

TOLERABILITAT DEL RISC TECNOLÒGIC

JOAQUIM CASAL I FÀBREGA

Membre de la Secció de Ciències i Tecnologia de l'Institut d'Estudis Catalans
Professor de la Universitat Politècnica de Catalunya

SUMMARY

In an industrialized country, life is subjected to a set of technological risks (toxic clouds, explosions, ...) which did not exist before the industrial revolution. In this work, the importance of these risks is analyzed in the frame of the risks altogether –natural or artificial– which affect people. The social position versus this problem is commented, as well as the different tolerability criteria suggested. Taking into consideration the benefits originated by the activities which give rise to technological risk, some final conclusions are inferred.

INTRODUCCIÓ

Les societats industrialitzades gaudeixen d'una sèrie d'avantatges que han dut, entre d'altres coses, a una millora de la –denominació abusivament utilitzada actualment– “qualitat de vida”: s'ha posat remei a moltes malalties, s'han augmentat les comoditats, s'han fet els transports més ràpids i còmodes, s'han millorat les condicions de treball, etc. Com a resultat, la vida és menys dura ara que abans i l'esperança de vida ha augmentat considerablement. La civilització moderna ens ha dut a la utilització de més productes, més bons, en major quantitat, amb un consum de recursos sovint poc racional i abusiu i amb un creixement moltes vegades desordenat.

Aquest desenvolupament ha implicat alhora diversos aspectes negatius: contaminació de l'entorn i degradació del medi, esgotament o reducció notable dels recursos naturals, desequilibri en la distribució de la població.

Com un més d'aquests aspectes, la vida en una societat industrialitzada comporta una sèrie de riscos nous, abans inexistents, associats a diversos factors: generació d'energia, existència d'instal·lacions industrials, producció i emmagatzematge de residus, transport de substàncies perilloses. És tracta de riscos amb gran compensació social però no pas sempre prou controlats. El seu repartiment desigual en la societat, el desconeixement que la gent en té, així com el seu

caràcter moltes vegades espectacular, fan que un elevat percentatge de ciutadans tinguin la sensació de trobar-se sotmesos a un risc excessiu, més elevat que el que existia en temps passats.

El fet que tota aquesta temàtica sigui fàcilment manipulable, els seus aspectes socials i sociològics, així com la relació de molts dels factors abans esmentats amb un concepte tan delicat actualment com és el del medi ambient, fan que el risc tecnològic –en les seves diverses facetes– sigui avui de gran actualitat. De fet, si la societat vol anar cap a un desenvolupament sostenible, un dels aspectes que cal tenir en compte és la gestió del risc, com una manera més de salvaguardar l'home, les seves propietats i l'entorn.

Els diversos caires, tan tècnics com socials, d'aquest camp han originat un esforç que ha dut a una sèrie de tractaments qualitius i quantitius, agrupats en el que s'anomena usualment “anàlisi del risc”. Un apartat més en aquesta tasca ha estat l'establiment d'uns valors que delimitessin, d'alguna manera, el que podria considerar-se “risc acceptable” o, seguint una nomenclatura més moderna, “risc tolerable”. No tothom s'ha posat d'acord en el valor d'aquests límits ni tan sols en la conveniència de donar-los uns valors concrets. Aquest treball presenta de forma breu els principals conceptes relatius a aquest tema.

RISC

Han estat proposades diverses definicions del risc: “situació que pot conduir a una conseqüència negativa no desitjada d'un esdeveniment”, o bé “probabilitat de l'ocurrència d'un determinat perill potencial” (entenent per perill una situació física que pot provocar danys a la vida, als equipaments o al medi); o, encara, “conseqüències no desitjades d'una activitat donada, en relació amb la probabilitat que ocorrin”.

Un tractament rigorós del risc requereix una definició més precisa que en permeti la quantificació. Una definició que compleix aquesta condició, i que és emprada per molts professionals, és la basada en el producte de la freqüència prevista per a un determinat esdeveniment per la magnitud de les seves conseqüències; és a dir, $risc = freqüència \times magnitud \text{ conseqüències}$. Així, si un accident té una freqüència estimada d'una vegada cada cinquanta anys i les seves conseqüències s'estimen en un centenar de morts, el risc és de 2 morts/any. O, si l'accident –amb la mateixa freqüència– té com a conseqüències unes pèrdues avaluades en tres-cents milions de pessetes, el risc és de sis milions de pessetes per any.

Hi ha diverses maneres de classificar els riscos. Com a referència que s'utilitzarà posteriorment, és interessant citar la següent divisió dels riscos generals en tres categories:

Riscs de categoria A: són els inevitables i acceptats, sense compensació (per exemple, morir fulminat per un llamp).

Riscs de categoria B: són evitables en principi, però cal considerar-los inevitables si hom vol integrar-se plenament en la societat moderna (exemple: morir d'accident viatjant en avió o en automòbil).

Riscs de categoria C: totalment evitables, voluntaris i amb compensació (exemple: practicar un esport perillós).

També com a referència, i per a eventuais comparacions, és interessant conèixer una estimació del valor d'alguns riscos, tant extraordinaris com associats a la vida quotidiana; la Taula 1 en presenta uns quants (les dades són corresponents a la Gran Bretanya i als Estats Units). Cal tenir en compte que aquestes dades estadístiques, que apareixen sovint a la bibliografia, poden variar d'una font a l'altra, i que –com en totes les estadístiques– han d'interpretar-se amb un cert criteri. Si han estat elaborades de forma seriosa, però, l'ordre de magnitud sol ésser el mateix.¹ També cal notar que a la mateixa taula hi ha causes de mort de característiques totalment diferents: algunes, com per exemple la caiguda de meteorits o l'acció dels llamps, afecten d'una manera pràcticament igual tota la població d'un determinat país, mentre que altres –com viatjar en avió o en motocicleta– només afecten un determinat sector; d'altra part, a la taula hi ha fets que causen la mort sobtada i alhora d'altres que en realitat el que fan és reduir l'esperança de vida, i fets involuntaris i altres provocats voluntàriament: suïcidar-se no és pas realment un risc, sinó un acte voluntari.

Han estat proposats diferents paràmetres per a quantificar de forma breu i senzilla –però, indubtablement, incompleta– el risc d'una determinada activitat. Un dels més emprats és la FAR (de les inicials de *fatal accident rate*) o taxa d'accidents mortals. La FAR es defineix com el nombre d'accidents mortals després de 10^8 (hores x persona) d'activitat; aquesta quantitat equival, aproximadament, al nombre d'hores per persona treballades per un grup de 1000 treballadors després de tota una vida laboral. Comprèn només els accidents amb conseqüències immediates (convencionals, com per exemple l'electrocució o la caiguda des d'una bastida, i majors, com per exemple les explosions o els incendis) i no pas les malalties. La FAR resulta especialment adient per a l'estudi del risc laboral, bé que també s'aplica a altres riscos que afecten el públic en general.

Un paràmetre alternatiu és la freqüència d'accidents mortals, expressada en morts per persona i per any. Tot i que aquestes unitats, preses de forma estricta no tenen gaire sentit, cal tenir en compte que es tracta d'un paràmetre estadístic. Tant la FAR com la freqüència d'accidents mortals guanyen significat a mesura que creix la grandària de la mostra a la qual són aplicades.

La relació entre FAR i freqüència és senzilla. Per exemple, la FAR per a un treballador de la indústria química és de l'ordre de 5; per tant, per a un

1. Per exemple, dades d'Holanda donen els següents valors: mort fulminat per un llamp, 5×10^{-7} ; viatjar en avió, $1, 2 \times 10^{-6}$; ofegament per trencament de presa, 10^{-7} .

treballador que estigui exposat aproximadament 2000 hores/any, la freqüència serà:

$$5 \times 10^{-8} \times 2000 = 10^{-4} \text{ morts/persona any.}$$

TAULA 1. Relació de la mortalitat anual associada a diversos successos i activitats.

Activitat/succés	Mortalitat per any i per persona	
Caiguda de meteorits	6×10^{-11}	1 de 17000 milions
Explosions de recipients a pressió	5×10^{-8}	1 de 20 milions
Viatjar en avió	10^{-7}	1 de 10 milions
Fulminat per un llamp	10^{-7}	1 de 10 milions
Mossegada de serp verinosa	2×10^{-7}	1 de 5 milions
Viatjar en tren	5×10^{-7}	1 de 2 milions
Trencament de preses	10^{-6}	1 de 1 milió
Tornado (Midwest), terratrèmol (Califòrnia)	2×10^{-6}	1 de 500000
Ofegament	4×10^{-5}	1 de 25000
Atropellament per automòbil	5×10^{-5}	1 de 20000
Abús d'alcohol	$7,5 \times 10^{-5}$	1 de 13300
Suïcidi	10^{-4}	1 de 10000
Viatjar en automòbil	$1,7 \times 10^{-4}$	1 de 5900
Viatjar en motocicleta	10^{-3}	1 de 1000
Fumar (més de 20 cigarretes/dia)	5×10^{-3}	1 de 200

No cal dir que aquests dos paràmetres –dos nombres, en definitiva– contenen molt poca informació. Ara bé, resulten útils per a determinats estudis; per exemple, per a comparar el risc d'una sèrie d'activitats. Si hom vol conèixer de forma més acurada el risc d'una situació o activitat concretes, cal dur a terme una “anàlisi del risc”: mitjançant models físics/matemàtics i models de vulnerabilitat es preveuen quines serien les conseqüències de l'accident, i a continuació s'estima –amb tècniques adients, per exemple la de l'arbre de fallades– quina és la freqüència amb què probablement aquest tindria lloc.

En els estudis de risc a persones, i quan es parla del risc tolerable, és usual fer referència al risc a què es troba sotmès un determinat individu i, d'altra part, al risc col·lectiu, és a dir, aquell que, si es produeix, afectarà tot un grup de persones; el concepte de risc col·lectiu ha estat també aplicat a ecosistemes.

Sol entendre's per risc individual la probabilitat que una persona pateixi unes determinades conseqüències com a resultat de l'exposició a un o a diversos perills. Hi ha dues possibilitats: referir-se a l'individu sotmès al màxim risc, o bé prendre el risc individual mitjà. En ambdós casos, el risc individual varia notablement amb la posició, les característiques de l'individu, etc.; per exemple, el risc originat per la proximitat d'una planta química serà en principi més gran per a una persona que visqui a 100 m de distància que per a una

persona que visqui a 500 m. El risc per a un individu pot expressar-se de la següent manera:

$$r = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^n x_i f_i n$$

on x és nombre de morts per a un determinat tipus d'accident potencial, f , és la freqüència d'aquest accident, n és el nombre de tipus d'accidents potencials, i N és el nombre total d'individus sotmesos al risc.

El risc col·lectiu pot definir-se com la probabilitat per any que un grup de persones sigui víctima alhora d'un determinat accident. Per a ecosistemes, el risc col·lectiu és la probabilitat per any que un ecosistema pateixi unes determinades conseqüències com a resultat de l'exposició a un agent.

PERCEPCIÓ SOCIAL DEL RISC

Els sentiments d'una persona o d'un col·lectiu de persones enfrontats a un determinat risc depenen de múltiples circumstàncies, essent aquest de fet un camp més propi de psicòlegs i sociòlegs que no pas de tècnics; és per això que aquí aquest aspecte es tractarà de forma molt breu.

Entre els factors que afecten la posició de l'individu que es troba sotmès a un risc determinat, n'hi ha dos que juguen un paper fonamental: el coneixement/desconeixement de les característiques del perill en qüestió, i el fet que el risc es pateixi voluntàriament o no.

Molts dels riscos tecnològics són mal coneguts per la immensa majoria de la població; així, el perill que pot suposar la radioactivitat, una indústria química, un abocador de deixalles industrials o un oleoducte és sovint malinterpretat i a vegades magnificat per la ignorància o la mala informació. D'altra part, la majoria d'aquests riscos poden considerar-se imposats a la població, que no ha triat voluntàriament (o bé ha fet la tria sense saber-ho o forçada per les circumstàncies) viure o treballar prop del perill.

Aquests dos factors permeten classificar –de manera potser excessivament simple– els riscos en quatre categories des del punt de vista de percepció social: els voluntaris i coneguts, els voluntaris i desconeguts, els coneguts i involuntaris, i finalment els desconeguts i involuntaris (figura 1). Els riscos pertanyents a aquestes quatre categories són molt diferents entre ells, i la comparació entre elles no té pas gaire sentit.

Malauradament, molts dels riscos tecnològics es troben situats en el pitjor quadrant de la fig. 1, és a dir, es corren involuntàriament i són desconeguts o mal coneguts. Entre ells trobem els riscos originats per la proximitat de centrals nuclears i d'indústries químiques, probablement els més representatius en un

país com el nostre. Això dificulta evidentment la tolerabilitat per part de la societat i fa encara més necessària una bona gestió del risc en tots els seus aspectes (reducció, informació, mesures d'emergència, etc.).

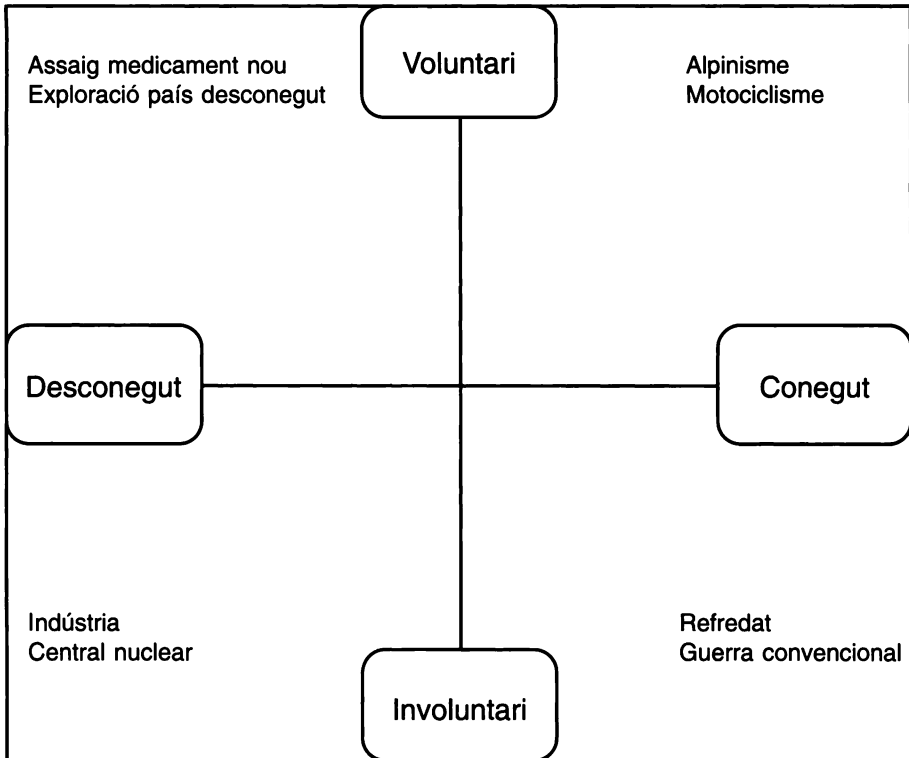


FIGURA 1. Factors que afecten la percepció del risc.

D'altra part, també cal tenir en compte que la societat tem més aquells accidents que representen un daltabaix social –la mort simultània d'un grup de gent– que no pas aquells que colpeixen individu a individu i afecten doncs de forma directa només un col·lectiu –la família– molt més petit. I això succeeix encara que el risc d'aquest accident individual sigui relativament més gran que el que afecta el grup; és a dir, encara que estadísticament es pugui demostrar que aquest risc individual provoca, una a una, al cap d'un cert temps, més víctimes que no pas l'altre, això no sol modificar el sentiment col·lectiu.

És interessant també observar que en els darrers anys ha augmentat la presència als mitjans informatius de referències a catàstrofes o grans accidents relacionats amb els riscos tecnològics. I és que, realment, hi ha hagut un augment del nombre d'accidents (motivat, entre d'altres raons, per l'augment del nombre d'instal·lacions i de la seva grandària). Concretament a la indústria química, un estudi dels 100 accidents més greus (accidents amb danys superiors als 30 milions de dòlars de 1989, amb les eventuals morts passades a diners en forma d'indemnització) ocorreguts entre 1957 i 1986 al món occidental dona el següent repartiment: 15 accidents en la dècada 1957-1966, 29 en 1967-1976 i 56 en 1977-1986. És a dir, el nombre de grans accidents s'ha doblat pràcticament cada 10 anys. Això ha contribuït a sensibilitzar la població i ha facilitat en molts casos el creixement de l'alarma i la por i, en definitiva del rebuig.

El rebuig o l'acceptació d'una determinada activitat estan supeditats a la imatge que aquesta ha adquirit als ulls de la societat. En el cas de les centrals nuclears, per exemple, la seva imatge ha estat fortament afectada per la por a l'accident. En el cas de la indústria química, hi intervenen dos factors: la pol·lució i el risc; pel que fa al primer, hi ha un cert efecte de "dilució" motivat per la problemàtica generalitzada de la contaminació, per la dispersió dels seus efectes sobre amplis sectors de la societat, i per la sensació –sovint falsa– que abans que aquests efectes arribin a ésser realment greus la situació serà realment controlada; tot i contribuir a la mala imatge de la indústria química, els seus efectes són en general menys aguts que els de la por al risc d'un accident.

RISCS MAJORS I CATÀSTROFES

Quins són aquests riscos? Els que preocupen més la població són els denominats "riscs majors"; es caracteritzen per l'alliberament, en temps molt curts, de grans quantitats d'energia o de productes perillosos, i per la seva capacitat de sobrepassar els límits de la instal·lació on ha ocorregut l'accident (fàbrica, central) i afectar per tant la població externa. Això equival doncs a una acció accidental o *aguda*, si la comparem a l'acció en règim estacionari o *crònica* de moltes indústries i centrals de producció d'energia (contaminació).

Com a més comuns d'entre aquests fenòmens deleteris podem esmentar les explosions, els incendis, els núvols tòxics, la dispersió de productes radioactius. Accidents com els de Seveso –les conseqüències del qual, val a dir, han estat sovint magnificades–, Els Alfacs, Ciutat de Mèxic, Bhopal (el pitjor accident ocorregut mai en una indústria química) o la gran explosió de gas natural esdevinguda fa quatre anys als Urals, en són bons exemples.

La Taula 2 és una llista dels principals accidents amb substàncies perilloses ocorreguts entre 1974 i 1988 (Smets, 1991); comprèn els accidents amb almenys 100 morts o 400 ferits o 35000 evacuats o 70000 persones sense aigua potable (informació procedent dels bancs de dades MHIDAS, FACTS, SEI i OCDE).

TAULA 2. Principals accidents implicant substàncies perilloses (1974-1988)

Lloc	Any	Nombre de morts	Nombre de ferits	Nombre d'evacuats	Substància
Yokkaichi, Japó	1974	0	521	0	clor
Cuemavaca, Mèxic	1977	2	500	2000	amoníac
Iri, Corea del Sud	1977	57	1300	0	explosius (T)
Els Alfacs	1978	216	200	0	propilè (TC)
Xilatopec, Mèxic	1978	100	200	0	butà (TC)
Three Mile Isl., EUA	1979	0	0	200.000	reactor nuclear
Mississauga, Canadà	1979	0	200	220.000	clor i propà (TT)
Novosibirsk, URSS	1979	300	?	?	productes químics
Sommerville, EUA	1980	0	418	23000	triclorur de fòsfor
Danaciobasi, Turquia	1980	107	0	0	butà (U)
San Juan, Brasil	1981	0	2000	0	clor
Montanas, Mèxic	1981	28	1000	5000	clor (TT)
Melbourne, Austràlia	1982	0	1000	0	butadiè
Tacoa, Veneçuela	1982	145	1000	40000	hidrocarburs
Nil, Egipte	1983	317	0	0	GLP (T)
Cubatao, Brasil	1984	508	?	0	gasolina (P)
S. Juan Ixhuatepec, Mèxic	1984	503	7000	60000	GLP
Bhopal, Índia	1984	2800	50000	200000	isocianat de metil
Romania	1984	100	100	?	productes químics
Miamisburg, EUA	1986	0	140	40000	àcid fosfòric
Txernòbil, URSS	1986	32	299	135000	reactor nuclear
Alexandria, Egipte	1987	6	460	?	instal·lacions militars
Shangsi, Xina	1987	0	1500	30000	adobs (aigua)
Piper Alpha, Mar del Nord	1988	167	?	0	petroli i gas
Tours, França	1988	0	3	200000	productes químics (aigua)
Guadalupe, Mèxic	1988	20	?	200000	petroli
Islamabad, Pakistan	1988	> 100	> 3000	?	explosius
Chiuaua, Mèxic	1988	0	7	150000	petroli
Arzamas, URSS	1988	73	720	90000	explosius (TT)
Sverdlovsk, URSS	1988	4	500	0	explosius (TT)
Sibanik, Iugoslàvia	1988	0	0	60000	adobs

T: accidents de transport; TC: carretera; TT: tren.

P: accidents en oleoductes.

U: accidents en utilització. Aigua: en distribució d'aigua potable.

En pràcticament tots aquests casos hom troba la presència d'un element desconegut per la majoria de la població (la formació i evolució d'un núvol "que mata", l'explosió i incendi de dipòsits de combustible amb la formació d'esferes de foc de dimensions insospitades), amb conseqüències a vegades molt greus (més de dos-cents morts als Alfacs; entre dos mil cinc-cents i tres mil a Bhopal, un miler als Urals) i, sovint, amb l'evacuació d'un nombre importants de persones.

Amb un origen diferent però amb algunes característiques semblants als denominats riscos majors, trobem els riscos de catàstrofes naturals (huracans, terratrèmols, etc.). És interessant fer-ne una comparació. La figura 2 permet de comparar el risc total provocat per l'home (grans accidents) amb el risc total degut a esdeveniments naturals; en abscisses s'ha representat la magnitud (M) de l'accident (nombre de víctimes), i en ordenades la freqüència d'esdeveniments (per any) amb magnitud igual o superior a M . Pot observar-se com, bé que per a magnituds baixes de les conseqüències, la freqüència és del mateix ordre en ambdues categories; a mesura que augmenta el nombre de morts la freqüència disminueix més ràpidament –en general– en el cas dels accidents causats per l'home.

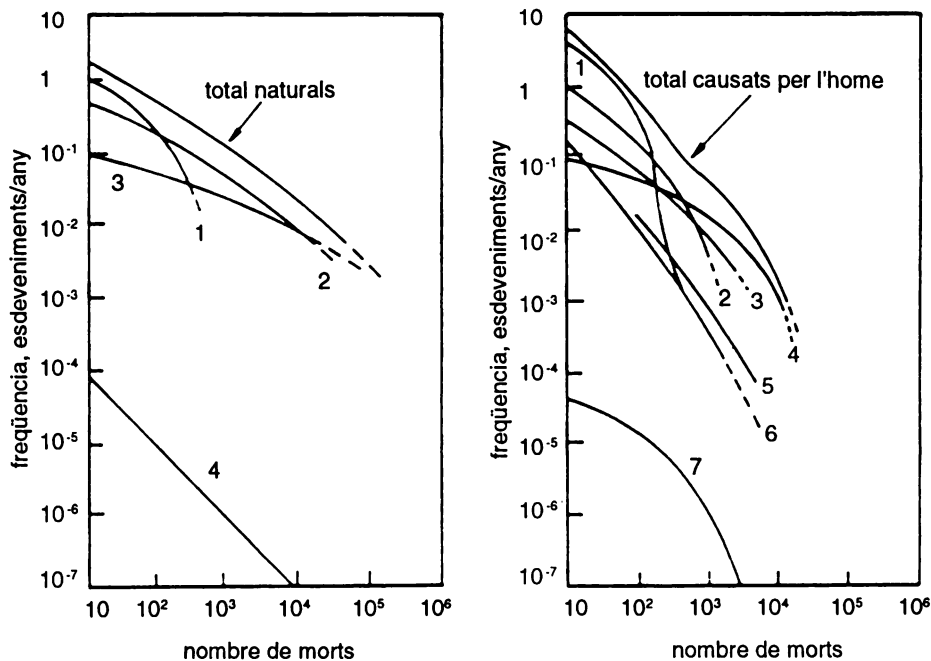


FIGURA 2. Risc de mort per grans accidents o catàstrofes. Naturals: 1) tornados, 2) huracans, 3) terratrèmols, 4) meteorits. Causats per l'home: 1) accidents aeris (total), 2) incendis, 3) explosions, 4) trencament de preses, 5) fugites de clor, 6) accidents aeris (persones a terra), 7) 100 centrals nuclears.

DOS CASOS SIGNIFICATIUS: L'INFORME RASMUSSEN I L'ESTUDI DE L'ILLA DE CANVEY

Entre tots els treballs duts a terme en la temàtica de l'anàlisi del risc tecnològic i de les seves conseqüències n'hi ha dos que tenen una especial importància per la contribució que han representat en el seu moment, i han quedat com a punts de referència obligada: l'Informe Rasmussen sobre el risc dels reactors nuclears i l'Informe sobre el risc de les instal·lacions petrolieres i petroquímiques de l'illa de Canvey.

L'Informe Rasmussen (o *Reactor Safety Study*) analitzà el risc derivat de la instal·lació de 100 reactors nuclears (prevista per a 1980) als Estats Units. L'estudi fou dut a terme al MIT, sota la direcció de N. C. Rasmussen, el 1972-1975. Es tractava d'estudiar la seguretat dels reactors nuclears per a avaluar el risc d'accidents potencials; s'hi dedicaren aproximadament 70 anys-home de feina, amb un cost d'uns 4 milions de dòlars. S'estudiaren les diverses modalitats d'accidents tant des del punt de vista de conseqüències (sortida de radioactivitat a l'exterior) com probabilístic (freqüència estimada per a cada tipus d'accident), tenint en compte l'error humà, la dispersió de núvols de gas, l'evacuació de població, etc. Finalment s'obtingué la relació entre la freqüència i la magnitud de les conseqüències dels accidents; aquesta funció es pot veure representada a la figura 2, juntament amb el conjunt d'accidents provocats per l'home (Atomic Energy Commission, 1975).

El cas de l'illa de Canvey fou diferent. Aquesta illa, situada a l'estuari del Tàmesi, té una població de l'ordre de 30.000 persones. A Canvey i a la veïna zona de Thurrock hi havia una sèrie d'instal·lacions industrials: refinaria, emmagatzematge de gasos líquats, terminals de descàrrega de vaixells, etc. Arran del projecte d'ampliació amb dues noves zones industrials el 1975, l'alarma s'entengué entre la població (un any abans havia ocorregut el greu accident de Flixborough, amb un impacte fort sobre l'opinió pública) que, dedicada bàsicament a activitats no industrials, no veié gaire clara la situació futura.

Com a resultat d'aquesta inquietud, es dugué a terme una anàlisi del risc i de com aquest afectava la població; és a dir, hom estudià com l'esperança de vida de la població era alterada per les noves instal·lacions. L'anàlisi posà de manifest un increment significatiu del risc. A continuació, doncs, el projecte fou modificat i se'n millorà la seguretat. Una segona anàlisi mostrà un risc molt inferior; per exemple, per a la zona més perillosa, el risc individual era de 25,7 (unitats: 1/10000 anys) per al projecte inicial i de 0,7 després de les modificacions. Aquests valors s'han comparat amb les mitjanes de Gran Bretanya en la corba de mortalitat de la figura 3.

Aquest cas representa doncs un bon exemple de com un projecte inicial, considerat en principi prou segur pels seus responsables, fou rebutjat per la població i sotmès per tant a una reconsideració que posà de manifest que era

aquesta població –que realment desconeixia els detalls del projecte i el nivell del risc– la que tenia raó.

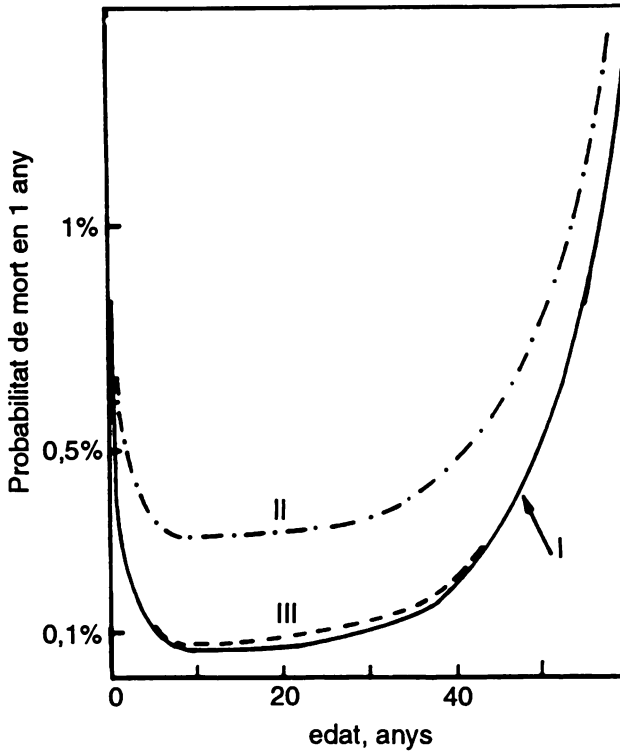


FIGURA 3. Corba de mortalitat: I) Valors mitjans a Gran Bretanya; II) Illa de Canvey (zona de més risc), projecte inicial; III) Íd., projecte modificat.

CRITERIS DE TOLERABILITAT

És evident que el “risc zero” no existeix i que cal doncs assumir uns determinats riscos. De fet, qualsevol individu n’és conscient i accepta periòdicament, si no constantment, un cert nombre de riscos a canvi de determinades compensa-

cions. Fins i tot s'accepten riscos amb una taxa de mortalitat relativament alta (per exemple, fumar, exercir determinats oficis o practicar certs esports) sense amoïnar-s'hi gaire. Ara bé, en molts d'aquests casos el risc s'accepta voluntàriament; és a dir, l'individu pensa que, d'una manera o altra, té un control del risc i que quan vulgui el podrà eliminar; d'altra part, es tracta generalment de riscos relativament ben coneguts o, almenys, amb els quals hom està familiaritzat.

La situació es complica, com s'ha dit abans, quan el risc no és voluntari i quan, a més a més, és desconegut. Nogensmenys, és un fet que els membres d'una societat industrialitzada com la nostra són conscients dels avantatges que representen la indústria química, la generació d'energia, etc.; això vol dir que paral·lelament, estan disposats a tolerar un cert risc addicional a canvi de gaudir de determinats avantatges de la vida moderna. El problema apareix quan el risc és realment massa elevat o quan un determinat sector de la societat considera que la quota de risc que li toca és massa alta. I aquí cal tenir en compte dues coses. En primer lloc, que és pràcticament impossible que el risc d'una determinada instal·lació —que, en principi, beneficia un ampli sector de la societat— es reparteixi uniformement entre tots els individus, per raons evidents de proximitat, geografia, etc. En segon lloc, que malauradament en un cert nombre de casos aquest sentiment de la societat està ben fonamentat i el risc és, realment, massa elevat.

És evident doncs que el control del risc i el manteniment d'aquest dins uns límits "tolerables" ha d'ésser forçosament un dels objectius del govern de qualsevol país, tot i tenint en compte que no es pot aspirar a tenir determinades instal·lacions sense acceptar un cert risc, i que finalment sempre queden alguns factors de control difícil o impossible (bé que no cal aspirar a controlar-ho tot: mentre escric aquestes ratlles sento per la ràdio que l'avaria elèctrica que ha deixat sense electricitat per unes hores la major part de Catalunya ha estat provocada per "un llamp incontrolat"!).

Tot i que és difícil i complex, s'han fet intents d'establir valors per al risc tolerable. Aquest és un terreny delicat, en el qual la unitat de mesura —la vida humana— fa que hi intervinguin alhora factors no només d'ordre pràctic sinó també d'ordre ètic i social. Tot això fa que pràcticament cap estat hagi fixat oficialment uns valors per al risc "tolerable", i no sembla pas que la tendència futura vagi per aquest camí. Només en un país, Holanda, i a títol experimental, s'han establert uns límits clars; en els paràgrafs següents s'exposen breument.

Per a accidents majors i situacions noves (fàbriques de nova construcció), el màxim valor permisible per al risc individual és a Holanda de 10^{-6} morts/persona-any per activitat (per exemple, viure prop d'una fàbrica); atès que una mateixa persona es pot veure afectada per diverses activitats, s'ha establert un altre límit per a activitats combinades: 10^{-5} /any. Per al risc col·lectiu, s'especifica que un accident amb 10 morts hauria d'ocórrer com a màxim una vegada cada cent mil anys; a més a més, a mesura que augmenta el nombre probable de víctimes disminueix corresponentment la freqüència: un impacte n vegades

superior a 10 morts hauria de correspondre a una probabilitat d'esdeveniment n^2 vegades més petita (figura 4). Pel que fa al risc negligible, es considera que és l'1% del risc màxim permisible; així, per al risc individual és de 10^{-8} /any per activitat i 10^{-7} /any per activitats combinades, i per a un accident que produís 10 morts és de 10^{-7} /any.

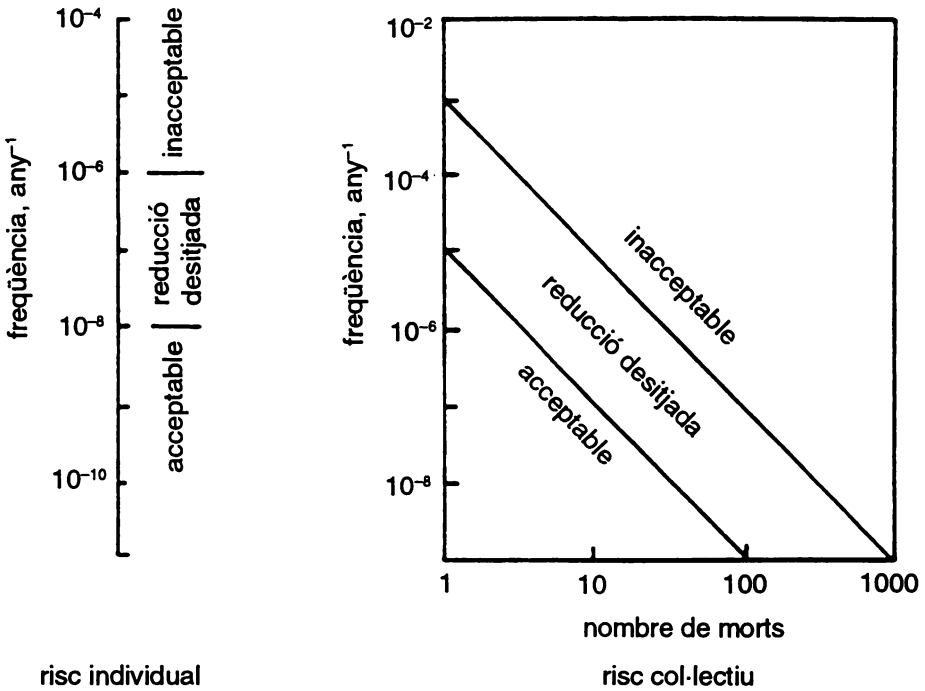


FIGURA 4. Límits de risc per a accidents majors a Holanda.

Per a situacions ja existents, se suposa que cal emprendre accions correctives si el risc individual és superior a 10^{-5} /any (10 vegades més gran que el màxim nivell de risc permisible).

Els valors relatius a instal·lacions industrials també són aplicables en principi al transport. Pel que fa al risc originat per substàncies mutagèniques, carcinogèniques, etc., el risc individual per substància és de 10^{-6} /any, i per a totes les substàncies combinades de 10^{-5} /any (risc negligible: 1%). El risc individual màxim permisible per a totes les radiacions s'estableix en 10^{-5} morts/persona.any.

El cas d'Holanda és però una excepció. Als altres països no s'han establert valors oficials. Existeixen nogensmenys diversos criteris que hom pot trobar a la literatura especialitzada, proposats per diferents autors. Molts d'ells segueixen la tendència d'establir el màxim risc de mort a què pot ésser exposat un individu. Un dels més acceptats actualment és el següent: el risc originat per la presència d'una instal·lació ha de ser prou baix per a no incrementar significativament el risc preexistent de categoria A. Ha estat proposat el valor de 10^{-7} morts per persona /any (que correspon a un FAR de 0,001); aquest és aproximadament el risc de morir per la mossegada d'una serp veninosa o fulminat per un llamp (bé que aquestes dades varien lleugerament, en funció del tipus de societat, hàbits, etc.; vegeu la Taula 1).² També ha estat proposat –be que amb menys acceptació– el valor 10^{-6} morts/persona any; a títol anecdòtic, la Taula 3 mostra diverses activitats amb un risc individual de 10^{-6} (aquesta informació és de fet una extrapolació de dades estadístiques, i expressada tal com apareix a la taula no és tanmateix gaire significativa).

TAULA 3. Activitats amb risc individual de 10^{-6} morts/persona any

Fumar 1,5 cigarretes
Treballar 1 h en una mina de carbó
Viure 2 dies a Nova York
Volar 1500 km
6 min de piragüisme en aigües turbulentes

A Gran Bretanya, el Health and Safety Executive (HSE, 1988) ha proposat els següents valors més alts: a) el risc individual de mort per a una persona de la població és inacceptable si és més gran que 1×10^{-5} per any, i negligible si és més petit que 1×10^{-6} per any; b) per al risc col·lectiu, un accident d'una instal·lació nuclear que ocasioni 100 morts a una freqüència de 5×10^{-6} per any estaria en el límit de la tolerabilitat. La filosofia essencial del HSE, però, és la corresponent al principi ALARA (*As Low As Reasonably Practicable*) és a dir, cal fer tot el que sigui raonablement practicable per a reduir el risc.

Han estat suggerits també altres criteris, basats en raonaments diversos i a vegades molt criticats. Per exemple, hi ha qui ha proposat augmentar el valor del risc tolerable per a tenir en compte el fet que, gràcies a la indústria i a la generació d'energia, l'esperança de vida mitjana als països industrialitzats està creixent actualment a raó d'aproximadament 0,05 anys/any; a la figura 5 es poden veure dades corresponents a Catalunya (Pujades, 1982) i a diversos països (Barrachina *et al.*, 1990). Això implicaria que als països en què l'esperança de vida està creixent de pressa hom podria tolerar un nivell de risc més alt. Altres tractaments han estat

2. A Catalunya, el nombre de morts per mossegada d'escurçó és d'1 per any, i a l'estat espanyol de 3-7. Això dona uns valors de la FAR de 0,0019 i de 0,0001-0,002, respectivament.

basats en criteris de tipus econòmic, és a dir, establir quina és la màxima quantitat de diner que seria raonable gastar per part de la societat per a evitar una mort. Això s'ha fet segons l'estimació de la futura producció o servei de l'individu, o bé segons l'estimació del valor que l'individu, conscientment o inconscientment, dóna a la seva pròpia vida; hi ha diferents formes d'estimar aquest valor: per exemple, hi ha qui s'ha entretingut a fer-ho tenint en compte la probabilitat de morir atropellat en travessar un carrer a una gran ciutat (10^{-8}) i el temps mitjà que s'invertiria en anar a cercar el pas de peatons amb semàfor més proper.

Pel que fa al valor econòmic que es pot atribuir a la vida humana, en un estudi recent Ives *et al.* (1991) suggereixen el valor de 1.590.500 £ (£ 1990) com a resultat d'una àmplia revisió dels valors i criteris proposats; el mateix estudi dóna com a valors raonables la gamma compresa entre 200.000 £ i 3.000.000 £ (£ 1990). Aquests autors esmenten també les notables dificultats implicades per la utilització d'aquest concepte: problemes ètics (totes les vides valen igual, o s'han d'avaluar en funció de l'edat?), problemes culturals, etc.

Un altre exemple de criteri econòmic és el donat per Smets (1991) en relació amb el desplaçament de població sotmesa a un risc massa elevat. Aquest autor ha suggerit l'establiment de valors a partir, per exemple, del risc de morir d'un accident domèstic (4×10^{-4} per any i persona, a França). Smets proposa el següent cas: admetent per a la vida humana un valor de 20×10^6 FF (és a dir, 10 vegades l'utilitzat per l'administració francesa de carreteres), llavors el "valor monetari" del risc individual per a una casa de cinc persones és:

$$15 \times 20 \times 10^6 \text{ FF} \times 5 \times \text{IR}$$

on IR és el risc individual i el factor 15 representa el valor actual del risc unitari per a un període de 30 anys amb una velocitat de reducció del 6%. Si el cost net de desplaçar 5 persones a un altre habitatge és de 300.000 FF (cost del desplaçament més diferència de valor de les cases), el desplaçament d'aquesta família tindria sentit econòmic si

$$15 \times 20 \times 10^6 \text{ FF} \times 5 \times \text{IR} > 300.000 \text{ FF}$$

és a dir,

$$\text{IR} > 2 \times 10^{-4} \text{ any}^{-1}.$$

Tots aquest valors corresponen, és clar, al risc a què es troba sotmesa la població externa, és a dir, la que no treballa en una determinada instal·lació sinó que hi viu a prop. Per als treballadors, el nivell de risc tolerable es considera que pot ésser més alt: han escollit voluntàriament –almenys fins a cert punt– treballar-hi, hi estan exposats menys temps i, d'altra part, reben una compensació directa que la resta de la població no té.

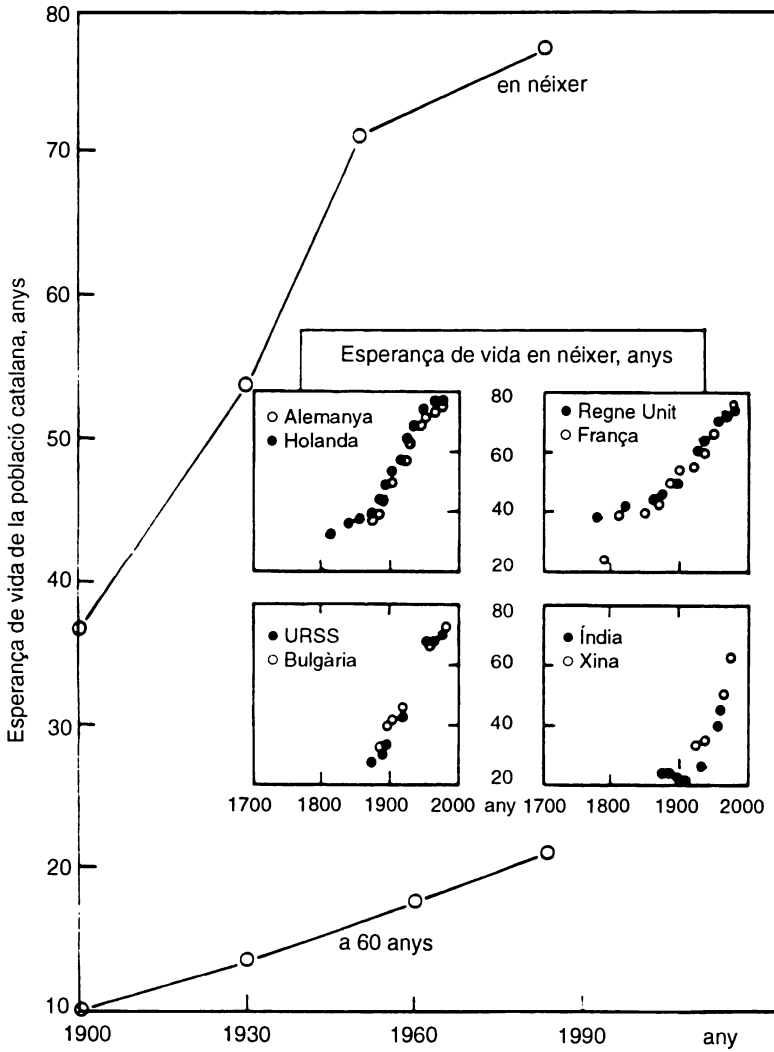


FIGURA 5. Evolució de l'esperança de vida.

Per a la població interna s'ha suggerit com a risc tolerable el corresponent al menor valor existent de la FAR. Per a la indústria química, el risc tolerable actual seria doncs el corresponent a una FAR = 4 (valor corresponent a Gran Bretanya). Amb això es pretén el següent: si tothom fa un esforç per a assolir aquest valor, en algun moment algun col·lectiu el sobrepassarà i arribarà, per exemple, a 3,9; a partir d'aquest moment, aquest serà el nou risc tolerable. Així, aplicant aquest criteri, s'anirà incrementant progressivament la seguretat del sector.

En el que s'ha exposat fins ara no s'ha tingut en compte que el risc global a què està sotmès un individu depèn de factors socio-econòmics; és a dir, depèn estadísticament del seu nivell d'ingressos (figura 6) (Kuzmin *et al.*, 1991). Estretament relacionat amb això hi ha el fet que l'esforç econòmic que la societat ha de fer per a reduir el risc (o, dit en altres paraules, per a incrementar l'esperança de vida) creix cada vegada més a mesura que augmenta el nivell de vida, en una clara manifestació de la llei de rendiments decreixents.

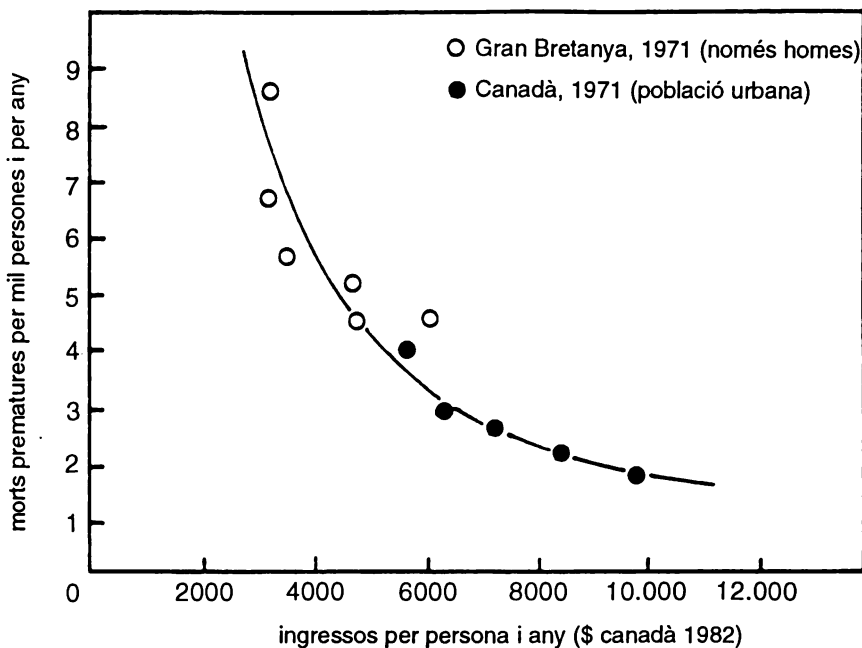


FIGURA 6. Variació de la mortalitat en funció del nivell mitjà d'ingressos.

A Catalunya i a l'Estat espanyol s'està aplicant actualment la denominada "directriu Seveso" de la CEE (82/501/CEE) sobre "... els riscos d'accidents importants relacionats amb determinades activitats industrials" (Real Decreto 886/1988, BOE de 5 d'agost de 1988; Ordre de 13 d'abril de 1989, DOGC de 24 d'abril de 1989). Constitueix sens dubte l'esforç legislatiu més important dut a terme a la majoria dels països de la Comunitat Europea per a fer front als riscos majors, i ha representat un avanç molt important tant en la metodologia com en la filosofia amb què es tracta el problema dels riscos tecnològics. Aquesta directriu no inclou cap valor concret per al risc tolerable, sinó que estableix un marc legal per a facilitar a l'administració el control del risc originat per les instal·lacions industrials; contempla la utilització del conjunt de metodologies denominat "anàlisi del risc", i arriba fins i tot en determinats casos a l'aplicació de l'avaluació probabilística (estimació de la freqüència probable de l'accident). En conjunt és una eina molt bona i segons l'ús que se'n faci pot representar un important pas endavant en la tasca obligada de controlar el risc.

UN MÈTODE SIMPLIFICAT PER A L'ESTIMACIÓ DEL RISC

Una anàlisi exhaustiva del risc és indubtablement el millor sistema per a establir quin és el risc en una determinada situació i si aquest és tolerable o no. Aquest mètode té l'inconvenient, però, d'ésser relativament complex i car, i de requerir força temps de personal especialitzat. És per això que han estat proposats altres mètodes, molt més senzills, per a fer estimacions més simples, que puguin servir per a comparar situacions o per a posar de manifest la conveniència d'emprendre determinades accions o adoptar mesures adients. A continuació, a títol d'exemple, s'exposa breument el sistema basat en la determinació del "nombre de risc" HRN (*Hazard Rating Number*) (Steel, 1990).

TAULA 4. Estimació del risc i nivells d'acció a emprendre.

Risc	HRN	Pla d'acció per a la gestió
Risc "tolerable"	0-1	Acceptar el risc/considerar possibles accions
Risc molt baix	1-5	Actuar en 1 any
Risc baix	5-10	Actuar en 3 mesos
Risc important	10-50	Actuar en 1 mes
Risc alt	50-100	Actuar en 1 setmana
Risc molt alt	100-500	Actuar en 1 dia
Risc extrem	500-1000	Actuar immediatament
Risc intoilerable	> 1000	Parar l'activitat/eliminar el perill

Aquest mètode simplificat es basa en els quatre factors següents, als quals s'atribueix en cada cas un valor comprès dins la força indicada:

1. Possibilitat d'exposició al perill (valor comprès entre 0 = impossible i 15 = cert).
2. Freqüència de l'exposició al perill (de 0,1 = no freqüent, a 5 = constantment).
3. Nombre de persones sotmeses al risc (d'1 = 1-2, a 12 = 50 o més persones).
4. Màxima pèrdua probable (de 0,1 = esgarrinxada o morat, a 15 = mort).

El producte d'aquests quatre factors dóna el valor de l'HRN; les corresponents categories de risc es poden veure a la Taula 4, així com les accions del pla d'acció adient.

CONSIDERACIÓ FINAL

Un article com aquest pot fàcilment caure en un dels dos paranys següents: el de la denúncia indiscriminada del risc intolerable al qual la nostra societat està exposada per culpa de la indústria, les centrals de producció d'energia, etc., o, en l'altre extrem, el de la defensa aferrissada de totes aquestes instal·lacions i de tot allò que, tot i implicar un cert risc, tant aporta al progrés tecnològic i –per tant– al progrés de la humanitat.

Em sembla més interessant adoptar una postura raonable que tingui en compte alhora tots els pros i contres continguts al paràgraf anterior.

És veritat que determinades instal·lacions impliquen un cert risc, a vegades massa elevat. També és veritat, però, que la nostra societat consumeix profusament els productes que ens ofereix la indústria –moltes vegades malbaratant-los– així com grans quantitats d'energia. Necessitem la indústria i necessitem l'energia; per tant, hi hem de conviure. Certament, no podem imaginar-nos la nostra civilització, la nostra cultura i, en definitiva, la nostra societat, sense totes aquelles instal·lacions que, malauradament, són les que de tant en tant provoquen greus accidents.

És possible, però, tenir-ho tot. Només cal fer l'esforç necessari per a aconseguir que totes aquestes instal·lacions siguin prou segures. I això és feina tant dels que exploten les fàbriques i centrals, que certament disposen de metodologies per a aconseguir reduir el risc fins a nivells tolerables, com de l'administració, que ha d'ésser l'encarregada de controlar el procés; paral·lelament, la societat ha de fer pressió sobre uns i altres per a aconseguir que la situació no deixi de millorar. L'aiguabarreig d'aquestes accions té com a resultat l'assoliment d'un risc tolerable. Si això implica un cert cost addicional, la societat pot assumir-lo sense gaires problemes tenint en compte el marge que ofereix la racionalització en la utilització de recursos. En tot cas, hom pot tenir la seguretat que la inversió es rendible atès el cost dels accidents i, sobretot, la seva repercussió sobre la salut i la vida.

REFERÈNCIES

1. ATOMIC ENERGY COMMISSION, 1975. *Reactor Safety Study. An Assessment of Accident Risks in U. S. Commercial Nuclear Power Plant*. Rep. WASH 1400. Washington D. C.
2. BARRACHINA, M., et al., 1990. *El libro de la energia*. Forum Atómico Español. Madrid.
3. COX, S. J., i TAIT, N. R. S., 1991. *Reliability, Safety and Risk Management*. Butterworth-Heinemann. Oxford.
4. HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 1978. *Canvey: an Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area*. HMSO, Londres.
5. HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 1988. *The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations*. HMSO. Londres.
6. IVES, D., THIEME, M. i KEMP, R. V., 1991. The statistical value of life and safety assessment. *Proc. 3rd Conference of S. R. A.*, HUBERT, P. i POUMADÈRE, M., eds. París.
7. KUZMIN, I. I., PROTSENKO, A. N. i ROMANOV, S. V., 1991. Safety and economy: the concepts of environmental parity. *Proc. 3rd Conference of S. R. A.*, HUBERT, P. i POUMADÈRE, M., eds. París.
8. LOVATI, A., i LOVATI, A., 1984. *L'analisi del rischio*. EPC. Roma.
9. PICCININI, N., 1985. *Affidabilità e sicurezza nella industria chimica*. Societat Catalana de Ciències Físiques, Químiques i Matemàtiques. Barcelona.
10. PUJADES, I., 1982. *La població a Catalunya: anàlisi espacial de les interrelacions entre els moviments migratoris i les estructures demogràfiques*. Tesis doctoral. Facultat de Geografia i Història. Universitat de Barcelona.
11. SMETS, H., 1991. Social constraints of tolerable risks near a hazardous installation. *Proc. 3rd. Conference of S. R. A.*, HUBERT, P. i POUMADÈRE, M., eds. París.
12. STEEL, C. *Risk Estimation*, 1990. The Safety and Health Practitioner, juny, 20.

(Original rebut per a publicació
el dia 1 de setembre de 1994)