
AMAGAR-SE O FUGIR? DISSENY D'UNA SOLUCIÓ ECLÈCTICA PER A GESTIONAR EL RISC

JORDI SANS PINYOL¹

Enginyer industrial, inspector de Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya, responsable de recerca de l'Institut de Seguretat Pública de Catalunya

OLGA SERRANO PÉREZ²

Enginyera química, assistent de recerca de l'Institut de Seguretat Pública de Catalunya

La humanitat s'ha vist sempre exposada als perills de la natura. Aquests perills han provocat riscos quantificables dels quals les persones inicialment s'han defensat i han gestionat de forma intuïtiva i empírica, en funció dels danys provocats i de les freqüències dels successos. Bàsicament amagant-se en coves (confinament) o fugint (evacuació).

Amb l'evolució de la tecnologia han nascut nous perills i s'han accentuat els derivats dels riscos naturals, ja existents. La gestió de la interfície formada entre els riscos provocats pels avenços tecnològics, els beneficis obtinguts, i la seguretat de les persones, els béns i el medi ambient és encara avui en dia objecte de llargues discussions entre els diferents agents dels sistemes de seguretat, públics i privats, i la societat civil. Hem inventat artefactes que sovint no podem controlar totalment; només cal pensar en l'energia nuclear. I és per aquest motiu que hem d'inventar també solucions creatives per gestionar els riscos que en deriven.

En aquest treball es pretén revisar l'estat de la qüestió i apuntar algunes solucions que, d'una forma estructural i passiva i basades en el disseny i el càlcul, redueixin la vulnerabilitat dels elements exposats a riscos importants i, per tant, redueixin danys en els casos en què no és possible adoptar solucions radicals ni definitives. I ben pensades i projectades, aquestes solucions no són cares i es poden integrar en un planejament urbanístic sostenible.

Humanity has always been exposed to dangers of nature. These dangers have provoked quantifiable risks, from which people have initially defended themselves and have managed in an intuitive and empirical way, depending on the damages provoked and the frequency of the events. Basically, two reactions were derived: hide in caves (confinement) or escaping (evacuation).

Due to the evolution of technology, new dangers have arisen and the already existing natural risks have been magnified. Nowadays, the private and public safety agents and civil society have long discussions regarding the management of the interface formed between the risks provoked by technological advances, the benefits obtained, the protection of goods and the environment and people's safety. We have invented artefacts that often we can't control completely; it is only necessary to think of the nuclear energy. And it is for this reason that we must also invent creative solutions to manage the risks that derive from these artefacts.

This paper intends to revise the state of the art and to point out some solutions that, in a structural and passive way, and based on the design and the calculation, should reduce the vulnerability of the elements exposed to major risks and, therefore, reduce the damage in the cases that radical or not definite solutions aren't possible to take. Well thought and projected, these solutions shouldn't be expensive and could be integrated into a sustainable urban planning.

1. jsansp@gencat.cat

2. olga.serrano@gencat.cat

1. INTRODUCCIÓ

El risc existeix des de l'inici de la humanitat però ha esdevingut un tema d'importància en la societat actual pel gran efecte que poden ocasionar les noves situacions de perill causades per l'avenç de la tecnologia i la major ocupació del territori amb infraestructures i habitatges.

La divergència d'opinions tant en la classificació com en la definició dels riscos i en general de la terminologia relacionada amb la seguretat és conseqüència de l'ampli ventall temàtic en el qual són útils. De l'activitat humana deriven riscos tant antròpics com tecnològics. Els riscos antròpics, definits com els causats pel comportament de les persones; els tecnològics, els que deriven de la pròpia activitat tècnica i científica, són difícils de diferenciar en el cas que estiguin implicats instruments i artefactes.³ En aquest article, es fa un recull de definicions clau de la matèria des de les més clàssiques, passant per les més àmpliament acceptades, fins les més innovadores.

Els escenaris de major risc tecnològic i, en conseqüència, els que provoquen la majoria d'accidents greus són els deguts a la manipulació o emmagatzematge en establiments industrials o al transport per carretera i ferrocarril de substàncies perilloses.⁴ La seva perillositat intrínseca crea zones d'influència⁵ al seu voltant i genera uns valors de risc molts cops superiors als tolerables. Els criteris de tolerabilitat admesos s'explicaran amb més detall més endavant.

Ha estat arran de les diverses emergències succeïdes amb substàncies perilloses involucrades que s'ha desenvolupat una normativa sobre aquesta qüestió, com ara les directives europees que s'han anat adaptant i transposant a l'ordenament jurídic de l'Estat espanyol i a la normativa catalana.

El creixement incontrolat ja sigui de la zona industrial o de la urbanització de zones residencials, equipaments, infraestructures, o bé de tots dos alhora, ha ocasionat que aquestes zones d'influència mencionades anteriorment tinguin nivells de risc no tolerable en zones habitades, allò que anomenem solapament de risc i territori.

Aquestes zones de solapament no haurien d'existir amb una bona identificació i avaluació dels riscos realitzada prèviament a la fase de construcció. En aquesta fase s'haurien de poder fer prediccions sobre els possibles accidents que es puguin originar i, per tant, posar en pràctica mesures de protecció.

En aquest fet resideix la importància de realitzar una bona regulació mitjançant una planificació territorial ordenada que integri el factor risc. Si no ha estat així, i un cop s'ha originat aquesta situació, la solució no és fàcil. Si s'esgoten els recursos disponibles per millorar la seguretat i és impossible gestionar les emergències s'arribarà a una situació límit que pot conduir al trasllat de la indústria en qüestió.

3. Un artefacte, tot i la connotació bèl·lica associada a la paraula, no és més que un objecte produït per l'ésser humà de gran mida de certa complexitat però amb poca tècnica.

4. De l'anglès HAZMAT, hazardous materials, són aquelles que per les seves característiques fisicoquímiques presenten un risc per a les persones o medi ambient.

5. Les zones d'influència es defineixen com l'espai on les conseqüències d'un accident poden causar danys a les persones, béns i medi ambient.

Aquest fet implica unes conseqüències socials i econòmiques que no afavoreixen la indústria ni la societat en general.

Davant d'aquesta situació, freqüent en les zones industrialitzades, i esgotades les metodologies clàssiques de reducció de riscos, és quan es planteja la instal·lació de barreres físiques.⁶

Una barrera física és un element de protecció integrat en el territori que permet resguardar la població dels possibles accidents de la indústria, que suporta els efectes químics (núvols tòxics i/o contaminació), mecànics (ona de sobrepressió i projecció de fragments) i tèrmics (radiació). Les metodologies de càlcul dels efectes possibles també són exposades en l'article i són necessaris per al dimensionament de les barreres físiques.

La instal·lació de les barreres no es limita a situacions on el problema estigui creat, són també una solució a tenir en compte en fase de disseny segons les característiques de la zona a urbanitzar.

Hi ha una línia oberta d'investigació en l'estudi dels possibles efectes beneficiosos d'instal·lar barreres físiques de protecció per riscos de tipus natural. En concret, la proposta de construir un mur de 300 metres d'altura que eviti la formació de tornados parant els corrents d'aire.⁷

Les barreres són una solució de protecció eclèctica;⁸ són compatibles amb altres metodologies de protecció passiva, tant les aplicades als habitatges com a les indústries, i a la vegada que tenen un ús per a la ciutat estan incorporades de manera sostenible en el teixit urbanístic.

2. EL RISC

2.1 DEFINICIÓ DE RISC, PERILL I DANYS. TIPUS DE RISC

La definició de la paraula risc, tot i semblar òbvia, no és simple. Si es fa una recerca a través de llibres de text, diccionaris, articles, etc. es troben resultats diferents i molts cops contradictoris.

El terme risc té orígens desconeguts, això explica l'ambigüitat a l'hora de definir aquesta paraula. És a l'antiga Grècia on es creu que va néixer aquesta paraula⁹ a partir d'un terme utilitzat en navegació *rhizikon*, *rhiza*. Concretament, és un terme metafòric que indica la dificultat de ser evitat en el mar.¹⁰ Aquesta paraula va donar lloc als termes llatins *resicum*, *risicum* i *riscus* que han derivat en l'actual terme risc

6. La instal·lació de barreres físiques està recomanada per la normativa autonòmica catalana referent a la gestió de riscos, específicament la Resolució IRP/971/2010, de 31 de març.

7. «Could giant walls protect the Midwest from tornadoes?», article en línia publicat el 26 de febrer de 2014 al *Mail Online*, disponible a <<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2568448/Could-Great-Wall-Kansas-protect-Midwest-TORNADOES-1-000ft-tall-barriers-thwart-storm-threat-forever-claims-physicist.html>>.

8. Eclèctic definit com l'aplicació de mesures intermèdies i conciliadores, allunyades de solucions extremes.

9. «The origins of the word Risk (etymology)», article de Vicente Sandoval, disponible a <<http://www.vicentesandoval.com/phd-thesis/thinking-about-risk-and-chile/theoriginsofthewordrisketymology>> [Consulta: 28 febrer 2014].

10. Visiteu el web *Riskology* a <<http://risk-ology.com/tag/peter-bernstein/>> [Consulta: 28 febrer 2014].

i els equivalents en altres llengües. D'altra banda, hi ha una altre corrent de pensament que associa la paraula risc amb la paraula *rizq* àrab.

La paraula risc es defineix com «contingència a la qual està exposat algú o alguna cosa, perill incert».¹¹ La majoria de definicions porten associades al concepte de risc les idees d'incertesa, de vulnerabilitat i d'exposició a un accident (Risc = Perillositat · Vulnerabilitat · Exposició). S'han proposat moltes definicions però la més simple i acceptada tècnicament és aquella que defineix el risc com el producte de probabilitat d'un esdeveniment per les seves conseqüències (Risc = Probabilitat · Conseqüències). Les conseqüències, definides com l'expressió conjunta de la vulnerabilitat i l'exposició, es poden expressar de formes diferents depenent del tipus d'accident o dels elements vulnerables exposats [Mir, 1999: 33]: nombre de sinistres, danys econòmics, pèrdua de vides humanes, lesions personals, etc.

Una altra manera de definir el risc [Delgado, 2012], menys habitual, és expressant-lo com la quantificació del perill expressat en les unitats adequades a cada hipòtesi de treball.

El risc pot ser definit des d'una vessant més social i de gestió de conseqüències, tal com proposa Ulrich Beck en l'obra *Societat de risc* (1980). Sobre la base d'aquests paràmetres es defineix el risc com una conseqüència pròpia de la modernització, que condueix a un dilema entre els beneficis que ens aporta la tecnologia i les conseqüències no desitjades provocades pel seu ús. La magnitud d'aquests riscos es descriu com incalculable, imprevisible i incontrolable de manera que aquests no només poden afectar una comunitat sinó que són globals i poden afectar mundialment. Per gestionar aquests riscos, proposa la construcció de noves estructures polítiques de gestió global d'aquests riscos.

A diferència del risc, el terme perill (*hazard*) és defineix com la situació de caràcter químic o físic que pot provocar un accident o un dany a persones (morts i ferits), béns materials (la indústria afectada, el propi polígon, magatzems, vehicles, carreteres, habitatges, infraestructures) o medi ambient (danys a la biosfera, l'aire, la terra i l'aigua).¹²

La magnitud de les conseqüències d'un accident, és a dir, els danys (*damage*) produïts, depenen de diversos paràmetres: quantitat de matèries perilloses presents en la planta, quantitat d'energia continguda en el sistema en forma de pressió o d'energia química, temps durant el qual s'han alliberat les matèries perilloses o l'energia i la distància d'exposició entre la població i la font de l'accident.

Els riscos es poden dividir en tres categories que constitueixen un marc de referència pel que fa als criteris de tolerabilitat del risc [Casal, 2008: 2]:

- *categoria A*: els riscos que són inevitables i acceptats sense compensació, per exemple ser fulminat per un llamp;
- *categoria B*: els riscos que serien evitables però imprescindibles en la vida diària actual, per exemple la mort en un accident de trànsit;

11. Diccionari de la llengua catalana [2a ed.] de l'Institut d'Estudis Catalans.

12. *Revista Catalana de Seguretat Pública*, núm. 23 (novembre 2010) p. 123-147.

- *categoria C*: els riscos que són absolutament evitables i és decisió personal exposar-s'hi, per exemple morir fent esports d'aventura extrems.

D'altra banda, si els riscos són tecnològics es poden classificar en tres categories més [Casal, 2008: 2]:

- *riscos convencionals*: els relacionats amb les activitats i l'equipament que es troba típicament a les indústries, per exemple morir per electrocució;
- *riscos específics*: els associats al tractament o ús de substàncies classificades com a perilloses, per exemple el fet de tractar amb materials radioactius;
- *riscos greus*: els associats als accidents excepcionals, les conseqüències dels quals poden ser severes.

Els efectes dels riscos convencionals i específics acostumen a afectar només els treballadors implicats i es poden prevenir amb mesures de seguretat adequades. En canvi, els riscos greus són inesperats i acostumen a afectar distàncies més grans, la qual cosa fa que hi hagi més població exposada.

2.2 RISC INDIVIDUAL I RISC SOCIAL. MAPES DE RISC

Per risc individual [Instrucció 8/2007]¹³ s'entén la probabilitat que una persona pateixi unes conseqüències determinades com a resultat de la seva exposició, en un determinat lloc i tres-cents seixanta-cinc dies a temps complet, a un o diversos perills. S'expressa en víctimes·any⁻¹.

Per risc col·lectiu s'entén la probabilitat per any que un grup de persones sigui víctima d'un accident al mateix temps, és a dir, el nombre total de morts per any.

El risc individual s'acostuma a representar en mapes de risc mitjançant les corbes de risc. Una corba d'isorisc o de risc constant és la unió de tots els punts geogràfics al voltant d'una instal·lació on la probabilitat de mort és la mateixa. Les corbes de risc són unes línies de risc constant que mostren com varia el risc individual sobre un determinat terreny. Mentre que els corbes de freqüència/nombre de morts (FN) són una representació del risc social.

2.3 RISC TOLERABLE. RISC ÒPTIM

En la societat actual, pràcticament totes les activitats humanes quotidianes estan associades a l'ús d'instal·lacions o de productes industrials. La seva utilització comporta innumerables avantatges però també conseqüències negatives. És habitual l'expressió que diu que el risc zero no existeix. Aquesta expressió no seria

13. Instrucció 8/2007 SIE sobre els creixements urbans al voltant d'establiments afectats per la legislació d'accidents greus (criteris per a l'elaboració de l'informe previst a l'article 83.5 del Decret legislatiu 1/2005, de 26 de juliol, pel qual s'aprova el text refós de la Llei d'urbanisme de Catalunya).

vàlida si és definís el risc com a quantificació de l'activitat o perill ja que si no existeix el perill, el risc associat és zero.

Els criteris de tolerabilitat o acceptabilitat depenen de la metodologia seguida per calcular valors de risc individual i risc social, i també permeten delimitar les zones on no és possible la presència d'elements vulnerables.

Hi ha quatre metodologies disponibles per prendre les decisions urbanístiques en l'entorn d'aquests establiments:

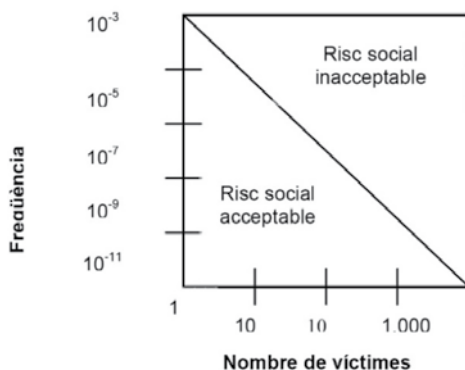
- imposició de distàncies fixes entre les instal·lacions i els elements vulnerables,
- seguir una metodologia determinista basada en les conseqüències dels accidents,
- realització de l'anàlisi quantitativa del risc (AQR) i
- seguir una metodologia mixta, combinació d'alguna de les anteriors.¹⁴

La majoria dels països de la Unió Europea disposen d'un model de planificació urbanística al voltant dels establiments amb risc d'accident greu amb metodologia més adient per al seu cas particular. A Catalunya se segueix una metodologia mixta que combina el mètode probabilístic d'anàlisi quantitativa de risc complementat amb unes distàncies fixes i mínimes d'allunyament anomenades franges de seguretat. L'anàlisi de risc està elaborat segons el *Purple Book*, on es descriu la metodologia holandesa.

L'anàlisi quantitativa de risc és un procediment estructurat qualitatiu i/o quantitatiu que permet identificar les fonts generadores de risc. El propòsit de l'anàlisi de risc és el de proporcionar la informació necessària per prendre decisions.

Les administracions públiques han intentat establir uns valors de risc acceptable, creant i aplicant unes polítiques públiques per a intentar garantir la seguretat dels intervinents, arribant a uns valors límits de risc. A Catalunya, segons la Instrucció 8/2007, el valor màxim tolerable al qual poden estar exposats els elements vulnerables i els elements molt vulnerables és de 10^{-6} víctimes·any⁻¹. El risc social no es considera vinculant tot i que es pot utilitzar en casos hipotètics on el risc és molt baix però existeix un nucli molt habitat, el qual en cas d'un accident resultaria molt afectat. El criteri de tolerabilitat, indicat a la figura 1, del risc social és l'utilitzat en el *Purple Book*.

14. Els criteris internacionals més emprats i considerats referents en l'aplicació d'aquestes metodologies són els definits pel Govern holandès i l'organisme TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research).

Figura 1. Criteri de tolerabilitat del risc social del *Purple Book* (Holanda)

En termes econòmics existeix un risc òptim [Mir, 1999] que es pot plantejar a partir de la minimització en l'augment dels costos que comporten els recursos econòmics que s'han emprat per a reduir la freqüència o disminuir els danys associats a uns accidents i el cost dels danys esperats. Mitjançant una anàlisi cost/benefici es poden avaluar les polítiques públiques aplicables i seleccionar la més adient.

Hi ha diverses polítiques públiques de regulació que afecten la reducció dels riscos [Mir, 1999]: la regulació directa mitjançant la utilització d'estàndards (reglaments o condicions a què estan sotmesos els objectes productors de risc), centrar-se en la responsabilitat que ocasiona el risc fent responsables civils als particulars acompanyats de la intervenció de les companyies d'assegurances i la possibilitat de l'Administració pública d'incentivar la reducció del risc, concedint subvencions, o al revés, penalitzar-lo, aplicant per exemple impostos sobre el risc. A Catalunya, les instal·lacions industrials generadores de riscos ja estan subjectes a un gravamen especial segons la Llei 4/1997, de 20 de maig, de protecció civil de Catalunya.

Finalment, no cal perdre de vista que és impossible que el balanç entre risc i benefici es reparteixi equitativament entre tots els individus que hi estan implicats, treballadors, habitants de la zona geogràfica pròxima, etc.

2.4 VULNERABILITAT I ELEMENTS VULNERABLES

La vulnerabilitat és la predisposició intrínseca d'un element a patir danys per motius d'un fenomen davant d'un perill concret.

Segons l'article 12 de la directiva Seveso II, que tracta sobre el control de la urbanització, els elements vulnerables queden definits com les zones d'habitatges, els edificis i les zones freqüentades pel públic, els eixos importants de transport, les zones recreatives i d'interès natural de caràcter especialment sensible.

D'altra banda, la Instrucció 8/2007 SIE fa una definició més detallada de si l'àrea estudiada constitueix o no un element vulnerable. A l'hora de definir els ele-

ments¹⁵ es tenen en compte factors com la necessitat d'ajuda externa, el nombre potencial de víctimes, falta de protecció de la ubicació...

3. NORMATIVA¹⁶

La normativa relacionada amb els accidents greus s'ha anat desenvolupant arran de l'anàlisi dels accidents greus amb importants efectes sobre les persones, medi ambient i béns. Alguns dels que han canviat el curs de la normativa pel gran impacte tant en nombre de morts com en pèrdues patrimonials són Flixborough (1974), Seveso (1976), San Juanico (1984), Bhopal (1984), entre d'altres.

Aquests accidents van posar de manifest el perill que ocasiona la proximitat dels establiments industrials amb zones habitades, ja siguin infraestructures, zones residencials, zones de caràcter públic, zones d'interès ambiental... Una de les regulacions és la que intenta assegurar la separació entre les zones vulnerables i els establiments industrials o infraestructures de nova construcció i que les ja existents tinguin en compte mesures tècniques complementàries per disminuir-ne l'efecte.

Cal distingir entre les dues vessants de la seguretat, que en termes anglosaxons s'anomenen: *safety* i *security*. El primer terme es refereix a la seguretat davant d'accidents, mentre que el segon terme és la seguretat davant d'actes il·lícits en els quals el dany, a més d'una conseqüència, es també l'objectiu final de l'acte en si mateix. La seguretat és una matèria molt àmplia i els límits entre les seves competències són difuses. Tot i això, en termes generals, les seves competències estan repartides entre diferents ministeris de l'Estat espanyol i departaments de la Generalitat de Catalunya.

Va ser la fuga de dioxines a Seveso (Itàlia) l'any 1976 que va donar origen a la primera Directiva Europea, que s'ha anat adaptant i transposant a l'ordenament jurídic de l'Estat i a la normativa catalana. Tot i això, a l'Estat espanyol les primeres regulacions van venir a través d'uns reglaments específics de seguretat industrial que s'han complementat i harmonitzat globalment amb la resta de països dels Estats membres mitjançant les directives Seveso. La seguretat industrial té com a objectiu la prevenció i la mitigació dels accidents en les instal·lacions industrials o amb productes industrials. Els establiments amb risc d'accident greu es troben classificats dins dels establiments industrials amb reglament tècnic de seguretat i amb una directiva europea. El reglament dels accidents greus afecta el conjunt de les instal·lacions industrials d'un establiment, independentment i més enllà de la resta de reglaments tècnics aplicables.

La legislació europea sobre identificació, classificació, etiquetatge i gestió de la posada al mercat i l'ús de productes químics es basa en el Reglament (CE) 1907/2006 REACH (registre, avaluació, autorització i restricció de les substàncies i preparats

15. La relació d'elements vulnerables i molt vulnerables es pot consultar a la Instrucció 8/2007 SIE.

16. El recull de normativa aplicable als establiments industrials amb risc d'accident greu i al transport de mercaderies perilloses es pot trobar al web de la Generalitat de Catalunya <<http://infonorma.gencat.cat/>>.

químics) i la seva modificació mitjançant el Reglament (CE) 1272/2008 CLP (classificació, etiquetatge i envasament). De manera successiva, es van modificant altres apartats i annexos. Aquestes modificacions representen l'adaptació a la UE del sistema globalment harmonitzat (SGH), que és una regulació aprovada a escala mundial. El reglament ha significat un canvi en els sistemes de classificació i una definició molt més precisa de les substàncies i les seves mesclures. A més, ha suposat un canvi en els mecanismes de comunicació del risc químic.

Pel que fa al transport de mercaderies perilloses per carretera hi ha l'Acord europeu sobre el transport internacional de mercaderies perilloses per carretera (ADR), aprovat a Ginebra el 30 de setembre de 1957. D'altra banda, el RID és el Reglament relatiu al transport internacional per ferrocarril de mercaderies perilloses recollit al Conveni sobre transports internacionals per ferrocarril (COTIF), creat a Berna l'any 1980.

4. SISTEMES DE PREVENCIÓ I PROTECCIÓ DAVANT D'ACCIDENTS

Els sistemes de protecció davant d'accidents tenen com a objectiu mitigar els danys sobre les persones, béns i medi ambient. La selecció d'un determinat mètode de mitigació dependrà del perill en particular: la quantitat de material present, la localització de les instal·lacions, el procés, etc., i de l'anàlisi quantitativa de risc de cada cas.

Els accidents poden provenir tant d'establiments industrials que manipulen substàncies perilloses com del transport de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril. Un dels objectius d'aquests sistemes és el d'evitar l'efecte dòmino.¹⁷ Es pot actuar reduint o eliminant el risc, intervenint sobre la font de perill, reduint la probabilitat d'ocurrència del succés o bé aplicant mesures de protecció. En el primer cas, es pot actuar sobre l'establiment: canviant el procés productiu, les substàncies químiques utilitzades, soterrant dipòsits, millorant el disseny dels equips per augmentar la fiabilitat de la instal·lació, etc., o sobre el medi: millorant les condicions de ventilació per dilució per tal de reduir la concentració d'agents químics inflamables o explosius utilitzats en el procés.

No sempre es poden modificar les condicions de perill en origen per reduir el risc fins a valors acceptables i és per això que, en aquests casos, és necessari aplicar mesures compensatòries que redueixin l'impacte potencial sobre els elements vulnerables. En el segon cas, es poden aplicar mesures de protecció activa i passiva que protegeixin els individus dels efectes i conseqüències en cas que s'hagi produït l'accident. L'aplicació d'aquestes mesures va més enllà del compliment dels reglaments vigents.

A les situacions on les mesures clàssiques de mitigació no són aplicables, les metodologies de prevenció i protecció alternatives a aplicar serien:

17. L'efecte dòmino és el conjunt d'efectes successius que provoca un accident en un establiment industrial o transport per carretera o ferrocarril, que afecten altres elements o genera en cadena nous accidents.

- planejament del territori en funció del risc;
- paràmetres de disseny arquitectònic en funció del risc (piroconstrucció,¹⁸ *venteig*)¹⁹ i estructures resistents a sobrepressions i/o temperatura;²⁰
- control específic de l'estanquitat i ventilació dels edificis;
- sistemes de protecció mitjançant barreres, dics o dunes integrades en el territori i la incorporació de tecnologia de detecció de fuites de substàncies perilloses.

4.1 PLANEJAMENT DEL TERRITORI EN FUNCÍO DEL RISC

La incorrecta estratègia urbanística i ordenació del territori que determina la ubicació física dels elements vulnerables en relació amb els establiments industrials és la causant de situacions de risc sobre les quals caldrà actuar. En aquest àmbit es distingeixen dues situacions a tractar de manera diferent: les situacions ja generades que necessiten mesures de protecció alternatives i les futures interaccions de risc i territori que cal planificar i on una correcta ordenació de les assignacions d'usos del sòl és suficient.

Per a una bona integració del risc i del territori, la prevenció dels riscos greus no pot ser una activitat exclusiva de determinats organismes. Totes les administracions públiques han de participar en la integració del binomi risc i territori en matèria de seguretat i urbanisme.²¹ Un dels aspectes clau en el planejament del territori és conèixer les particularitats del territori quant a riscos greus i altres factors vinculats per tal de combinar la prevenció dels riscos greus en la gestió del territori.

El desenvolupament urbanístic ha de gestionar tant el risc químic provinent d'instal·lacions industrials com el derivat del transport de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril; aquest últim risc és poc considerat però de gran importància en la planificació urbanística. En molts casos hi ha un gran nombre d'accidents i incidents sobretot en el transport per carretera i s'acostumen a produir a prop d'àmbits on hi ha una gran concentració de població sense oblidar que hi ha hagut creixements urbans recents a l'entorn de les principals vies com les autopistes. En el transport de mercaderies per carretera és inevitable l'ús de vies secundàries, normalment més properes a la població i menys preparades per fer front als efectes d'un possible accident, per arribar a l'establiment industrial que en fa ús. Pel que fa a les xarxes ferroviàries, també travessen molts nuclis urbans. Cal considerar també les possibles incompatibilitats entre una via de transport amb gran flux de mercaderies perilloses amb establiments industrials.

Com hem dit, la majoria dels països de la Unió Europea disposen d'un model

18. La piroconstrucció és la tècnica que consisteix a escollir materials amb l'adequada reacció al foc que faci la contribució mínima en la propagació del foc.

19. El *venteig* consisteix en l'alliberament de la pressió mitjançant els elements constructius dèbils, és la traducció de l'anglès *venting*.

20. Materials resistents al foc.

21. El Grup de recerca de risc i territori de l'Institut de Seguretat Pública de Catalunya està treballant en una guia on s'identifiquin i proposin línies d'actuació coherents i viables, harmonitzades amb la situació actual i que aconseguixin la participació dels agents implicats en la matèria.

de planificació urbanística al voltant dels establiments amb risc d'accident greu amb metodologia adient al seu cas particular. No és tan comuna la realització d'anàlisi de risc en el transport de mercaderies perilloses. L'anàlisi de risc és la base de la presa de decisions relacionades amb la planificació del territori. La no quantificació del risc amb metodologies adequades comporta una falta d'informació per a la presa de decisions que provoca judicis poc subjectius per la dificultat en la comparació de riscos de diferents situacions i en la implementació de millores fiables.

L'article 13 de la normativa Seveso III, que tracta sobre la planificació de l'ocupació del territori, atorga la responsabilitat als Estats membres de vetllar pels objectius de prevenció d'accidents greus i limitar les seves conseqüències per a la salut i el medi ambient amb polítiques d'ocupació del territori i altres polítiques necessàries. Per tal d'acomplir aquest objectiu proposa el control de: l'emplaçament de nous establiments, les modificacions d'establiments ja existents i les obres públiques noves que puguin ser afectades per les conseqüències d'un accident greu.

Les polítiques de planificació del territori a llarg termini proposen deixar unes distàncies adequades entre els establiments amb risc d'accident greu i zones d'habitatges, zones freqüentades pel públic, àrees recreatives, vies de transports i zones amb un interès natural particular o sensibles. Sempre que els establiments ja existeixin s'hauran de prendre mesures tècniques addicionals per no incrementar el risc per a la salut humana i el medi ambient.

Els procediments adequats per facilitar l'acció de les polítiques a seguir han d'estar basats en l'estudi dels riscos vinculats als establiments i d'un dictamen tècnic.

En termes d'emergències exteriors a establiments industrials o a infraestructures lineals de transport²² es defineixen dues zones d'afectació segons les possibles hipòtesis accidentals que també marcaran la planificació del territori en funció de la protecció de la població.

- a) *Zona d'intervenció*: zona en la qual les conseqüències dels accidents produeixen un nivell de danys que justifica l'aplicació immediata de mesures de protecció.
- b) *Zona d'alerta*: zona en la qual les conseqüències dels accidents provoquen efectes que, tot i ser perceptibles per la població, no justifiquen l'aplicació immediata de mesures de protecció, excepte per als grups de població crítics.

Aquestes dues zones s'acostumen a definir de forma circular al voltant dels establiments depenent de la distància respecte del lloc on poden succeir certs tipus d'accident.

22. Els plans especials vigents a Catalunya sobre accidents amb substàncies perilloses o amb el transport per carretera i ferrocarril de mercaderies perilloses són el PLASEQCAT i el TRANSCAT.

4.1.1 Establiments nous i canvis importants en establiments amb risc d'accident greu ja existents a Catalunya

L'establiment ha d'elaborar un informe de seguretat on es prevegin els escenaris accidentals associats a les seves instal·lacions.²³ El Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat emet un informe on es decideix concedir o no l'autorització ambiental. L'eina emprada per al control de la planificació del territori en establiments amb risc d'accident greu ja existents o els que han patit canvis importants és l'informe emès per aquest mateix Departament. En l'informe s'inclouen consideracions urbanístiques de planificació al voltant d'establiments amb risc d'accident greu, de manera que només és acceptable en el cas que es garanteixi la seguretat de les persones en les proximitats de l'establiment.

4.1.2 Adequació de la situació urbanística i creixements urbanístics compatibles amb la proximitat d'establiments amb risc d'accident greu a Catalunya

La situació urbanística al voltant dels establiments amb risc d'accident greu pot canviar a causa de modificacions en la planificació urbanística i, per tant, poden sorgir nous desenvolupaments urbans allà on inicialment no hi havia previsió. En aquest cas, les modificacions en l'ordenació territorial han de condicionar una nova estratègia urbanística en la qual hi hagi una compatibilitat de les noves activitats amb les ja existents.

4.2 PARÀMETRES DE DISSENY ARQUITECTÒNIC EN FUNCIÓ DEL RISC I ADEQUACIÓ DE LES ESTRUCTURES DELS HABITATGES

Les zones residencials o d'equipaments que estiguin en zones de risc poden incorporar en el seu disseny paràmetres que augmentin la seva resistència i seguretat en cas d'accident. És a dir, incorporar paràmetres que redueixin la vulnerabilitat. Es pretén estimular la utilització del risc com a paràmetre de disseny arquitectònic però sense donar el detall necessari que cal aplicar a cada situació particular.

4.2.1 Orientació dels habitatges respecte de la zona industrial

A l'hora de planificar la zona d'edificació d'un solar es tenen en compte paràmetres que són independents del risc a què estiguin exposats i de la distància a les zones industrials. La majoria d'habitatges es construeixen tenint en compte l'orientació solar, que suposa un estalvi energètic important però que no ofereix protecció en cas d'accident.

A part de les condicions meteorològiques (direcció i velocitat dels vents predo-

23. Segons criteris establerts en la normativa. Reial decret 1196/2003, de 19 de setembre, pel qual s'aprova la Directriu bàsica de protecció civil per al control i planificació davant el risc d'accidents greus en què intervenen substàncies perilloses.

minants, radiació solar i trajectòries de desplaçament), l'orografia i la topografia del terreny, s'ha d'introduir la potencialitat d'afectació per accidents en l'orientació de l'habitatge. A les façanes més afectades s'aplicaran modificacions en el seu disseny i, en el cas que l'edifici estigui construït, s'hauran de prendre mesures per minimitzar-ne els efectes.

Hi ha eines que permeten el càlcul de l'orientació òptima dels edificis amb la qual s'aconsegueixi la reducció de l'impacte que provoca la ona de sobrepressió.

4.2.2 Modificacions en el disseny de l'habitatge

Les façanes amb més probabilitat d'estar exposades a núvols tòxics, efectes de sobrepressions, radiació i projeccions de fragments hauran de tenir un disseny diferent de les que tenen poques possibilitats de patir aquests efectes.

En primer lloc, s'ha de procurar que l'habitatge tingui la màxima estanquitat. Una mesura en fase de disseny seria la minimització de finestres procurant tenir però la màxima il·luminació possible. Els vidres amb el màxim gruix possible i, si por ser, no practicables. Amb aquestes mesures es millorarà considerablement el confinament, hi haurà més protecció respecte dels fragments que s'hagin projectat i hi haurà una menor exposició del vidre a la sobrepressió. Com a millora addicional, les finestres haurien de ser resistents al foc, ja sigui el vidre o el conjunt de vidre i marcs, amb una resistència mínima al foc E-30.²⁴

D'altra banda, per millorar la resistència a la sobrepressió es poden aplicar tècniques de protecció clàssiques [Sans, 2009: 10-11] com són els supressors i el *venteig*. Quan l'habitatge pateix l'efecte de la sobrepressió, l'augment de pressió interna s'alleugereix amb la destrucció parcial dels tancaments no estructurals de l'edifici.

D'altra banda, els edificis de concurrència pública o d'alta ocupació disposen de zones de confinament segures definides en el pla d'autoprotecció de l'edifici. Es trien les sales amb més capacitat de confinament, és a dir, les menys exposades als focus de perill. Aquestes sales podrien també estar dissenyades des de l'origen aplicant els criteris de disseny mencionats anteriorment.

4.2.3 Material de construcció resistent i amb reacció al foc

És important que els materials utilitzats en la construcció tinguin una bona reacció i resistència al foc.²⁵ La resistència al foc és la capacitat d'un element de complir, durant un període de temps, l'estabilitat, l'estanquitat o la integritat al foc i fums, l'aïllament tèrmic i/o altres funcions exigibles, especificades dintre de la norma d'assaig. En canvi, la reacció al foc és la resposta del material quant a la

24. El CTE (Codi Tècnic en edificació) classifica els materials E-30 com els que conserven l'estanquitat i la resistència a l'acció del foc de trenta minuts segons la corba normalitzada UNE.

25. La classificació dels productes de construcció i elements constructius en funció de les seves propietats de reacció i resistència davant del foc es recull en el Reial decret 842/2013, de 31 d'octubre.

seva pròpia descomposició davant del foc al qual ha estat exposat, en condicions específiques.²⁶

Cal evitar la utilització de materials amb característiques de reacció al foc altes. En aquest cas, a causa de la radiació tèrmica i la projecció de fragments, els materials haurien de tenir una baixa temperatura d'autoinflamació.

S'utilitzen revestiments per protegir els elements estructurals de l'acció del foc i mantenir la capacitat portant de l'estructura davant de l'acció del foc. Amb aquest fi es poden utilitzar morters com la perlita, la vermiculita, llana de roca, materials ceràmics, etc. Es poden aplicar tant interiorment com exteriorment mitjançant la projecció mecànica de l'element.

També es poden utilitzar revestiments com les pintures o vernissos intumescents. Aquests eviten la propagació de calor perquè aïllen l'element a protegir ja que s'expandeixen amb la calor generada en l'incendi.

4.2.4 Infraestructures resistents

Són molts els paràmetres que influeixen en el disseny habitual d'un edifici per la gran quantitat de càrregues que l'afecten: les pròpies de la mateixa construcció, les característiques del terreny, la tipologia de l'edifici, els materials estructurals i no estructurals utilitzats, etc.

En cas que l'edifici estigui ubicat en una zona de risc caldria afegir als càlculs habituals les sol·licitacions provinents d'un possible accident. És per això que el disseny arquitectònic i estructural ha de considerar des de l'inici la possibilitat de patir conseqüències d'un accident.

4.3 CONTROL ESPECÍFIC DE L'ESTANQUITAT I VENTILACIÓ DELS EDIFICIS

En la inhalació de substàncies tòxiques el temps d'exposició i la concentració són els paràmetres claus que determinen les conseqüències negatives sobre la salut.

A la indústria, un cop hi ha hagut una fuga tòxica o inflamable s'ha d'intentar limitar el seu abast des de l'origen mirant de diluir-la al màxim i reduir la quantitat de producte que s'emet a l'atmosfera. Es poden utilitzar tecnologies que impedeixin la dispersió del núvol tòxic com ara les cortines d'aigua, que provoquen l'abatiment parcial del núvol ja sigui per dilució (entrada d'aire al núvol), dissolució (si és tracta d'una substància química soluble en aigua) o arrossegament físic del gas o vapor. Si l'abocament és un líquid també es poden emprar escumes semblats a les utilitzades en l'extinció contra incendis per a reduir l'evaporació.

Pel que fa a les persones sorpreses a la intempèrie, han d'intentar reduir al

26. Les definicions estan recollides en el CTE-DB-SI (Codi tècnic de l'edificació, document bàsic de protecció contra incendis), a la norma UNE-EN ISO 13943 de Vocabulari en Seguretat contra incendis, en la Llei 3/2010, del 18 de febrer, de prevenció i seguretat en matèria d'incendis en establiments, activitat, infraestructures i edificis.

màxim el temps d'exposició fugint en una direcció diferent, preferentment perpendicular, a la que segueix el plomall. D'altra banda, la protecció que ofereixen els edificis i, per tant, el grau de confinament, és essencial per limitar els efectes nocius a la salut. En confinament es redueixen gran part d'aquests efectes, sempre que la ventilació sigui pràcticament inexistent. Les solucions d'estalvi energètic són vàlides sempre que es pugui garantir una ventilació nul·la en el moment de la detecció de la fuga de substàncies perilloses. El mateix senyal d'alerta dels sensors (vegeu l'apartat següent sobre sistemes de protecció mitjançant barreres en el territori) pot activar automàticament el tancament del sistema de ventilació de manera que sigui rearmable manualment un cop passat el núvol.

El model ideal és el que utilitza paràmetres d'estalvi energètic extrem amb un sistema per controlar la ventilació. En el cas de fuga tòxica, s'haurien d'aturar els sistemes de renovació d'aire per aconseguir el major grau d'estanquitat possible.

El polígon industrial químic de Tarragona presenta una gran concentració d'empreses amb risc d'accident greu i un elevat flux de transport de mercaderies perilloses, per això hi ha moltes situacions de proximitat d'establiments industrials afectats per la normativa Seveso i zones urbanes no industrials. La comissaria de la Policia de la Generalitat-Mossos d'Esquadra de Tarragona ha aplicat algunes de les tècniques que s'han recollit en els últims apartats amb motiu de la seva proximitat al sector industrial: s'hi han incorporat paràmetres arquitectònics de resistència a explosions, també un control específic de l'estanquitat i ventilació de l'edifici mitjançant vidres resistents i el tancament automàtic dels sistemes de ventilació a partir de la validació de l'alarma detectada per sensors específics.

4.4 SISTEMES DE PROTECCIÓ MITJANÇANT BARRERES INTEGRADES EN EL TERRITORI

Si el conjunt d'actuacions preventives de planificació territorial i de disseny arquitectònic no són suficients per evitar situacions de convivència entre elements vulnerables i de perill, s'hauran d'adoptar sistemes de protecció alternatius com és la utilització de barreres físiques integrades en el territori.

La utilització de les barreres físiques no es limita només a reduir el risc en situacions ja produïdes sinó que poden ser utilitzades en la fase de planificació territorial per reduir les franges de seguretat.

Les franges de seguretat estan condicionades per la presència i el volum d'emmagatzematge que presentin les instal·lacions industrials. La Resolució IRP/971/2010, que presenta criteris aplicats a la prevenció dels riscos greus, dóna uns valors de franges de seguretat que es mostren a la taula següent.

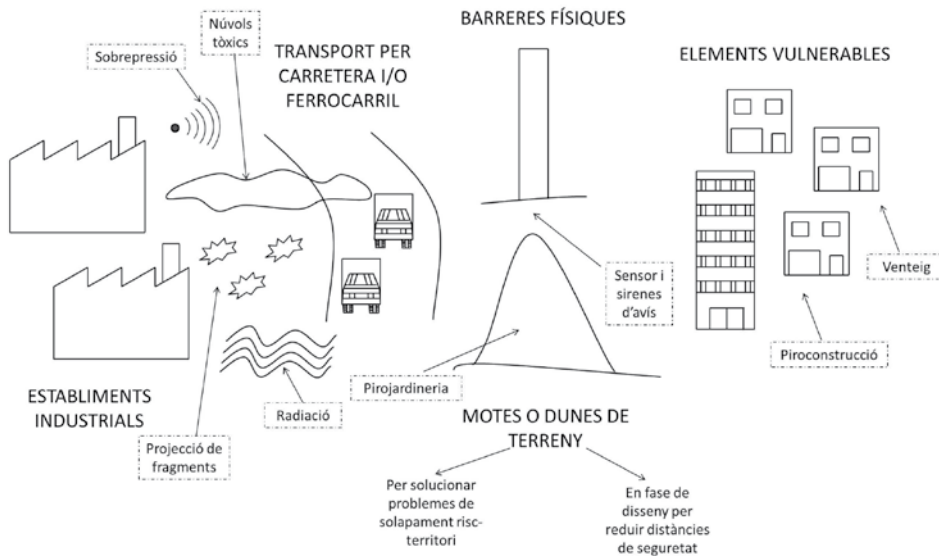
Taula 1. Resum de la franja de seguretat necessària segons la presència i el volum de substàncies perilloses.

Franja de seguretat	Instal·lacions industrials amb:	Transport amb flux representatiu de:
500 m	Alt volum d'emmagatzematge: – gasos del petroli (metà, butà i propà) – combustibles líquids derivats del petroli (querosè, gasolina i gasoil)	Mercaderies tòxiques que poden generar núvol de gran abast.
250 m	Gasos líquids inflamables (especialment gasos líquids de petroli). Substàncies que poden generar núvols inflamables, deflagracions o explosions. Substàncies que poden generar BLEVE. Substàncies tòxiques que no poden produir grans núvols tòxics.	Gasos líquids inflamables (especialment gasos líquids de petroli). Substàncies que poden generar BLEVE. Substàncies que poden generar núvols inflamables, deflagracions o explosions. Substàncies tòxiques que no poden provocar grans núvols tòxics.
100 m	Substàncies inflamables o molt inflamables que no poden generar núvols inflamables ni deflagracions.	
75 m		Mercaderies líquides inflamables o molt inflamables que no poden generar núvols inflamables ni deflagracions.
50 m	La resta de casos	

Actualment, tot i que l'emmagatzematge està regit per diverses normatives, una gran concentració de productes químics afegeix un increment en el risc, que es reflectirà en el disseny de les barreres. Les barreres de protecció han de suportar els fenòmens físics de radiació tèrmica i sobrepressió d'accidents provinents d'establiments industrials que manipulen substàncies perilloses i/o del transport de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril. Les barreres han de poder reduir l'estimació de distància fins a uns valors que permetin la mínima distància entre ambdós elements urbanístics en cas de ser necessari, tal com es mostra a la figura 2.

La Resolució IRP/971/2010 dona uns paràmetres de disseny que permetin suportar els fenòmens físics de la radiació tèrmica i sobrepressió. No només per la barrera física sinó també pels màxims admissibles després d'aquesta. Es fa un resum d'aquests valors a la taula 2. Cal tenir present que es continua necessitant un espai de seguretat que permeti la no afectació dels elements vulnerables protegits per la barrera física. Aquest espai de seguretat ha de considerar també l'avenç del núvol tòxic i la possible trajectòria dels projectils.

Figura 2. Resum de la problemàtica amb l'ús de barreres físiques com a mitjà de protecció.



Taula 2. Valors que han de suportar les barreres i dels màxims admissibles després d'aquestes barreres.

	La barrera ha de suportar	Després de la barrera, no es pot superar
Radiació tèrmica	37 kW/m ²	8 kW/m ²
Sobrepessió	350 mbar	60 mbar
Abast de la projecció de fragments	Majors	Menor

Si s'instal·len les barreres i compleixen aquestes característiques mínimes, les distàncies de seguretat es podran reduir i es podran apropar els establiments industrials a la població.

Taula 3. Reducció de la franja de seguretat mitjançant barreres físiques de protecció.

Valor inicial franja de seguretat	Valor final franja de seguretat
500 metres	250 metres
250 metres	100 metres
100 metres	75 metres

El disseny (material, forma, alçada, llargària o amplada, entre d'altres) i la ubicació exacta (distància amb l'establiment, orientació o altres) de l'estructura de protecció seran diferents per a cada cas particular. Les barreres físiques també podran ser per motes o dunes de terreny artificials que realitzin la mateixa funció.

Les barreres físiques es poden implantar de manera que s'eviti el contacte visual entre els elements vulnerables i les activitats industrials però no són un element de separació sinó que estan concebudes per a integrar de manera segura les zones industrials i les zones residencials. El concepte de barrera és el de corredor verd integrat en el teixit urbanístic de la ciutat. Aquest corredor verd pot integrar metodologies de pirojardineria²⁷ per reduir la probabilitat d'inici d'un incendi o la seva propagació si és afectat pels fenòmens d'un accident greu.

Juntament amb les barreres és recomanable la instal·lació d'una xarxa perimetral de sensors que detectin substàncies tòxiques. Els sensors químics transformen la informació química que els arriba en un senyal útil. Per a cada cas particular les substàncies químiques involucrades són conegudes i els sensors poden ser selectius exclusivament a aquestes. Les últimes línies d'investigació en el camp dels sensors apunten cap al concepte de nas electrònic capaç de detectar un ampli ventall de substàncies químiques. Els senyals d'alarma obtinguts per aquests sensors han de ser gestionats des de la indústria i han d'estar connectats a un centre receptor d'alarmes (CRA) que faci una comprovació amb la indústria per evitar falses alarmes. Un cop gestionat el senyal d'alerta, aquest hauria d'activar unes sirenes d'avís a la població. Tant amb els sensors com amb les sirenes s'han d'establir uns protocols de manteniment per tal de garantir la seva operativitat. Tot això integrat en el Pla d'autoprotecció fet d'acord amb el Decret 82/2010, de 29 de juny, pel qual s'aprova el catàleg d'activitats i centres obligats a adoptar mesures d'autoprotecció i es fixa el contingut d'aquestes mesures.

Pel que fa a les *metodologies de càlcul*, tot i estar recomanades per algunes normatives, no hi ha una guia on s'especifiqui una metodologia estandarditzada de disseny i càlcul de barreres físiques.

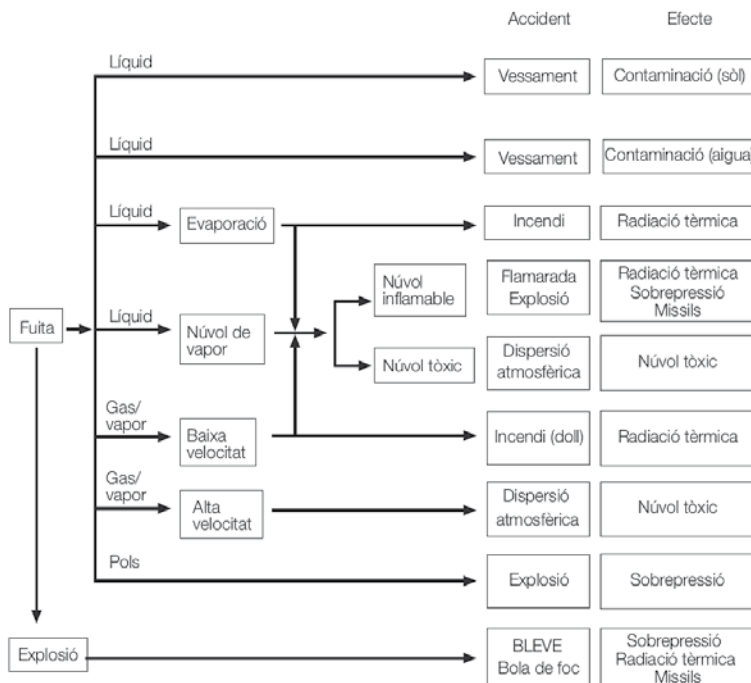
Els criteris a l'hora de dissenyar una barrera física depenen de les propietats i ubicació de les substàncies perilloses, de les propietats físiques i forma de la barrera i de la intensitat de les magnituds físiques i/o químiques que ha de ser capaç de suportar la barrera.

Els càlculs necessaris per a dimensionar les barreres físiques han de tenir en compte els diferents escenaris accidentals que poden provocar les substàncies perilloses utilitzades o emmagatzemades en l'establiment industrial. Els possibles escenaris accidentals estan determinats per l'estat físic de la fuita que inicia l'escenari accidental, és a dir, si es troben en estat sòlid (pols), líquid o gas (vapor). Els escenaris habituals són vessaments, incendis, explosions, dispersions atmosfèri-

27. La pirojardineria és una tècnica de disseny de jardins que empra espècies vegetals amb poca facilitat d'autoinflamació. S'encarrega de l'adequada distribució i estructura de les espècies per tal d'evitar que es produeixin altes intensitats de foc i que en el cas extrem que s'inflamin estiguin distribuïdes de manera que es faciliti la seva extinció.

ques i BLEVE.²⁸ Aquests accidents tindran uns efectes químics (núvols tòxics i/o contaminació), mecànics (ona de sobrepressió i projecció de fragments) i tèrmics (radiació) que seran els que hauran de ser utilitzats en el dimensionament de les barreres físiques. A la figura 3 es pot observar com pot evolucionar una fuga depenent del seu estat i condicions a les quals ha estat sotmesa.

Figura 3. Escenaris accidentals i possibles efectes d'una fuga.²⁹



Els mètodes de càlculs aplicats al dimensionament de les barreres físiques són els utilitzats en el disseny d'estructures resistents a explosions. No són adequades les metodologies de disseny d'estructures sotmeses a terratrèmols.³⁰

No hi ha documents específics que abordin el tema del disseny de barreres orientades a la protecció d'accidents de la indústria. Tot i això, sí que es poden trobar llibres i manuals orientats en el disseny d'estructures resistents als efectes de les explosions i dels fragments.

Caldrà, doncs, per a cada escenari accidental estudiar la projecció de fragments, la radiació tèrmica i la sobrepressió.

28. Una BLEVE, de l'anglès Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, és una explosió mecànica dels recipients a pressió, per la qual cosa hi ha un vessament sobtat a l'atmosfera d'una gran massa de líquid o gas líquid en estat de sobreescalfament [Casal et al., 1999: 176].

29. Figura publicada a la Revista Catalana de Seguretat Pública, núm. 23, p. 128.

30. Vegeu l'estudi de Manish Kumar de la University at Buffalo a la pàgina web <<http://www.acsu.buffalo.edu/~mkumar2/Research/Coursework/CIE500W/index.html>>.

4.4.1 Càlcul de l'accident: incendi

Per tal d'establir distàncies de seguretat i en el cas de les barreres saber quina és la radiació que ha de suportar. Hi ha diferents tipus d'incendi: incendi de basal, dard de foc, flamarada i bola de foc. Hi ha molts models que intenten estimar la radiació deguda als incendis. El més comunament utilitzat és el model del cos sòlid. Per la magnitud dels seus efectes, s'estudiarà el cas particular de la bola de foc.

a) Model del cos sòlid

Per a calcular els efectes tèrmics només es tindrà en compte la radiació. En el cas d'estar immers en l'incendi hi actuarien tant la convecció com la radiació. En el model del cos sòlid només es tenen en compte les parts de la flama que emeten radiació.

$$I = \tau \cdot F \cdot E$$

on I és la intensitat de la radiació (kW/m²), τ és el coeficient de transmissió atmosfèrica, F és el factor de vista i E és la potència emissiva de la flama (kW/m²).

La transmissivitat es calcula en funció de les característiques del medi i s'atenua pels efectes de l'absorció (deguda principalment al diòxid de carboni i al vapor d'aigua) i la reflexió del medi. La fórmula empírica més simple és la següent:

$$\tau = 2,02 \cdot (\overline{P_w} \cdot x)^{-0,09}$$

on $\overline{P_w}$ és la pressió parcial del vapor d'aigua (Pa) $\overline{P_w} = \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100}$, H_R és la humitat relativa i P_{sat} és la pressió de saturació del vapor d'aigua (Pa).

El factor de vista és la ràtio entre la radiació tèrmica emesa per la flama i la quantitat de radiació tèrmica rebuda per l'objecte que no està en contacte amb la flama. El factor de vista depèn de la forma i de la grandària de la flama, de la distància i la posició relativa entre la flama i l'element que rep la radiació tèrmica.

L'equació general [Casal, 2008: 78] que descriu el factor de vista és:

$$F_{A_1 \rightarrow A_2} = \oint_{A_1} \frac{\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2}{\pi r^2} dA_1$$

on θ_1 i θ_2 són els angles entre la normal a dA_1 i dA_2 respectivament i els vectors que uneixen dA_1 i dA_2 en radiants, A_1 és la superfície de la flama i A_2 és la superfície de l'objecte proper a aquesta.

La potència emissiva de la flama (kW/m²) és l'energia radiant emesa per unitat de superfície i unitat de temps.

Els càlculs del factor de vista per a diferents configuracions es pot trobar a la majoria de la bibliografia especialitzada en transmissió de calor o llibres d'anàlisi de risc amb les fórmules corresponents.

El poder emissiu E [Casal, 2008: 78] és pot calcular a partir de l'emissivitat i la temperatura de la flama:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_F^4 - T_A^4)$$

on ε és l'emissivitat, σ és la constant de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-11}$ kW m⁻²·K⁻⁴), T_F és la temperatura de la flama (K) i T_A temperatura ambient (K).

La dificultat en l'estimació de l'emissivitat ε i la temperatura de la flama T_F condueixen a l'estimació empírica del valor de E .

Aquest model s'ha d'aplicar de manera particular a cadascun dels diferents tipus d'incendi.

b) Cas particular: bola de foc

La bola de foc pot ser provocada per una explosió BLEVE sempre que aquesta tingui caràcter inflamable. En una bola de foc es genera una ignició immediata de tota la massa de combustible en un temps molt curt, fet que provoca grans radiacions tèrmiques als encontorns.

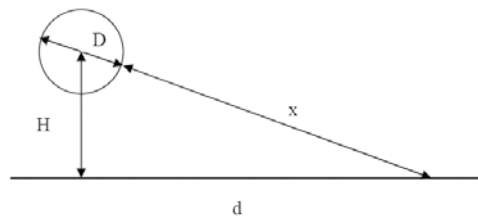
La radiació tèrmica de les boles de foc es poden calcular segons diferents correlacions que prediuen el diàmetre i la duració de la bola de foc a partir del combustible involucrat.

$$D = a \cdot M^b$$

$$t = c \cdot M^e$$

on D és el diàmetre en m, M la massa de combustible en kg i a , b , c , e són constants empíriques o semiempíriques que depenen de les correlacions realitzades pels diferents autors.³¹

Figura 4. Esquema amb els paràmetres d'una bola de foc: altura (H), diàmetre (D) i distàncies (x i d).



L'expressió més simple per al càlcul de la bola de foc és la següent [Casal *et al.*, 1999, 185]:

$$H = 0,75 \cdot D$$

31. Un recull dels valors proposats per diferents autors es troba a Casal *et al.*, 1999, 185.

El factor de vista F és entre una superfície esfèrica i una superfície plana normal a la radiació expressada amb la fórmula:

$$F = \frac{D^2}{4 \cdot r^2}$$

on D és el diàmetre de la bola de foc en m i $r = \frac{1}{2}D + x$ és la distància entre el receptor i el centre de la bola en m.

La intensitat de radiació de la flama (E) es pot calcular com:

$$E = \frac{f_r \cdot M \cdot H_c}{\pi \cdot D^2 \cdot t}$$

on M és la massa total de combustible en kg, H_c és la calor de combustió (kJ/kg), D és el diàmetre de la bola de foc en m, t és la duració de la bola de foc en s i, finalment, f_r és el coeficient de radiació, de difícil determinació i comprès segons diversos autors entre $0,13 \div 0,35$ i $0,24 \div 0,4$.

4.4.2 Càlcul de l'accident: explosió

Un dels manuals més complets i d'accés lliure és el creat per la UCF (Unified Facilities Criteria) on es fa un estudi exhaustiu de la construcció de barreres físiques de protecció que resisteixin l'efecte de les explosions.³² En aquest manual es donen criteris de disseny tant per a estructures d'acer com de formigó armat. Entre els diferents mètodes que hi ha per a calcular la sobrepressió com el del TNT equivalent o el mètode multienergia i altres programes que implementen equacions de conservació de la massa, el moment i l'energia, el document segueix una via clàssica utilitzant el mètode del TNT equivalent. L'estudi a l'hora d'establir el rang de disseny diferencia si és una gran explosió o una explosió menor ja que la càrrega generada sobre l'estructura no serà la mateixa i, a més, la projecció de fragments tindrà un abast diferent.

Hi ha autors [Crawford *et al.*, 2006] que proposen nous dissenys de barreres resistents a explosions amb resultats satisfactoris però que, seguint la línia d'aquest article, tenen en compte la integració estètica en el medi on han de ser instal·lats.

D'altra banda per evitar explosions també hi ha criteris de protecció [Bartknech, 1981] aplicables als equipaments per evitar que les explosions es propaguin en parts no protegides de la instal·lació.

Una explosió [Casal *et al.*, 1999: 153] és una alliberació sobtada d'energia que genera una onada de pressió que es desplaça allunyant-se de la font mentre dissipa energia. Per tant, cal estudiar l'ona de sobrepressió que serà la generadora de conseqüències tant per al propi establiment industrial (danys en els equips, estruc-

32. El document en anglès es pot consultar en línia a: <http://www.wbdg.org/ccb/DOD/UFC/ufc_3_340_02_pdf.pdf> (Consulta: 28 febrer 2014).

tures, treballadors...) com per a altres instal·lacions, infraestructures i habitatges veïns.

Hi ha dos tipus d'explosions segons si l'explosió es produeix en un espai confinat o no. Les explosions de vapors confinats (CVE)³³ poden ser molt destructives per a la instal·lació on s'ha produït l'explosió. Tot i això, els efectes exteriors són menors i, en canvi, la projecció de fragments és l'efecte indirecte més significatiu perquè es pot generar efecte dòmino provocant nous accidents. Les explosions de recipients ja siguin per detonació interna d'origen químic (provocats per reaccions fora de control) o per la generació de gasos tindran efectes similars als produïts per les CVE. El cas d'explosió de recipients per BLEVE es considerarà com un cas independent d'estudi per la complexitat i gravetat dels efectes. Les explosions de vapor no confinats (UVCE)³⁴ es deuen a la fuga d'un gas inflamable o d'un líquid a partir del qual es forma un núvol de gas. Entre les possibles casuístiques d'evolució del núvol ens interessa el cas on la ignició produeix també una ona de sobrepressió.

Les explosions poden ser deflagracions o detonacions. La diferència radica en la velocitat de l'ona de pressió en el medi sense reaccionar, subsònica en la deflagració i supersònica en la detonació.

Els paràmetres a trobar per tal de caracteritzar l'explosió són la sobrepressió ΔP (l'augment i descens de la pressió en el temps), la duració de les fases negativa t^- i positiva t^+ i l'impuls.

Per realitzar el càlcul de les explosions es poden fer servir els mètodes clàssics com el mètode del TNT equivalent i el mètode multienergia. En ambdós casos primerament es determinarà l'energia total involucrada en l'explosió i la part d'aquesta energia que s'inverteix en la generació de l'ona de sobrepressió; a continuació es determinarà la distància escalada, que depèn de l'energia de l'explosió i de la distància entre l'origen de l'accident i el punt que rep l'impacte de l'ona, i, finalment, la determinació de la sobrepressió i impuls a partir d'uns gràfics.

a) Mètode del TNT equivalent

El trinitrotoluen, o TNT, és un explosiu àmpliament utilitzat i estudiat. El fet que els seus paràmetres estiguin tabulats ajuda a predir els danys ocasionats per núvols de vapor a partir de la massa de TNT equivalent del núvol, és a dir, la que ocasionaria el mateix nivell de danys. La relació entre la massa de substància perillosa i l'equivalent TNT resulta de l'equació:

$$W_{TNT} = \alpha \cdot W_c \cdot \frac{\Delta H_c}{\Delta H_{TNT}}$$

on W_{TNT} és l'equivalent en kg de TNT de la substància estudiada, α és una constant de rendiment de la explosió, W_c és la quantitat en kg de la substància estudia-

33. CVE són les sigles en anglès de *confined vapour explosions*.

34. UCVE són les sigles en anglès de *unconfined vapour cloud explosion*.

da, ΔH_c és la calor de combustió de la substància estudiada en J/kg i ΔH_{TNT} és la calor de combustió del TNT ($4,6 \times 10^6$ J/kg).

Els paràmetres característics esmentats es calculen en un punt situat a una distància d respecte del lloc on hi ha hagut l'explosió mitjançant una sèrie de gràfiques. A les gràfiques aquest paràmetre de distància ve donat pel que s'anomena distància normalitzada, amb l'equació següent:

$$d_n = \frac{d}{\sqrt[3]{W_{TNT}}}$$

El paràmetre de rendiment de l'explosió α és el més difícil de determinar. Mitjançant l'estudi d'accidents s'ha arribat a la conclusió que el valor de 0,1 és molt conservador i es recomana [Casal *et al.*, 1999: 162] utilitzar valors entre $0,03 \div 0,04$, perquè la majoria d'energia despresada no és energia mecànica sinó energia lluminosa.

Com a criteri general,³⁵ es poden prendre els valors d' α depenent del grau de reactivitat: per substàncies molt reactives $\alpha=0,1$, per substàncies mitjanament reactives $\alpha=0,06$ i per substàncies poc reactives $\alpha=0,04$.

Aquest mètode ens posa en el pitjor dels casos possibles: el resultat serà una sobreestimació de la realitat ja que no tot el núvol es trobarà dintre dels límits d'inflamabilitat. D'altra banda, l'ona de sobrepressió de l'explosiu TNT i el d'un núvol de vapor és bastant diferent a distàncies curtes. Per tant, serà útil en els casos en què la distància és gran (com a criteri s'estableixen distàncies d'unes deu vegades el diàmetre del núvol [Casal *et al.*, 1999: 153]).

b) Mètode multienergia

En el mètode de multienergia es considera l'explosió del núvol de vapor com un nombre de subexplosions corresponents a les diferents fonts d'ignició del núvol, a diferència del mètode del TNT, que considera el núvol de vapor com una entitat.

Només una part del núvol inflamable genera l'ona de sobrepressió; la resta del núvol inflamable crema lentament, sense contribució significativa a l'explosió.

La càrrega generada per la combustió es considera que té una forma semiesfèrica amb radi R_0 que es calcula mitjançant l'equació següent [Casal *et al.*, 1999: 165]:

$$R_0 = \left[1,5 \cdot \frac{V_{\text{àrea confinada}}}{\pi} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Per trobar els paràmetres del model cal utilitzar gràfiques que depenen dels paràmetres i la distància normalitzada:

35. Annex 5. Tipus d'accidents i càlcul de magnituds, del Pla de protecció civil per accidents en el transport de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril a Catalunya (TRANSCAT); document revisat i informat favorablement el juny de 2013.

$$\bar{R} = \frac{R}{\left(E/P_0\right)^{\frac{1}{3}}}$$

$$E = \eta \frac{V_{\text{àrea confinada}}}{c \cdot \rho_f} \cdot \Delta H_c$$

$$\Delta \bar{P} = \frac{\Delta P_s}{P_0}$$

$$\bar{t}^+ = \frac{t^+ \cdot c_0}{\left(E/P_0\right)^{\frac{1}{3}}}$$

on R és la distància en m, \bar{R} és la distància normalitzada, E és l'energia alliberada a la combustió en J, c_0 és la velocitat del so en condicions normals m/s, P_0 és la pressió atmosfèrica en bar, ΔP_s és la sobrepressió en bar, ΔH_c és la calor de combustió de la substància estudiada en J/kg, t^+ és la durada de la fase positiva de l'ona de sobrepressió en s, \bar{t}^+ és la durada de la fase positiva adimensional.

El paràmetre d'energia inicial E és el més difícil de determinar en aquest cas. En cas que no sigui possible determinar-lo es llegeixen les gràfiques de manera més conservadora. És un mètode més conservador i amb resultats més reals que el mètode del TNT equivalent.

c) Cas particular d'explosió: BLEVE

La BLEVE és un tipus d'explosió física en què es donen unes condicions determinades (una pressió sobtada a l'interior del recipient, superació de la temperatura límit d'escalfament i la presència d'un líquid sobreescalfat) que originen l'ebullició en massa de la substància i la ruptura del recipient en grans trossos.

L'efecte tèrmic d'una BLEVE és la bola de foc, tot i que pot haver-hi BLEVE amb només efectes mecànics.

L'energia d'una explosió BLEVE es pot calcular mitjançant el mètode del TNT equivalent, tot i que cal modificar les equacions per a considerar l'expansió isentròpica del gas. També es pot afegir l'energia si el recipient contenia també líquid sobreescalfat. Un cop calculada la massa de TNT equivalent ja es pot calcular la distància normalitzada i aplicar les gràfiques normalitzades.

4.4.3 Càlcul de l'accident: projecció de fragments

En general ens trobarem amb dos tipus de fragments: els que vénen del trencament d'un recipient perquè l'energia de l'explosió es dona als fragments que es converteixen en míssils, i els que són impulsats per l'energia de l'ona de sobrepressió en el seu recorregut.

Per tant, la primera part del càlcul inclou una estimació de la velocitat inicial. Idealment els fragments seguiran una trajectòria parabòlica on el més difícil de determinar serà la velocitat inicial dels fragments i l'angle de la velocitat inicial sobre l'horitzontal. Per a calcular la velocitat inicial es poden aplicar diferents metodologies com considerar la força o pressió sobre el fragment, la transferència de moment al fragment o la transferència d'energia al fragment.

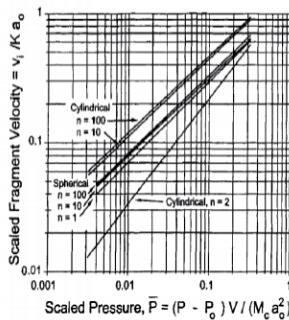
Pel que fa a l'angle de la velocitat inicial sobre l'horitzontal depèn de cada cas particular, com per exemple de la quantitat de fragments despresos. Un primer mètode aplicable, i el més conservador, és considerar que els fragments es projecten en totes les direccions. Tot i que la manera més raonable i eficient és adoptar com a angle de projecció aquell en què es troben els elements vulnerables.

De les metodologies aplicables, la de Moore (1967) és la més simple. Baker *et al.* (1983) va desenvolupar unes gràfiques a partir de l'estudi empíric.

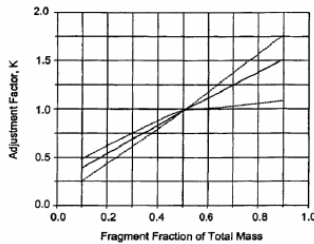
Taula 4. Algunes metodologies de càlcul de la velocitat inicial dels fragments (Moore, 1967; Baker *et al.*, 1983)

Tipus	Equació	Paràmetres
Recipients no pressuritzats Moore (1967)	$u_0 = 1,902 \sqrt{\frac{E \cdot G}{M}}$ $\text{Esfèrics: } G = \left(1 + \frac{3C}{5 \cdot M}\right)^{-1}$ $\text{Cilíndrics: } G = \left(1 + \frac{C}{2 \cdot M}\right)^{-1}$	u_0 velocitat inicial del fragment (m/s) C la quantitat continguda (kg) E energia (J) M massa del recipient (kg)
Recipient a pressió Moore (1967)	$u_0 = 2,05 \sqrt{\frac{P \cdot D^3}{W}}$	u_0 velocitat inicial del fragment (ft/s) P pressió del recipient (psig) D diàmetre del fragment (inches) M pes del fragment (lb)





Recipients
Baker *et al.* (1983)



\bar{P} pressió adimensional

\bar{u} velocitat adimensional

$$\bar{u} = \frac{u}{K \cdot a_0}$$

u velocitat del fragment (m/s)

P pressió de l'explosió (Pa)

P_0 pressió ambient (Pa)

V volum del recipient (m³)

M_c massa del recipient (kg)

a_0 velocitat del so (m/s)

$$a_0 = \left(\frac{T \cdot \gamma \cdot R_g}{M} \right)^{\frac{1}{2}}$$

T temperatura absoluta (K)

$\gamma = C_p / C_v$

R_g Constat de gas ideal
(8,314 J/kg·mol)

M Pes molecular

Un cop el fragment ha estat projectat seguirà una trajectòria en l'aire fins que impacti amb un altre objecte o contra el terra. La segona part del càlcul serà, doncs, l'estimació de la distància a la qual arriba el projectil.

El càlcul més conservador és considerar que l'angle de la velocitat inicial sobre l'horitzontal és 45° ja que és el que cobreix distàncies més grans.

$$r = \frac{u_0^2}{g}$$

on d és la màxima distància horitzontal en m, u_0 és la velocitat inicial m/s i g és la gravetat en m/s².

També hi ha mètodes que inclouen la massa d'explosiu [Kinney *et al.*, 1985] i que suggereixen una fórmula per estimar la distància de seguretat.

$$r = 120 \cdot W_{TNT}^{\frac{1}{3}}$$

on W_{TNT} és la massa de TNT equivalent en kg (vegeu apartat *Mètode del TNT equivalent*).

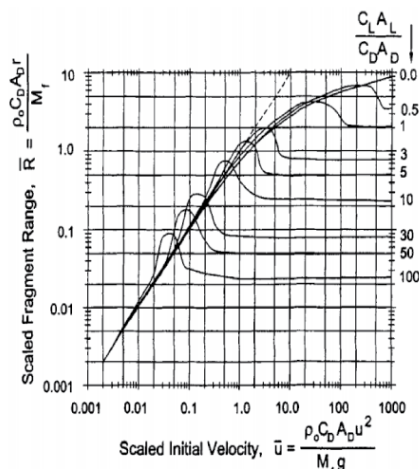
D'altra banda hi ha mètodes que consideren les forces fluidodinàmiques de l'aire: la força d'aixecament normal a la trajectòria i que s'oposa a la gravetat:

$$F_L = C_L \cdot A_L \cdot \frac{\rho \cdot u_0^2}{2}$$

i la força de fregament al llarg de la trajectòria

$$F_D = C_D \cdot A_D \cdot \frac{\rho \cdot u_0^2}{2}$$

Figura 5. Correlació entre la velocitat inicial i la distància adimensional [Baker et al., 1983].



on \bar{R} i \bar{u} són la distància i velocitat adimensional, r és la distància màxima, ρ_0 és la densitat de l'aire kg/m^3 , C_D és el coeficient adimensional de fregament (es proposen diferents valors depenent de la forma dels fragments [Baker et al., 1983] el coeficient agafa diferents valors), C_L és el coeficient adimensional d'aixecament, A_D és l'àrea exposada perpendicularment a la trajectòria en m^2 , A_L és l'àrea exposada perpendicularment a la trajectòria en m^2 , g és la gravetat en m/s^2 i M és la massa del fragment en kg .

4.4.4 Utilització dels paràmetres en el dimensionament de les barreres

Per tal de triar si l'element a instal·lar és un mur o una mota o duna de terreny s'ha de valorar per a cada cas en concret la separació entre l'establiment industrial o infraestructura i els elements vulnerables a protegir. Si la distància és gran, es podran construir motes o dunes amb talussos adequats i uns materials de construcció adients, en canvi, si hi ha una limitació d'espai, s'haurà de recórrer a la instal·lació d'un mur.

L'altura de la barrera, la llargada a cobrir i la resistència/estabilitat són els paràmetres que serveixen per fer el càlcul estructural que garanteixi la viabilitat arquitectònica de la barrera. Aquests depenen de l'abast màxim i l'altura màxima de vol

dels fragments, la radiació tèrmica, la sobrepressió (s'han indicat a l'apartat anterior o algunes de les metodologies disponibles de càlcul), i de la distància entre el focus de perill i els elements vulnerables a la qual s'ha d'instal·lar la barrera.

Per tal de seguir les recomanacions de disseny de la Resolució IRP/971/2010 (taula 2), la distància pot venir donada pel càlcul dels efectes als quals s'assoleixen aquests valors. Els resultats obtinguts seran diferents per a cada efecte calculat i s'haurà d'arribar a una solució de compromís on tots hi estiguin previstos. Pot passar que la distància calculada estigui en realitat ubicada en un solar on la construcció estigui restringida per vèries causes com la incompatibilitat d'usos, la no disponibilitat del solar, etc. Per tant, és possible que la distància sigui un paràmetre fixat des de l'inici, condicionat per restriccions urbanístiques.

L'altura de la barrera dependrà de la distància a la qual se'n planteja la instal·lació. Ha de ser capaç d'aturar la major part dels fragments projectats i fer de pantalla de la radiació emesa. L'ona de sobrepressió necessita una anàlisi més profunda per les interaccions que hi ha entre les ones de sobrepressió i la barrera, que provoquen ones reflectides que, interaccionant amb l'ona inicial, originen una sobrepressió addicional sobre la cara exposada de l'estructura. Per evitar que les ones es reflecteixin en totes les cares envoltant l'estructura es proposa la instal·lació de deflectors a la part superior de l'estructura que evitin que les ones sobrepassin la barrera física. La instal·lació d'aquests pot formar part d'un nou tipus de mobiliari urbà que uneixi el disseny amb la protecció. D'altra banda, les ones pateixen unes acceleracions en espais confinats que poden comportar efectes més greus dels esperats mitjançant càlcul numèric. L'altura de la barrera física no hauria d'excedir els 30 metres d'altura, per tal de no allunyar-se de l'objectiu d'integrar urbanísticament la barrera.

Són molts els paràmetres que estan implicats i és dependent de cada cas particular que s'haurà de seguir un procediment o un altre. És per aquest motiu que cal una anàlisi més profunda de la matèria per tal d'aconseguir integrar tots els paràmetres i casuístiques possibles.

5. CONCLUSIONS

La prevenció consisteix a evitar els accidents abans que passin i la protecció és el conjunt de tècniques que redueixen les conseqüències un cop han passat. Les mesures de prevenció i de protecció aplicables es regulen mitjançant reglaments tècnics imposats pels organismes reguladors. Hi ha molts mètodes de prevenció i protecció contra accidents i amb costos de disseny i d'implantació molt variables. És per això que no cal oblidar que la seguretat també es mesura en termes econòmics i que cal assolir finalment un compromís cost-benefici.

Esgotades aquestes mesures clàssiques, és quan el disseny de barreres físiques comença a tenir sentit, amb un estudi previ de cada cas i anant més enllà del compliment de la normativa. Les barreres físiques concebudes com a corredors verds de la ciutat són una solució econòmica, sostenible, d'ús públic i amb possibilitats d'integrar-se harmònicament en el teixit urbà de la ciutat i les zones industrials.

Per a dimensionar les barreres físiques i la distància a la qual s'han de situar cal tenir en compte tots els efectes possibles.

L'estat de l'art en simulació computacional permet abordar amb garanties els càlculs necessaris per dissenyar les barreres de protecció amb metodologies pres-tacionals. Per assolir-ho cal la implicació d'un equip pluridisciplinari que conegui els aspectes urbanístics, arquitectònics, socials i econòmics per al disseny de les solucions òptimes en cada cas, siguin projectes nous o situacions ja existents.

BIBLIOGRAFIA

- BAKER W.E. (et al.) *Explosion Hazards and Evaluation, of Fundamental studies in engineering*. New York: Elsevier, 1983.
- BARTKNECHT, W. *Explosions. Course, prevention, protection*. Berlin: Heidelberg, Springer-Verlag, 1981.
- CASAL, J.; MONTIEL, H.; PLANAS, E.; VÍLCHEZ, J.A. *Análisis de riesgo en instalaciones industriales*. Barcelona: Edicions UPC, 1999.
- CASAL, J. *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*. Amsterdam: Elsevier, 2008.
- CATALUNYA. «Instrucció 8/2007 SIE: Creixements urbans als voltants d'establiments afectats per la legislació d'accidents greus existents (criteris per a l'elaboració de l'informe previst a l'article 83.5 del DL 1/2005, de 26 de juliol, pel que s'aprova el text refós de la llei d'urbanisme de Catalunya)».
- CRAWFORD, J.E.; SHENGRUI, L. *Blast Barrier Design and Testing*. Structures Congress 2006: Structural Engineering and Public Safety, p. 1-10, 2006.
- DELGADO, S. *El risc com a paràmetre de les estratègies de planejament del territori* [en línia]. Treball final de màster, 2010. <<http://www.recercat.net/handle/2072/195752>> (Consulta: 28 febrer 2014).
- KINNEY, G.F.; GRAHAM, K.J. *Explosive Shocks in Air* [2a ed.]. Berlin: Springer Verlag, 1985.
- MIR, N. *Societat, Estat i Risc*. Barcelona: Beta Editorial, 1999.
- MOORE, C.V. «The Design of Barricades for Hazardous Pressure Systems». *Nuclear Engineering and Design*, vol. 5, 1, 1967.
- Revista Catalana de Seguretat Pública*. Generalitat de Catalunya. Institut de Seguretat Pública de Catalunya. «Risc i territori», núm. 23, novembre 2010.
- SANS, J. «Mites i realitats sobre les explosions accidentals». *Fulls dels Enginyers* (Col·legi Oficial d'Enginyers Industrials), núm. 259, p. 10-11, 2009.
- TOST, S. «Panorama de la seguretat industrial a Catalunya. El cas de la planificació del territori als voltants dels establiments amb risc d'accident greu». *Revista Catalana de Seguretat Pública*, núm. 19, novembre 2008, p. 103-131.