urbano se mantiene a base de grandes esfuerzos en la prevención, la planificación y el control ambiental integrado de los cambios y ampliaciones que tienen lugar en las empresas afectadas. El mapa adjunto (figura 11) resume claramente esta situación.

Figura 11. Situación existente en el Polígono Industrial Químico de Tarragona



¿Qué se puede hacer en esta situación? La respuesta no es, evidentemente, sencilla.

La primera medida es, obviamente, definir claramente la extensión y la magnitud del problema. Es decir, analizar de manera cuantitativa el riesgo, determinando el mapa de riesgo y la población u otros elementos sensibles afectados. Esto permite establecer el plan de emergencia más adecuado, teniendo en cuenta los valores umbral antes mencionados, e implementar en todos sus aspectos (como, por ejemplo, el de la información a la población).

Esto permite alcanzar una situación que, si bien no es la óptima, implica un control razonable del riesgo y de las posibles emergencias.

En estos casos, es posible que la situación continúe así indefinidamente, o bien que acabe desembocando en una solución más drástica que elimine el solapamiento mencionado. Que pase esto suele depender del posicionamiento de la población, y este posicionamiento es relativamente manipulable tanto en un sentido como en otro. Es posible mantener la aceptación de la industria por parte de la población mediante una política bien establecida de información y de mejora de la seguridad, y es posible también provocar el rechazo mediante una política informativa negativa o bien si ocurre alguna emergencia mal gestionada.

Si la situación se complica, posiblemente llegará a un punto en el que sea necesario romper de manera definitiva, lo que suele conducir a un traslado de la instalación en cuestión, aunque ésta no es siempre una solución fácil ni mucho menos.

En todo caso, en estas situaciones es muy importante que la actuación de la administración y de la empresa o empresas afectadas sea sumamente correcta y honesta, alejada de cualquier manipulación que, finalmente, acabaría por volverse en contra de aquel que la ha utilizado.

8. CONCLUSIONES

Determinadas instalaciones industriales, especialmente del sector químico, presentan un cierto riesgo asociado a la potencial ocurrencia de los denominados «accidentes graves» (incendios, explosiones, fugas tóxicas). Es por ello que se han puesto a punto una serie de metodologías, agrupadas bajo la denominación común de análisis de riesgos, que permiten la estimación de este riesgo —entendido como función tanto de la probabilidad de ocurrencia como de las consecuencias— sobre una determinada zona.

Esto es especialmente importante en aquellos casos en los que hay un solapamiento entre la zona expuesta al riesgo y la zona urbana, dada la correspondiente afectación a la población, un elemento claramente vulnerable. La planificación del territorio, por lo tanto, no puede dejar de lado este aspecto, sobre todo en un país como Cataluña, que tiene un notable sector químico con una gran importancia social y económica.

La planificación del territorio basada únicamente en valores umbral puede llegar a ser ineficiente y poco realista, sobre todo teniendo en cuenta las grandes distancias de planificación impuestas por los bajos valores de los parámetros de

referencia, AEGL-1. ERPG-1 o TEEL-1. Por otra parte, con este enfoque, las medidas de prevención, control y mitigación (que suelen requerir grandes inversiones) no se verían correctamente representadas en las decisiones finales de planificación.

Hay que introducir, pues, la componente probabilística del riesgo (frecuencia del evento de pérdida de contención) y de la capa de protección (probabilidad de fallo de la salvaguarda que impide el desarrollo completo del accidente) para potenciar una decisión basada en los conceptos de riesgo expuestos anteriormente.

En cualquier caso, en vista de la imprecisión y los márgenes de error que presenta la metodología de análisis de riesgos, puede ser necesaria la adopción de unas distancias mínimas de seguridad entre el medio urbano vulnerable y el medio industrial que genera el peligro.

En Cataluña, este concepto se introduce mediante las «Franjas de Seguridad», que están fijadas entre 75 y 150 metros según el nivel de afectación. En los países europeos que han adoptado este criterio, el valor medio de estas franjas es de aproximadamente 100 m.

Es evidente que éste es un aspecto que una sociedad industrializada como la nuestra no puede dejar de lado. Hay que continuar, pues, con el esfuerzo que se viene llevando a cabo desde hace años para conseguir una industria cada vez más segura y fiable.

BIBLIOGRAFÍA

- CAROL, S., VÍLCHEZ, J. A. y CASAL, J., *Study of the severity of industrial accidents with hazardous substances by historical analysis*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 15, (2002), pp. 517-524.
- CASAL, J., *Evaluation of the effects and consequences of major accidents in industrial plants*, Amsterdam, Elsevier, 2008.
- CASAL, J., MONTIEL, H., PLANAS, E. y VÍLCHEZ, J. A., *Análisis de riesgos en instalaciones industriales*, Bogotá, Alfaomega, 2001.
- CORRALES, J., *Industria Química en Cataluña*. *Ingeniería Química*, nº 478, enero 2010, pp. 52-57.
- DARBRA, R. M., PALACIOS, A. y CASAL, J., *Domino effect in chemical accidents: main features and accident sequences*, Journal of Hazardous Materials (en prensa).
- Major Accident Reporting System (MARS), *Major Accident Hazards Bureau*, European Commission's Joint Research Centre, 2009.
- NIEMITZ, K. J., *Process safety culture or what are the performance determining steps?* Workshop on Safety Performance Indicators, Ispra, 17-19 marzo, 2010.
- OGGERO, A., DARBRA, R. M., MUÑOZ, M., PLANAS, E. y CASAL, J., *A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail*, Journal of Hazardous Materials 133, (2006), pp. 1-7.
- PLASEQCAT, *Pla d'emergència exterior del Sector Químic de Catalunya*, Generalitat de Catalunya, (2007).

TRANSCAT, Pla especial d'emergències per accidents en el TRANSport de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril a CATalunya, Generalitat de Catalunya, (1999).

USA. CCPS, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, AIChE, New York, 1999.

VÍLCHEZ, J. A., SEVILLA, S., MONTIEL, H. y CASAL, J., *Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 8, (1995), pp. 87-96.