

alguna cosa desagradable».² Aquestes definicions tenen implícits dos conceptes, el de *probabilitat o freqüència* (una cosa pot ocórrer o no ocórrer) i el de «exposició a una cosa desagradable» (*accident*).

El concepte de risc s'ha de diferenciar del de *perill*, definit com «una condició física o química que té el potencial de causar dany a les persones, la propietat o l'entorn» (CCPS, 1999).

L'enginyeria ha formalitzat el concepte de risc, definint-lo com el producte de les conseqüències d'un determinat esdeveniment per la seva freqüència.

Les conseqüències i la freqüència s'han d'expressar en les unitats apropiades. La freqüència pot donar-se com a nombre d'accidents per any o per operació, mentre que les unitats per a les conseqüències poden variar en funció del tipus d'accident i d'elements vulnerables que s'hi exposen. Les conseqüències sobre persones solen expressar-se com a nombre de morts o de ferits, però també pot interessar expressar-les en termes financers, és a dir com a pèrdues econòmiques. Les pèrdues materials (equipament) o els danys a l'entorn (cost de la descontaminació, per exemple) s'expressen sempre en termes econòmics.

El risc està present a tot arreu: la mateixa natura provoca greus desastres com terratrèmols, erupcions volcàniques o inundacions; aquests riscos han existit sempre. L'activitat humana, en canvi, ha implicat l'aparició de nous riscos, que han augmentat extraordinàriament durant el segle xx amb la industrialització.

Els pitjors accidents a la indústria solen ocórrer en plantes químiques o petroquímiques, a causa de la perillositat intrínseca de les substàncies que s'hi emmagatzemen, manipulen o transporten. Alguns accidents greus —grans incendis, explosions o núvols tòxics— ocorreguts en les darreres dècades han tingut un important efecte sobre l'opinió pública en relació amb la perillositat d'aquest tipus d'instal·lacions. Entre ells poden esmentar-se com a significatius els següents.

- A Flixborough (1974), una gran explosió ocorreguda en una planta de caprolactama va matar vint-i-vuit persones; aquest accident fou molt important en el desenvolupament de la seguretat i la prevenció de riscos al Regne Unit.
- Dos anys més tard, en una indústria prop de Milà es produí una fuga de TCDD (una dioxina, extremadament tòxica). Aquest accident tingué un impacte extraordinari a Europa i fou el causant que el Parlament Europeu publicués la denominada Directiva Seveso al 1982.
- L'any 1984, cinc-centes tres persones moriren a San Juan Ixhuatepec, prop de Ciutat de Mèxic, com a conseqüència d'una sèrie d'explosions i boles de foc en una instal·lació de GLP.
- El mateix any, a Bhopal (Índia) unes tres mil vuit-centes persones van perdre la vida i unes tres mil van quedar afectades de manera seriosa i perma-

2. Oxford English Dictionary; Soanes i Stevenson, 2004.

nent, després d'una fuga d'isocianat de metil. Aquest és el pitjor accident ocorregut mai a la indústria química.

- El 2001, una forta explosió ocorreguda en una indústria a Toulouse provocà la mort de trenta-una persones.
- El 2005, a la planta d'emmagatzematge de combustibles de Buncefield tingué lloc l'incendi més gran ocorregut en una instal·lació d'aquest tipus. No hi hagueren víctimes mortals, però la planta quedà totalment destruïda.

Aquests grans accidents es denominen «accidents greus». Un accident greu és [BOE, 2003]

Qualsevol succés, com ara una emissió en forma de fuga o abocament, incendi o explosió importants, que sigui conseqüència d'un procés no controlat durant el funcionament de qualsevol establiment, al qual sigui aplicable el Reial decret 1254/1999, de 16 de juliol, que suposi una situació de risc greu, immediat o diferit, per a les persones, els béns i el medi ambient, o bé sigui a l'interior, o bé a l'exterior de l'establiment, i en què estiguin implicades una o diverses substàncies perilloses.

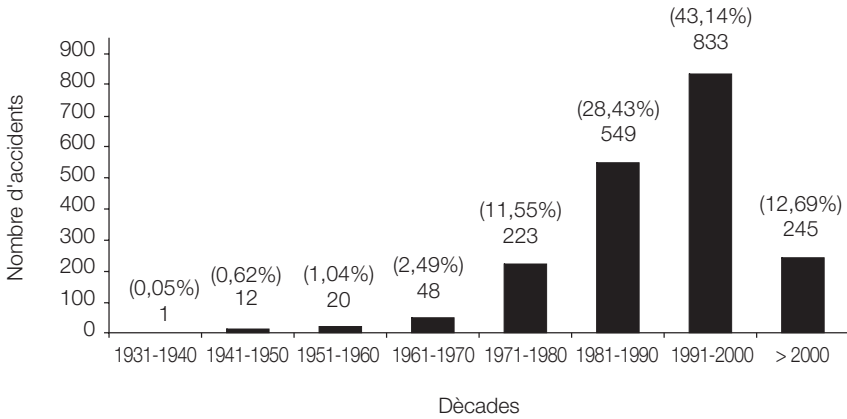
Els accidents greus es classifiquen en tres categories:

- categoria 1: aquells per als quals es prevegi, com a única conseqüència, danys materials a l'establiment accidentat i no es prevegin danys de cap tipus a l'exterior d'aquest;
- categoria 2: aquells per als quals es prevegi, com a conseqüències, possibles víctimes i danys materials a l'establiment; mentre que les repercussions exteriors es limiten a danys lleus o efectes adversos sobre el medi ambient en zones limitades;
- categoria 3: aquells per als quals es prevegi, com a conseqüències, possibles víctimes, danys materials greus o alteracions greus del medi ambient, en zones extenses i a l'exterior de l'establiment.

2. EVOLUCIÓ DE LA FREQUÈNCIA DELS ACCIDENTS GREUS

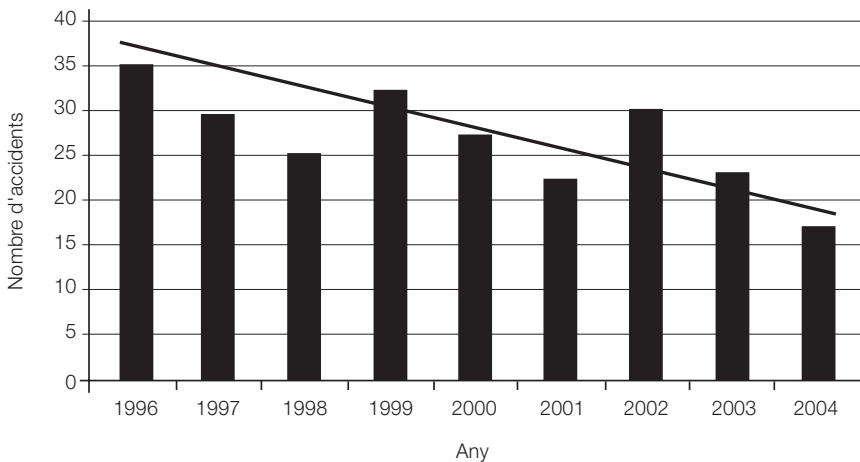
Els diferents autors que han estudiat la variació de la freqüència dels accidents greus en funció del temps a les indústries químiques, al transport de materials perillosos i al transport marítim han trobat en general un notable increment en el nombre d'accidents en les darreres dècades. A títol d'exemple, en la fig. 1 s'ha representat la variació en funció del temps dels accidents ocorreguts en el transport de substàncies perilloses per carretera i per ferrocarril; aquesta representació està basada en l'anàlisi històrica de mil nou-cents trenta-dos accidents ocorreguts des de començaments del segle xx fins a juliol de 2004 (Oggero *et al.*, 2006).

Figura 1. Distribució dels accidents greus ocorreguts en el transport per carretera i ferrocarril en funció del temps



Pot observar-se que hi ha un augment gradual, amb un notable increment en el període 1981-2000. Aquest comportament ha d'atribuir-se essencialment a la influència de dos factors: el creixement de la indústria i del nombre de plantes, i el consegüent augment del transport de mercaderies perilloses. D'altra banda, també cal tenir en compte la millora en l'accés a la informació sobre accidents experimentada amb l'aparició de bancs de dades sobre accidents, publicacions especialitzades, etc.

Figura 2. Tendència en la freqüència dels accidents greus a la UE (1996-2004) segons les dades enregistrades a MARS (Niemitz, 2010)



De tota manera, cal dir que informacions més recents semblen indicar un canvi en aquesta tendència. La fig. 2 (Niemitz, 2010) és el resultat de l'anàlisi dels accidents greus enregistrats en la base de dades de la Unió Europea Major Accident Reporting System (MARS, 2009) entre 1996 i 2004. Pot observar-se novament un canvi en la tendència, amb una disminució de la freqüència en el període analitzat. Resultats semblants han estat obtinguts en una altra anàlisi històrica efectuada amb accidents involucrant l'efecte dominó (Darbra *et al.*, 2010).

Aquesta disminució en la freqüència dels accidents des de 1995 podria explicar-se sobre la base de la millora que hi ha hagut en la cultura de la seguretat en la indústria química, deguda en bona part a les noves regulacions, més estrictes, i a una millor formació dels operaris, així com a una millor automatització dels processos. Nogensmenys, aquestes dades, encara no definitives, hauran de ser contrastades en els propers anys.

2.1 TIPUS D'ACCIDENTS GREUS

Pel que fa al tipus d'accident, la taula 1 mostra la seva distribució, obtinguda d'una anàlisi històrica (Vílchez *et al.*, 1995). La mateixa taula mostra l'activitat o el tipus d'instal·lació en la qual ocorregué l'accident.

Taula 1. Tipus d'accidents

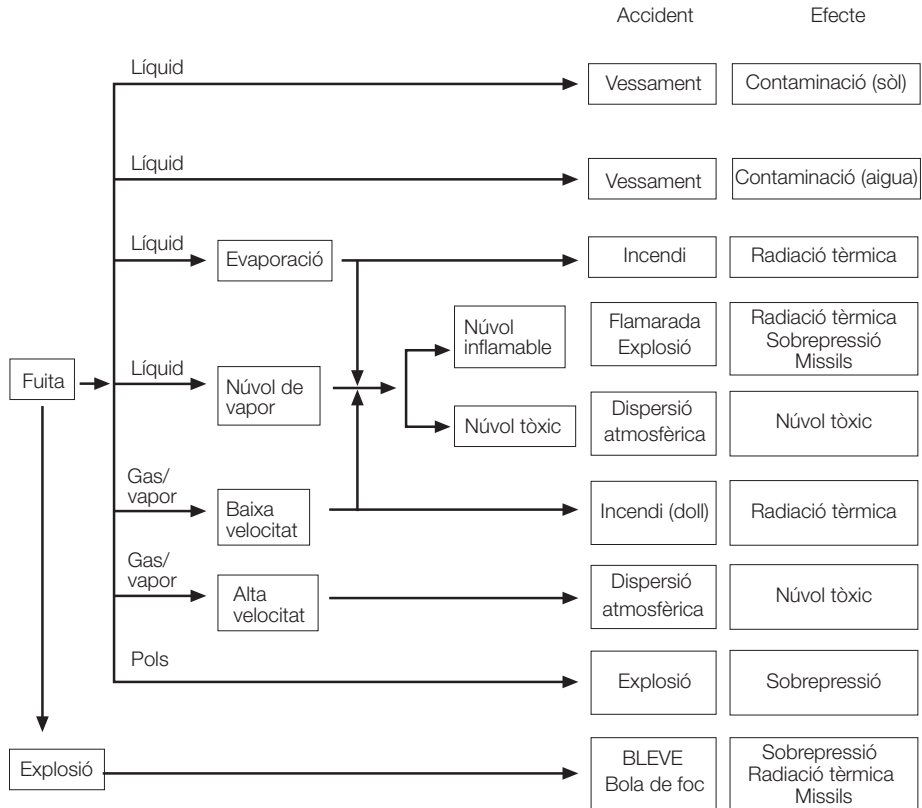
Accident	%
Incendi	47
Explosió	40
Núvol tòxic	13
Origen	%
Transport	39
Plantes de procés	26
Plantes d'emmagatzematge	17
Càrrega/descàrrega	8
Domèstic/comercial	6
Emmagatzematge de sòlids	4

Els accidents més freqüents són els incendis, seguits de les explosions i, a força distància, els núvols tòxics. Pel que fa al tipus de planta o d'activitat, el transport és el que més accidents greus pateix, seguit de les plantes de procés i les d'emmagatzematge. És interessant observar que en l'operació de càrrega/descàrrega de cisternes i dipòsits ocorren el 8% de tots els accidents.

Els accidents greus impliquen l'alliberament, instantani o en un temps relativament curt, de quantitats importants d'energia o de materials perillosos. Entre els fenòmens perillosos més usuals associats a aquest tipus d'accidents poden esmentar-se els següents:

- a) tèrmics (radiació tèrmica),
- b) mecànics (ona de sobrepressió, ejecció de fragments),
- c) químics (contacte amb productes tòxics dispersats en l'aire).

Figura 3. Esquema simplificat dels diversos accidents que poden ocórrer



Una vegada ocorreguda la fuita, l'escenari accidental pot evolucionar de diferents maneres en funció de les condicions en què es troba el producte, del tipus de fuita i de les condicions meteorològiques prevalents. Això ha estat representat esquemàticament a la figura 3.

La fuita pot ser de líquid, de gas o vapor o bé una barreja de líquid i vapor (flux bifàsic); en casos molt concrets el material que intervé pot trobar-se en forma de partícules de sòlid.

Si es produeix el vessament d'un líquid, aquest pot infiltrar-se en el sòl i contaminar sòl i aigües subterrànies, o bé pot arribar fins a l'aigua superficial (riu, llac). Si es forma una bassa (per exemple, per l'existència d'una cubeta de retenció), el líquid s'evaporarà, per la qual cosa es pot formar un núvol inflama-

ble o tòxic si les condicions meteorològiques ho permeten. Si un núvol inflamable troba un punt d'ignició, es produirà una flamarada i, eventualment, dependent de les seves dimensions i del possible confinament, una explosió amb efectes mecànics. Si el núvol és tòxic el perill per a les persones dependrà de la dosi rebuda, en funció de la concentració i el temps d'exposició.

Si la fuga és de gas o vapor, l'escenari accidental dependrà de la velocitat de fuga: a baixa velocitat es pot formar un núvol, com en el cas anterior, o bé pot incendiar-se (doll de foc). Si la fuga té lloc a alta velocitat (a pressions de sortida relativament baixes el doll es converteix en sònic), l'aire arrossegat pel mateix doll impedirà la formació d'un núvol concentrat i es dispersarà el producte en l'atmosfera o bé, si hi ha ignició, s'originarà un doll de foc.

Amb sòlids finament dividits poden ocórrer explosions de pols; en aquest cas cal esmentar que aquest tipus d'explosions, que poden ser molt violentes, ocorren en l'interior de les instal·lacions (molins, sitges, etc.) i mai a l'exterior.

I, finalment, la pèrdua de contenció pot coincidir amb l'accident, com en el cas de l'explosió d'un recipient a pressió (sovint del tipus BLEVE) que, si allibera un producte inflamable, pot originar immediatament la formació d'una bola de foc, i fer aparèixer així efectes tant mecànics com tèrmics.

El resultat final d'aquests diversos escenaris accidentals és finalment la contaminació de sòl, aigua o aire, l'alliberament de grans fluxos calorífics o bé d'efectes de tipus mecànic: sobrepressió o projecció de fragments. Aquests efectes poden manifestar-se en totes direccions, cobrint una determinada zona de forma aproximadament circular, com en el cas de la sobrepressió o la radiació tèrmica; o bé poden ser direccionals, com l'ejecció de fragments o la dispersió atmosfèrica, que dependrà de la direcció del vent.

Les condicions meteorològiques poden tenir una influència molt important sobre els efectes de l'accident, especialment si hi intervé la dispersió atmosfèrica d'un gas o un vapor: el plomall o núvol es desplaçarà en la direcció del vent, mantenint-se o no arran de terra; això determinarà quina zona serà afectada i tindrà una gran influència sobre les concentracions en el núvol.

2.2 SEVERITAT DELS ACCIDENTS

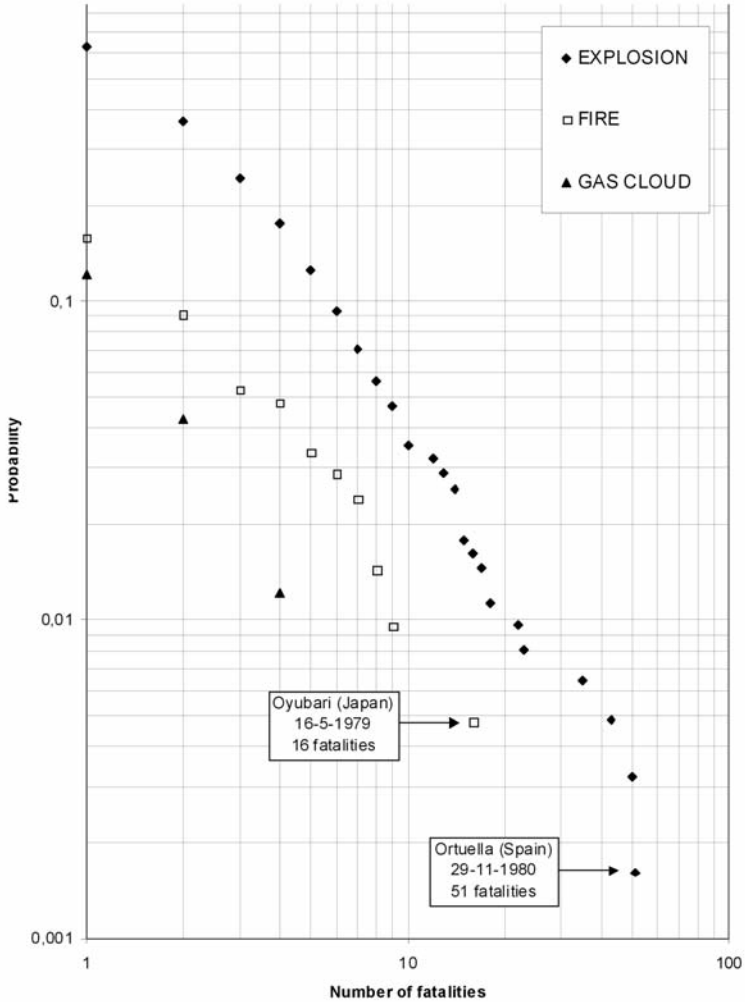
Una vegada ocorregut un accident, la severitat, és a dir, la magnitud de les seves conseqüències, dependrà del tipus d'accident (explosió, incendi o núvol tòxic), de la quantitat de substància involucrada i del grau de desenvolupament tecnològic del país en què tingui lloc l'accident.

Els resultats obtinguts mitjançant diverses anàlisis històriques (Carol *et al.*, 2002) relatives a instal·lacions fixes mostren clarament que, en general, les explosions són més severes que els accidents en els quals hi ha foc (comprent les flamarades i les boles de foc) i aquests són més greus que els que impliquen fuites de substàncies tòxiques.

La fig. 4 mostra aquests resultats sense tenir en compte els accidents (pocs) amb cent o més morts, considerant quals distorsionaven el conjunt. En aquesta figura, l'abscissa representa la severitat de l'accident, expressada en nombre de

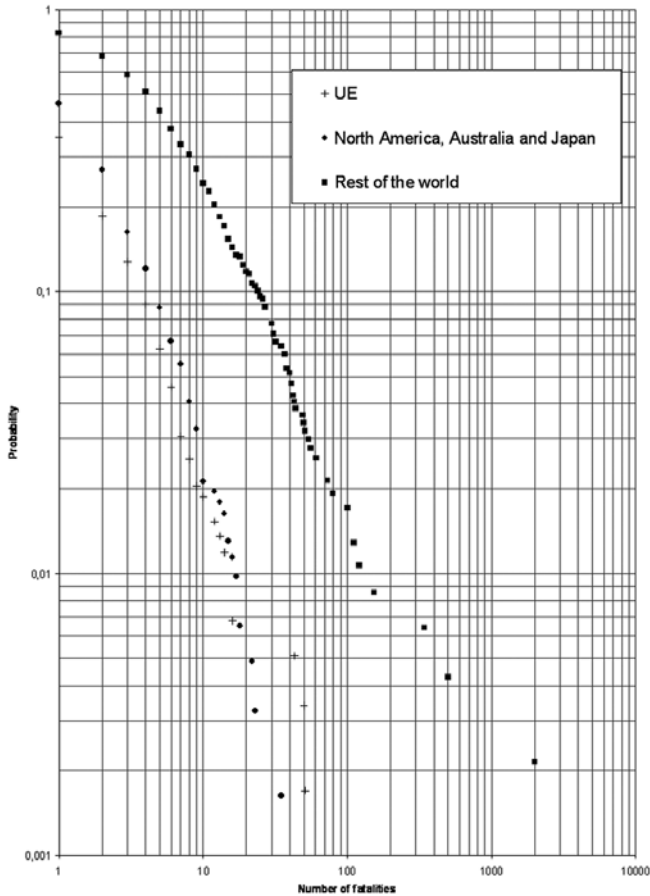
víctimes mortals; els valors de l'eix d'ordenades són la probabilitat que un accident origini un nombre de morts igual o superior a N (per $N = 0$, $p = 0$).

Figura 4. Corbes p-N en funció del tipus d'accident



Pel que fa al grau de desenvolupament tecnològic, la fig. 5 mostra que els accidents que tenen lloc en països en vies de desenvolupament són més severs que no pas aquells que ocorren a la Unió Europea o en països amb un grau de desenvolupament similar. Això posa de manifest clarament l'efectivitat de les polítiques i les reglamentacions imposades per a millorar la seguretat d'aquest tipus d'instal·lacions.

Figura 5. Corbes p-N en funció del grau de desenvolupament del país



3. PRESENCIA DE LA INDÚSTRIA QUÍMICA A CATALUNYA

A Catalunya el sector químic té una gran importància, que repercuteix notablement en l'economia i en el cens associat d'establiments afectats. Algunes dades representatives es resumeixen a continuació (Corrales, 2010):

- genera el 10% del PIB espanyol (51.284 milions d'euros facturats en 2008);
- és, juntament amb els béns d'equipament i l'automòbil, el tercer sector exportador de l'economia espanyola;
- el nombre de llocs de treball directes d'aquest sector era de 123.500 persones a finals de 2008. Si s'inclouen els llocs de treball indirectes, la xifra supera els 500.000;

- els contractes laborals fixos del sector s'aproximen al 90% del total, mentre que la mitjana estatal és del 70%;
- la quarta part de tota la inversió en I+D+R procedeix d'aquest sector, que dóna feina a un de cada quatre investigadors del total de la indústria privada;
- és l'únic sector que ha reduït les seves emissions de CO₂ des de 1990.

La importància econòmica del sector químic queda resumida, en xifres, en la taula següent.

Taula 2. Importància econòmica del sector químic

Dades de desembre de 2008	Total Espanya	Catalunya	% Catalunya
Vendes totals del sector, en milions d'euros	51.284	23.077	45%
Nombre d'empreses del sector	3.408	1.016	30%
Nombre d'empreses del sector amb 200 empleats	153	77	50%

Aquestes dades posen de manifest que quasi la meitat del sector químic es troba a Catalunya, essent el pol químic de Tarragona el més important del país i de tota la costa mediterrània.

Pel que fa al nombre d'establiments afectats per la normativa relativa als accidents greus a Catalunya, el març de 2005 era de cent cinquanta (setanta-quatre de nivell alt i setanta-sis, de nivell baix).

Quatre anys més tard, el gener de 2009, el nombre d'establiments afectats a Catalunya era de cent seixanta-un. Per tant, es pot concloure que aquest nombre es manté relativament estable. La distribució territorial dels establiments és similar entre el 2005 i el 2009.

3.1 LEGISLACIÓ ESPECÍFICA

En relació amb el desenvolupament tècnic, administratiu i competencial de determinants aspectes d'aquest article, cal considerar les següents disposicions de caràcter legal o d'exigència rigorosa —mitjançant instruccions— a Catalunya:

Normativa europea:

— *Directiva 96/82/CE del Consell, de 9 de desembre de 1996*, relativa al control de riscos inherents als accidents greus en què intervinguin substàncies perilloses.

— *Directiva 2003/105/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 16 de desembre de 2003*, per la qual es modifica la Directiva 96/82/CE del Consell relativa al control dels riscos inherents als accidents greus en què intervinguin substàncies perilloses.

Normativa estatal:

— *Reial decret 1254/1999, de 16 de juliol*, pel qual s'aproven mesures de control dels riscos inherents als accidents greus en què intervinguin substàncies perilloses.

— *Reial decret 1196/2003, de 19 de setembre*, pel qual s'aprova la Directriu bàsica de protecció civil per al control i planificació davant del risc d'accidents greus en què intervinguin substàncies perilloses.

— *Reial decret 119/2005, de 4 de febrer*, pel qual es modifica el Reial decret 1254/1999, de 16 de juliol, pel qual s'aproven mesures de control dels riscos inherents als accidents greus en què intervinguin substàncies perilloses.

— *Reial decret 948/2005, de 29 de juliol*, pel qual es modifica el Reial decret 1254/1999, de 16 de juliol, pel qual s'aproven mesures de control dels riscos inherents als accidents greus en què intervinguin substàncies perilloses.

Normativa autonòmica:

— *Decret 174/2001, de 26 de juny*, pel qual es regula l'aplicació a Catalunya del Reial decret 1254/1999, de 16 de juliol, de mesures de control dels riscos inherents als accidents greus en els quals intervinguin substàncies perilloses.

— *Llei 12/2008, de 31 de juliol*, de seguretat industrial.

— *Resolució IRP/971/2010, de 31 de març*, per la qual es dóna publicitat als criteris per a l'elaboració dels informes referents al control de la implantació de nous elements vulnerables compatibles amb la gestió dels riscos de protecció civil.

Instruccions d'Indústria de la Generalitat de Catalunya (DIUE):

— *Instrucció 2/2002 DGCSI*, per la qual es dicten criteris de definició de «canvi substancial» en matèria d'accidents greus, per a l'aplicació de la Llei 3/1998, de la intervenció integral de l'Administració ambiental.

— *Instrucció 6/2002 DGCSI* (derogada per la Instrucció 4/2006 SDI), actuacions a realitzar en la tramitació de l'autorització ambiental dels establiments afectats per la legislació d'accidents greus inclosos en la disposició transitòria primera de la Llei 3/1998, de la intervenció integral de l'administració ambiental.

— *Instrucció 6/2003 DGCSI*, revisió del protocol EIC 10/2001 sobre dictamen de seguretat relatiu a les activitats industrials afectades pel Reial decret 1254/1999, de 16 de juliol, pel qual s'aproven les mesures de control dels riscos inherents als accidents greus en els que intervinguin substàncies perilloses i el Decret 174/2001 pel qual es regula l'aplicació a Catalunya del Reial decret 1254/1999.

— *Instrucció 5/2004 DGEMSI*, sobre presentació del pla d'autoprotecció (o pla d'emergència interior) per als establiments existents afectats per la legislació vigent en matèria d'accidents greus d'acord amb la nova directriu bàsica (RD 1196/2003).

— *Instrucció 13/2004 DGEMSI*, per la qual es dicten criteris d'actuació pel que fa a l'aplicació de «l'efecte dòmino» previst al Reial decret 1254/1999 als establiments AG existents.

— *Instrucció 9/2005 DGEMSI*, modificació de la Instrucció 2/2002 DGCSI per la qual es dicten criteris de definició de «canvi substancial» en matèria d'accidents greus, per a l'aplicació de la Llei 3/1998, de la intervenció integral de l'administració ambiental.

— *Instrucció 4/2006 SDI*, actuacions a realitzar pel Departament de Treball i Indústria en la tramitació de l'adequació de l'autorització ambiental i revisions periòdiques d'aquesta en el marc de la Llei 3/1998, de 27 de febrer, d'intervenció ambiental de l'administració ambiental i posteriors modificacions per als establiments afectats per la legislació d'accidents greus vigent (anul·la la instrucció 6/2002 DGCSI).

— *Instrucció 7/2007 SIE*, de la Secretaria d'Indústria i Empresa, de tramesa de la documentació d'accidents greus al Departament de Medi Ambient i Habitatge (modifica les instruccions 12/2001 DGCSI i 9/2005 DGEMSI).

— *Instrucció 9/2007 SIE*, de la Secretaria d'Indústria i Empresa, de criteris per a l'elaboració de l'informe o decisió vinculant previstos als articles 7 i 10 del Decret 174/2001 per la sol·licitud de l'autorització ambiental per establiments afectats per la legislació vigent en matèria d'accidents greus nous o canvis substancials en els existents.

— *Instrucció 8/2007 SIE*. Creixements urbans als voltants d'establiments afectats per la legislació d'accidents greus existents.

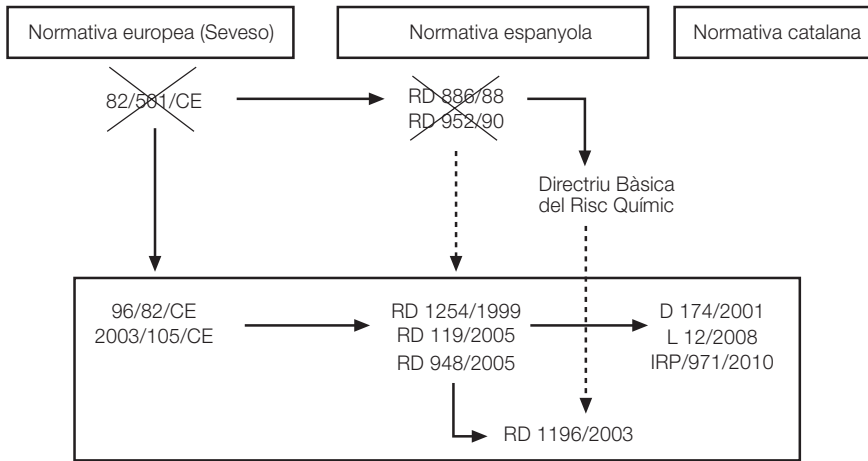
— *Instrucció 9/2007 SIE*. Criteris per a l'elaboració de l'informe o decisió vinculant previstos als articles 7 i 10 del Decret 174/2001 per la sol·licitud de l'autorització ambiental per establiments afectats per la legislació vigent en matèria d'accidents greus nous o canvis substancials en els existents.

— *Instrucció 11/2008 SIE*, de modificació de la Instrucció 6/2003 de revisió del Protocol EIC 10/2001 sobre dictamen de seguretat relatiu a les activitats industrials afectades pel Reial decret 1254/1999, de 16 de juliol, pel qual s'aproven les mesures de control dels riscos d'accidents en què intervinguin substàncies perilloses i el Decret 174/2001 pel qual es regula l'aplicació a Catalunya del Reial decret 1254/1999.

— *Instrucció 14/2008 SIE*, de criteris per a la realització de les Anàlisis Quantitatives de Risc a Catalunya (*Purple Book* i criteris complementaris).

— *Instrucció 7/2009 SIE*, de requeriment de les anàlisis quantitatives de risc als establiments afectats per la legislació d'accidents greus a Catalunya.

Després de més de deu anys d'experiència en l'aplicació de la Directiva 82/501/CEE i de l'anàlisi d'uns cent trenta accidents que han ocorregut en aquest període a la Unió Europea, la Comissió Europea considerarà convenient dur a terme una revisió fonamental de la legislació mitjançant la Directiva 96/82/CE. En la figura 6 s'ha representat de forma esquemàtica com ha evolucionat aquesta normativa.

Figura 6. Esquema de l'evolució de la normativa (Europa-Espanya-Catalunya)

Concretament, en aquestes instruccions s'especifiquen els mètodes de càlcul i models descrits en les guies:

- 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, 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 (reedició del CPR18E, *Purple Book*).

3.2 COMENTARIS A AQUEST MARC LEGAL

Les directives especifiquen les exigències mínimes a escala europea per a la prevenció d'accidents. Els reials decrets implementen les directives en l'ordenament jurídic de l'Estat espanyol i de Catalunya. En aquest sentit destaca, per la seva originalitat tècnica i administrativa, el RD 1196/2003, que ve a ser la guia que especifica el contingut detallat dels documents a elaborar, els llindars perillosos a considerar en el càlcul d'efectes, les zones de risc que han de ser considerades al voltant dels establiments afectats i les categories d'emergències objecte de planificació.

La normativa autonòmica especifica les competències de cada departament de la Generalitat i determina l'obligatorietat d'elaborar una *Anàlisi Quantitativa de Risc (AQR)* en tots els establiments afectats, amb l'objectiu de planificar el creixement urbanístic al seu voltant. Destaca el nombre elevadíssim d'instruccions, algunes d'elles de desenvolupament complex i d'ampli contingut tècnic, que són d'a-

plicació obligatòria i que, en determinats casos, poden determinar polítiques restrictives de creixement i desenvolupament en el sector químic, tenint en compte l'estructura de polígon industrial dominant a Catalunya i les limitacions imposades per aquestes instruccions.

3.3 LA SITUACIÓ A CATALUNYA

Malgrat el progrés efectuat i ja en plena vigència de la normativa per a la prevenció dels accidents greus, les situacions d'emergència s'han seguit produint. Alguns casos representatius han estat els següents:

- Sant Celoni (Barcelona). 1996. Fuita d'àcid clorhídric i hipoclorit sòdic: reacció i formació de núvol tòxic de clor.
- Flix (Tarragona). 1996. Fuita de 6 tones de clor que va produir un núvol tòxic.
- Tarragona. 2003. Important explosió d'etilè.
- Les Franqueses del Vallès (Barcelona). 2003. Un incendi va provocar la formació d'un núvol tòxic de clor.

Per a un període similar, el nombre d'accidents greus a la resta de l'Estat espanyol tampoc ha estat negligible. Es poden destacar:

- Cartagena (Múrcia). 2002. Incendi i posterior núvol tòxic a una indústria de fertilitzants.
- Puertollano (Ciudad Real). 2003. Deflagració de gasolina i incendi de set tancs de gasolina. Nou morts i diversos ferits.
- Tavernes Blanques (València). 2004. Fuita tòxica de 4 tones d'amoníac. Evacuació d'uns mil veïns.

4. RISC INDIVIDUAL I RISC SOCIAL. MAPES DE RISC

Pel que fa a les conseqüències sobre les persones, el risc sol expressar-se com a *risc individual* i *risc col·lectiu o social*.

El risc individual és el risc al qual està sotmesa una persona que estigui vint-i-quatre hores al dia, tres-cents seixanta-cinc dies l'any en una determinada posició exposada a un perill. Les unitats amb què es mesura el risc individual són el nombre de morts per any; aquest risc dóna informació, doncs, de la probabilitat que una persona mori en estar un any en un determinat lloc. El risc individual pot expressar-se com (Casal, 2008):

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

on

$IR_{x,y}$ és el risc individual total a la posició (x, y) (morts \cdot any⁻¹), i
 $IR_{x,y,i}$ és el risc individual a la posició (x, y) degut a l'escenari accident. i
(morts any⁻¹).

El risc social és el nombre total de morts per any. Es calcula tenint en compte la demografia de la zona afectada per un o més escenaris accidentals donats:

$$\text{Risc social} = \int (\text{risc individual}) \cdot [\text{densitat de població } (x, y)] \, dx \, dy$$

Finalment, el risc individual mitjà es portarà a calcular com la mitjana del risc individual de tota la població exposada al risc originat per una determinada instal·lació:

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

on

IR_m és el risc individual mitjà per a tota la població exposada (morts any⁻¹) i
 $n_{x,y}$ és el nombre de persones a la posició (x,y) .

La distribució del risc en una determinada zona pot representar-se mitjançant els *mapes de risc*, en els quals una sèrie de línies de risc constant, semblants a les corbes de nivell, mostren com varia el risc individual sobre el terreny. Una línia de risc constant o isorisc és la que uneix tots els punts geogràfics al voltant d'una instal·lació en els quals la probabilitat de mort és la mateixa. Aquesta és la manera més freqüent i més clara de representar gràficament el risc en una zona.

Per a obtenir una línia de risc constant s'han de calcular les respectives contribucions dels diversos escenaris accidentals, cadascun del quals té la seva pròpia probabilitat i letalitat. La suma de tots aquests riscos dona el risc total.

Les línies de risc constant poden ser *circulars* si els efectes físics dels accidents es dispersen uniformement en totes direccions o *irregulars* si la intensitat dels efectes varia amb la direcció. Cal distingir doncs entre el risc radial i el risc direccional.

El risc radial produeix línies de risc constant circulars, amb el centre a l'origen de l'accident. Els escenaris accidentals típicament associats a aquest tipus de risc són els incendis de vessament d'hidrocarburs i la majoria d'explosions, incloses les BLEVE. En aquests accidents l'ona de sobrepressió i/o la radiació tèrmica s'extenen radialment.

En canvi, en el risc direccional, les línies de risc constant són irregulars, a causa bàsicament de l'heterogeneïtat en la distribució de la direcció del vent. Els escenaris accidentals associats a aquest tipus de risc són la dispersió atmosfèrica de substàncies tòxiques o inflamables o la projecció de fragments originats per les explosions.

5. RISC TOLERABLE

Atès que el «risc zero» no existeix, és obvi que cal assumir uns determinats riscos. La majoria dels individus som, d'una manera o altra, conscients d'aquest fet i acceptem una varietat de riscos en la vida normal, a canvi de determinades compensacions. Aquest és un camp complex en què el fet de córrer aquests riscos voluntàriament o no hi té un paper molt important. La gent accepta riscos amb una taxa de mortalitat relativament alta (per exemple, els associats a fumar o practicar determinats esports) sense preocupar-se gaire. Ara bé, quan el risc no es corre voluntàriament sinó que és imposat, llavors la situació es complica i, més que parlar de risc *acceptable* s'ha de parlar de risc *tolerable*.

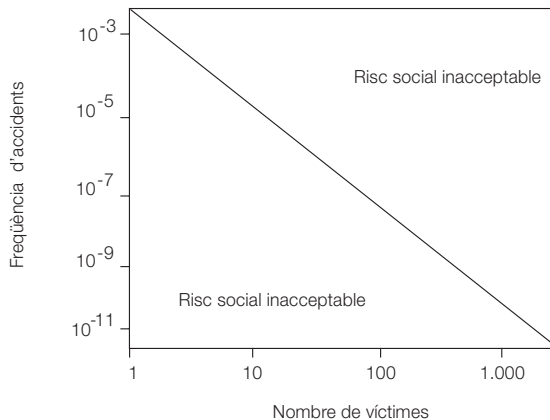
El de risc tolerable és doncs un concepte delicat, especialment quan és excessivament alt —o quan la població considera que és excessivament alt— i quan el risc d'una determinada instal·lació, que en principi beneficia un ampli sector de la societat, repercuteix de manera desigual sobre aquesta població (com passa sovint).

Tot i ser un terreny delicat, s'han fet esforços per a tractar de donar uns valors llindar. Segons la Instrucció 8/2007, a Catalunya s'apliquen els següents criteris de tolerabilitat.

a) Risc individual: el risc individual es considera intolerable sempre que se sotmeti a un element vulnerable o molt vulnerable a valors del risc individual de 10^{-6} any⁻¹ o superior. Es consideren elements vulnerables o molt vulnerables hospitals, residències, centres penitenciaris, guarderies, àrees d'acampada, habitatges, instal·lacions esportives, establiments comercials, restaurants, autopistes, línies de ferrocarril amb transport de passatgers, locals de reunions i altres establiments afins.

b) Risc social: segons la instrucció, el risc social —que no és vinculant per a la presa de decisions, és a dir, el seu compliment no condiciona l'acceptabilitat del risc d'un determinat establiment— es considera tolerable si la seva corba f-N està situada sota la línia mostrada en la figura 7.

Figura 7. Tolerabilitat del risc social segons la Instrucció 8/2007



6. EXEMPLE: ANÀLISI D'UN CAS

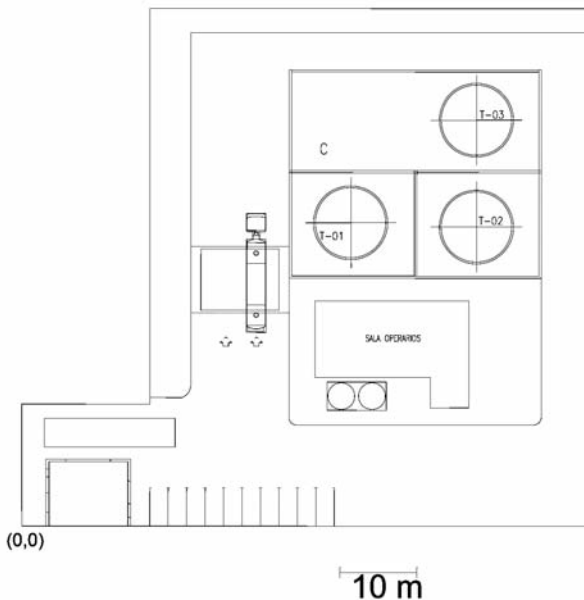
A continuació es presenta, de manera resumida, un exemple senzill d'aplicació de la metodologia d'anàlisi quantitativa de riscos (AQR) segons les pautes de la Instrucció 14/2008 de la Generalitat de Catalunya.

Es tracta d'un establiment dedicat a la recepció, emmagatzematge i expedició de productes inflamables (figura 8). Hi ha tres tancs que emmagatzemen substàncies inflamables, cadascun amb la seva cubeta independent. Cada cubeta pot contenir tot el contingut del seu tanc; la cubeta núm. 3 té espai addicional per a contenir un segon tanc en el futur. La recepció i expedició de substàncies es du a terme mitjançant camions cisterna, en una plataforma específica equipada amb drenatges per a confinar una eventual fuga. A l'establiment hi ha equipaments addicionals (recepció, aparcament, sala de control, etc.).

Per a dur a terme l'AQR, en primer lloc cal identificar els possibles esdeveniments iniciadors que, segons com evolucionin, poden conduir a diversos escenaris accidentals.

El primer pas consisteix a identificar les substàncies perilloses existents i veure si hi ha o no substàncies «classificades». En aquest establiment, l'única substància classificada, assimilable a un hidrocarbur derivat del petroli, presenta la fase de risc R11 i es troba als tres dipòsits i a la plataforma de càrrega/descàrrega. Se seleccionen per tant quatre instal·lacions: les cubetes dels dipòsits (tots amb la mateixa capacitat, 1300 m³) d'emmagatzematge i la zona de càrrega/descàrrega.

Figura 8. Establiment objecte de l'AQR



Per a cadascuna d'aquestes instal·lacions cal elaborar una llista de successos genèrics i específics en funció dels diferents equips en què hi pot haver pèrdues de contenció de les substàncies perilloses. Per exemple, a la zona C01 només hi ha un equip, el dipòsit; a la zona PL01 n'hi ha dos: les mànegues i la cisterna.

Els successos iniciadors genèrics aplicables a cada instal·lació s'han resumit a la taula 3 (LOC: *loss of containment*).

Taula 3. Successos iniciadors genèrics

Instal·lació	Successos iniciadors
Cubeta C01	<ul style="list-style-type: none"> • Fuita instantània de substància inflamable per trencament catastròfic d'un dipòsit (T-01 o T-02 o T03), LOC G1.
Cubeta C02	<ul style="list-style-type: none"> • Fuita de substància inflamable: fuita de tot el contingut del dipòsit en 10 min, LOC G2.
Cubeta C03	<ul style="list-style-type: none"> • Fuita contínua de substància inflamable a través d'un forat de 10 mm en el dipòsit (T-01 o T-02 o T03), LOC G3.
Plataforma de càrrega P 01	<ul style="list-style-type: none"> • Trencament total de la mànega de càrrega durant la càrrega/descàrrega de substància inflamable a camió cisterna, LOC L1. • Trencament parcial de la mànega de càrrega durant la càrrega/descàrrega de substància inflamable a camió cisterna, LOC L2. • Fuita instantània de substància inflamable deguda al trencament catastròfic de la cisterna, LOC G1. • Fuita contínua de substància inflamable deguda al trencament de la connexió més gran de la cisterna, LOC G2.

La llista de successos resultants, amb les freqüències i comentaris pertinents, s'ha resumit a la taula 4.

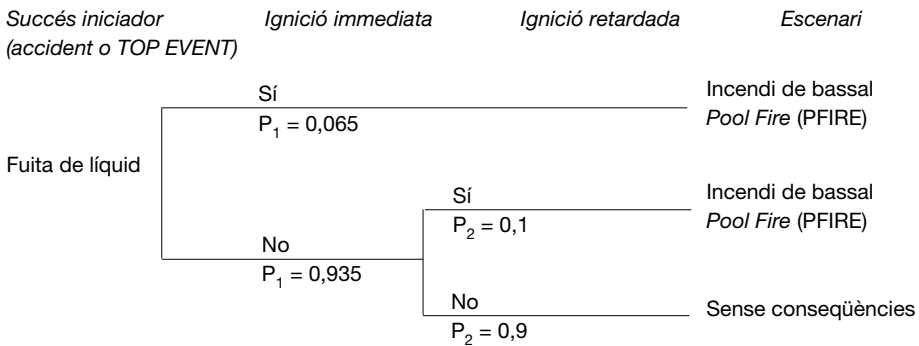
Taula 4. Freqüències dels successos iniciadors

Succés iniciador	Tipus de fuita	Freqüència [a ⁻¹]	Comentari
C01/T-01-03/G1G2	Instantani i continu (10 minuts)	$3,0 \cdot 10^{-5}$	Dipòsit d'emmagatzematge simple $f = 3 \cdot (5 \cdot 10^{-6} \text{ a}^{-1} + 5 \cdot 10^{-6} \text{ any}^{-1})$
C01/T-01/G3 C01/T-02/G3 C01/T-03/G3	Continu (Ø10 mm)	$1,0 \cdot 10^{-4}$	Dipòsit d'emmagatzematge simple $f = 1 \cdot 10^{-4} \text{ any}^{-1}$
PL01/MANG/L1a	Continu (trencament total)	$8,8 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1}$	Mànega de càrrega a cisterna amb dipòsits atmosfèrics (mànega que trasvasa durant 220 h/any) $f = 4 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1} \cdot 220 \text{ h a}^{-1} = 8,8 \cdot 10^{-4} \text{ any}^{-1}$
PL01/MANG/L2a	Continu (trencament dipòsits parcial)	$8,8 \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1}$	Mànega de càrrega a cisterna amb atmosfèrics (mànega que trasvasa durant 220 h/any) $f = 4 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1} \cdot 220 \text{ h a}^{-1} = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ any}^{-1}$

PL01/CIST/G1	Instantani	$2,5 \cdot 10^{-7} \text{ a}^{-1}$	Cisterna amb dipòsits atmosfèrics. (cisterna present 220 h/any) $f = 1 \cdot 10^{-5} \text{ a}^{-1} \cdot (220/8760) = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ any}^{-1}$
PL01/CIST/G2	Continu atmosfèrics.	$1,3 \cdot 10^{-8} \text{ a}^{-1}$	Cisterna amb dipòsits (cisterna present 220 h/any) $f = 5 \cdot 10^{-7} \text{ a}^{-1} \cdot (220/8760) = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ any}^{-1}$

A partir dels successos iniciadors, i depenent de les circumstàncies, l'accident evolucionarà cap a un o altre escenari accidental. Les diverses possibilitats s'analitzen mitjançant els denominats arbres de successos, que preveuen les diverses possibilitats en funció de l'eventual existència de determinades barreres de seguretat. En la figura 9 es presenta un d'aquests arbres, a títol d'exemple.

Figura 9. Arbre de successos per a un dels esdeveniments iniciadors



A partir de la freqüència de l'esdeveniment iniciador i de les probabilitats associades a les diferents branques de l'arbre, és possible calcular les freqüències estimades per a cada escenari accidental. Aquesta informació, per als diversos escenaris accidentals associats a l'establiment analitzat (fig. 10), s'ha resumit a la taula 5.

Taula 5. Estimació de la freqüència dels diversos escenaris accidentals

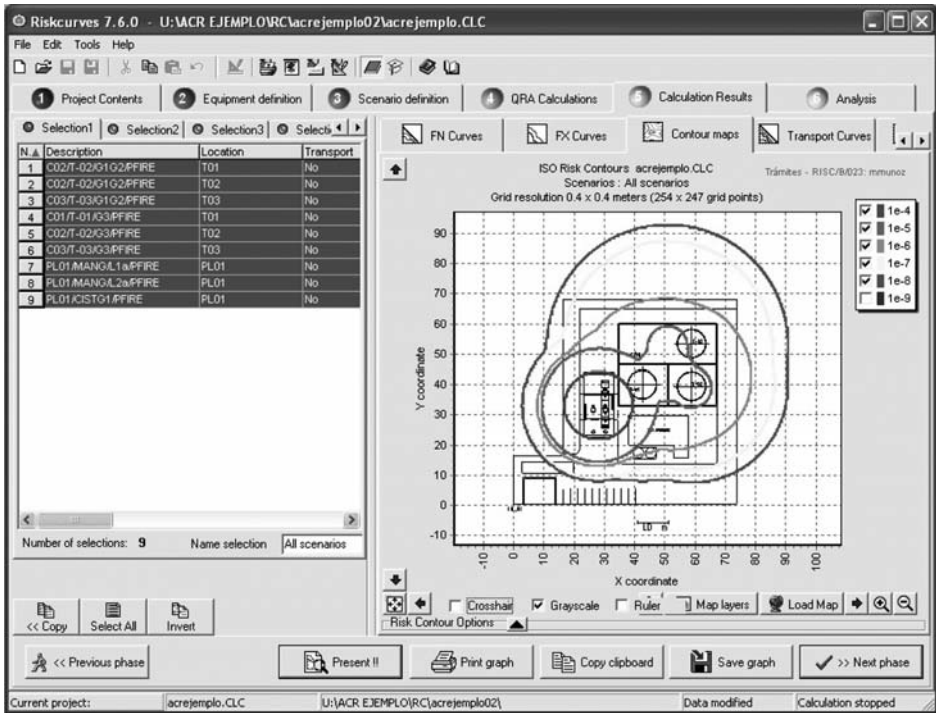
Accident final	Freqüència	Observacions
C01/T-01/G1G2/PFIRE C01/T-01/G1G2/PFIRE C01/T-01/G1G2/PFIRE	$1,6 \cdot 10^{-6} \text{ a}^{-1}$	Freqüència d'incendi en cas de fuita instantània o en 10 minuts del contingut del dipòsit a la cubeta i ignició del bassal: $F = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 4,8 \cdot 10^{-6} \text{ any}^{-1}$
C01/T-01/G3/PFIRE C01/T-02/G3/PFIRE C01/T-03/G3/PFIRE	$1,6 \cdot 10^{-5} \text{ a}^{-1}$	Freqüència d'incendi en cas de fuita contínua a través d'un forat de 10 mm en el dipòsit i ignició del bassal: $F = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ any}^{-1}$
PL01/MANG/L1a/PFIRE i	$1,4 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1}$	Freqüència d'incendi en cas de fuita per trencament total de la mànega de càrrega/descàrrega a cisterna ignició del bassal: $F = 8,8 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ any}^{-1}$

PL01/MANG/L2a/PFIRE	$1,4 \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1}$	Freqüència d'incendi en cas de fuga per trencament parcial de la mànega de càrrega a cisterna i ignició del bassal: $F = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ any}^{-1}$
PL01/CISTG1/PFIRE	$4,0 \cdot 10^{-8} \text{ a}^{-1}$	Freqüència d'incendi en cas de fuga instantània del contingut de la cisterna i posterior ignició del bassal: $F = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 4,0 \cdot 10^{-8} \text{ any}^{-1}$
PL01/CISTG2/PFIRE	$2,1 \cdot 10^{-9} \text{ a}^{-1}$	Freqüència d'incendi en cas de fuga contínua del contingut de la cisterna i posterior ignició del bassal: $F = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ a}^{-1} \cdot (0,065 + 0,935 \cdot 0,1) = 2,1 \cdot 10^{-9} \text{ any}^{-1}$

Una vegada estimades aquestes freqüències, per a establir el risc cal determinar els efectes i conseqüències de cada escenari accidental. Per a estimar els efectes es necessita la següent informació:

- els paràmetres ambientals: temperatura, categoria d'estabilitat atmosfèrica, tipus de terreny, cobertura del cel, etc.
- la direcció i velocitat del vent per a cada categoria d'estabilitat atmosfèrica, de dia i de nit (rosa dels vents).

Figura 10. Corbes de risc individual per al conjunt d'escenaris accidentals possibles en l'establiment analitzat



Amb aquesta informació i la corresponent a cada escenari accidental, és possible estimar els efectes dels accidents (radiació tèrmica, sobrepressió, etc.) utilitzant models matemàtics d'incendis, d'explosions i de dispersió atmosfèrica (Casal *et al.*, 2001). Aquests efectes s'avaluen en funció de la distància, tenint en compte l'eventual presència d'obstacles.

I, una vegada determinats els efectes físics, és possible calcular les conseqüències sobre la població, els béns, etc., mitjançant els models de vulnerabilitat. Pel que fa a les persones, sol estimar-se el nombre de víctimes mortals en funció de la posició, mitjançant la utilització d'expressions matemàtiques basades en la funció estadística «Probit»; el nombre de ferits no s'acostuma a tenir en compte, encara que hi ha procediments per a estimar-lo directament en funció del nombre de morts. D'aquesta manera es determina doncs el risc en un punt determinat i, fent-ho de manera sistemàtica, es pot obtenir la distribució del risc en una determinada zona afectada per a una o més instal·lacions.

Això pot fer-se per a un determinat escenari accidental o per al conjunt de tots els escenaris accidentals. És a dir, és possible determinar la distribució del risc individual i, per tant, representar la situació de les línies d'isorisc sobre la zona, obtenint així el mapa del risc. La figura 10 mostra el mapa de risc (obtingut mitjançant el programa Riskcurves) per a l'establiment aquí analitzat. Aquesta informació, que és la que realment representa el risc de l'establiment, és la requerida per la Generalitat de Catalunya per a les empreses afectades per la ja esmentada Directiva Seveso.

7. ZONES CONFLICTIVES

Tenint en compte el que s'ha exposat en les seccions anteriors, és evident que moltes indústries químiques tenen una zona d'influència al seu voltant, en la qual hi ha un cert risc originat per elles mateixes. Aquest risc pot afectar altres instal·lacions industrials (possibilitat d'ocurrència d'efecte dòmino), a zones habitades o a zones en les quals hi ha circulació de persones, mercaderies, etc. Aquestes són doncs zones de conflicte. És evident que seria desitjable que no existissin, però és un fet que n'hi ha. Una primera manera de fer front a aquesta situació és mitjançant una bona planificació de l'actuació en cas d'emergència. És per a això que s'han definit una sèrie de valors llindar dels efectes dels accidents.

7.1 VALORS LLINDAR

A l'efecte d'emergències exteriors (amb afectació a l'exterior de l'establiment) es defineixen dues zones de planificació per a la protecció de la població:

a) *Zona d'intervenció*: les conseqüències dels accidents produeixen un alt nivell de danys que justifica l'aplicació immediata de mesures de protecció. A la zona d'intervenció, tota la població que hi hagi pot patir danys com a conseqüència de l'accident).

b) *Zona d'alerta*: les conseqüències dels accidents provoquen efectes que, encara que perceptibles per a la població, no justifiquen la intervenció excepte per als grups crítics, definits pel responsable del grup sanitari per a cada cas concret. A la zona d'alerta, únicament la població sensible o grups crítics poden patir danys com a conseqüència de l'accident.

Aquestes zones, circulars, es defineixen en funció del seu radi al voltant de l'origen del risc, en funció de la distància assolida pels valors llindar per a cada tipus d'accident; aquests valors s'han presentat de manera resumida a la taula 6 (PLA-SEQCAT i TRANSCAT, 2005).

Taula 6. Valors llindar

Tipus d'accident	Zona d'intervenció	Zona d'alerta
Explosió (ona de pressió)	125 mbar	50 mbar
Incendi de bassal (radiació tèrmica)	246 (KW/m ²) ^{4/3} .s (> 1,7 KW/m ²)	115 (KW/m ²) ^{4/3} .s (> 1,7 KW/m ²)
Fuita tòxica	AEGL-2 ERPG-2 TEEL-2	AEGL-1 ERPG-1 TEEL-1
Flamarada	½ de LII	

La situació de flamarada no té un valor llindar legislat. Algunes organitzacions adopten per a aquesta situació un valor llindar equivalent al valor LII (límit inferior d'inflamabilitat). A Catalunya s'adopta el valor més conservador de LII/2.

Cal destacar que en la normativa espanyola s'imposa com a llindar tòxic el valor AEGL-1, ERPG-1 o TEEL-1 per a la zona d'alerta; aquests valors són molt propers als valors llindar de protecció laboral per a exposicions llargues i diàries (8 h/dia i 40 h/setmana) que, en ser molt baixos, fan que les distàncies de zonificació tinguin valors molt elevats (quilòmetres) i, sovint, poc creïbles en el context en què són aplicats.

7.2 SOLAPAMENT RISC-POBLACIÓ

Aquestes zones conflictives no haurien d'existir en un territori ben ordenat i planificat des de bon començament; malauradament, aquesta no acostuma a ser la situació, almenys en les zones en què l'assentament humà ve de lluny. Bé perquè la indústria en qüestió ha anat creixent, bé perquè —com passa més freqüentment— l'àrea urbanitzada ha anat creixent, aproximant-se més i més a les instal·lacions industrials; el cert és que sovint es troben zones en què hi ha un solapament del risc originat per un establiment o més i de la població.

Un exemple d'aquesta situació pot veure's en el Polígon Industrial Químic de Tarragona, en el qual la concentració d'empreses afectades per accidents greus en un nombre reduït de municipis és relativament gran (amb una gran concentració en els termes municipals de Tarragona i la Pobla de Mafumet-el Morell). En aquest

cas, l'equilibri entre desenvolupament industrial i creixement urbà es manté a base de grans esforços en la prevenció, la planificació i el control ambiental integrat dels canvis i ampliacions que tenen lloc en les empreses afectades. El mapa de la figura 11 resumeix clarament aquesta situació.

Figura 11. Situació existent en el Polígon Industrial Químic de Tarragona



Què es pot fer en aquesta situació? La resposta no és, evidentment, senzilla.

La primera mesura és, òbviament, definir clarament l'extensió i la magnitud del problema. És a dir, analitzar de manera quantitativa el risc, determinant el mapa de risc i la població o altres elements sensibles afectats. Això permet establir el pla d'emergència més adient, tenint en compte els valors llindar abans esmentats, i implementar-lo en tots els seus aspectes (com, per exemple, el de la informació a la població).

Això permet assolir una situació que, si bé no és l'òptima, implica un control raonable del risc i de les possibles emergències.

En aquests casos, és possible que la situació continuï així indefinidament, o bé que desembogui en una solució més dràstica que elimini el solapament esmentat. Que passi això sol dependre del posicionament de la població, i aquest posicionament és relativament manipulable tant en un sentit com en un altre. És possible mantenir l'acceptació de la indústria per part de la població mitjançant una política ben establerta d'informació i de millora de la seguretat, i és possible també provocar el rebuig mitjançant una política informativa negativa o bé si ocorre alguna emergència no ben gestionada.

Si la situació es complica, possiblement s'arribarà a un punt en què calgui trencar-la de manera definitiva; això sol conduir a un trasllat de la instal·lació en qüestió, encara que aquesta no és sempre una solució fàcil ni molt menys.

En tot cas, en aquestes situacions és molt important que l'actuació de l'Administració i de l'empresa o empreses afectades sigui summament correcta i honesta, allunyada de qualsevol manipulació que, finalment, es giraria en contra d'aquell que l'ha utilitzat.

8. CONCLUSIONS

Determinades instal·lacions industrials, especialment del sector químic, presenten un cert risc associat a la potencial ocurrència dels denominats accidents greus (incendis, explosions, fugites tòxiques). És per això que s'han posat a punt una sèrie de metodologies, agrupades sota la denominació comuna d'anàlisi de riscos, que permeten l'estimació d'aquest risc —entès com a funció tant de la probabilitat d'ocurrència com de les conseqüències— sobre una determinada zona.

Això és especialment important en els casos en què hi ha un solapament entre la zona exposada al risc i la zona urbana, atesa la corresponent afectació a la població, un element clarament vulnerable. La planificació del territori, per tant, no pot deixar de banda aquest aspecte, sobretot en un país com Catalunya, que té un notable sector químic amb una gran importància social i econòmica.

La planificació del territori basada únicament en valors llindar pot arribar a ser ineficient i poc realista, sobretot tenint en compte les grans distàncies de planificació imposades pels baixos valors dels paràmetres de referència, AEGL-1, ERPG-1 o TEEL-1. D'altra banda, amb aquest enfocament les mesures de prevenció, control i mitigació (que solen requerir grans inversions) no estarien representades correctament en les decisions finals de planificació.

Cal doncs introduir la component probabilística del risc (freqüència de l'esdeveniment de pèrdua de contenció) i de la capa de protecció (probabilitat de fallada de la salvaguarda que impedeix el desenvolupament complet de l'accident) per a potenciar una decisió basada en els conceptes de risc exposats anteriorment.

En qualsevol cas, atesos la imprecisió i els marges d'error que presenta la metodologia d'anàlisi de riscos, pot ser necessària l'adopció d'unes distàncies mínimes de seguretat entre el medi urbà vulnerable i el medi industrial que genera el perill.

A Catalunya, aquest concepte s'introdueix mitjançant les «franges de seguretat», que estan fixades entre 75 i 150 m segons el nivell d'afectació. Als països europeus que han adoptat aquest criteri, el valor mitjà d'aquestes franges és d'aproximadament 100 m.

És evident que aquest és un aspecte que una societat industrialitzada com la nostra no pot deixar de banda. Cal doncs continuar amb l'esforç que s'està duent a terme des de fa anys per aconseguir una indústria cada vegada més segura i fiable.

BIBLIOGRAFIA

- EUA. CCPS. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. AIChE. Nova York, 1999.
- CAROL, S., VÍLCHEZ, J. A. i 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) p. 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. i VÍLCHEZ, J. A. *Análisis de riesgos en instalaciones industriales*. Bogotá, Alfaomega, 2001.
- CORRALES, J. *Industria Química en Cataluña*. *Ingeniería Química*, 478, gener 2010, p. 52-57.
- DARBRA, R. M., PALACIOS, A. i CASAL, J. *Domino effect in chemical accidents: main features and accident sequences*. *Journal of Hazardous Materials*. 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 març, 2010.
- OGGERO, A., DARBRA, R. M., MUÑOZ, M., PLANAS, E. i CASAL, J. *A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail*. *Journal of Hazardous Materials* 133 (2006) p. 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).
- VÍLCHEZ, J. A., SEVILLA, S., MONTIEL, H. i 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) p. 87-96.