

Director del capítulo
Pier Alberto Bertazzi

Sumario

Catástrofes y accidentes mayores <i>Pier Alberto Bertazzi</i>	39.2
Preparación para las catástrofes <i>Peter J. Baxter</i>	39.15
Actividades posteriores a las catástrofes <i>Benedetto Terracini y Ursula Ackermann-Lieblich</i>	39.20
Problemas relacionados con el clima <i>Jean French</i>	39.23
Avalanchas: riesgos y medidas de protección <i>Gustav Poinstingl</i>	39.26
Transporte de materiales peligrosos: sustancias químicas y radiactivas <i>Donald M. Campbell</i>	39.29
Accidentes por radiación <i>Pierre Verger y Denis Winter</i>	39.32
Salud en el trabajo y medidas de seguridad en áreas agrarias contaminadas por radionuclidos: la experiencia de Chernóbil <i>Yuri Kundiev, Leonard Dobrovolsky y V. I. Chernyuk</i>	39.42
Estudio de caso: el incendio de la fábrica de juguetes Kader <i>Casey Cavanaugh Grant</i>	39.45
Consecuencias de las catástrofes: lecciones desde una perspectiva médica <i>José Luis Zeballos</i>	39.49

● CATASTROFES Y ACCIDENTES MAYORES

Pier Alberto Bertazzi

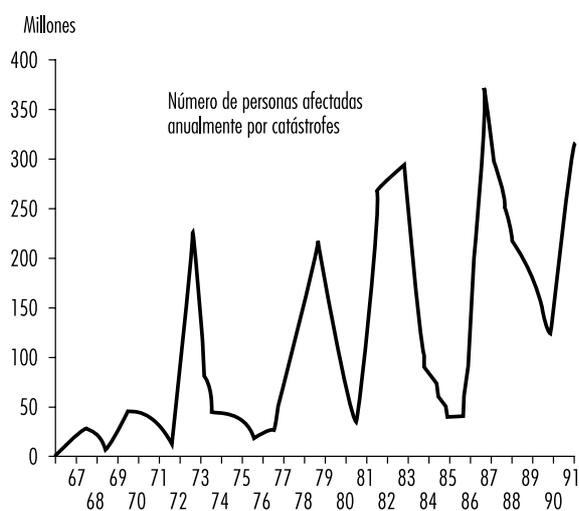
Tipo y frecuencia de las catástrofes

En 1990, la 44 Asamblea General de las Naciones Unidas consagró la década para la reducción de la frecuencia y el impacto de las catástrofes naturales (*Lancet* 1990). Una comisión de expertos aprobó la siguiente definición de catástrofe: "Trastorno del ecosistema humano que desborda la capacidad de la comunidad para continuar con su funcionamiento normal".

En las últimas décadas, los datos mundiales sobre catástrofes ponen claramente de manifiesto la existencia de una estructura común a todas ellas que se caracteriza por dos rasgos fundamentales: el aumento del número de personas afectadas y la presencia de una correlación geográfica (Federación Internacional de las Sociedades de la Cruz Roja y la Medialuna Roja (IFRCRC) 1993). En la Figura 39.1, a pesar de la enorme variación existente entre unos años y otros, es clara la tendencia al alza. En la Figura 39.2 se muestran los países más afectados por catástrofes importantes en 1991. En todos los países del mundo se producen calamidades, pero en los más pobres es más frecuente la pérdida de vidas humanas.

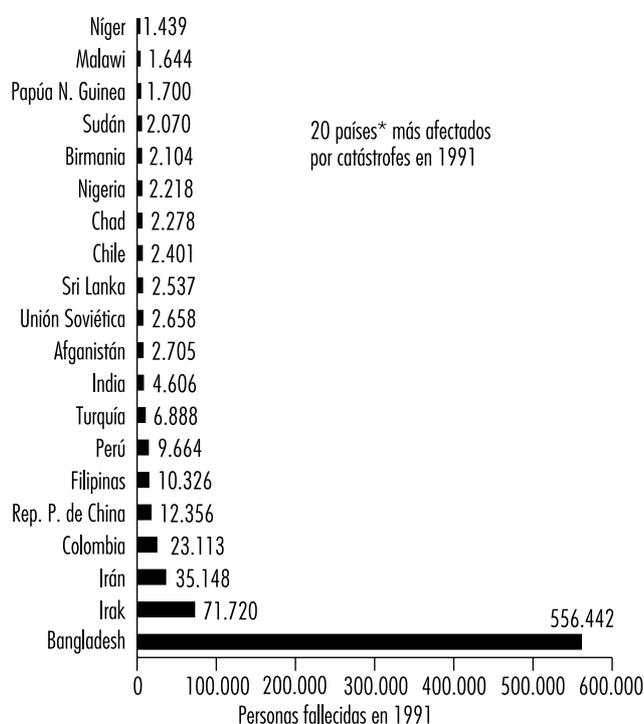
Se han elaborado y revisado muchas definiciones y clasificaciones de las catástrofes (Grisham 1986; Lechat 1990; Logue, Melick y Hansen 1981; Weiss y Clarkson 1986). A título de ejemplo, mencionaremos tres de ellas: los Centros para el Control de Enfermedades [Centers for Disease Control (CDC 1989)] de Estados Unidos determinaron tres categorías principales de catástrofes: sucesos geológicos, como terremotos y erupciones volcánicas; trastornos climáticos, como huracanes, tornados, olas de calor, gotas frías o inundaciones; y, por último, problemas de origen humano, como hambrunas, contaminación atmosférica, catástrofes industriales, incendios e incidentes generados por reactores nucleares. Otra clasificación, basada en las causas (Parrish, Falk y Melius 1987), distingue entre catástrofes naturales, como los sucesos climáticos y geológicos, y las

Figura 39.1 • Número de personas afectadas anualmente por catástrofes en todo el mundo en el período de 1967 a 1991.



Fuente: IFRCRC 1993.

Figura 39.2 • Número de personas muertas a consecuencia de catástrofes en 1991: los 20 países con más víctimas mortales.



* Países existentes en 1991
Fuente: IFRCRC 1993.

catástrofes de origen humano, que se definen como sucesos artificiales, tecnológicos e intencionados, perpetrados por las personas (como el transporte, los conflictos armados, los incendios y explosiones, y los escapes químicos y radiactivos). Una tercera clasificación (Tabla 39.1), elaborada por el Centro para la Investigación de la Epidemiología de Catástrofes de Lovaina, Bélgica, se basa en una estructura de investigación creada por la Oficina de Coordinación de las Naciones Unidas para el Socorro en Catástrofes en 1991 y fue publicada en *World Disaster Report 1993* (IFRCRC 1993).

En la Figura 39.4 se ofrece el número de catástrofes para cada categoría. Bajo el epígrafe "Accidentes" se incluyen todas las incidencias repentinas de origen humano, y su frecuencia sólo se ve superada por la categoría "Inundaciones". En tercer lugar se encuentran las "Tormentas", seguidas de "Terremotos" e "Incendios".

Tomando como base los datos del IFRCRC 1993, se puede obtener más información sobre el tipo, frecuencia y consecuencias de las catástrofes, naturales o no naturales, entre 1969 y 1993. Aunque las agencias valoran la gravedad de las catástrofes atendiendo al número de víctimas mortales, cada vez es más importante observar también el número de afectados. En todo el mundo, el número de personas afectadas por las catástrofes es casi mil veces mayor que el de víctimas mortales; para muchas de estas personas, la supervivencia después de la catástrofe es cada vez es más difícil, lo que las hace más vulnerables a nuevas desgracias. Se trata de una cuestión importante no sólo en lo que se refiere a las catástrofes naturales (Tabla 39.2), sino también en las de origen humano (Tabla 39.3, página 39.5), especialmente tratándose de accidentes químicos, cuyos efectos sobre las víctimas pueden manifestarse años y hasta décadas

Tabla 39.1 • Definición de los tipos de catástrofes.

Naturales repentinas	Naturales prolongadas	Repentinas humanas	Prolongadas humanas
Avalanchas	Epidemias	Colapsos estructurales	Nacional (conflictos civiles, guerra civil)
Gota fría	Sequía	Derrumbamiento de edificios	Internacional (conflictos armados)
Seísmos	Desertización	Derrumbamiento de minas o hundimientos	Desplazamientos de población
Seísmos posteriores al terremoto	Hambruna	Catástrofe aérea	Personas desplazadas
Inundaciones	Escasez de alimentos o problemas de cosecha	Catástrofe terrestre	Refugiados
Inundación repentina		Catástrofe marítima	
Rotura de presa		Accidente industrial/tecnológico	
Erupción volcánica		Explosiones	
Avalancha de lava ardiente		Explosiones químicas	
Ola de calor		Explosión nuclear o explosiones termonucleares	
Ciclón		Explosiones en minería	
Tormenta		Contaminación	
Granizo		Lluvia ácida	
Tormenta de arena		Contaminación química	
Oleaje tormentoso		Contaminación atmosférica	
Tormenta eléctrica		Clorofluorocarbonados (CFC)	
Tormenta tropical		Contaminación petrolífera	
Tornado		Incendios	
Plagas de insectos		Incendios forestales/ de pastos	
Corrimientos de tierras			
Inundación de tierras			
Escasez de energía			
Maremoto o tsunami y oleaje de marea			

Fuente: IFRCRCS 1993.

después (Bertazzi 1989). El problema de la vulnerabilidad humana ante las catástrofes es crucial para las estrategias de prevención.

La sequía, las hambrunas y las inundaciones siguen afectando a muchas más personas que ningún otro tipo de catástrofe. Desde luego, los vientos fuertes (ciclones, huracanes y tifones) causan, proporcionalmente, más muertes que las hambrunas y

las inundaciones con respecto al conjunto de la población afectada; por su parte, los terremotos, que son las catástrofes más repentinas, siguen mostrando el mayor índice de víctimas mortales entre la población afectada (Tabla 39.4, página 39.5). Los accidentes tecnológicos afectaron a más personas que los incendios (Tabla 39.5, página 39.6).

En las Tablas 39.6 y 39.7 pueden verse los tipos y el número de calamidades registradas en 25 años en cada continente. Los vientos fuertes, los accidentes (sobre todo de transporte) y las inundaciones concentran el mayor número de acontecimientos catastróficos, y en su mayoría se produjeron en Asia. África fue víctima, con mucho, del mayor número de sequías del mundo. Por otra parte, aunque en Europa las catástrofes arrojan relativamente pocas víctimas mortales, tienen lugar tantos sucesos catastróficos como en Asia o África; los índices de mortalidad, inferiores, reflejan una menor vulnerabilidad humana a las crisis. Se obtiene un claro ejemplo comparando las cifras de víctimas mortales de los accidentes químicos de Seveso (Italia) y Bhopal (India) (Bertazzi 1989).

Las cifras correspondientes a 1994 (Tablas 39.8 y 39.9, página 39.7) muestran que Asia sigue siendo la región más proclive a las catástrofes y que los tipos de sucesos más frecuentes son accidentes mayores, inundaciones y vientos fuertes. Aunque los terremotos arrojan unas elevadas tasas de mortalidad, no son más frecuentes que las catástrofes tecnológicas mayores. Dejando aparte los incendios, la media anual de sucesos no naturales es levemente inferior a la de los 25 años anteriores. En cambio, se ha elevado el promedio de catástrofes naturales, con excepción de las inundaciones y los volcanes. En 1994, Europa sufrió más catástrofes de origen humano que Asia (39 frente a 37).

Accidentes químicos mayores

En este siglo, las peores catástrofes no naturales con víctimas, tanto mortales como no mortales, han sido ocasionadas por los conflictos armados, los transportes y la actividad industrial. En un principio, las catástrofes industriales afectaban sobre todo a personas de determinadas profesiones, pero, más adelante, y especialmente a partir de la segunda Guerra Mundial, el rápido crecimiento y expansión de la industria química y el uso de la energía nuclear dieron lugar a que esos sucesos representasen también un grave peligro para las personas situadas fuera del área de trabajo y para el medio ambiente en general. Nos concentraremos en los accidentes mayores relacionados con productos químicos.

La primera catástrofe química de origen industrial documentada data de 1600 y fue descrita por Bernardino Ramazzini (Bertazzi 1989). Las catástrofes químicas actuales difieren en la forma en que suceden y en el tipo de productos químicos involucrados (OIT 1988). Su potencial de riesgo depende tanto de la propia naturaleza del producto químico como de la cantidad de sustancia liberada. Normalmente, se trata de sucesos incontrolados relacionados con incendios, explosiones o escapes tóxicos que se cobran gran cantidad de víctimas mortales y lesionados dentro y fuera de la central de energía, y ocasionan enormes daños a bienes humanos o al medio ambiente.

En la Tabla 39.10 (página 39.7) se ofrecen algunos ejemplos típicos de accidentes químicos mayores debidos a explosiones. En la Tabla 39.11 (página 39.8) se muestran algunas catástrofes mayores debidas a incendios. En la actividad industrial se producen más incendios que explosiones y escapes tóxicos, aunque en general con menos víctimas mortales. La explicación de este hecho podría encontrarse en una mejor prevención y preparación de las personas. En la Tabla 39.12 (página 39.8) se recogen algunos accidentes industriales mayores relacionados con escapes tóxicos de sustancias químicas varias. Los productos

Tabla 39.2 • Número de víctimas de catástrofes debidas a fenómenos naturales de 1969 a 1993: media correspondiente a 25 años por zona.

	Africa	América	Asia	Europa	Oceania	Total
Muertos	76.883	9.027	56.072	2.220	99	144.302
Heridos	1.013	14.944	27.023	3.521	100	46.601
Otros afectados	10.556.984	4.400.232	105.044.476	563.542	95.128	120.660.363
Personas que quedaron sin hogar	172.812	360.964	3.980.608	67.278	31.562	4.613.224

Fuente: Walker 1995.

químicos tóxicos más frecuentemente utilizados en cantidades peligrosas son el cloro y el amoníaco, y ambos han ocasionado numerosos accidentes mayores. También el escape de materiales inflamables o tóxicos puede provocar incendios.

Basándonos en la bibliografía sobre catástrofes químicas importantes, podemos determinar otras características comunes a las catástrofes industriales de nuestro tiempo. Las revisaremos brevemente, no sólo para establecer una clasificación general, sino también para evaluar la naturaleza del problema y los desafíos que nos plantea.

Catástrofes manifiestas

Las catástrofes manifiestas consisten en emisiones hacia el medio ambiente cuyo origen y daño potencial no ofrecen ninguna duda; ejemplos claros son Seveso, Bhopal y Chernóbil.

Seveso representa el prototipo de catástrofe industrial química (Homerberger y cols. 1979; Pocchiari y cols. 1983, 1986). El accidente se produjo el 10 de julio de 1976 en la región de Seveso, cerca de Milán, Italia, en una fábrica de producción de triclorofenol, y contaminó con la potente sustancia tóxica 2,3,7,8-tetraclorodibenceno-para-dioxina (TCDD) varios kilómetros cuadrados de campo habitado. Hubo que evacuar a más de 700 personas y se establecieron restricciones para 30.000 habitantes más. El efecto más claro sobre la salud fue el acné clórico, pero aún no se ha terminado de establecer el cuadro de posibles

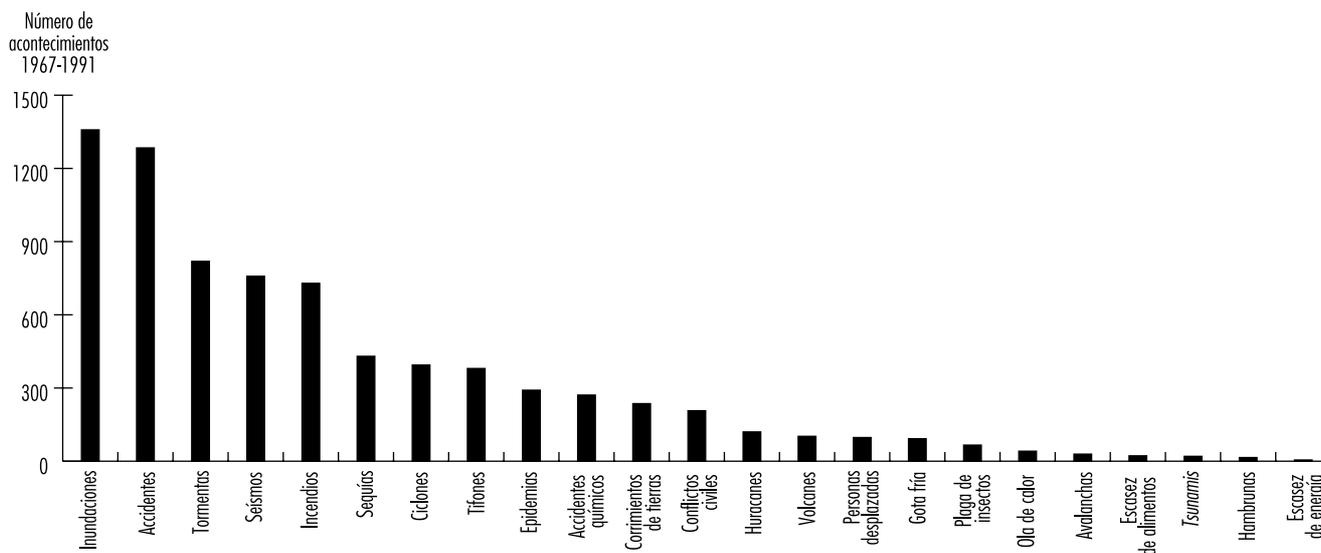
consecuencias para la salud de este accidente (Bruzzi 1983; Pesatori 1995).

Bhopal representa, probablemente, la peor catástrofe industrial química de toda la Historia (Das 1985a, 1985b; Friedrich Naumann Foundation 1987; Tachakra 1987). En la noche del 2 de diciembre de 1984, un escape de gas formó una nube letal sobre la ciudad de Bhopal, en la región central de la India, produciendo miles de víctimas mortales y cientos de miles de heridos en el breve espacio de unas horas. El accidente se produjo debido a una reacción fuera de control en uno de los tanques en que se almacenaba isocianato de metilo (MIC). El tanque de almacenaje era de hormigón y contenía unas 42 toneladas del compuesto, que se utilizaba para la fabricación de pesticidas; el tanque estalló, expulsando MIC y otras sustancias químicas disociadas hacia la atmósfera. Además de las evidentes consecuencias catastróficas del accidente, aún no se han determinado los posibles efectos a largo plazo sobre la salud de los afectados o expuestos (Andersson y cols. 1986; Sainani y cols. 1985).

Catástrofes lentas

Las catástrofes lentas sólo se manifiestan porque víctimas humanas se encuentren casualmente en la vía de escape o porque, con el tiempo, los datos ambientales revelen la existencia de un peligro derivado de materiales nocivos.

Figura 39.3 • Número total de acontecimientos por cada tipo de catástrofe.



Fuente: Walker 1995.

Tabla 39.3 • Número de víctimas de catástrofes no debidas a fenómenos naturales de 1969 a 1993: media correspondiente a 25 años por zona.

	Africa	América	Asia	Europa	Oceanía	Total
Muertos	16.172	3.765	2.204	739	18	22.898
Heridos	236	1.030	5.601	483	476	7.826
Afectados	3.694	48.825	41.630	7.870	610	102.62
Personas que quedaron sin hogar	2.384	1.722	6.275	7.664	24	18.069

Fuente: Walker 1995.

Uno de los ejemplos más impresionantes e ilustrativos del primer tipo es la "enfermedad de Minamata". En 1953, los habitantes de las aldeas pesqueras de la bahía de Minamata, en Japón, comenzaron a sufrir unos trastornos neurológicos inhabituales. La enfermedad fue bautizada *kibyo*, "enfermedad misteriosa". Tras muchas investigaciones, la explicación más probable pareció ser la ingestión de pescado envenenado; en 1957, se consiguió provocar experimentalmente la enfermedad alimentando a gatos con pescado capturado en la bahía; al año siguiente, se sugirió que el cuadro clínico de *kibyo*, que incluía polineuritis, ataxia cerebelar y ceguera cortical, era similar al presentado por envenenamiento con compuestos de mercurio alquilo. Había que buscar una fuente de mercurio orgánico y finalmente se encontró en una fábrica que evacuaba sus residuos a la bahía de Minamata. En julio de 1961, la enfermedad había afectado a 88 personas, de las cuales 35 (40 %) habían muerto (Hunter 1978).

Un ejemplo del segundo tipo es Love Canal, una excavación cercana a las cataratas del Niágara, en Estados Unidos. La zona se había utilizado como vertedero químico y municipal durante un periodo aproximado de 30 años, hasta 1953. Posteriormente, el terreno se rellenó y se construyeron casas en las inmediaciones. A finales del decenio de 1960, se presentaron denuncias por olores a productos químicos en los cimientos, y comenzaron a denunciarse cada vez con mayor frecuencia emisiones químicas en las cercanías del vertedero. En el decenio de 1970, los habitantes empezaron a temer que pudiera surgir algún peligro grave para su salud, y esta opinión común dio paso a investigaciones ambientales y sanitarias. Ninguno de los estudios publicados logró demostrar de forma concluyente la existencia de un vínculo causal entre la exposición a productos químicos y al vertedero y efectos adversos sobre la salud de los habitantes. Con todo, no existe duda alguna de que esta comunidad ha sufrido consecuencias sociales y psicológicas graves, especialmente los habitantes que fueron evacuados (Holden 1980).

Envenenamientos masivos por vía alimentaria

Los brotes de envenenamiento por vía alimentaria pueden deberse a la liberación de sustancias químicas tóxicas en el medio

ambiente por la utilización de productos químicos en la manipulación y el procesamiento de los alimentos. Uno de los episodios más graves de este tipo se produjo en España (Spurzem y Lockey 1984; OMS 1984; Lancet 1983). En mayo de 1981, en los suburbios pobres de Madrid apareció un brote de un síndrome desconocido hasta la fecha. El fenómeno llegó a afectar a más de 20.000 personas.

En junio de 1982, 315 pacientes habían muerto (unas 16 muertes por cada 1.000 casos). Los síntomas clínicos iniciales incluían neumonía intersticial, diversas erupciones cutáneas, linfadenopatías, eosinofilia intensa y síntomas gastrointestinales. Prácticamente una cuarta parte de los supervivientes de la fase aguda requirieron hospitalización ulterior por alteraciones neuromusculares. Se observaron igualmente trastornos esclerodérmicos de la piel en esta fase tardía, junto con hipertensión pulmonar y fenómeno de Raynaud.

Un mes después de producirse los primeros casos, se descubrió que la enfermedad estaba asociada al consumo de aceite de colza desnaturalizado barato, vendido en recipientes de plástico sin etiqueta, y habitualmente adquirido a vendedores ambulantes. Las advertencias publicadas por las autoridades españolas contra el consumo del aceite sospechoso condujeron a un descenso radical del número de hospitalizaciones por neumonía tóxica (Gilsanz y cols. 1984; Kilbourne y cols. 1983).

Otro envenenamiento accidental masivo por vía alimentaria que ha sido ampliamente descrito sucedió en Japón (Masuda y Yoshimura 1984) y Taiwan (Chen y cols. 1984), y se relacionó con bifenilos policlorados (PCB).

Catástrofes transnacionales

En la actualidad, las catástrofes de origen humano no respetan necesariamente las fronteras nacionales. Un ejemplo obvio es Chernóbil, cuyos efectos contaminantes se extendieron desde el océano Atlántico hasta la cordillera de los Urales (Agencia de la Energía Nuclear, 1987). Otro ejemplo lo tenemos en Suiza (Fundación Friedrich Naumann 1987; Salzman 1987). El 1 de noviembre de 1986, poco después de medianoche, se incendió un almacén de la multinacional farmacéutica Sandoz en

Tabla 39.4 • Número de víctimas de catástrofes debidas a fenómenos naturales de 1969 a 1993: media correspondiente a 25 años por tipo.

	Seísmos	Sequías y hambrunas	Inundaciones	Vientos fuertes	Corrimientos de tierras	Volcanes	Total
Muertos	21.668	73.606	12.097	28.555	1.550	1.009	138.486
Heridos	30.452	0	7.704	7.891	245	279	46.571
Afectados	1.764.724	57.905.676	47.849.065	9.417.442	131.807	94.665	117.163.379
Personas que quedaron sin hogar	224.186	22.720	3.178.267	1.065.928	106.889	12.513	4.610.504

Fuente: Walker 1995.

Tabla 39.5 • Número de víctimas de catástrofes no debidas a fenómenos naturales de 1969 a 1993: media correspondiente a 25 años por tipo.

	Accidentes	Accidentes tecnológicos	Incendios	Total
Muertos	3.419	603	3.300	7.321
Heridos	1.596	5.564	699	7.859
Afectados	17.153	52.704	32.771	102.629
Personas que quedaron sin hogar	868	8.372	8.829	18.069

Fuente: Walker 1995.

Schweizerhalle, 10 km al sur de Basilea, y aproximadamente 30 toneladas de productos químicos almacenados fueron arrastradas por el agua utilizada para combatir el incendio hasta el cercano río Rin. En una extensión de unos 250 km, el medio ambiente resultó gravemente dañado. Aparte de los síntomas de irritación notificados en las zonas de Basilea alcanzadas por los gases y vapores producidos por el incendio, no se comunicaron casos de enfermedad grave. No obstante, este accidente suscitó una gran preocupación en al menos cuatro países europeos (Suiza, Francia, Alemania y Países Bajos).

La dimensión transnacional no sólo es aplicable a las consecuencias y los daños ocasionados por las catástrofes, sino también a sus causas remotas. El caso de Bhopal puede servir de ejemplo. Al analizar las causas de la catástrofe, algunos investigadores llegaron a la conclusión de que "la catástrofe de Bhopal se produjo como resultado de actos y decisiones concretas tomadas en Danbury, Connecticut u otros lugares, en la superestructura de la empresa, pero no en Bhopal". (Friedrich Naumann Foundation 1987).

Catástrofes "propias del desarrollo"

Los modelos emergentes de industrialización, junto con la modernización de la agricultura en los países en desarrollo, requieren la aplicación y utilización de tecnología y productos importados o adoptados en contextos muy distintos de aquellos para los que se había previsto inicialmente su uso. Ante las estrictas normativas de los países industrializados, las empresas exportan las actividades peligrosas a zonas del mundo en que las medidas para la protección del medio ambiente y de la salud pública son menos rigurosas. Las actividades industriales se concentran en emplazamientos urbanos ya existentes, y

contribuyen de forma significativa a la presión ocasionada por la superpoblación y la insuficiencia de servicios públicos. Estas actividades se distribuyen entre un sector pequeño, altamente organizado, y un sector grande y desorganizado; los controles obligatorios relativos a la seguridad de los trabajadores y del medio ambiente son menos estrictos en este último (Krishna Murti 1987). Un ejemplo es el de Pakistán, país en que, de los 7.500 agricultores participantes en un programa de control de la malaria en 1976 hasta 2.800 experimentaban alguna forma de intoxicación (Baker y cols. 1978). Se ha estimado que se producen unos 500.000 envenenamientos agudos por pesticidas al año, que ocasionan unas 9.000 muertes, y que sólo en torno al 1 % de los casos mortales se registran en países industrializados, a pesar de consumir el 80 % de la producción agroquímica total del mundo (Jeyaratnam 1985).

Se argumenta también que las sociedades en desarrollo arrastran una doble carga, en vez de verse aliviadas del fardo del subdesarrollo. De hecho, es posible que a las consecuencias del subdesarrollo se estén sumando las de una industrialización incorrecta (Krishna Murti 1987). Así, parece apremiante reforzar la cooperación internacional en tres ámbitos: investigación científica, salud pública y políticas de emplazamiento y seguridad industriales.

Lecciones para el futuro

A pesar de la variedad de catástrofes industriales reseñadas, pueden extraerse algunas lecciones comunes sobre cómo prevenir su aparición y cómo mitigar los efectos de catástrofes químicas importantes sobre la población. En particular:

- Es conveniente que varios expertos trabajen en estrecha coordinación sobre el terreno; en general, deberían abarcar todos los ámbitos relacionados con las consecuencias ambientales del agente, sus propiedades tóxicas para los seres humanos y la flora y fauna, los métodos analíticos, la medicina clínica y patológica, la bioestadística y la epidemiología.
- Tomando como base datos preexistentes o los que puedan obtenerse en las fases iniciales, debe elaborarse lo antes posible un plan global, para determinar objetivos, problemas y recursos necesarios.
- Las actividades de las primeras fases influyen en toda la actuación posterior. Dado que cabe prever efectos a largo plazo en casi todos los tipos de catástrofes industriales, hay que prestar una gran atención a garantizar la disponibilidad de la información necesaria para estudios posteriores (por ejemplo, identificadores adecuados de las personas expuestas para su seguimiento).
- Al planificar investigaciones a largo plazo, debería concederse una importancia extrema a la viabilidad, para facilitar los

Tabla 39.6 • Catástrofes debidas a fenómenos naturales de 1969 a 1993: número de acontecimientos en 25 años.

	Africa	América	Asia	Europa	Oceanía	Total
Seismos	40	125	225	167	83	640
Sequías y hambrunas	277	49	83	15	14	438
Inundaciones	149	357	599	123	138	1.366
Corrimientos de tierras	11	85	93	19	10	218
Vientos fuertes	75	426	637	210	203	1.551
Volcanes	8	27	43	16	4	98
Otros*	219	93	186	91	4	593

* El epígrafe "Otros" incluye los siguientes fenómenos: avalanchas, gotas frías, olas de calor, plagas de insectos, tsunamis.

Fuente: Walker 1995.

Tabla 39.7 • Catástrofes no debidas a fenómenos naturales de 1969 a 1993: número de acontecimientos en 25 años.

	Africa	América	Asia	Europa	Oceania	Total
Accidentes	213	321	676	274	18	1.502
Accidentes tecnológicos	24	97	97	88	4	310
Incendios	37	115	236	166	29	583

Fuente: Walker 1995.

logros científicos y de salud pública y la claridad de la comunicación.

- Sobre todo, por razones de validez y efectividad/coste, es aconsejable basarse en información "sólida", siempre que sea posible, a la hora de identificar y enumerar la población en estudio (por ejemplo, los residentes), estimar el grado de exposición (por ejemplo, medidas ambientales y biológicas) y elegir los criterios de valoración (por ejemplo, mortalidad).

Control de instalaciones para la prevención de accidentes mayores

El objetivo de este artículo es servir de guía para el establecimiento de un sistema de control de *instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores*. La primera parte del mismo se fundamenta en dos documentos de la OIT y en el Convenio más reciente de dicha organización (véase el recuadro de la página 39.9). La directiva europea ha servido de base de la segunda parte del artículo.

Perspectiva de la OIT

Gran parte de lo que sigue se ha extraído de dos documentos, *Prevención de Accidentes Industriales Mayores* (OIT 1991) y *Manual Práctico de Control de Altos Riesgos* (OIT 1988). El "Convenio sobre la Prevención de Accidentes Industriales Mayores" (OIT 1993) (véase el recuadro adjunto) complementa y actualiza el contenido de los dos documentos anteriores. En todos estos documentos se proponen medios de protección de los trabajadores, de la población y del medio ambiente contra el riesgo de accidentes mayores, mediante: 1) la prevención de accidentes mayores en las instalaciones, y 2) la minimización de las consecuencias de un accidente mayor, tanto en el emplazamiento como fuera de él, por ejemplo, a) estableciendo una separación adecuada entre las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores y las viviendas y otros focos de población cercanos, como hospitales, escuelas o tiendas, y b) una apropiada planificación de emergencia.

Para datos concretos, se remite al Convenio de la OIT de 1993; lo que sigue es más bien un resumen narrativo del documento citado.

Tabla 39.9 • Catástrofes no debidas a fenómenos naturales: número por región del mundo y por tipo en 1994.

	Africa	América	Asia	Europa	Oceania	Total
Accidentes	8	12	25	23	2	70
Accidentes tecnológicos	1	5	7	7	0	20
Incendios	0	5	5	9	2	21

Fuente: Walker 1995.

Tabla 39.8 • Catástrofes debidas a fenómenos naturales: número por región del mundo y por tipo en 1994.

	Africa	América	Asia	Europa	Oceania	Total
Seísmos	3	3	12	1	1	20
Sequias y hambrunas	0	2	1	0	1	4
Inundaciones	15	13	27	13	0	68
Corrimientos de tierras	0	1	3	1	0	5
Vientos fuertes	6	14	24	5	2	51
Volcanes	0	2	5	0	1	8
Otros*	2	3	1	2	0	8

* El epígrafe "Otros" incluye los siguientes fenómenos: avalanchas, gotas frías, olas de calor, plagas de insectos, tsunamis.

Fuente: Walker 1995.

Por la naturaleza y la cantidad de sustancias peligrosas presentes, las instalaciones de alto riesgo pueden ocasionar *accidentes mayores* en una de las categorías generales siguientes:

- emisión de sustancias químicas tóxicas en cantidades (toneladas) letales o dañinas incluso a distancias considerables del punto de emisión debido a la contaminación del aire, el agua o el suelo;
- emisión de sustancias extremadamente tóxicas en cantidades (kilogramos) letales o dañinas incluso a distancias considerables del punto de emisión;
- escape de cantidades ingentes (toneladas) de líquidos inflamables o gases, que pueden quemarse y producir elevados niveles de radiación térmica o formar una nube de vapor explosiva,
- explosión de materiales inestables o reactivos.

Tabla 39.10 • Ejemplos de explosiones industriales.

Sustancia química	Consecuencias		Lugar y fecha
	Muertos	Heridos	
Eter dimetilico	245	3.800	Ludwigshafen, República Federal de Alemania, 1948
Queroseno	32	16	Bitburg, República Federal de Alemania, 1948
Isobutano	7	13	Lake Charles, Louisiana, Estados Unidos, 1967
Residuos petrolíferos	2	85	Pernis, Países Bajos, 1968
Propileno	–	230	East Saint Louis, Illinois, Estados Unidos, 1972
Propano	7	152	Decatur, Illinois, Estados Unidos, 1974
Ciclohexano	28	89	Flixborough, Reino Unido, 1974
Propileno	14	107	Beek, Países Bajos, 1975

Adaptado de OIT 1988.

Tabla 39.11 • Ejemplos de incendios graves.

Sustancia química	Consecuencias		Lugar y fecha
	Muertos	Heridos	
Metano	136	77	Cleveland, Ohio, Estados Unidos, 1944
Gas licuado de petróleo	18	90	Feyzin, Francia, 1966
Gas natural licuado	40	–	Staten Island, Nueva York, Estados Unidos, 1973
Metano	52	–	Santa Cruz, México, 1978
Gas licuado de petróleo	650	2.500	México DF, México, 1985

Adaptado de OIT 1988.

Obligaciones de los Estados miembros

El Convenio de 1993 obliga a los Estados miembros que no puedan poner inmediatamente en práctica el conjunto de medidas preventivas y de protección previstas en él a:

- elaborar planes, en consulta con las organizaciones más representativas de empresas y de trabajadores y con otras partes interesadas que pudieran verse afectadas, con miras a la aplicación por etapas de dichas medidas, dentro de un plazo fijo;
- adoptar y revisar periódicamente una política nacional coherente relativa a la protección de los trabajadores, la población y el medio ambiente contra los riesgos de accidentes mayores;
- aplicar dicha política mediante disposiciones preventivas y de protección para las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores y, cuando sea posible, promover la utilización de las mejores tecnologías de seguridad disponibles, y
- aplicar el Convenio de conformidad con la legislación y la práctica nacionales.

Elementos del sistema de control de riesgos de accidentes mayores

La diversidad de accidentes importantes ha dado origen al concepto de *riesgo de accidente mayor*, cuando una actividad industrial requiere controles superiores a los aplicados al funcionamiento de las fábricas normales para proteger tanto a los trabajadores como a las personas que viven y trabajan fuera. Dichos controles no sólo tienen por objetivo prevenir los accidentes, sino también mitigar las consecuencias de cualquier accidente que pueda producirse.

Los controles deben basarse en un enfoque sistemático, con los siguientes componentes básicos:

Tabla 39.12 • Ejemplos de escapes tóxicos graves.

Sustancia química	Consecuencias		Lugar y fecha
	Muertos	Heridos	
Fosgeno	10	–	Poza Rica, México, 1950
Cloro	7	–	Wilsum, República Federal de Alemania, 1952
Dioxina/TCDD	–	193	Seveso, Italia, 1976
Amoniaco	30	25	Cartagena, Colombia, 1977
Dióxido de azufre	–	100	Baltimore, Maryland, Estados Unidos, 1978
Sulfuro de hidrógeno	8	29	Chicago, Illinois, Estados Unidos, 1978
Isocianato de metilo	2.500	200.000	Bhopal, India, 1984

Adaptado de OIT 1988.

- *Identificación de las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores, incluyendo sus cantidades umbrales respectivas y un inventario.* Las autoridades públicas y las empresas deben velar por la identificación de las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores, y revisar y actualizar periódicamente la lista de las mismas.
- *Información sobre la instalación.* Una vez que se ha determinado cuáles son las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores, debe recogerse información adicional sobre su diseño y funcionamiento. Dicha información se compilará y organizará de forma sistemática, y estará disponible para todas las partes interesadas dentro y fuera del sector. Para conseguir una descripción completa de los riesgos, puede ser necesario llevar a cabo estudios de seguridad y evaluaciones de riesgos, al objeto de descubrir posibles fallos en los procesos y establecer prioridades durante el proceso de evaluación de riesgos.
- *Disposiciones especiales para proteger la información confidencial.*
- *Medidas en el marco de la actividad industrial.* Las empresas son las principales responsables de gestionar y mantener unas instalaciones seguras. Para ello se requiere una sólida política de seguridad. La inspección técnica, el mantenimiento, la modificación de las instalaciones, la formación y la selección de personal adecuado deben llevarse a cabo de acuerdo con procedimientos normalizados de control de calidad para instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores. Además de la redacción del informe de seguridad, deben investigarse todo tipo de

Tabla 39.13 • Función de los responsables de la gestión de instalaciones con riesgos de accidentes mayores en sistemas de control de riesgos.

Medidas (en función de la legislación local)			Medidas en caso de accidente mayor	
Notificar a las autoridades	Informar de modificaciones importantes	Preparar un plan de emergencia interior (dentro de la instalación)	Informar a la población del riesgo de accidente mayor	Notificar a la autoridad el accidente mayor
Elaborar y presentar el informe de seguridad	Suministrar otra información previa solicitud	Suministrar a las autoridades locales información que les permita elaborar un plan de emergencia exterior (fuera de la instalación)		Suministrar información sobre el accidente mayor

Convenio de la OIT sobre la prevención de accidentes industriales mayores, 1993 (No. 174)

OIT, 80ª Sesión, 2 de junio de 1993

PARTE I. CAMPO DE APLICACION Y DEFINICIONES

Artículo 1

1. El presente Convenio tiene por objeto la prevención de accidentes mayores que involucren sustancias peligrosas y la limitación de las consecuencias de dichos accidentes....

Artículo 3

A los efectos del presente Convenio:

- a) la expresión "sustancia peligrosa" designa toda sustancia o mezcla que, en razón de propiedades químicas, físicas o toxicológicas, ya sea sola o en combinación con otras, entrañe un peligro;
- b) la expresión "cantidad umbral" designa respecto de una sustancia o categoría de sustancias peligrosas la cantidad fijada por la legislación nacional con referencia a condiciones específicas que, si se sobrepasa, identifica una instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores;
- c) la expresión "instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores" designa aquella que produzca, transforme, manipule, utilice, deseche, o almacene, de manera permanente o transitoria, una o varias sustancias o categorías de sustancias peligrosas, en cantidades que sobrepasen la cantidad umbral;
- d) la expresión "accidente mayor" designa todo acontecimiento repentino, como una emisión, un incendio o una explosión de gran magnitud, en el curso de una actividad dentro de una instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores, en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas y que exponga a los trabajadores, a la población o al medio ambiente a un peligro grave, inmediato o diferido;
- e) la expresión "informe de seguridad" designa un documento escrito que contenga la información técnica, de gestión y de funcionamiento relativa a los peligros y los riesgos que comporta una instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores y a su prevención, y que justifique las medidas adoptadas para la seguridad de la instalación,
- f) el término "cuasiaccidente" designa cualquier acontecimiento repentino que implique la presencia de una o varias sustancias peligrosas y que, de no ser por efectos, acciones o sistemas atenuantes, podría haber derivado en un accidente mayor.

PARTE II. PRINCIPIOS GENERALES

Artículo 4

1. Todo Miembro deberá formular, adoptar y revisar periódicamente, habida cuenta de la legislación, las condiciones y la práctica nacionales, y en consulta con las organizaciones más representativas de empleadores y de trabajadores y con otras partes interesadas que pudieran ser afectadas, una política nacional coherente relativa a la protección de los trabajadores, la población y el medio ambiente, contra los riesgos de accidentes mayores.

2. Esta política deberá ser aplicada mediante disposiciones preventivas y de protección para las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores y, cuando sea posible, deberá promover la utilización de las mejores tecnologías de seguridad disponibles.

Artículo 5

1. La autoridad competente o un organismo aprobado o reconocido por la autoridad competente deberá, previa consulta con las organizaciones más representativas de empleadores y de trabajadores y con otras partes interesadas que pudieran ser afectadas, establecer un sistema para la identificación de las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores según se definen en el artículo 3, c), basado en una lista de sustancias peligrosas o de

categorías de sustancias peligrosas, o de ambas, que incluya sus cantidades umbrales respectivas, de conformidad con la legislación nacional o las normas internacionales.

2. El sistema de clasificación al que se hace referencia en el párrafo 1 anterior deberá ser revisado y actualizado regularmente.

Artículo 6

La autoridad competente, después de consultar a las organizaciones representativas de empleadores y de trabajadores interesadas, deberá tomar disposiciones especiales para proteger las informaciones confidenciales que le son transmitidas o puestas a su disposición de conformidad con cualquiera de los artículos 8, 12, 13 o 14, cuya revelación pudiera causar perjuicio a las actividades de un empleador, siempre y cuando dicha confidencialidad no implique un peligro grave para los trabajadores, la población o el medio ambiente.

PARTE III. RESPONSABILIDADES DE LOS EMPLEADORES

IDENTIFICACION

Artículo 7

Los empleadores deberán identificar, de conformidad con el sistema mencionado en el artículo 5, toda instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores sujeta a su control.

NOTIFICACION

Artículo 8

1. Los empleadores deberán notificar a la autoridad competente toda instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores que hayan identificado:

- a) dentro de un plazo fijo en el caso de una instalación ya existente;
- b) antes de ponerla en funcionamiento en el caso de una nueva instalación.

2. Los empleadores deberán también notificar a la autoridad competente el cierre definitivo de una instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores antes de que éste tenga lugar.

Artículo 9

Respecto a cada instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores, los empleadores deberán establecer y mantener un sistema documentado de prevención de riesgos de accidentes mayores en el que se prevean:

- a) la identificación y el estudio de los peligros y la evaluación de los riesgos, teniendo también en cuenta las posibles interacciones entre sustancias;
- b) medidas técnicas que comprendan el diseño, los sistemas de seguridad, la construcción, la selección de sustancias químicas, el funcionamiento, el mantenimiento y la inspección sistemática de la instalación;
- c) medidas de organización que comprendan la formación e instrucción del personal, el abastecimiento de equipos de protección destinados a garantizar su seguridad, una adecuada dotación de personal, los horarios de trabajo, la distribución de responsabilidades y el control sobre los contratistas externos y los trabajadores temporales que intervengan dentro de la instalación;
- d) planes y procedimientos de emergencia que comprendan:
 - i) la preparación de planes y procedimientos de emergencia eficaces, con inclusión de procedimientos médicos de emergencia, para su aplicación *in situ* en caso de accidente mayor o de peligro de accidente mayor, la verificación y evaluación periódica de su eficacia y su revisión cuando sea necesario;

- ii) el suministro de información sobre los accidentes posibles y sobre los planes de emergencia *in situ* a las autoridades y a los organismos encargados de establecer los planes y procedimientos de emergencia para proteger a la población y al medio ambiente en el exterior de la instalación;
 - iii) todas las consultas necesarias con dichas autoridades y organismos;
- e) medidas destinadas a limitar las consecuencias de un accidente mayor;
- f) la consulta con los trabajadores y sus representantes;
- g) las disposiciones tendentes a mejorar el sistema, que comprendan medidas para la recopilación de información y para el análisis de accidentes y cuasiaccidentes. La experiencia así adquirida deberá ser discutida con los trabajadores y sus representantes y deberá ser registrada, de conformidad con la legislación y la práctica nacional....

* * *

PARTE IV. RESPONSABILIDADES DE LAS AUTORIDADES COMPETENTES

PLANES PARA CASOS DE EMERGENCIA FUERA DE LA INSTALACION

Artículo 15

Tomando en cuenta la información proporcionada por el empleador, la autoridad competente deberá velar por que se establezcan y actualicen a intervalos apropiados, y se coordinen con las autoridades y organismos interesados, los planes y procedimientos de emergencia que contengan disposiciones para proteger a la población y al medio ambiente fuera del emplazamiento en que se encuentre cada instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores.

Artículo 16

La autoridad competente deberá velar por que:

- a) se difunda entre los miembros de la población que estén expuestos a los efectos de un accidente mayor, sin que tengan que solicitarlo, la información sobre las medidas de seguridad que han de adoptarse y sobre la manera de comportarse en caso de accidente mayor, y por que se actualice y se difunda de nuevo dicha información a intervalos apropiados;
- b) se dé la alarma cuanto antes al producirse un accidente mayor,
- c) cuando las consecuencias de un accidente mayor puedan trascender las fronteras, se proporcione a los Estados afectados la información requerida en los apartados a) y b) con el fin de contribuir a las medidas de cooperación y coordinación.

Artículo 17

La autoridad competente deberá elaborar una política global de emplazamiento que prevea una separación adecuada entre las instalaciones en proyecto que estén expuestas a riesgos de accidentes mayores y las áreas de trabajo, las zonas residenciales y los servicios públicos, y deberá adoptar disposiciones apropiadas al respecto en lo que atañe a las instalaciones existentes. Dicha política deberá inspirarse en los principios generales enunciados en la parte II de este Convenio.

INSPECCION

Artículo 18

1. La autoridad competente deberá disponer de personal debidamente calificado que cuente con una formación y competencia adecuadas y con el apoyo técnico y profesional suficiente para desempeñar sus funciones de inspección, investigación, evaluación y asesoría sobre los temas especificados en este Convenio, así como para asegurar el cumplimiento de la legislación nacional.

Fuente: Convenio nº 174 (OIT 1993), fragmentos.

2. Los representantes del empleador y los representantes de los trabajadores de la instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores deberán tener la posibilidad de acompañar a los inspectores cuando controlen la aplicación de las medidas prescritas en virtud del presente Convenio, a menos que los inspectores estimen, a la luz de las directrices generales de la autoridad competente, que ello puede perjudicar el cumplimiento de sus funciones de control.

Artículo 19

La autoridad competente deberá tener derecho a suspender cualquier actividad que presente una amenaza inminente de accidente mayor.

PARTE V. DERECHOS Y OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES Y DE SUS REPRESENTANTES

Artículo 20

En una instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores, los trabajadores y sus representantes deberán ser consultados mediante mecanismos apropiados de cooperación, con el fin de garantizar un sistema seguro de trabajo. En particular, los trabajadores y sus representantes deberán:

- a) estar suficiente y adecuadamente informados de los riesgos que entraña dicha instalación y de sus posibles consecuencias;
- b) estar informados acerca de cualquier instrucción o recomendación hecha por la autoridad competente;
- c) ser consultados para la preparación de los siguientes documentos y tener acceso a los mismos:
 - i) el informe de seguridad;
 - ii) los planes y procedimientos de emergencia;
 - iii) los informes sobre los accidentes;
- d) recibir periódicamente instrucciones y formación con respecto a los procedimientos y prácticas de prevención de accidentes mayores y de control de acontecimientos que puedan dar lugar a un accidente mayor y a los procedimientos de emergencia que han de aplicarse en tales casos;
- e) dentro de sus atribuciones, y sin que en modo alguno ello pueda perjudicarles, tomar medidas correctivas y, en caso necesario, interrumpir la actividad cuando, basándose en su formación y experiencia, tengan razones válidas para creer que existe un peligro inminente de accidente mayor y, según corresponda, informar a su supervisor o dar la alarma antes o tan pronto como sea posible después de haber tomado las medidas correctivas;
- f) discutir con el empleador cualquier peligro potencial que ellos consideren que puede causar un accidente mayor y tener derecho a informar a la autoridad competente acerca de dichos peligros.

Artículo 21

Los trabajadores empleados en el emplazamiento de una instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores deberán:

- a) observar todos los procedimientos y prácticas relativos a la prevención de accidentes mayores y al control de acontecimientos que puedan dar lugar a un accidente mayor en las instalaciones expuestas a dichos riesgos;
- b) observar todos los procedimientos de emergencia en caso de producirse un accidente mayor.

PARTE VI. RESPONSABILIDAD DE LOS PAISES EXPORTADORES

Artículo 22

Cuando en un Estado Miembro exportador el uso de sustancias, tecnologías o procedimientos peligrosos haya sido prohibido por ser fuente potencial de un accidente mayor, dicho Estado deberá poner a disposición de todo país importador la información relativa a esta prohibición y a las razones que la motivan.

accidentes y presentar a la autoridad competente copias de los informes.

- *Medidas de la administración y de otras autoridades competentes.* Se realizarán evaluaciones de riesgos a los fines de la concesión de permisos (en su caso), inspección y aplicación de la legislación vigente. La planificación de la ordenación del territorio puede reducir considerablemente el potencial catastrófico. La formación de inspectores de fábrica es también una función importante de la administración u otra autoridad competente.
- *Planes para casos de emergencia.* El objetivo es reducir las consecuencias de los accidentes importantes. A la hora de elaborar el plan de emergencia, hay que distinguir entre planificación interna y planificación externa.

Responsabilidades de la empresa

Las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores deben observar unas normas de seguridad muy estrictas. Además, la empresa desempeña un papel clave en la organización y aplicación de un sistema de control de riesgos de accidentes mayores. En particular, tal como se indica en la Tabla 39.13, es responsable de:

- comunicar la información necesaria para identificar las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores dentro de un plazo fijo;
- llevar a cabo una evaluación de los riesgos;
- notificar a la autoridad competente el resultado de dicha evaluación de riesgos;
- adoptar medidas técnicas que comprendan el diseño, los sistemas de seguridad, la construcción, la selección de sustancias químicas, el funcionamiento, el mantenimiento y la inspección sistemática de la instalación;
- implantar medidas de organización, incluidas, entre otras, la formación e instrucción del personal y una adecuada dotación de personal;
- elaborar un plan de emergencia;
- adoptar medidas destinadas a mejorar la seguridad de la fábrica y limitar las consecuencias de un posible accidente;
- consultar a los trabajadores y a sus representantes;
- mejorar el sistema, tomando como base los cuasiaccidentes y la información correspondiente;
- garantizar que los procedimientos de control de calidad son efectivos, y auditarlos periódicamente,
- notificar a la autoridad competente antes del cierre permanente de cualquier instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores.

En primer lugar, y ante todo, las empresas con instalaciones que pueden ocasionar un accidente mayor tienen la obligación de controlar ese riesgo. Para ello, deben ser conscientes de la naturaleza del peligro, de los sucesos que provocan accidentes y de las posibles consecuencias de los mismos. Esto significa que, para controlar adecuadamente un riesgo elevado, las empresas deben conocer las respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Constituyen un alto riesgo las sustancias tóxicas, explosivas o inflamables existentes en la instalación?
- ¿Hay agentes o sustancias químicas que, al combinarse, puedan presentar riesgo de toxicidad?
- ¿Qué fallos o errores pueden provocar condiciones anormales que generen un accidente mayor?
- Si se produce un accidente mayor, ¿cuáles serán las consecuencias de un incendio, una explosión o un escape tóxico para los trabajadores, los habitantes de las cercanías de la instalación, la fábrica o el medio ambiente?
- ¿Qué puede hacer la empresa para impedir que se produzcan tales accidentes?

- ¿Qué puede hacerse para mitigar las consecuencias de un posible accidente?

Evaluación de riesgos

El modo más adecuado de responder a estas preguntas es realizar una evaluación de riesgos, para comprender por qué se producen los accidentes y cómo pueden evitarse o, al menos, mitigarse. Los métodos que pueden utilizarse para esta evaluación se resumen en la Tabla 39.14.

Funcionamiento seguro

A continuación se pasa revista a los distintos aspectos que deben tenerse en cuenta para el control de los riesgos.

Diseño de los componentes de la fábrica

Un componente debe ser resistente a los siguientes fenómenos: carga estática, carga dinámica, presión interna y externa, corrosión, presiones derivadas de grandes diferencias de temperatura y presiones debidas a agentes externos (viento, nieve, seísmos,

Tabla 39.14 • Métodos de trabajo para la evaluación de riesgos.

Método	Intención	Objetivo	Principio de trabajo
1. Análisis preliminar del riesgo	1. Identificación de riesgos	1. Adecuación del concepto de seguridad	1. Uso de "herramientas de razonamiento"
2. Diagramas matrices de las interacciones			
3. Uso de listas de comprobación			
4. Análisis de fallos y efectos			2. Uso de "herramientas de búsqueda" y documentación esquemática
5. Estudio del peligro y de la viabilidad de la operación			
6. Análisis de la secuencia de accidente (razonamiento inductivo)	2. Evaluación del peligro atendiendo a la frecuencia de aparición	2. Optimización de la fiabilidad y disponibilidad de los sistemas de seguridad	3. Descripción gráfica de las secuencias de fallos y cálculo matemático de probabilidades
7. Análisis del árbol de fallos (deductivo)			
8. Análisis de las consecuencias del accidente	3. Evaluación de las consecuencias del accidente	3. Paliación de las consecuencias y desarrollo de los planes de emergencia óptimos	4. Elaboración de un modelo matemático de los procesos físicos y químicos

Fuente: OIT 1988.

asentamientos). Normas de diseño son, por tanto, un requisito mínimo para las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores.

Funcionamiento y control

Cuando se diseña una instalación para resistir todas las presiones que pueden producirse en condiciones de funcionamiento normales o anormales pero previstas, el mantenimiento de la misma dentro de los límites de seguridad corresponde al sistema de control de procesos.

Para aplicar dicho sistema de control, es necesario supervisar las variables que intervienen en el proceso y las partes activas de la instalación. El personal operativo debe estar adecuadamente formado, y ser consciente de las modalidades operativas y de la importancia del sistema de control. Para asegurarse de que el personal operativo no tenga que confiar solamente en el funcionamiento de los sistemas automáticos, éstos deben combinarse con alarmas acústicas u ópticas.

Es de capital importancia comprender que cualquier sistema de control dará problemas en condiciones operativas inhabituales, como en las fases de puesta en marcha y parada. Hay que prestar una atención especial a estas fases de funcionamiento. La empresa deberá auditar periódicamente los procedimientos de control de calidad.

Sistemas de seguridad

Toda instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores debe estar dotada de algún tipo de sistema de seguridad. La forma y diseño de dicho sistema dependerá de los riesgos inherentes a la fábrica. A continuación enumeramos los sistemas de seguridad disponibles:

- sistemas que evitan los desvíos respecto de las condiciones de funcionamiento admisibles;
- sistemas que previenen fallos de los componentes relacionados con la seguridad;
- suministros de servicios (electricidad, gas, aire comprimido, etc.) relacionados con la seguridad;
- sistemas de alarma;
- medidas técnicas de protección,
- prevención de errores humanos o de organización.

Mantenimiento y supervisión

El nivel de seguridad de una fábrica y el buen funcionamiento de su sistema de seguridad dependerán directamente del correcto mantenimiento y supervisión de tales sistemas.

Inspección y reparaciones

Es necesario establecer un plan de inspecciones internas para el personal operativo, que incluya las instrucciones y las condiciones operativas que deben observarse durante las tareas de inspección. Se especificarán procedimientos estrictos de reparación.

Formación

Dado que las personas pueden influir tanto negativa como positivamente en la seguridad de una fábrica, es importante reducir las influencias negativas y fomentar las positivas. Ambos objetivos pueden conseguirse mediante una adecuada selección, formación y evaluación/valoración periódica del personal.

Mitigación de las consecuencias

Aunque se haya realizado una evaluación de los riesgos, se hayan detectado estos últimos y se hayan adoptado medidas adecuadas para prevenir los accidentes, no queda totalmente suprimida la posibilidad de que se produzca alguno. Por esta razón, el concepto de seguridad debe incluir la planificación y adopción de medidas capaces de mitigar las consecuencias de un accidente.

Dichas medidas deben ser coherentes con los riesgos detectados en la evaluación. Además, han de ir acompañadas de una formación adecuada del personal de fábrica, del personal de emergencia y del personal de los servicios públicos. Sólo la formación y la realización de simulacros de accidentes pueden hacer que los planes de emergencia sean lo bastante realistas para funcionar correctamente en caso de emergencia.

Notificaciones en materia de seguridad a la autoridad competente

En función de la reglamentación vigente en cada país, las empresas que cuenten con instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores deberán notificar tal hecho a la autoridad correspondiente. Las notificaciones podrán realizarse en los tres pasos siguientes:

- identificación/notificación de instalaciones de alto riesgo (incluido cualquier cambio previsto en la instalación);
- elaboración de informes periódicos de seguridad (que serán revisados a la luz de las transformaciones introducidas en la instalación),
- notificación inmediata de cualquier tipo de accidente, seguida de un informe detallado.

Derechos y obligaciones de los trabajadores y sus representantes

Se consultará a los trabajadores y a sus representantes, mediante mecanismos apropiados de cooperación, con el fin de garantizar un sistema seguro de trabajo. Se les consultará sobre la elaboración de los informes de seguridad, de los planes y procedimientos de emergencia, y de los informes de accidentes, a todos los cuales tendrán acceso. Recibirán formación sobre la prevención de accidentes mayores y los procedimientos de emergencia aplicables en tal caso. Por último, los trabajadores y sus representantes deberán estar capacitados para aplicar las medidas correctivas necesarias, dentro de los límites de sus competencias, cuando crean que existe un peligro inminente de accidente mayor. También estarán facultados para notificar cualquier riesgo a las autoridades competentes. Los trabajadores deberán observar todos los procedimientos y prácticas relativos a la prevención de accidentes mayores y al control de acontecimientos que puedan dar lugar a un accidente mayor. Observarán todos los procedimientos de emergencia en caso de que producirse un accidente mayor.

Aplicación de un sistema de prevención de riesgos mayores

Aunque en la mayoría de los países del mundo están muy generalizados el almacenamiento y la utilización de grandes cantidades de materiales peligrosos, los sistemas actualmente empleados para su control varían mucho de unos países a otros. Esto significa que la velocidad de aplicación de un sistema de prevención de riesgos mayores dependerá de los recursos ya existentes en cada país, especialmente en términos de inspectores de instalación formados y experimentados, y de los recursos disponibles a escala local y nacional para los distintos elementos del sistema de control. Ahora bien, en todos los países será necesario establecer prioridades en un programa por etapas.

Identificación de riesgos mayores

Este es el punto de partida básico de cualquier sistema de prevención: la definición de qué es, en la práctica, un riesgo mayor. Aunque existen definiciones en algunos países y en particular en la UE, la definición de riesgo mayor de cada país concreto refleja las prioridades y prácticas nacionales y, en especial, su modelo industrial.

Cualquier definición que se utilice para detectar riesgos mayores constará probablemente de una lista de sustancias peligrosas, junto con un inventario para cada una de ellas, de tal

modo que cualquier instalación que almacene o utilice una de esas sustancias en cantidades excesivas será, por definición, una instalación expuesta a riesgos mayores. El siguiente paso es determinar dónde hay instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores en una región o país concreto. Si un país desea saber cuáles son sus instalaciones de alto riesgo antes de que entre en vigor la legislación pertinente, puede avanzar mucho de manera informal, especialmente si cuenta con la colaboración de la industria. Las fuentes de información existentes, como informes de inspección de fábrica, datos sobre organismos industriales, etc., pueden dar lugar a una lista provisional que, además de posibilitar el establecimiento de prioridades de inspección en una fase temprana, permitirá evaluar los recursos necesarios para los distintos elementos del sistema de prevención.

Creación de un grupo de expertos

En los países que estén considerando por primera vez la posibilidad de implantar un sistema de prevención de riesgos mayores, un primer paso importante será crear un grupo de expertos en el seno de una unidad especial de la administración. Dicho grupo deberá establecer prioridades a la hora de decidir su programa inicial de actividad. Puede resultar necesario formar a los inspectores de fábrica en las técnicas de inspección de riesgos mayores, incluidas las normas de funcionamiento de este tipo de instalaciones. El grupo también puede asesorar sobre el emplazamiento de nuevos riesgos mayores y el uso de los terrenos circundantes. Además, establecerá contactos en otros países, para mantenerse al día sobre los progresos realizados en este ámbito.

Preparación para las emergencias dentro de la fábrica

Los planes de emergencia requieren una evaluación del tipo de accidentes que pueden producirse en una instalación de alto riesgo y del modo en que pueden atacarse en la práctica. La gestión de los posibles accidentes exigirá tanto personal como equipo, y deberá comprobarse que ambos factores están presentes en cantidad suficiente. Los planes deben incluir los siguientes elementos:

- evaluación de la dimensión y naturaleza de los incidentes previstos y de su probabilidad de aparición;
- formulación del plan y relaciones con autoridades externas, incluidos los servicios de emergencia;
- procedimientos: a) dar la alarma; b) comunicaciones dentro y fuera de la fábrica;
- designación del personal clave, junto con sus obligaciones y responsabilidades;
- centro de control de emergencias,
- acción interna y externa.

Preparación para las emergencias fuera de la fábrica

A este ámbito se ha prestado menos atención que a la planificación interna de emergencias, y muchos países se enfrentan con este problema por primera vez. En el plan de emergencia externo deben tenerse en cuenta los posibles accidentes identificados por la instalación de alto riesgo, su probabilidad de aparición y la proximidad de personas que vivan o trabajen en las inmediaciones. Debe contemplar un modo rápido de dar la alarma y de evacuar a la población y forma de conseguirlo. Hay que tener presente que las viviendas convencionales de construcción sólida ofrecen una protección considerable contra las nubes de gases tóxicos, mientras que las chabolas o construcciones similares son vulnerables a tales accidentes.

En el plan de emergencia se indicarán las organizaciones a las que se debe acudir en caso de emergencia, y se comprobará que conocen la función que se espera de ellas: por ejemplo, los

hospitales y el personal médico deberán decidir el modo de gestionar un número elevado de víctimas, y en particular qué tratamientos prescribir. El plan externo de emergencia deberá ensayarse regularmente con la colaboración de la población.

Si un accidente importante puede tener efectos transfronterizos, deberá suministrarse plena información a las autoridades de los territorios correspondientes, así como asistencia en los mecanismos de cooperación y coordinación.

Emplazamiento

Es clara la necesidad de una política de emplazamientos de las instalaciones expuestas a riesgos mayores: dado que no se puede garantizar una seguridad absoluta, las instalaciones de este tipo deben situarse lejos de las personas que viven y trabajan fuera de la instalación. Como prioridad, puede ser adecuado concentrar los esfuerzos en las nuevas instalaciones, y tratar de impedir la acumulación de viviendas en su entorno, en particular chabolas, que son comunes en muchos países.

Formación e inspectores de instalaciones

Es probable que en muchos países los inspectores de instalaciones desempeñen una función crucial en la aplicación de un sistema de prevención de riesgos mayores. Dichos inspectores deberán estar cualificados para identificar en poco tiempo este tipo de riesgos. Si disponen de inspectores especializados a los que recurrir, los inspectores de fábrica contarán con ayuda para la inspección de los riesgos mayores, que suele presentar aspectos extremadamente técnicos.

Los inspectores necesitarán una formación y unas cualificaciones adecuadas para su trabajo. Es probable que, en muchos países, la propia industria sea la mejor fuente de conocimientos técnicos y pueda prestar ayuda para la formación de los inspectores de instalaciones.

La autoridad competente deberá estar facultada para suspender cualquier operación que plantee un riesgo inminente de accidente grave.

Evaluación de riesgos mayores

Esta tarea debe correr a cargo de especialistas, si es posible con arreglo a unas directrices formuladas, por ejemplo, por el grupo de expertos o por inspectores especializados, y quizá con la asistencia del equipo de gestión de la empresa poseedora de la instalación. La evaluación supone un estudio sistemático del riesgo potencial de accidentes mayores. El equipo de gestión deberá realizar un ejercicio similar —aunque mucho menos detallado— al llevado a cabo para elaborar el informe de seguridad para la inspección de la instalación y el plan interno de emergencia.

La evaluación comprenderá un estudio de todas las operaciones de manipulación de materiales peligrosos, incluido su transporte.

Se incluirá un análisis de las consecuencias de la inestabilidad del proceso o de cualquier transformación significativa de las variables que intervienen en el mismo.

Deberá contemplarse la ubicación relativa de los materiales peligrosos.

Se evaluarán también las consecuencias de fallos comunes.

Además, en la evaluación se identificarán las posibles consecuencias para la población externa de los accidentes mayores identificados, lo que determinará si puede ponerse en funcionamiento el proceso o la propia fábrica.

Información a la población

La experiencia en accidentes mayores, especialmente en escapes de gases tóxicos, ha demostrado la importancia de informar con antelación a la población situada en las inmediaciones sobre: a) cómo reconocer que se está produciendo una emergencia;

b) qué hacer, y c) qué tratamiento médico es el apropiado para las personas afectadas por el gas.

En caso de emergencia, suele recomendarse a los habitantes de viviendas convencionales de construcción sólida que entren en su casa, cierren puertas y ventanas, apaguen la ventilación o el aire acondicionado y sintonicen la emisora local de radio para recibir nuevas instrucciones.

Si cerca de una instalación expuesta a riesgos mayores hay muchas personas viviendo en chabolas, estos consejos son inadecuados, y puede ser necesario proceder a una evacuación masiva.

Requisitos previos de un sistema de prevención de riesgos mayores

Personal

Un sistema de prevención de riesgos mayores plenamente desarrollado requiere una amplia variedad de personal especializado. Además del personal industrial que participe directa o indirectamente en la seguridad de funcionamiento de la instalación, hay que contar con inspectores generales de fábrica, inspectores especializados, evaluadores de riesgos, planificadores de emergencias, responsables del control de calidad, planificadores locales de ordenación del territorio, policía, servicios médicos, autoridades fluviales, etc., además de legisladores que promulguen nueva legislación y normativas para el control de los riesgos mayores.

En la mayoría de los países, los recursos humanos para estas tareas serán limitados, por lo que es esencial establecer unas prioridades realistas.

Tabla 39.15 • Directiva de la CE relativa a los riesgos de accidentes graves en instalaciones industriales.

Sustancias tóxicas (muy tóxicas y tóxicas):

Sustancias que presentan los siguientes valores de toxicidad aguda y que, por sus propiedades físicas y químicas, pueden dar lugar a riesgos de accidentes mayores:

	LD ₅₀ vía oral rata mg/kg	LD ₅₀ vía cutánea rata/conejo mg/kg	LC ₅₀ inhalación (4 horas) rata mg/1
1.	LD ₅₀ <5	LD <1	LD ₅₀ <0,10
2.	5 <LD ₅₀ <25	10 <LD ₅₀ <50	0,1 <LC ₅₀ <0,5
3.	25 <LD ₅₀ <200	50 <LD ₅₀ <400	0,5 <LC ₅₀ <2

Sustancias inflamables:

1. Gases inflamables: sustancias que, en estado gaseoso a la presión normal y mezcladas con el aire, resultan inflamables y cuyo punto de ebullición es igual o inferior a 20 °C a la presión normal.
2. Líquidos altamente inflamables: sustancias cuyo punto de inflamación es inferior a 21 °C y cuyo punto de ebullición es superior a 20 °C a la presión normal.
3. Líquidos inflamables: sustancias cuyo punto de inflamación es inferior a 55 °C y que permanecen en estado líquido bajo el efecto de una presión, en la medida en que determinadas formas de tratamiento, como presión y temperatura elevadas, puedan dar lugar a riesgos de accidentes mayores.

Sustancias explosivas:

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

Equipos

Una característica de los sistemas de control de riesgos mayores es que puede conseguirse mucho con muy poco equipamiento. Los inspectores de fábrica no precisan demasiado material adicional a sus equipos de seguridad habituales. Lo que sí es necesario es adquirir experiencia y conocimientos técnicos, así como medios para transmitirlos desde el grupo de expertos a, por ejemplo, el instituto laboral local, los inspectores de instalación y la industria. Puede ser igualmente necesario recurrir a ayudas e instalaciones adicionales para la formación.

Información

Un factor crucial a la hora de establecer un sistema de prevención de riesgos mayores es obtener información actualizada y transmitirla rápidamente a todas aquellas personas que puedan necesitarla para desempeñar sus tareas de seguridad.

Actualmente, el volumen de literatura especializada sobre los distintos aspectos del trabajo con riesgos graves es considerable y, si se utiliza de forma selectiva, puede constituir una importante fuente de información para un grupo de expertos.

Responsabilidad de los países exportadores

Cuando en un Estado miembro exportador el uso de sustancias, tecnologías o procesos peligrosos haya sido prohibido por ser fuente potencial de un accidente mayor, dicho Estado deberá poner a disposición de todo país importador la información relativa a esta prohibición y a las razones que la motivan.

Del Convenio han emanado varias recomendaciones no vinculantes. Una de ellas se refiere a la dimensión transfronteriza, y recomienda a las empresas nacionales o multinacionales con más de un establecimiento o instalación que establezcan medidas de seguridad para la prevención de accidentes mayores y el control de acontecimientos que puedan dar lugar a un accidente mayor, sin discriminación alguna entre los trabajadores de todos sus establecimientos, independientemente del lugar o país en que estén situados (véase igualmente la sección "Catástrofes transnacionales" de este artículo).

Directiva europea relativa a los riesgos de accidentes graves en determinadas actividades industriales

Tras los graves accidentes sucedidos en la industria química europea en las dos últimas décadas, varios países de la Europa occidental adoptaron una legislación específica para las actividades de alto riesgo. Una característica clave de esa legislación es la obligación de las empresas con actividades industriales de alto riesgo de proporcionar información sobre la actividad y sus riesgos basada en los resultados de estudios sistemáticos de seguridad. Después del accidente de Seveso (Italia) en 1976, las normativas en la materia de los distintos países se agruparon e integraron en una directiva de la CE. La Directiva, relativa a los riesgos de accidentes graves en determinadas actividades industriales, está en vigor desde 1984 y se denomina habitualmente Directiva Seveso (Consejo de las Comunidades Europeas 1982, 1987).

Al objeto de determinar cuáles son las instalaciones expuestas a riesgos graves, la Directiva de la CE se basa en las características de toxicidad, inflamabilidad y explosión de las sustancias químicas (véase la Tabla 39.15).

En los anexos a la Directiva se incluye una lista de sustancias y límites umbrales de las mismas para determinar las actividades industriales concretas de alto riesgo. La actividad industrial se define como el conjunto de instalaciones del mismo fabricante distantes menos de 500 metros entre ellas y perteneciendo a la misma fábrica o planta industrial. Cuando la cantidad de sustancias almacenadas supera el valor límite umbral de la lista, la

Tabla 39.16 • Principales sustancias químicas utilizadas en la identificación de instalaciones con riesgos de accidentes mayores.

Denominación de las sustancias	Cantidad (>)	n° CEE
<i>Sustancias inflamables en general:</i>		
Gases inflamables	200 t	124
Líquidos altamente inflamables	50.000 t	125
<i>Sustancias inflamables en particular:</i>		
Hidrógeno	50 t	24
Oxido de etileno	50 t	25
<i>Explosivos en particular:</i>		
Nitrato de amonio	2.500 t	146 b
Nitroglicerina	10 t	132
Trinitrotolueno	50 t	145
<i>Sustancias tóxicas en particular:</i>		
Acilonitrilo	200 t	18
Amoniaco	500 t	22
Cloro	25 t	16
Dióxido de azufre	250 t	148
Sulfuro de hidrógeno	50 t	17
Cianuro de hidrógeno	20 t	19
Disulfuro de carbono	200 t	20
Ácido fluorhídrico	50 t	94
Ácido clorhídrico	250 t	149
Trióxido de azufre	75 t	180
<i>Sustancias muy tóxicas en particular:</i>		
Isocianato de metilo	150 kg	36
Fosgeno	750 kg	15

actividad se denomina instalación de alto riesgo. La lista de sustancias consta de 180 productos químicos, cuyos límites umbrales varían desde 1 kg para sustancias extremadamente tóxicas a 50.000 t para líquidos altamente inflamables. Para el almacenaje aislado de sustancias, se ofrece una lista separada de unas cuantas sustancias.

Además de los gases inflamables, líquidos y explosivos, la lista incluye sustancias químicas como amoníaco, cloro, dióxido de azufre y acilonitrilo.

Para facilitar la aplicación de un sistema de control de riesgos graves y fomentar su aplicación por las autoridades y las empresas, deben definirse prioridades, prestando especial atención a las instalaciones más peligrosas. En la Tabla 39.16 se sugiere una lista de prioridades.

Tomando como guía las sustancias químicas que figuran en la tabla, puede elaborarse una lista de instalaciones. Si ésta sigue siendo demasiado larga para ser gestionada por las autoridades, pueden fijarse nuevas prioridades estableciendo nuevos límites de cantidades. También se puede recurrir al establecimiento de prioridades dentro de la fábrica para determinar sus partes más peligrosas. En vista de la diversidad y complejidad de la industria en general, no es posible restringir las instalaciones de alto riesgo a determinados sectores de la actividad industrial. Ahora bien, la experiencia nos indica que las instalaciones de alto riesgo suelen concentrarse en las siguientes actividades:

- petroquímica y refinerías
- química y centrales químicas
- almacenaje y terminales de GLP (Gases licuados del petróleo)
- centros de almacenaje y distribución de sustancias químicas
- grandes almacenes de fertilizante
- fábricas de explosivos
- actividades que utilizan cloro en grandes cantidades.

PREPARACION PARA LAS CATASTROFES ●

Peter J. Baxter

En las dos últimas décadas, en materia de reducción de catástrofes se ha pasado de las medidas principalmente paliativas, improvisadas en la fase posterior al suceso, a la planificación anticipada o preparación para las catástrofes. En el caso de las catástrofes naturales, se ha adoptado este enfoque en la filosofía del programa Década Internacional de las Naciones Unidas para la reducción de las catástrofes naturales (IDNDR). Un plan completo de gestión de riesgos se compone de las cuatro fases siguientes, que pueden aplicarse a todo tipo de catástrofes naturales y tecnológicas:

- planificación previa a la catástrofe
- preparación para la emergencia
- respuesta a la emergencia
- recuperación y reconstrucción después del impacto.

El objetivo de la preparación para las catástrofes es implantar medidas de prevención y de reducción de riesgos a la vez que se desarrolla la preparación para emergencias y la capacidad de respuesta. En este proceso, los análisis de riesgo y vulnerabilidad son las actividades científicas que sirven de base a las tareas de reducción del riesgo y preparación para las emergencias, que siempre deberán emprenderse en colaboración con los planificadores y los servicios de emergencia.

En el marco de la preparación para las catástrofes, la mayor parte de los profesionales sanitarios considerarán que su función es planificar el tratamiento de emergencia de un gran número de víctimas. Desde luego, para reducir radicalmente las consecuencias de las catástrofes en el futuro, el sector sanitario debe participar en el desarrollo de las medidas de prevención y en todas las fases de la planificación de catástrofes, junto con científicos, ingenieros, planificadores de emergencias y responsables de toma de decisiones. Este enfoque interdisciplinario plantea un gran desafío al sector sanitario en las postrimerías del siglo XX, en tanto en cuanto las calamidades, naturales o humanas, son cada vez más destructivas y costosas en términos de vidas y bienes debido a la expansión de las poblaciones humanas por todo el planeta.

Entre las catástrofes naturales repentinas o de desencadenamiento rápido se encuentran las condiciones climáticas extremas (inundaciones y vientos fuertes), terremotos, seísmos, corrimientos de tierras, erupciones volcánicas, maremotos e incendios catastróficos, y sus efectos tienen muchos aspectos en común. Por otro lado, las hambrunas, las sequías y la desertización son resultado de procesos más largos, que hasta la fecha no se comprenden demasiado bien, y sus consecuencias no se prestan tanto a la aplicación de medidas de reducción. Actualmente, la causa más común del hambre es el conflicto armado o las denominadas catástrofes complejas (como en Sudán, Somalia o la antigua Yugoslavia).

Un rasgo común a las catástrofes naturales y a las complejas es el desplazamiento de grandes masas de personas, y sus necesidades alimentarias y de todo tipo requieren una gestión especializada.

Por otra parte, en la civilización moderna son cada vez más frecuentes las catástrofes tecnológicas o de origen humano, como pueden ser los episodios de contaminación atmosférica aguda, los incendios y los accidentes químicos o nucleares; estas dos últimas categorías son las más importantes hoy en día. En este artículo nos ocuparemos de la planificación de las catástrofes químicas, pues los accidentes nucleares se abordan en otras secciones de la *Enciclopedia*.

Catástrofes naturales repentinas

En esta categoría, las calamidades más destructivas son las inundaciones, los huracanes, los terremotos y las erupciones volcánicas. Se han obtenido ya algunos éxitos en la reducción de catástrofes mediante sistemas de alarma anticipada, mapas de riesgos y medidas de ingeniería estructural en zonas sísmicas. Así, gracias a la vigilancia por satélite de las predicciones del clima mundial, a un sistema regional de recepción de avisos a su debido tiempo y a una eficaz planificación de las evacuaciones, la pérdida de vidas humanas ocasionada por el huracán Hugo, el más fuerte de toda la historia del Caribe, que se abatió sobre Jamaica y las Islas Caimán en 1988, fue comparativamente pequeña (sólo 14 muertes). En 1991, la alarma dada por los científicos filipinos que vigilaban de cerca el monte Pinatubo salvó miles de vidas, gracias a una evacuación correctamente programada, en una de las erupciones más grandes del siglo. En todo caso, el "ajuste tecnológico" es sólo uno de los aspectos de la mitigación de las catástrofes. La magnitud de las pérdidas humanas y económicas ocasionadas por las catástrofes en los países en desarrollo subraya la gran importancia de los factores socioeconómicos —fundamentalmente la pobreza— en el aumento de la vulnerabilidad, así como la necesidad de tener en cuenta estos aspectos en las medidas de preparación para las catástrofes.

En todos los países, la reducción de las catástrofes naturales tiene que competir con otras prioridades. La reducción de las catástrofes puede fomentarse también a través de la legislación, la educación, la calidad de la construcción, etc., en el marco del programa general de reducción de riesgos de una sociedad o de su visión cultural de la seguridad, como parte integrante de las políticas de desarrollo sostenible y como medida de garantía de calidad para las estrategias de inversión (por ejemplo, al planificar nuevas ocupaciones del territorio).

Catástrofes tecnológicas

Es obvio que, en el caso de los riesgos naturales, es imposible impedir que se produzca el proceso geológico o meteorológico.

Pero no puede decirse lo mismo de los riesgos tecnológicos: es posible avanzar mucho en la prevención de catástrofes adoptando medidas de reducción de riesgos en el diseño de las fábricas, y los gobiernos pueden establecer la legislación necesaria para implantar un alto nivel de seguridad industrial. En los países de la CE, la Directiva Seveso es un ejemplo, e incluye requisitos para la planificación interna y externa en caso de emergencia.

En los accidentes químicos graves se producen grandes explosiones de vapores o gases inflamables, incendios y escapes tóxicos procedentes de instalaciones peligrosas fijas o del transporte y distribución de sustancias químicas. Se ha prestado especial atención al almacenaje de gases tóxicos en grandes cantidades; el más común es el cloro (que, si se produce un escape repentino por un fallo en un tanque de almacenaje o una grieta en una tubería, puede formar grandes nubes, más pesadas que el aire, que pueden ser arrastradas por el viento a gran distancia en concentraciones tóxicas). Se han elaborado modelos informáticos de dispersión de gases densos por escapes repen-

tinios para el cloro y otros gases comunes, que los planificadores utilizan para elaborar medidas de respuesta a la emergencia. Dichos modelos pueden utilizarse también para determinar el número de víctimas de un escape accidental previsible, del mismo modo que se están elaborando modelos para predecir el número y tipo de víctimas de terremotos importantes.

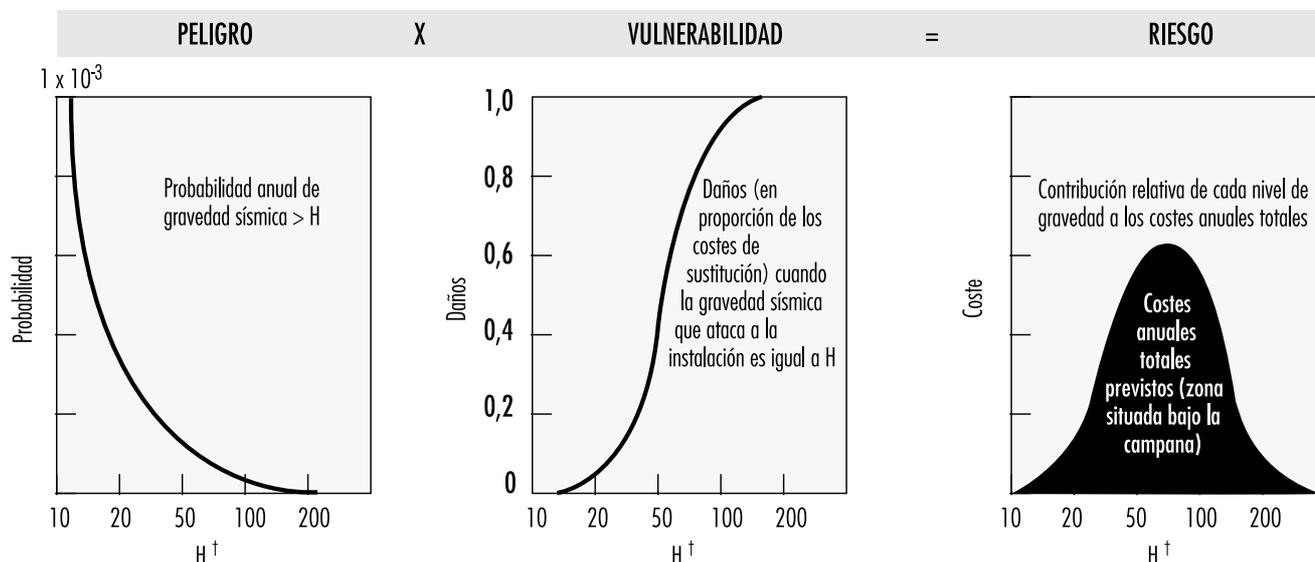
Prevención de catástrofes

Una catástrofe es cualquier trastorno del ecosistema humano que desborda la capacidad de la comunidad para continuar con su funcionamiento normal. La situación no se limita a una diferencia cuantitativa en el funcionamiento de los servicios sanitarios o de emergencias (por ejemplo, la situación causada por un gran número de víctimas). Es diferente desde el punto de vista cualitativo, en el sentido de que las demandas no pueden ser adecuadamente satisfechas por una sociedad sin la ayuda de otras zonas no afectadas, del mismo país o de otro. La palabra *catástrofe* se utiliza a menudo de forma inadecuada para describir incidentes importantes muy divulgados o de naturaleza política; cuando realmente sucede una catástrofe, puede producirse una ruptura total en el funcionamiento normal de una localidad. El objetivo de la preparación para las catástrofes es capacitar a una comunidad y sus servicios clave para funcionar en esas caóticas circunstancias, a fin de reducir la morbilidad y mortalidad humanas y los daños económicos. La existencia de un gran número de víctimas graves no es una condición imprescindible de una catástrofe, como se demostró en la catástrofe química de Seveso de 1976 (se procedió a una evacuación masiva por temor a la existencia de riesgos a largo plazo para la salud a causa de la contaminación del suelo con dioxina). "Cuasicatástrofes" puede ser una descripción mejor de determinados acontecimientos, y los brotes de reacciones psicológicas o de estrés pueden ser también la única manifestación en algunos casos (como en el accidente del reactor en Three Mile Island, EE.UU., en 1979). Hasta que se adopte una terminología definitiva, deberíamos aceptar la descripción de Lechat de los objetivos sanitarios de la gestión de catástrofes, que son:

- la prevención o reducción de la mortalidad como resultado del impacto, de retrasos en el rescate y de la falta de una asistencia adecuada;
- la asistencia a las víctimas de traumatismos inmediatamente posteriores al impacto, quemaduras, problemas psicológicos, etc.;
- la gestión de condiciones climáticas y ambientales adversas (exposición, falta de comida y de agua potable);
- la prevención de la morbilidad a corto y a largo plazo como resultado de la catástrofe (brotes de enfermedades contagiosas debidos a un trastorno de la higiene, a la utilización de refugios temporales, a un número excesivo de personas o a la alimentación de socorro; epidemias como la malaria, a causa de la interrupción de las medidas de control; aumento de la morbilidad y mortalidad derivadas del trastorno del sistema de asistencia sanitaria; problemas mentales y emocionales);
- garantizar la recuperación de la salud normal mediante la prevención de una malnutrición prolongada debida a la interrupción del suministro de alimentos y de la agricultura.

La prevención de catástrofes no puede existir en el vacío; es esencial la existencia en cada país de una estructura de ámbito nacional (cuya organización variará de unos a otros), así como de otras de ámbito regional y municipal. En países con un alto nivel de riesgos naturales, pocos ministerios quedarán fuera. La responsabilidad de la planificación corresponderá a organismos tales como las fuerzas armadas o los servicios de protección civil en algunos países.

Figura 39.4 • El riesgo es el producto de peligro por vulnerabilidad: curvas características.



† Gravedad del movimiento sísmico, % g a 0,2 s. de aceleración espectral

Fuente: Coburn y Spence 1992.

Si existe un sistema nacional para la prevención de catástrofes naturales, sería conveniente construir sobre él un sistema de respuesta a catástrofes tecnológicas, en lugar de crear uno completamente nuevo. El Centro de Actividad del Programa de Industria y Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ha desarrollado el programa Sensibilización y preparación ante emergencias a nivel local (APELL). Con la participación conjunta de la industria y la administración, el programa pretende prevenir los accidentes tecnológicos y reducir sus consecuencias en los países en desarrollo, sensibilizando a la comunidad sobre la presencia de instalaciones peligrosas y ofreciendo asistencia para desarrollar planes de respuesta a emergencias.

Evaluación del peligro

Los distintos tipos de catástrofes naturales y sus consecuencias deben evaluarse en términos de probabilidad de aparición en todos los países. Algunos países, como el Reino Unido, gozan de una situación de bajo riesgo —los principales peligros son tormentas de viento e inundaciones—, mientras que otros, como Filipinas, sufren con implacable regularidad una amplia gama de fenómenos naturales que pueden tener repercusiones importantes sobre la economía e incluso en la estabilidad política del país. Cada peligro requiere una evaluación independiente, teniendo en cuenta al menos los aspectos siguientes:

- causa o causas;
- distribución geográfica, magnitud o gravedad y probable frecuencia de aparición;
- mecanismos físicos de destrucción;
- elementos y actividades más vulnerables a la destrucción,
- posibles consecuencias sociales y económicas de una catástrofe.

En las zonas con alto riesgo de terremotos, erupciones volcánicas e inundaciones, los expertos deben elaborar mapas de riesgo al objeto de predecir la ubicación y la naturaleza de los efectos en caso de producirse un incidente grave. Después, los responsables de la ordenación del territorio pueden utilizar estas

evaluaciones de peligro para reducir los riesgos a largo plazo, como también pueden servir a los planificadores de emergencia, que se encargan de la respuesta previa a la catástrofe. Ahora bien, la demarcación de zonas sísmicas y la elaboración de mapas de riesgo volcánico se encuentran aún en fase embrionaria en la mayoría de los países en desarrollo, y el IDNDR considera vital acelerar la elaboración de mapas de riesgos.

Para evaluar el peligro de riesgos naturales es necesario estudiar en detalle la información relativa a catástrofes ocurridas en siglos pasados, así como realizar un exhaustivo trabajo geológico de campo para localizar acontecimientos importantes, como terremotos y erupciones volcánicas, de tiempos pretéritos o prehistóricos. Aprender del comportamiento de los principales fenómenos naturales del pasado es un enfoque útil, pero ni mucho menos infalible, para valorar el peligro de sucesos futuros. Existen métodos hidrológicos normalizados para la estimación de las inundaciones, y muchas zonas proclives a éstas pueden reconocerse fácilmente porque coinciden con llanuras pluviales naturales bien delimitadas. En el caso de los ciclones tropicales, los datos de impacto en líneas costeras pueden utilizarse para determinar la probabilidad de que un huracán afecte a cualquier punto de la costa en un año determinado, pero cada huracán debe ser urgentemente estudiado tan pronto se forma, para predecir su trayectoria real y su velocidad con una antelación mínima de 72 horas a su llegada. Los terremotos, volcanes y lluvias intensas desencadenan con frecuencia corrimientos de tierras. En la última década se han venido observando cada vez más casos de grandes volcanes cuyas laderas corren peligro de desmoronamiento debido a la inestabilidad de su masa, acumulada en periodos de actividad; como resultado, pueden producirse corrimientos de tierras devastadores.

Con respecto a las catástrofes tecnológicas, las comunidades locales deben hacer inventario de las actividades industriales peligrosas de su entorno. Actualmente, los graves accidentes ocurridos en el pasado aportan numerosos ejemplos de las consecuencias de estos riesgos si se produce un fallo en un proceso o en una contención. En muchos países desarrollados

existen hoy día planes muy detallados para casos de accidentes químicos en torno a instalaciones peligrosas.

Evaluación de los riesgos

Tras evaluar un peligro y sus posibles consecuencias, el siguiente paso es llevar a cabo una estimación de los riesgos. El peligro puede definirse como la posibilidad de que ocurra algún daño, y el riesgo es la probabilidad de que se produzcan víctimas mortales, heridos o daños a bienes como consecuencia de un peligro natural de un tipo y magnitud determinados. El riesgo puede definirse cuantitativamente como:

$$\text{Riesgo} = \text{valor} \times \text{vulnerabilidad} \times \text{peligro}$$

donde el valor puede representar un número potencial de vidas o bienes económicos (edificios, por ejemplo) que puede perderse en el suceso. Evaluar la vulnerabilidad es un aspecto clave de la estimación de los riesgos. En el caso de los edificios, se tratará de medir la susceptibilidad inherente a las estructuras expuestas a fenómenos naturales potencialmente dañinos. Por ejemplo, la probabilidad de que un edificio se venga abajo en un terremoto puede determinarse a partir de su ubicación con respecto a una línea de falla sísmica y de la resistencia sísmica de su estructura. En la ecuación anterior, el nivel de pérdida resultante de la aparición de un fenómeno natural de una magnitud determinada puede expresarse en una escala de 0 (sin daños) a 1 (pérdida total), mientras que el peligro es el riesgo concreto expresado como la probabilidad de pérdidas evitables por unidad de tiempo. Por tanto, la vulnerabilidad es la fracción de valor que probablemente se perderá como resultado de un suceso de este tipo. La información necesaria para un análisis de vulnerabilidad puede obtenerse, por ejemplo, mediante la realización de investigaciones por arquitectos e ingenieros en las viviendas situadas en áreas peligrosas. La Figura 39.4 muestra algunas curvas de riesgo típicas.

Actualmente, es mucho más difícil realizar evaluaciones de vulnerabilidad a partir de información sobre las distintas causas de muerte y lesiones para los diferentes tipos de impacto, pues los datos disponibles son muy toscos, incluso para los terremotos, no está normalizada la clasificación de heridas y se carece de un registro exacto del número de muertes —y mucho menos de sus causas. Estas graves limitaciones ilustran la necesidad de realizar un esfuerzo mucho mayor por reunir datos epidemiológicos en las catástrofes, a fin de poder desarrollar las medidas preventivas de un modo científico.

Actualmente, los cálculos matemáticos de riesgo de hundimiento de edificios en terremotos y de caída de cenizas en erupciones volcánicas pueden digitalizarse en mapas en forma de escalas de riesgos, para mostrar gráficamente las áreas de alto riesgo en un suceso previsible y saber dónde deben concentrarse las medidas de protección civil previas. Así, la estimación de los riesgos, combinada con el análisis económico y de coste/efectividad, será valiosísima a la hora de decidir entre las distintas posibilidades de reducción de riesgos.

Además de las estructuras de edificios, otro aspecto importante de la vulnerabilidad son las infraestructuras (básicas), como:

- transportes
- telecomunicaciones
- suministro de agua
- sistemas de alcantarillado
- suministro de electricidad
- instalaciones de asistencia sanitaria.

En cualquier catástrofe natural, todas ellas pueden quedar destruidas o gravemente deterioradas; sin embargo, dado que el tipo de fuerza destructiva puede variar dependiendo del peligro

natural o tecnológico, las medidas de protección deben diseñarse teniendo en cuenta la estimación de riesgos. Los sistemas geográficos de información son modernas técnicas informáticas que permiten elaborar mapas sobre diversos datos y sirven de ayuda en estas tareas.

Al planificar la reacción a una catástrofe química, la estimación cuantificada de riesgos (ECR) se utiliza para determinar la probabilidad de que se produzca una anomalía en la fábrica y como guía útil para los responsables, pues ofrece estimaciones numéricas del riesgo. Las técnicas de ingeniería para efectuar este tipo de análisis están muy avanzadas, al igual que los medios para elaborar mapas zonales de riesgo en torno a las instalaciones peligrosas. Existen métodos que predicen las ondas de presión y la concentración de la radiación térmica a distintas distancias de una explosión de vapor o gas inflamable. Hay modelos informáticos para predecir, en un recorrido de kilómetros, la concentración de gases más pesados que el aire que el viento arrastrará a partir de un escape accidental de una cantidad determinada en un recipiente o fábrica, en condiciones climáticas diversas. En este tipo de accidentes, la vulnerabilidad tiene que ver principalmente con la proximidad de viviendas, escuelas, hospitales y otros edificios públicos. Hay que tener en cuenta los riesgos individuales y colectivos para cada tipo de catástrofe y comunicar su significado a la población local en el marco de la planificación general en materia de catástrofes.

Reducción de riesgos

Una vez evaluada la vulnerabilidad, deben adoptarse las medidas pertinentes para reducirla, así como el riesgo general. Los edificios nuevos deben ser resistentes a los seísmos si se construyen en una zona sísmica y los antiguos pueden modernizarse para reducir las probabilidades de derrumbe. Puede ser necesario cambiar de sitio los hospitales o “reforzarlos” contra peligros como las tormentas de viento, por ejemplo. En la ordenación territorial de zonas con riesgo de tormentas o de erupción volcánica, no hay que olvidar nunca la necesidad de contar con unas buenas carreteras como vías de evacuación, y pueden adoptarse otras medidas de ingeniería civil en función de la situación. A largo plazo, la medida más importante es regular la utilización del territorio para evitar el desarrollo de asentamientos en zonas peligrosas, como llanuras pluviales, laderas de volcanes activos o inmediaciones de fábricas químicas importantes. Depender en exceso de la ingeniería puede generar una falsa seguridad en zonas peligrosas, o incluso ser contraproducente, pues aumenta el riesgo de sucesos catastróficos inusuales (como la construcción de diques en cursos de agua importantes proclives a inundaciones graves).

Preparación para situaciones de emergencia

La planificación y organización de posibles situaciones de emergencia debería correr a cargo de un equipo interdisciplinario de planificación que se ocupe de la comunidad local, y otro equipo encargado de la evaluación de peligros, reducción de riesgos y respuesta a emergencias. En materia de gestión de víctimas, es ampliamente conocido que, en un país en desarrollo, los equipos médicos del exterior pueden tardar al menos tres días en llegar al lugar de la catástrofe. Puesto que la mayoría de las muertes que podrían evitarse se producen en las primeras 24 a 48 horas, esa asistencia llegará demasiado tarde. Por ello, la preparación para emergencias debe afrontarse primariamente a escala local, de forma que la propia comunidad disponga de los medios para iniciar las medidas de rescate y auxilio inmediatamente después de una desgracia.

En consecuencia, una información adecuada a la población en la fase de planificación debería ser un aspecto clave de la preparación de emergencias.

Necesidades de información y comunicación

A partir de los análisis de peligro y riesgo, es esencial disponer de medios para dar la alarma lo antes posible, así como de un sistema de evacuación de las zonas de alto riesgo en caso de emergencia. Hay que planificar los sistemas de comunicación entre los distintos servicios de emergencia de ámbito local y nacional, y para la transmisión y divulgación efectiva de información en una catástrofe, habrá que establecer una cadena formal de comunicación. Pueden contemplarse también otras medidas, como el almacenamiento de provisiones alimentarias y agua en las viviendas.

Una comunidad cercana a una instalación peligrosa debe ser consciente de que puede oírse una alarma debido a una emergencia (por ejemplo, una sirena si hay un escape de gas) y conocer las medidas de protección que debe adoptar (como entrar inmediatamente en casa y cerrar las ventanas hasta que se les indique que salgan). Un factor esencial en una catástrofe química es la capacidad para definir rápidamente el peligro sanitario que plantea un escape tóxico, lo que significa identificar la sustancia o sustancias químicas emitidas, conocer sus efectos agudos o a largo plazo y determinar quiénes han estado expuestos a dichos efectos entre la población general. Establecer líneas de comunicación con fuentes de información sobre venenos y centros de emergencias químicas es una medida de planificación esencial. Por desgracia, puede ser difícil o imposible saber qué sustancias químicas están presentes en reacciones incontroladas o incendios químicos y, aun cuando fuera fácil identificar un producto químico, el conocimiento toxicológico sobre el ser humano, y en especial de sus efectos crónicos, puede ser escaso o no existir en absoluto, como se descubrió tras el escape de isocianato de metilo en Bhopal. Con todo, si se carece de información sobre el peligro, se dificultará seriamente la gestión médica de las víctimas y de la población expuesta, y también será más difícil tomar decisiones sobre la necesidad de evacuar la zona contaminada.

Hay que prever la constitución de un equipo interdisciplinario encargado de reunir información y emprender una evaluación rápida de los riesgos para la salud y para el medio ambiente, al objeto de excluir la contaminación de suelos, agua y cosechas, teniendo en cuenta que las bases de datos toxicológicos disponibles pueden ser inadecuadas para tomar decisiones en una catástrofe importante, o incluso en pequeños incidentes en los que una comunidad cree haber sufrido una exposición grave. Este equipo debería contar con la experiencia suficiente para confirmar la naturaleza del escape químico e investigar sus probables efectos sobre la salud y el medio ambiente.

En catástrofes naturales, la epidemiología es igualmente importante para valorar las necesidades de asistencia sanitaria en la fase posterior al impacto, así como para el seguimiento de enfermedades infecciosas. La recopilación de datos sobre los efectos de la catástrofe es un ejercicio científico que debería incluirse también en el plan de respuesta; un equipo designado a tal fin debería encargarse de esta tarea para suministrar información vital al equipo de coordinación de la catástrofe y contribuir a la modificación y perfeccionamiento del plan de emergencia.

Mando y control, y comunicaciones de emergencia

La designación del servicio de emergencia responsable, así como la creación de un equipo de coordinación de la catástrofe, variarán en función de los países y del tipo de catástrofe, pero debe planificarse con antelación. En el lugar de los hechos, puede designarse como mando y control o como centro de coordinación interno a un vehículo concreto. Por ejemplo, los servicios de emergencia no pueden confiar demasiado en las comunicaciones

telefónicas, que pueden sobrecargarse, de forma que será necesario establecer conexiones por radio.

Plan hospitalario en caso de accidente mayor

Habría que evaluar la capacidad de los hospitales para gestionar accidentes importantes en términos de personal, recursos materiales (quirófanos, camas, etc.) y tratamiento (medicamentos y equipos). Los hospitales deben contar con planes concretos para hacer frente a un repentino y masivo ingreso de víctimas; una unidad móvil del hospital deberá trasladarse al lugar de los hechos para trabajar con los equipos de búsqueda y rescate en la extracción de las personas atrapadas o en la clasificación *in situ* de un gran número de víctimas. Es posible que los hospitales importantes no puedan funcionar debido a los daños causados por la catástrofe, como ocurrió en el terremoto de Ciudad de México en 1985. Puede ser necesario, por tanto, restaurar o reforzar unos servicios sanitarios destruidos. Para accidentes químicos, los hospitales deben establecer contactos con centros de información toxicológica. También debería contemplarse la capacidad de recurrir a gran número de profesionales de la asistencia sanitaria de dentro y fuera del área catastrófica para atender a los heridos, así como los medios para enviar rápidamente equipos médicos de emergencia y medicamentos.

Equipos de emergencia

En la fase de planificación deben identificarse los equipos de búsqueda y rescate necesarios para una catástrofe concreta y el lugar en que se almacenarán, pues habrá que emplearlos con rapidez en las primeras 24 horas, cuando se puede salvar el mayor número de vidas. Los medicamentos y equipos médicos clave tienen que estar disponibles para un traslado rápido, junto con equipos de protección para el personal de emergencia, incluidos los profesionales sanitarios en el lugar de la catástrofe. La presencia de ingenieros con la preparación necesaria para restaurar urgentemente el agua, la electricidad, las comunicaciones y las carreteras puede ser capital a la hora de mitigar los peores efectos de las catástrofes.

Plan de respuesta a emergencias

Los servicios independientes de emergencia y el sector sanitario —incluida la sanidad pública, los servicios de salud en el trabajo y los profesionales de la salud ambiental— deberían elaborar planes para afrontar posibles catástrofes, que podrían agruparse en un único plan principal. Además de los planes hospitalarios, la planificación de la salud debería incluir programas detallados de respuesta a los distintos tipos de catástrofes, diseñados a la luz de las evaluaciones de peligro y de riesgo realizadas en el marco de la preparación de la catástrofe. Deberían elaborarse protocolos de tratamiento para los tipos concretos de lesiones que puede ocasionar cada catástrofe. Así, para los casos de derrumbe de edificios por terremotos, podría anticiparse toda una gama de traumatismos, incluido el síndrome de aplastamiento, mientras que las quemaduras físicas y las lesiones derivadas de la inhalación tóxica son características de las erupciones volcánicas. En catástrofes químicas, debería planificarse la clasificación, los procedimientos de descontaminación, la administración de antídotos —en su caso— y el tratamiento de emergencia por afecciones pulmonares agudas ocasionadas por gases tóxicos irritantes. La planificación ulterior debe ser suficientemente flexible para hacer frente a emergencias de transporte con intervención de sustancias tóxicas, especialmente en zonas sin instalaciones fijas que normalmente exigirían a las autoridades elaborar planes intensivos de emergencia local. La gestión de emergencia de traumatismos físicos y químicos en catástrofes es un campo vital de la planificación de la asistencia sanitaria, y requiere la formación del personal del hospital en medicina de catástrofes.

Debería incluirse la gestión de evacuados, el emplazamiento de centros de evacuación y las medidas sanitarias preventivas. Habría que considerar igualmente la necesidad de una gestión de urgencia del estrés para prevenir este tipo de trastornos en las víctimas y en el personal de emergencia. En ocasiones, los trastornos psicológicos pueden constituir el principal y hasta el único efecto sobre la salud, especialmente si la respuesta a un incidente ha sido inadecuada y ha generado una ansiedad indebida en la comunidad. Este es un problema específico de los incidentes químicos y de radiación, que puede reducirse a su mínima expresión con una adecuada planificación de emergencia.

Formación y educación

Es probable que el personal médico y otros profesionales sanitarios de los hospitales y de atención primaria no estén habituados a trabajar en catástrofes. Por tanto, la preparación para emergencias debe incluir ejercicios de formación con el sector sanitario y los servicios de emergencia. Los ejercicios simulados tienen también un valor incalculable, y deberían ser lo más realistas posible, dadas las pocas probabilidades existentes de realizar ejercicios físicos a gran escala en vista de su alto coste.

Recuperación posterior

Consiste en la recuperación del estado anterior a la catástrofe en el área afectada. La planificación previa debe contemplar la posterior atención social, económica y psicológica, así como la rehabilitación del medio ambiente. En el caso de accidentes químicos, este último punto comprende asimismo evaluaciones ambientales de contaminantes del agua y las cosechas y, en su caso, las medidas correctivas, como la descontaminación de suelos y edificios y la restauración del suministro de agua potable.

Conclusión

Hasta ahora, el esfuerzo internacional para la preparación de las catástrofes ha sido relativamente pequeño en comparación con las medidas paliativas; sin embargo, aunque la inversión en protección contra catástrofes es costosa, existe un amplio corpus de conocimientos científicos y técnicos disponible que, correctamente aplicado, podría marcar una gran diferencia en las consecuencias de las catástrofes sobre la salud y la economía en todos los países.

● ACTIVIDADES POSTERIORES A LAS CATASTROFES

*Benedetto Terracini
y Ursula Ackermann-Liebrich*

Los accidentes industriales pueden afectar a los trabajadores expuestos en el lugar de trabajo y a la población cercana a la fábrica en que se produce el accidente. Si el accidente es contaminante, es probable que la población afectada sea incomparablemente mayor que el número de trabajadores, lo que plantea complejos problemas logísticos. En este artículo se abordan dichos problemas, así como los ocasionados por los accidentes agrarios.

Entre los motivos para cuantificar los efectos de un accidente sobre la salud podemos citar los siguientes:

- la necesidad de garantizar que todas las personas expuestas han recibido atención médica (independientemente de que todas ellas requiriesen tratamiento). La atención médica puede consistir en la detección y mitigación de consecuencias adversas clínicamente reconocibles (si las hay), y en la

aplicación de medios para prevenir posibles efectos y complicaciones posteriores. Es una tarea obligatoria cuando se produce un accidente en una fábrica, en cuyo caso se sabrá exactamente el número e identidad de las personas que trabajan en ella y se podrá efectuar un seguimiento completo;

- la necesidad de identificar a las personas con derecho a una compensación por los efectos del accidente. Es necesario clasificar a los pacientes en función de la gravedad de su enfermedad y de las probabilidades de que ésta haya sido causada por la catástrofe;
- la adquisición de conocimientos sobre la patogénesis de las enfermedades en el ser humano,
- el interés científico de descifrar los mecanismos de la toxicidad en el ser humano, incluidos aspectos que pueden contribuir a una reevaluación, para una exposición dada, de las dosis consideradas "seguras" en el ser humano.

Clasificación de los accidentes atendiendo a sus consecuencias para la salud

Los accidentes ambientales engloban una amplia gama de sucesos que se producen en las más variadas circunstancias. Se percibe o se sospecha su existencia en primer lugar por cambios ambientales o por la aparición de una enfermedad. En ambos casos, la evidencia (o sospecha) de que "algo puede haber salido mal" puede surgir repentinamente [como el incendio en el almacén de Sandoz en Schweizerhalle, Suiza, en 1986 o la epidemia de lo que luego se denominó "síndrome del aceite tóxico" (SAT) en España en 1981] o de forma soterrada (excesos de mesotelioma tras exposición ambiental —no en el trabajo— a amianto en Wittenoom, Australia). En todos los casos, hay algún momento en que no se halla respuesta a los dos interrogantes fundamentales: ¿Qué consecuencias para la salud se han producido hasta ahora? y ¿qué es previsible que ocurra?

Al evaluar la repercusión de un accidente sobre la salud humana, pueden interactuar tres tipos de factores:

1. el agente o agentes liberados, sus propiedades peligrosas y el riesgo creado por su escape;
2. la experiencia personal de la catástrofe,
3. las medidas de respuesta (Bertazzi 1991).

Puede ser difícil determinar la naturaleza y magnitud del escape, así como la capacidad del material para entrar en los distintos componentes del entorno humano, como la cadena alimentaria o el suministro de agua. Veinte años después del accidente, la cantidad de 2,3,7,8-TCDD liberado en Seveso el 10 de julio de 1976 sigue siendo objeto de controversia. Además, dados los escasos conocimientos sobre la toxicidad de este compuesto, cualquier predicción de riesgo en los días que siguieron el accidente era necesariamente discutible.

La experiencia personal de la catástrofe consiste en el miedo, la ansiedad y el sufrimiento (Ursano, McCaughey y Fullerton 1994) provocados por el accidente, independientemente de la naturaleza del peligro y del riesgo real. Se incluyen tanto cambios conscientes del comportamiento, no necesariamente justificados (como la disminución de la tasa de nacimientos en muchos países europeos occidentales en 1987, tras el accidente de Chernóbil), como condiciones psicogénicas (como síntomas de inquietud en los escolares y soldados israelíes tras el escape de sulfuro de hidrógeno de una letrina defectuosa en un colegio de la orilla occidental del Jordán en 1981). En la actitud ante el accidente influyen también factores subjetivos: en Love Canal, por ejemplo, los padres jóvenes, con poca experiencia de contacto con sustancias químicas en el lugar de trabajo, eran más favorables a evacuar la zona que los padres mayores con hijos ya crecidos.

Por último, un accidente puede tener una repercusión indirecta sobre la salud de las personas expuestas, bien sea por crear peligros adicionales (la inquietud asociada a la evacuación) o, paradójicamente, por generar efectos potencialmente beneficios (como el abandono del hábito del tabaco a consecuencia del contacto con los profesionales de la salud).

Medición de la repercusión de un accidente

No hay duda de que cada accidente requiere una evaluación de sus consecuencias cuantificables o potenciales sobre la población humana expuesta (y sobre la animal, doméstica o salvaje), y puede ser necesario actualizar periódicamente dicha evaluación. Son muchos los factores que influyen en los detalles, extensión y naturaleza de los datos que pueden reunirse para la evaluación. Es fundamental la cantidad de recursos disponibles. A accidentes de la misma gravedad pueden concederse distintos grados de atención en países diferentes, dependiendo de su capacidad para desviar recursos de otros ámbitos sanitarios o sociales. La cooperación internacional puede mitigar parcialmente esta discrepancia: en la práctica, se limita a episodios particularmente dramáticos o que presentan un interés científico especial.

Las consecuencias generales de un accidente sobre la salud pueden ser desde desdenables hasta graves. La gravedad depende de la naturaleza de las afecciones provocadas por el accidente (que pueden incluir la muerte), de la magnitud de la población expuesta y del porcentaje de población que desarrolla la enfermedad. Los efectos desdenables son más difíciles de demostrar desde un punto de vista epidemiológico.

Entre las fuentes de datos que deben utilizarse para evaluar las consecuencias de un accidente sobre la salud se encuentran, en primer lugar, las estadísticas ya existentes (antes de plantearse la creación de nuevas bases de datos de población, siempre debería considerarse la posibilidad de utilizar los datos ya recogidos). Puede obtenerse información adicional de estudios epidemiológicos analíticos basados en hipótesis, para los cuales las estadísticas existentes pueden ser o no útiles. Si en un entorno laboral no existe una vigilancia sanitaria de los trabajadores, el accidente puede ofrecer la oportunidad de establecer un sistema de vigilancia que finalmente ayude a proteger a los trabajadores de otros peligros potenciales para la salud.

A efectos de la vigilancia clínica (a corto o largo plazo) y del pago de compensaciones, la enumeración exhaustiva de las personas expuestas es una condición *sine qua non*. Es algo relativamente sencillo de hacer en los accidentes ocurridos dentro de fábricas. Cuando la población afectada puede definirse atendiendo al lugar en que vive, la lista de habitantes de demarcaciones municipales (o de unidades menores, si es posible) puede ofrecer una aproximación aceptable. La elaboración de un registro puede ser más problemática en otras circunstancias, en particular cuando existe la necesidad de elaborar una lista de personas con síntomas posiblemente atribuibles al accidente. En el episodio de SAT en España, para obtener el registro de las personas que debían incluirse en el seguimiento clínico a largo plazo se utilizó la lista de las 20.000 personas que solicitaban una compensación financiera, y se corrigió posteriormente revisando las historias clínicas. Dada la publicidad que se dio a este episodio, el registro se considera razonablemente completo.

Un segundo requisito es que las actividades encaminadas a medir la repercusión de un accidente sean racionales, estén claramente definidas y sean fáciles de explicar a la población afectada. El período de latencia puede variar de días a años. Si se dan determinadas condiciones, pueden formularse hipótesis a priori sobre la naturaleza de la enfermedad y la probabilidad de su aparición con precisión suficiente para diseñar un programa de vigilancia clínica adecuado y estudios centrados en uno o varios de los objetivos mencionados al principio de este artículo.

Dichas condiciones comprenden la rápida identificación del agente liberado en el accidente, la disponibilidad de un conocimiento adecuado sobre sus propiedades peligrosas a corto y largo plazo, la cuantificación del escape, y algunos datos sobre las diferencias de susceptibilidad a los efectos del agente entre individuos distintos. En la práctica, raras veces se dan estas condiciones; una consecuencia de la incertidumbre e ignorancia subyacentes es que es más difícil resistir la presión de la opinión pública y de los medios de comunicación para que se dispense una prevención o una intervención médica de dudosa utilidad.

Por último, lo antes posible tras la confirmación de un accidente, es necesario crear un equipo interdisciplinario (incluidos médicos, químicos, higienistas industriales, epidemiólogos, toxicólogos humanos y experimentales) que sea responsable ante la autoridad política y ante el público. En la selección de expertos, hay que tener presente que la gama de sustancias químicas y tecnológicas que pueden intervenir en un accidente es muy amplia, de forma que pueden presentarse varios tipos de toxicidad con diferentes sistemas bioquímicos y fisiológicos.

Medición de la repercusión de un accidente a través de las estadísticas existentes

Los actuales indicadores sanitarios (mortalidad, natalidad, ingresos hospitalarios, bajas laborales por enfermedad y visitas médicas) pueden proporcionar una visión inmediata de las consecuencias de un accidente, siempre que sean estratificables para la zona afectada, lo que no siempre será posible, pues a veces se trata de áreas pequeñas que no se corresponden necesariamente con unidades administrativas. Es probable que las asociaciones estadísticas entre el accidente y un exceso de sucesos inmediatos (que tienen lugar en días o semanas) detectados por medio de los indicadores sanitarios existentes sean causales, pero esto no significa necesariamente que se esté produciendo un efecto de toxicidad (por ejemplo, un exceso de visitas médicas puede estar ocasionado por el miedo y no por la aparición real de la enfermedad). Como siempre, hay que tener cuidado al interpretar cualquier cambio en los indicadores sanitarios.

Aunque no todos los accidentes producen víctimas mortales, la mortalidad es un criterio de valoración fácilmente cuantificable, ya sea mediante el recuento directo (como en Bhopal) o por comparación entre el número de sucesos observados y el previsto (episodios agudos de contaminación atmosférica en zonas urbanas). Determinar que un accidente no está asociado a un exceso de mortalidad inmediata puede ayudar a la hora de evaluar la gravedad de su repercusión y dedicar atención a las consecuencias no mortales. Además, la mayoría de los países disponen de las estadísticas necesarias para calcular la previsión de fallecimientos, que permiten establecer estimaciones en zonas tan pequeñas como las que habitualmente se ven afectadas por un accidente. La evaluación de la mortalidad sobre la base de determinadas afecciones es más problemática, debido a una posible predisposición de los funcionarios sanitarios —conocedores de cuáles son las enfermedades que se espera que aumenten tras el accidente— al certificar las causas de los fallecimientos (predisposición de sospecha de diagnóstico).

En consecuencia, la interpretación de los indicadores sanitarios a partir de las fuentes de datos existentes requiere un cuidadoso plan de análisis específicos, que incluya la consideración detallada de posibles factores de confusión.

En ocasiones, poco después de un accidente, se plantea la conveniencia de crear un registro de cáncer convencional en la población, o un registro de malformaciones. Para estas afecciones concretas, los registros pueden proporcionar una información más fiable que otras estadísticas (como la mortalidad o los ingresos hospitalarios), especialmente si los registros de nueva creación se gestionan de acuerdo con normas internacionales

aceptables. Ahora bien, su creación requiere la reasignación de recursos. Además, si tras un accidente se establece un registro completamente nuevo de malformaciones basado en la población, lo más probable es que en un plazo de nueve meses no genere datos comparables a los de otros registros, y se producirán una serie de problemas deductivos (en especial, error estadístico del segundo tipo). En última instancia, la decisión se basa en gran medida en la evidencia de carcinogenicidad, embriotoxicidad o teratogenicidad del peligro o peligros que se han producido, y en los posibles usos alternativos de los recursos disponibles.

Estudios epidemiológicos específicos

Ni siquiera en zonas cubiertas por precisos sistemas de vigilancia de los motivos de los ingresos hospitalarios y de las consultas médicas, los indicadores ofrecerán toda la información necesaria para evaluar la repercusión de un accidente sobre la salud ni la adecuación de la respuesta médica al mismo. Hay afecciones concretas o indicadores de respuesta individual que no requieren el contacto con los servicios médicos, o no se corresponden con las clasificaciones de enfermedad utilizadas habitualmente en las estadísticas (de forma que su aparición no sería detectable). Puede ser necesario considerar "víctimas" del accidente a personas en condiciones limítrofes entre la aparición y la no aparición de la enfermedad. Con frecuencia, es necesario investigar la gama de protocolos terapéuticos utilizada (y evaluar su eficacia). En este artículo se expone sólo una muestra de los problemas que pueden plantearse y hacer necesaria una investigación específica. En cualquier caso, deben establecerse procedimientos para recibir otras quejas.

La investigación difiere de la atención sanitaria en el sentido de que no está directamente relacionada con el interés de una persona en tanto que víctima de un accidente. Una investigación específica debe plantearse de forma que cumpla sus objetivos: ofrecer una información fiable y demostrar o rechazar una hipótesis. El muestreo puede ser razonable a los efectos de una investigación (si es aceptada por la población afectada), pero no para la atención médica. Por ejemplo, en caso de derrame de un agente que se sospeche pueda dañar la médula ósea, hay dos escenarios totalmente diferentes a la hora de responder a las dos preguntas siguientes: *a)* si la sustancia química induce realmente la leucopenia, y *b)* si todas las personas expuestas han sido sometidas a una detección exhaustiva de leucopenia. En un marco laboral, puede darse respuesta a las dos preguntas. En una población, la decisión dependerá también de las posibilidades de una intervención útil para tratar a los afectados.

En principio, hay que contar con un nivel suficiente de capacidad epidemiológica local para decidir si deben realizarse estudios específicos y, en caso afirmativo, diseñarlos y supervisar su puesta en funcionamiento. Ahora bien, las autoridades sanitarias, los medios de comunicación o la población pueden no considerar neutrales a los epidemiólogos de la zona; así, puede ser necesario recurrir a ayuda externa, incluso en una fase muy temprana. Los mismos epidemiólogos deberían contribuir a la interpretación de los datos descriptivos basados en las estadísticas disponibles, y al desarrollo de hipótesis causales si es necesario. Si la zona no dispone de epidemiólogos, será necesaria la colaboración de otros organismos (normalmente los institutos nacionales de salud o la OMS). Son de lamentar los episodios debidos a la falta de capacidad epidemiológica.

En cualquier caso, si se considera necesario un estudio epidemiológico, hay que responder a algunas preguntas preliminares: ¿cómo se utilizarán los resultados previsibles? ¿Puede el deseo de una deducción más refinada retrasar indebidamente los procedimientos de limpieza u otras medidas preventivas? ¿Debe el equipo científico interdisciplinario (y tal vez otros epide-

miólogos) documentar y evaluar previamente el programa de investigación propuesto? ¿Se dará a las personas que van a ser estudiadas una información detallada para garantizar su autorización plenamente informada, previa y voluntaria? Si se demuestra la existencia de un efecto sobre la salud, ¿qué tratamientos están disponibles y cómo se aplicarán?

Por último, si el accidente ha sido grave y hay razones para temer consecuencias posteriores, deberían llevarse a cabo estudios de cohortes de mortalidad prospectivos. La viabilidad de dichos estudios difiere de un país a otro. En Europa, varían entre la posibilidad de "señalar" nominalmente a las personas (como en las poblaciones rurales de Shetland, Reino Unido, tras el derrame de Braer Oil) y la necesidad de contactos sistemáticos con las familias de las víctimas para identificar a las personas moribundas (por ejemplo, el SAT, en España).

Detección selectiva de afecciones prevalentes

Ofrecer atención médica a las personas afectadas es una reacción natural ante un accidente que puede haberlas dañado. El intento de identificar a todos aquellos individuos de una población expuesta que padezcan enfermedades relacionadas con el accidente (y ofrecerles atención médica, si la necesitan) responde al concepto convencional de *detección selectiva*. Los principios básicos, las posibilidades y las limitaciones de cualquier programa de detección selectiva (independientemente de la población a que se dirija, la enfermedad que haya que identificar o la herramienta utilizada como prueba diagnóstica) tienen tanta validez ante un accidente ambiental como en cualquier otra circunstancia (Morrison 1985).

Tan importante como estimar la participación y comprender las razones de la falta de respuesta es medir la sensibilidad, adecuación y valor predictivo de la prueba o pruebas diagnósticas, diseñar un protocolo para procedimientos diagnósticos posteriores (si es necesario) y administrar la terapia (en su caso). Si no concede suficiente importancia a estos principios, los programas de detección selectiva a corto o largo plazo pueden resultar más perjudiciales que beneficiosos. Efectuar análisis médicos o de laboratorio innecesarios es malgastar recursos y desviarlos del suministro de la asistencia necesaria al conjunto de la población. Hay que planificar y evaluar cuidadosamente los procedimientos para garantizar un alto nivel de atención a estos principios.

Las reacciones emocionales y las incertidumbres que rodean los accidentes ambientales pueden complicar aún más las cosas: los médicos tienden a la vaguedad en el diagnóstico de enfermedades limítrofes, y algunas "víctimas" pueden considerarse con derecho a tratamiento médico, independientemente de si lo necesitan o de si les es útil. A pesar del caos que suele seguir a un accidente ambiental, hay que tener presentes algunas condiciones *sine qua non* para cualquier programa de detección selectiva:

1. los procedimientos deben recogerse en un protocolo escrito (incluidas las pruebas diagnósticas de segundo grado y la terapia que se aplicará a las personas afectadas o enfermas);
2. debe designarse un responsable del programa;
3. debe hacerse una estimación preliminar de la adecuación y sensibilidad de la prueba diagnóstica;
4. debe existir coordinación entre los médicos que participen en el programa,
5. las tasas de participación deben cuantificarse y revisarse a intervalos regulares.

Efectuar algunas estimaciones previas de la eficacia del programa en su conjunto ayudaría también a decidir si merece o no la pena aplicarlo (por ejemplo, no es conveniente fomentar ningún programa de anticipación del diagnóstico del cáncer de pulmón).

Asimismo, debe crearse un procedimiento encaminado a reconocer otras quejas.

En cualquier fase, los procedimientos de detección selectiva pueden tener otra utilidad: estimar la prevalencia de las enfermedades, como base para evaluar las consecuencias del accidente. Una fuente importante de sesgos en estas estimaciones (que se acentúa con el tiempo) es la representatividad de las personas expuestas que se someten a los procedimientos de diagnóstico. Otro problema es la identificación de grupos de control adecuados para comparar las estimaciones de prevalencia obtenidas. Los controles efectuados entre la población pueden estar sujetos a sesgos tanto en la selección como en la muestra de personas expuestas. Con todo, en algunas circunstancias, los estudios de prevalencia son de la mayor importancia (especialmente cuando no se conoce la historia natural de la enfermedad, como en el caso del SAT), y pueden utilizarse grupos de control exteriores al estudio, incluidos los reunidos en otros lugares para otros objetivos, cuando el problema es importante o grave.

Empleo de sustancias biológicas con fines epidemiológicos

A efectos descriptivos, la recogida de sustancias biológicas (orina, sangre, tejidos) de miembros de la población expuesta puede proporcionar indicadores de dosis internas, que por definición son más precisos —aunque no los sustituyen totalmente— que los que pueden obtenerse mediante estimaciones de la concentración del contaminante en los distintos componentes del medio ambiente o mediante cuestionarios individuales. En toda evaluación, deberían tenerse en cuenta los posibles sesgos derivados de la falta de representatividad de los miembros de la comunidad de los que se toman las muestras biológicas.

Almacenar muestras biológicas puede ser útil, en una fase posterior, para la realización de estudios epidemiológicos específicos que requieran estimaciones de la dosis interna (o de los efectos precoces) a escala individual. Es vital recoger (y conservar adecuadamente) muestras biológicas inmediatamente después del accidente, y esta práctica debe fomentarse aun en ausencia de hipótesis definidas para su uso. El proceso de autorización informada debe garantizar que el paciente comprende que su material biológico se almacenará para ser utilizado en análisis aún no determinados. A este respecto, es útil excluir determinados análisis (como la identificación de

trastornos de la personalidad) del uso de las muestras, al objeto de ofrecer mayor protección al paciente.

Conclusiones

El razonamiento subyacente a la intervención médica y a los estudios epidemiológicos sobre la población afectada por un accidente varía entre dos extremos: *evaluar* la repercusión de agentes que constituyen peligros potenciales demostrados, y a los que la población afectada está (o ha estado) claramente expuesta, y *explorar* los posibles efectos de agentes cuyo potencial de peligro se supone y cuya presencia en la zona se sospecha. Las diferencias entre los expertos (y entre las personas en general) en la percepción de la importancia de un problema son inherentes a la condición humana. Lo que importa es que cualquier decisión tenga una motivación clara y un plan de acción transparente, y cuente con el apoyo de la comunidad afectada.

PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL CLIMA

Jean French

Durante mucho tiempo se ha aceptado que los problemas relacionados con el clima son un fenómeno natural, y es inevitable que se produzcan muertes o lesiones a causa de este tipo de acontecimientos (véase la Tabla 39.17). Hasta las dos últimas décadas no se empezaron a estudiar los factores que contribuyen a la muerte y las lesiones derivadas de fenómenos atmosféricos como un medio de prevención. Dado el poco tiempo transcurrido desde la adopción de este enfoque, los datos son limitados, especialmente los relativos al número y circunstancias de las muertes y lesiones de trabajadores derivadas de fenómenos atmosféricos. Lo que sigue es un panorama general de los hallazgos realizados hasta la fecha.

Inundaciones y maremotos

Definiciones, fuentes y episodios

Las inundaciones se producen como resultado de varias causas distintas. En una misma zona climática, se observan importantes variaciones en materia de inundaciones a causa de las

Tabla 39.17 • Riesgos profesionales asociados con fenómenos atmosféricos.

Fenómeno atmosférico	Tipo de trabajador	Agentes bioquímicos	Lesiones traumáticas	Ahogados	Quemaduras/golpes de calor	Accidentes de automóvil	Estrés
Inundaciones Huracanes	Personal de policía, incendios y emergencias	*	*	*			
	Transporte		*	**			*
	Metro			*			*
	Instalador de líneas		*		*		*
	Limpieza	***					*
Tornados	Personal de policía, incendios y emergencias	*	*				*
	Transporte		***			*	*
	Limpieza	**	*				
Incendios forestales leves	Bomberos	**	**		**	***	*

* grado de riesgo.

fluctuaciones del ciclo hidrológico y de otras condiciones naturales y artificiales (Chagnon, Schict y Semorin 1983). El Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos (US National Weather Service) ha definido como *inundaciones repentinas* las que se producen unas horas después de precipitaciones intensas o excesivas, del fallo de presas o diques, o del escape repentino de agua embalsada por la obstrucción producida por el hielo o por troncos. Aunque la mayor parte de las inundaciones repentinas son consecuencia de una intensa actividad tormentosa local, algunas se producen en conjunción con ciclones tropicales. Las causas primeras de las inundaciones repentinas suelen ser unas condiciones atmosféricas que influyen en la continuidad e intensidad de las precipitaciones. Entre otros factores que contribuyen a las inundaciones repentinas se cuentan la inclinación de las laderas (terreno montañoso), la ausencia de vegetación, la falta de drenaje del suelo, las materias flotantes y los embalses de hielo, el deshielo rápido, los fallos de presas y diques, la ruptura de lagos glaciares y las anomalías volcánicas (Marrero 1979).

En las *inundaciones fluviales* pueden influir factores que generen inundaciones repentinas, pero se pueden producir inundaciones más lentas como resultado de las características del cauce, del tipo de suelo y de subsuelo y del grado de modificación artificial de sus vías de escape (Chagnon, Schict y Semorin 1983; Marrero 1979). Las *inundaciones costeras* pueden ser consecuencia de temporales, resultado a su vez de tormentas o ciclones tropicales, o ser ocasionadas por vientos tormentosos que lleven las aguas del mar al interior. El tipo más devastador de inundación costera es el *tsunami* o maremoto generado por seísmos submarinos o erupciones volcánicas. La mayor parte de los tsunamis registrados se han producido en el Pacífico y sus zonas costeras. Las islas Hawai son especialmente propensas a sufrir daños ocasionados por los tsunamis, pues se encuentran en medio del Pacífico (Chagnon, Schict y Semorin 1983; Whitlow 1979).

Factores de morbilidad y mortalidad

Se ha estimado que las inundaciones representan el 40 % de las catástrofes mundiales y producen los daños más graves. La inundación más letal conocida en toda la Historia se produjo en el río Amarillo en 1887, cuando el río desbordó diques de una altura de 70 pies, destruyendo once ciudades y trescientos pueblos. Se calcularon 900.000 víctimas mortales. En 1969, el número de muertos se situó en torno a los cientos de miles en la provincia de Shantung, en China, cuando todo el valle del río Amarillo se vio inundado por oleajes tormentosos. En enero de 1967, una inundación repentina en Río de Janeiro causó la muerte a 1.500 personas. En 1974, lluvias intensas inundaron Bangladesh y ocasionaron 2.500 muertos. En 1963, lluvias intensas provocaron un enorme corrimiento de tierras que cayó sobre el lago situado detrás de la presa de Vaiont en el norte de Italia, empujando 100 millones de toneladas de agua sobre la presa y causando 2.075 muertes (Frazier 1979). En 1985, en Puerto Rico cayeron, en un espacio de diez horas, entre 7 y 15 pulgadas de lluvia, ocasionando la muerte a 180 personas (French y Holt 1989).

Las inundaciones fluviales se han controlado gracias a la ingeniería y a una mayor forestación de las vertientes (Frazier 1979). No obstante, en los últimos años se han incrementado las inundaciones repentinas, que constituyen la primera causa de muertes relacionadas con fenómenos atmosféricos en Estados Unidos. El aumento de las muertes debidas a inundaciones repentinas se atribuye al crecimiento de la población y a la mayor urbanización de zonas muy proclives a este tipo de inundaciones (Mogil, Monro y Groper 1978).

El paso rápido del agua, junto con materiales como rocas y árboles caídos, son la primera causa de morbilidad y mortalidad

relacionada con inundaciones. Algunos estudios realizados en Estados Unidos han demostrado que en las inundaciones se registra una elevada proporción de ahogados en coches; se trata de personas que se desplazan en coche hacia zonas bajas o por puentes inundados; se quedan atascadas en zonas de aguas altas o se ven bloqueadas por materiales, quedando atrapadas dentro del coche mientras les alcanzan las corrientes de agua (French y cols. 1983). Algunos estudios de seguimiento de víctimas de inundaciones muestran una pauta consistente de problemas psicológicos hasta cinco años después de la inundación (Melick 1976; Logue 1972). Otros estudios ponen de manifiesto un aumento significativo de la incidencia de hipertensión, afecciones cardiovasculares, linfoma y leucemia en víctimas de inundaciones, que algunos investigadores atribuyen a factores de estrés (Logue y Hansen 1980; Janerich y cols. 1981; Greene 1954). Se produce un mayor potencial de exposición a agentes biológicos y químicos cuando las inundaciones averían los sistemas de depuración de aguas y de evacuación de residuos, rompen depósitos subterráneos, desbordan zonas de residuos tóxicos o favorecen la propagación y dispersión de sustancias químicas almacenadas sobre el nivel del suelo (French y Holt 1989).

Aunque, en general, los trabajadores están expuestos a los mismos riesgos de inundaciones que la población general, algunos grupos profesionales corren mayor peligro. Los trabajadores de la limpieza presentan un alto riesgo de exposición a agentes biológicos y químicos tras inundaciones. Los trabajadores subterráneos, en especial los que trabajan en espacios cerrados, pueden verse atrapados en inundaciones repentinas. Los conductores de camiones y otros trabajadores de transportes corren un alto riesgo de mortalidad en vehículos a consecuencia de inundaciones. Como en otras catástrofes relacionadas con el clima, los bomberos, la policía y el personal médico de emergencia se enfrentan también a situaciones de alto riesgo.

Medidas de prevención y control, y necesidades de investigación

La prevención de las muertes y lesiones causadas por las inundaciones puede adoptar muchas formas: identificación de las zonas proclives a inundaciones; advertencia al público de la existencia de dichas zonas y asesoramiento sobre las medidas de prevención adecuadas; inspección de presas y emisión de certificados de seguridad de las mismas; definición de las condiciones meteorológicas que provocan precipitaciones y escorrentías intensas, y alarma inmediata de inundación para una zona geográfica concreta en un espacio de tiempo determinado. La morbilidad y mortalidad derivadas de exposiciones secundarias pueden evitarse garantizando que los suministros de agua y de alimentos sean seguros y no estén contaminados con agentes biológicos y químicos, e implantando unas prácticas apropiadas de evacuación de los residuos humanos. El suelo que rodea los depósitos y las balsas de residuos tóxicos debería someterse a inspecciones para determinar si se ha producido contaminación debido al desbordamiento de zonas de almacenaje (French y Holt 1989). Aunque los programas de vacunación masiva son contraproducentes, los trabajadores sanitarios y de la limpieza deben ser convenientemente inmunizados e instruidos en unas prácticas higiénicas adecuadas.

Es necesario mejorar la tecnología para que las alarmas de inundación repentina puedan concretarse más en términos de tiempo y lugar. Deberían evaluarse las condiciones para determinar si la evacuación ha de realizarse en coche o a pie. Tras una inundación, es conveniente estudiar una cohorte de trabajadores de sectores relacionados con la inundación para evaluar el riesgo de efectos adversos sobre la salud física y mental.

Huracanes, ciclones y tormentas tropicales

Definiciones, fuentes y episodios

Un *huracán* se define como un sistema de rotación de vientos que gira en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte, se forma con aguas tropicales y produce unos vientos de al menos 118,4 km/h. Esta acumulación giratoria de energía se forma cuando determinadas condiciones de calor y presión provocan y empujan vientos a través de una amplia zona de océano que acaban envolviéndose en un área de bajas presiones. Un *tifón* es comparable a un huracán, pero se forma en aguas del Pacífico. *Ciclón tropical* es el término utilizado para designar la circulación de viento en torno a un núcleo de bajas presiones atmosféricas en aguas tropicales. Una *tormenta tropical* se define como un ciclón con vientos de 62,4 a 117,8 km/h, y una *depresión tropical* es un ciclón con vientos inferiores a 62,4 km/h.

Actualmente, se considera que muchos ciclones tropicales se generan en África, en la zona inmediatamente al sur del Sáhara. Se inician como una inestabilidad en una estrecha corriente de aire de Este a Oeste que se produce en la zona entre junio y diciembre debido a la gran diferencia de temperaturas existente entre el desierto cálido y la zona más fresca y húmeda situada al sur. Los estudios demuestran que los trastornos generados en África tienen largos ciclos de vida, y muchos de ellos cruzan el Atlántico (Herbert y Taylor 1979). A lo largo del siglo XX, vienen cruzando el Atlántico una media anual de diez ciclones tropicales, seis de los cuales se convierten en huracanes. Cuando el huracán (o tifón) alcanza su intensidad máxima, las corrientes de aire formadas en las zonas de altas presiones de las Bermudas o del Pacífico desvían su curso hacia el norte. Aquí, las aguas del océano son más frías, hay menos evaporación, menos vapor de agua y menos energía para alimentar la tormenta. Si la tormenta llega a tierra, el suministro de vapor de agua se corta por completo. Como el huracán o tifón sigue desplazándose hacia el norte, sus vientos comienzan a disminuir. Determinadas características topográficas, como las montañas, pueden contribuir también a la disolución de la tormenta. Las zonas geográficas de mayor riesgo de huracanes son el Caribe, México y los Estados de la Costa Este y la Costa del Golfo de Estados Unidos. Un típico tifón del Pacífico se forma en las aguas tropicales cálidas situadas al este de las islas Filipinas. Puede avanzar hacia el Oeste y alcanzar la costa china o girar hacia el norte, acercándose a Japón. La trayectoria de la tormenta se determina a medida que va desplazándose en torno al borde occidental del sistema de altas presiones del Pacífico (*Understanding Science and Nature: Weather and Climate* 1992).

La potencia destructiva de un huracán (tifón) viene determinada por la forma en que se combinan el temporal, el viento y otros factores. Los sistemas de predicción han desarrollado una escala de cinco categorías de potencial catastrófico para cuantificar el riesgo previsible de huracanes próximos. La categoría 1 es un huracán mínimo y la 5 un huracán máximo. En el período comprendido de 1900 a 1982, se abatieron directamente sobre Estados Unidos 136 huracanes, 55 de ellos de una intensidad mínima de 3. Florida sufrió los efectos del mayor número y de las más intensas de estas tormentas, junto con Texas, Louisiana y Carolina del Norte, por este orden (Herbert y Taylor 1979).

Factores de morbilidad y mortalidad

Aunque los vientos ocasionan grandes daños a los bienes, no son la causa del mayor número de muertes en un huracán. La mayor parte de las víctimas mueren ahogadas. La inundación que acompaña a un huracán puede deberse a una lluvia intensa o al temporal. El Servicio meteorológico nacional de Estados Unidos (US National Weather Service) estima que los temporales causan nueve de cada diez muertes asociadas a los huracanes (Herbert y

Taylor 1979). Los grupos profesionales a los que más intensamente afectan los huracanes (tifones) son los relacionados con el transporte marítimo (debido a la extrema agitación de los mares y a los grandes vientos); con el tendido eléctrico, a quienes se recurre para reparar líneas dañadas, con frecuencia en plena tormenta; bomberos y policías que intervienen en evacuaciones y en la protección de los bienes de los evacuados; y personal médico de emergencia. En la sección de inundaciones se contemplan otros grupos profesionales.

Medidas de prevención y control, y necesidades de investigación

El número de muertos y heridos asociado con huracanes (tifones) ha descendido radicalmente en los últimos veinte años en las zonas en que se han implantado avanzados sistemas de alarma. Los pasos principales que hay que seguir para prevenir muertes y lesiones son los siguientes: identificar los datos meteorológicos previos que anuncian estas tormentas, y seguir su curso y su posible transformación en huracanes; dar la alarma con tiempo para permitir una evacuación inmediata, si es necesario; aplicar prácticas estrictas de ordenación del territorio y códigos rigurosos de construcción en zonas de alto riesgo, y elaborar planes de emergencia en este tipo de áreas para permitir una evacuación ordenada y disponer de refugios suficientes para los evacuados.

Dado que se han estudiado en profundidad los factores meteorológicos que contribuyen a los huracanes, contamos con gran cantidad de información al respecto. Ahora bien, hacen falta más datos sobre la variación en incidencia e intensidad de los huracanes a lo largo del tiempo. Después de cada huracán debería evaluarse la eficacia de los planes de emergencia existentes, y determinar si las construcciones protegidas contra la velocidad del viento están también protegidas contra los temporales.

Tornados

Formación y pautas de incidencia

Los tornados se forman cuando capas de aire de diferente temperatura, densidad y velocidad se combinan para producir poderosas corrientes ascendentes que forman inmensas nubes del tipo cúmulonimbos; éstas se transforman en apretadas espirales que giran sobre su eje al ser empujadas por fuertes vientos transversales. Este vórtice arrastra hacia el interior de la nube más aire caliente, que hace que el sistema rote con mayor rapidez, hasta que del cúmulonimbo sale una nube en forma de embudo que encierra una fuerza explosiva (*Understanding Science and Nature: Weather and Climate* 1992). Un tornado medio tiene una trayectoria aproximada de 2 millas de largo y 50 yardas de ancho, y afecta en torno a 0,06 millas cuadradas, con una velocidad del viento de hasta 300 millas por hora. Los tornados se producen en zonas en que pueden chocar frentes cálidos y fríos, lo que genera unas condiciones inestables. Aunque las probabilidades de que un tornado afecte a una localidad concreta son extremadamente pequeñas (probabilidad de 0,0363), algunas zonas, como el Medio Oeste de Estados Unidos, son especialmente vulnerables.

Factores de morbilidad y mortalidad

Los estudios demuestran que las personas que ocupan viviendas móviles y coches ligeros están expuestas a un riesgo especialmente alto en caso de tornado. Según un estudio sobre tornados realizado en las cataratas de Wichita, Texas, los ocupantes de viviendas móviles tenían 40 veces más probabilidades de sufrir lesiones graves o fatales que los habitantes de viviendas fijas, y los ocupantes de automóviles corrían un riesgo aproximadamente cinco veces mayor (Glass, Craven y Bregman 1980). La principal

causa de muerte es el traumatismo craneoencefálico, seguido de fracturas de cráneo y de tronco. Las fracturas son la forma más frecuente de lesiones no fatales (Mandlebaum, Nahrwold y Boyer 1966; High y cols. 1956). También los trabajadores que pasan la mayor parte de su tiempo de trabajo en automóviles ligeros o que tienen sus oficinas en viviendas móviles se encuentran en una situación de alto riesgo. Son aplicables asimismo las consideraciones sobre los trabajadores de la limpieza que se avanzaron en el capítulo de inundaciones.

Prevención y control

La emisión de alarmas adecuadas y la necesidad de que la población tome las medidas oportunas en respuesta a dichas alarmas son los factores más importantes para la prevención de muertes y lesiones relacionadas con tornados. En Estados Unidos, el Servicio meteorológico nacional ha adquirido avanzados equipos, como radares Doppler, para detectar las condiciones que llevan a la formación de un tornado, y dar la alarma. Un *aviso* de tornado significa que una zona determinada reúne condiciones que pueden desembocar en la formación de un tornado, y una *alarma* de tornado quiere decir que se ha avistado un tornado en una zona dada, cuyos habitantes deben refugiarse adecuadamente: es decir, bajar a los sótanos, si existen; meterse en una habitación o habitáculo interior o, si se encuentran en el exterior, refugiarse en una cuneta o en una hondonada (barranco).

Hay que avanzar más en la investigación para evaluar si las alarmas se divulgan de una forma eficaz, y qué grado de atención les presta la población. También está por determinar si las áreas de refugio prescritas ofrecen realmente una protección adecuada contra la muerte o lesiones. Hay que reunir información sobre el número de muertes y lesiones en los trabajadores de servicios relacionados con tornados.

Rayos e incendios forestales

Definiciones, fuentes y episodios

Cuando un cúmulonimbo se convierte en una tormenta, varias secciones de la nube acumulan cargas eléctricas positivas y negativas. Una vez creadas dichas cargas, las negativas fluyen hacia las positivas en un rayo que se desplaza por el interior de la nube o de la nube al suelo. La mayor parte de los rayos se dirigen de una nube a otra, pero el 20 % lo hacen de la nube al suelo. Un rayo entre una nube y el suelo puede ser positivo o negativo. Un rayo positivo es más potente y tiene más probabilidades de desencadenar un incendio forestal. El hecho de que caiga un rayo no provocará un incendio a menos que encuentre un material fácilmente inflamable, como agujas de pino, hierba o resina. Si el fuego se propaga a madera en descomposición, puede arder sin ser percibido durante un largo período de tiempo. Los rayos generan incendios con más frecuencia cuando la lluvia contenida en la nube de tormenta se evapora antes de llegar al suelo. Este fenómeno se denomina rayo seco (Fuller 1991). Se estima que, en zonas secas y rurales, como Australia y el oeste de Estados Unidos, el 60 % de los incendios forestales son causados por el rayo.

Factores de morbilidad y mortalidad

La mayor parte de los bomberos que mueren en incendios fallecen en accidentes de camión o helicóptero, o bien al ser alcanzados por la caída de ramaje, más que por el propio incendio. Claro está que la lucha contra el fuego puede provocar golpes de calor, agotamiento por calor y deshidratación. El golpe de calor consiste en que la temperatura del cuerpo supera los 39,4 °C y puede ocasionar la muerte o daños al cerebro. El monóxido de carbono es otra amenaza, particularmente en

fuegos sin llama. En un estudio sobre 293 bomberos, los investigadores descubrieron que la sangre de 62 de ellos contenía niveles de carboxihemoglobina superiores al máximo admisible, de un 5 %, tras ocho horas en el frente de incendio (Fuller 1991).

Medidas de prevención y control, y necesidades de investigación

Debido al peligro y al estrés físico y mental inherentes a la lucha contra el fuego, los bomberos no deben trabajar más de 21 días seguidos, con un día libre por cada 7 días trabajados. Además de llevar un equipo de protección adecuado, deben aprender los factores de seguridad, como planificar vías de escape, mantenerse en comunicación, estar alerta ante peligros, estar pendientes del clima, confirmar las instrucciones y actuar antes de que una situación se haga crítica. Entre las órdenes habituales de lucha contra el fuego destacan: saber cuál es el desarrollo del incendio, colocar torres de vigilancia y dar unas instrucciones claras y comprensibles (Fuller 1991).

Entre los factores relacionados con la prevención de incendios forestales provocados por rayos se incluye reducir la presencia de materiales combustibles, como maleza y leña seca o árboles fácilmente combustibles como los eucaliptos, impedir la construcción en zonas con alta probabilidad de incendios y procurar una detección precoz de los incendios forestales. La detección precoz se ha visto facilitada por el desarrollo de nuevas tecnologías, como un sistema de infrarrojos que se monta en helicópteros para vigilar si las caídas de rayos notificadas por la vigilancia aérea y por los sistemas de detección han provocado incendios, y para establecer puntos de actuación para los efectivos de tierra y para el lanzamiento de agua desde helicópteros (Fuller 1991).

Es necesario contar con más información sobre el número y circunstancias de las muertes y lesiones asociadas a los incendios forestales provocados por rayos.

AVALANCHAS: RIESGOS Y MEDIDAS DE PROTECCION

Gustav Poinstingl

Desde que los seres humanos comenzaron a asentarse en zonas montañosas, han estado expuestos a los riesgos inherentes a la vida en la montaña. Entre los peligros más traicioneros se encuentran las avalanchas y los corrimientos de tierras, que se han cobrado víctimas hasta nuestros días.

Cuando las montañas quedan cubiertas por varios pies de nieve en invierno, y se dan determinadas condiciones, una masa de nieve que cubre las laderas empinadas o las cumbres como una espesa manta puede desprenderse del suelo y deslizarse hacia abajo por efecto de su propio peso. Así, inmensas cantidades de nieve caen estrepitosamente en la dirección más recta y se depositan en los valles. La energía cinética liberada produce peligrosas avalanchas, que barren, aplastan o entierran cuanto encuentran a su paso.

Las avalanchas se dividen en dos categorías en función del tipo y estado de la nieve: avalanchas de nieve seca o "polvo" y avalanchas de nieve húmeda o "papa". Las primeras son peligrosas por las olas de "choque" que desencadenan y las últimas debido a su enorme volumen, pues la mayor humedad de la nieve húmeda aplasta todo cuanto encuentra a su paso, frecuentemente a gran velocidad, llegando a arrastrar secciones del subsuelo.

Pueden surgir situaciones especialmente peligrosas cuando la nieve acumulada en grandes laderas descubiertas de vertientes expuestas al viento se ve compactada por éste. Entonces, suele

formarse una cubierta que mantiene una cohesión exclusivamente superficial, como una cortina suspendida desde lo alto, y descansa sobre una base que puede producir un efecto de rodamiento de bolas. Si se hace un "corte" en esta cubierta (por ejemplo, si un esquiador deja un rastro transversal en la ladera) o si por cualquier razón esta delgada capa se rompe (por ejemplo por su propio peso), toda la carga de nieve puede deslizarse ladera abajo como una plancha, convirtiéndose normalmente en una avalancha a medida que avanza.

En el interior de la avalancha puede crearse una enorme presión, capaz de arrastrar, destruir o aplastar vehículos y construcciones enteras como si fueran juguetes. Que los seres humanos tienen muy pocas posibilidades de sobrevivir a un infierno semejante es evidente, pues si no se muere aplastado se tiene muchas probabilidades de morir de asfixia o de frío. Por tanto, no es sorprendente que alrededor del 20 % de las personas atrapadas en avalanchas sean encontradas muertas, aunque se hallen inmediatamente.

La topografía y vegetación de la zona determina la trayectoria de las masas de nieve en su descenso hacia el valle. Los habitantes de la zona lo saben por observación y tradición, y en invierno se mantienen alejados de las zonas de peligro.

En otros tiempos, la única manera de escapar a estos peligros era no exponerse a ellos. Las granjas y asentamientos humanos se construían en lugares cuyas condiciones topográficas no permitían la aparición de avalanchas, o que tras años de experiencia se sabían alejados de las vías de avalancha conocidas. La gente llegaba a evitar totalmente las zonas montañosas durante el período de peligro.

Los bosques situados en las laderas superiores proporcionan una considerable protección contra estas catástrofes naturales, pues soportan las masas de nieve en las zonas amenazadas y pueden restringir, detener o desviar avalanchas ya iniciadas, siempre que no hayan acumulado demasiado impulso.

Sea como fuere, la historia de los países montañosos está salpicada de catástrofes debidas a las avalanchas, que se han cobrado —y siguen haciéndolo— un gran tributo en vidas humanas y bienes. Por una parte, se suele subestimar la velocidad e impulso de las avalanchas. Por otra, éstas siguen en ocasiones trayectorias que, tras siglos de experiencia, no se habían considerado como vías de avalancha. Determinadas condiciones climáticas desfavorables, unidas a un determinado tipo de nieve y al estado del suelo (por ejemplo vegetación dañada, erosión o pérdidas de suelo como resultado de lluvias intensas) configuran unas circunstancias que pueden desembocar en una de esas "catástrofes del siglo".

Que una zona esté especialmente expuesta al peligro de avalanchas depende no sólo de las condiciones climáticas, sino —en mayor medida— de la estabilidad de la cubierta de nieve y de si la zona en cuestión está situada en una de las vías o trayectorias de avalancha habituales. Hay mapas especiales que muestran las zonas en que se sabe que se han producido avalanchas o es probable que ocurran como resultado de las características topográficas, especialmente las vías y trayectorias de avalanchas frecuentes. En zonas de alto riesgo está prohibida la construcción.

Ahora bien, estas medidas de precaución han dejado de ser suficientes, ya que, a pesar de la prohibición de construir en determinadas zonas y de toda la información disponible sobre los riesgos, muchas personas se sienten atraídas por las pintorescas zonas de montaña y se construye cada vez más, incluso en zonas de reconocido peligro. Además de esta indiferencia o elusión de las prohibiciones de construcción, una de las manifestaciones de la moderna sociedad del ocio es que miles de turistas van a la montaña con fines deportivos o recreativos en invierno, a zonas en que las avalanchas están prácticamente programadas.

La ladera ideal para esquiar es empinada y libre de obstáculos, y debe contar con una alfombra de nieve lo bastante gruesa: condiciones ideales para el esquiador, pero también para que la nieve se deslice hacia el valle.

Si, a pesar de todo, no se pueden evitar los riesgos o éstos se aceptan hasta cierto punto a modo de "efectos secundarios" e indeseables del placer que supone el deporte, es necesario desarrollar medios para hacer frente a estos peligros de otra manera.

Para mejorar las posibilidades de supervivencia de las personas enterradas por avalanchas, es esencial disponer de servicios de rescate bien organizados, teléfonos de emergencia cerca de las zonas de riesgo e información actualizada, tanto a las autoridades como a los turistas, sobre la situación en las zonas peligrosas. Unos sistemas de alarma precoz y una buena organización de los servicios de rescate, con el mejor equipo posible, pueden aumentar considerablemente las posibilidades de supervivencia de las personas enterradas por avalanchas, así como reducir la cuantía de los daños.

Medidas de protección

Se han desarrollado y probado en todo el mundo diversos métodos de protección contra las avalanchas, desde los servicios fronterizos de alarma y las barreras hasta la provocación de las mismas mediante explosiones o disparando armas de fuego en la nieve.

La estabilidad de la cubierta de nieve está básicamente determinada por la relación entre tensión mecánica y densidad. Su estabilidad puede variar considerablemente dependiendo del tipo de tensión (por ejemplo presión, tensión, resistencia al corte) en una misma zona geográfica (en qué parte del terreno puede comenzar una avalancha). Los perfiles, el sol, los vientos, la temperatura y las pequeñas anomalías en la estructura de la cubierta de nieve —a causa de rocas, esquiadores, máquinas quitanieves u otros vehículos— pueden también afectar a su estabilidad. Por lo tanto, la estabilidad puede verse reducida por intervenciones locales deliberadas como voladuras o aumentada por la instalación de soportes o barreras adicionales. Estas medidas, que pueden ser de naturaleza permanente o temporal, son los dos principales métodos de protección contra avalanchas.

Las medidas permanentes incluyen estructuras eficaces y duraderas, barreras de apoyo en las zonas de inicio de avalanchas, barreras de desviación o frenado en la trayectoria de las mismas, y barreras de bloqueo en la zona de salida. El objetivo de las medidas temporales de protección es asegurar y estabilizar las áreas en que pueden iniciarse avalanchas, desencadenando deliberadamente avalanchas pequeñas y limitadas para eliminar cantidades peligrosas de nieve en algunas zonas.

Las barreras de apoyo aumentan artificialmente la estabilidad de la cubierta de nieve en zonas de avalancha potencial. Las barreras de arrastre, que impiden que el viento arrastre más nieve a la zona de avalancha, pueden reforzar el efecto de las barreras de apoyo. Las barreras de desviación y frenado en el camino de la avalancha y las de bloqueo en el área de salida pueden desviar o aminorar la velocidad de la masa descendente de nieve y acortar la distancia de derrame frente al área protegida. Las barreras de apoyo son estructuras fijadas al suelo, más o menos perpendiculares a la ladera, que oponen una resistencia suficiente a la masa de nieve descendente. Deben formar soportes que lleguen hasta la superficie de la nieve. Las barreras de apoyo suelen organizarse en varias filas y cubren toda la zona desde la cual, en determinadas condiciones climáticas, podrían formarse avalanchas que amenazasen la localidad protegida. Son necesarios años de observación y medición de la nieve en la zona para determinar correctamente la colocación, estructura y dimensiones de las barreras, que además deben contar con un

determinado grado de permeabilidad, para permitir que las avalanchas menores y los corrimientos superficiales de tierras atraviesen varias filas de barreras sin causar daños. Si la permeabilidad no es suficiente, existe el peligro de que la nieve se apile tras las barreras y que posteriores avalanchas se deslicen sobre ellas sin impedimento alguno, arrastrando a su paso mayores masas de nieve.

A diferencia de las barreras, las medidas temporales reducen el peligro durante un período de tiempo. La idea es desencadenar avalanchas por medios artificiales. Las masas de nieve amenazadoras se eliminan de la zona potencial de avalanchas provocando artificialmente y bajo control, en momentos oportunos y predeterminados, varias avalanchas pequeñas. Así se aumenta considerablemente la estabilidad de la cubierta de nieve que queda en el lugar de la avalancha y se reduce el riesgo de avalanchas más peligrosas, al menos durante un período de tiempo limitado, cuando la amenaza de avalanchas es muy alta.

Ahora bien, la magnitud de las avalanchas artificiales no puede determinarse previamente con exactitud. Por tanto, para correr el menor riesgo posible de accidentes mientras se están llevando a cabo estas medidas temporales, es necesario evacuar, aislar y comprobar toda la zona que va a verse afectada por la avalancha artificial, desde su punto de partida hasta su detención final.

Las posibles aplicaciones de estos dos métodos de prevención del peligro son fundamentalmente diferentes. En general, es mejor utilizar métodos permanentes para proteger zonas imposibles o difíciles de evacuar o de aislar, o en las que los asentamientos o bosques podrían peligrar incluso con avalanchas controladas. Por otro lado, las carreteras, las pistas de esquí y las laderas de esquí, que son fáciles de aislar durante cortos espacios de tiempo, son típicos ejemplos de zonas en las que pueden aplicarse medidas de protección temporales.

Los distintos métodos de desencadenar avalanchas artificiales incluyen operaciones que a su vez plantean determinados riesgos y, sobre todo, requieren medidas de protección para las personas encargadas de esta tarea. Lo esencial es provocar rupturas iniciales mediante temblores artificiales (voladuras). Estos reducen la estabilidad de la cubierta de nieve lo suficiente para producir un deslizamiento de la misma.

Las voladuras son especialmente adecuadas para liberar avalanchas en laderas empinadas. Normalmente, es posible extraer pequeñas cantidades de nieve a intervalos y evitar así la producción de avalanchas graves, que se arrastran a gran distancia y pueden ser extremadamente destructivas. Con todo, es esencial que las operaciones de voladura sean llevadas a cabo en cualquier momento del día y en todo tipo de climas, y esto no es siempre posible. Los métodos para producir avalanchas por medio de voladuras varían considerablemente dependiendo del medio utilizado para llegar a la zona en que va a tener lugar la voladura.

Las zonas en que es probable que se inicien avalanchas pueden ser bombardeadas con granadas o cohetes desde posiciones de seguridad, pero este sistema sólo tiene éxito (es decir, produce la avalancha) entre el 20 y el 30 % de los casos, pues resulta prácticamente imposible determinar y alcanzar con exactitud los objetivos más efectivos a cierta distancia, y también porque la cubierta de nieve absorbe el choque de la explosión. Además, puede ocurrir que las granadas no estallen.

Las voladuras con explosivos comerciales directamente en la zona en que es probable que se inicien avalanchas suelen tener más éxito. Los métodos más efectivos consisten en llevar el explosivo por medio de estacas o cables a la parte del terreno nevado en que va a desencadenarse la avalancha, y detonarlo a una altura de 1,5 a 3 m por encima de la cubierta de nieve.

Aparte de detonar granadas en las laderas, se han desarrollado tres métodos diferentes para llevar el explosivo de producción artificial de avalanchas al punto real en que se quiere iniciar la avalancha:

- cable transportador de dinamita
- voladura manual
- arrojar o bajar la carga explosiva desde helicópteros.

El cable transportador es el método con más garantías de éxito, y al mismo tiempo el más seguro. Con la ayuda de un pequeño funicular especial, el cable transportador de dinamita, la carga explosiva se transporta en una cuerda enrollada hasta el punto de voladura en la zona cubierta de nieve donde quiere provocarse la avalancha. Con un adecuado control de la cuerda y con la ayuda de señales e indicadores, es posible conducir la carga con exactitud hasta los puntos que la experiencia señala como más eficaces y hacer que explote directamente sobre ellos. Los mejores resultados se consiguen cuando la carga se detona a la altura adecuada por encima de la cubierta de nieve. Dado que el cable transportador discurre a mayor altura sobre el nivel del suelo, es necesario utilizar mecanismos de descenso. La carga explosiva cuelga de una cuerda enrollada alrededor del mecanismo de descenso. La carga se baja hasta la altura adecuada sobre el punto elegido accionando un motor que desenrolla la cuerda. La utilización del cable transportador de dinamita permite llevar a cabo la voladura desde una posición segura, incluso con escasa visibilidad, de día o de noche.

Por los buenos resultados obtenidos y su coste relativamente bajo, este método de desencadenar avalanchas se utiliza mucho en toda la zona alpina; en la mayor parte de los países alpinos se requiere un permiso para el funcionamiento de los cables transportadores de dinamita. En 1988, tuvo lugar un intercambio intensivo de experiencias en este ámbito entre fabricantes, usuarios y representantes de la administración de las zonas alpinas de Austria, Baviera y Suiza. La información reunida se ha recogido, de forma abreviada, en publicaciones informativas y normativas vinculantes. Básicamente, se trata de normas técnicas de seguridad para equipos e instalaciones, e instrucciones para realizar con seguridad estas operaciones. Al preparar la carga explosiva y poner en funcionamiento el equipo, los trabajadores encargados de la voladura deben contar con la mayor libertad de movimientos posible en torno a los diversos controles y aparatos del cable transportador. Debe haber vías de acceso a pie seguras y fácilmente accesibles, para que los trabajadores puedan abandonar el lugar con rapidez en caso de emergencia. También deben existir vías de acceso seguras hasta los soportes y estaciones del cable transportador. Para asegurar las explosiones, deben utilizarse dos mechas y dos detonadores por carga.

Un segundo método para la producción de avalanchas artificiales, utilizado con frecuencia en el pasado, es la voladura manual. En este caso, el técnico en explosivos tiene que trepar hasta la zona de la cubierta de nieve en que se va a desencadenar la avalancha. La carga explosiva puede colocarse en estacas clavadas en la nieve, pero por lo general se lanza ladera abajo hacia un punto señalado por experiencia como especialmente efectivo. Normalmente, es imperativo que los ayudantes aseguren al técnico mediante una cuerda durante toda la operación. Claro está que, por muy cuidadosamente que se proceda, no puede eliminarse del todo el peligro de caídas o de encontrar avalanchas en el camino al punto de voladura, dado que estas actividades suelen requerir largos ascensos, a veces en condiciones climáticas desfavorables. Debido a estos peligros, este método, que también debe cumplir unas normas de seguridad, raras veces se utiliza en nuestros días.

Durante muchos años, en los Alpes y otras zonas se ha practicado un tercer método, el uso de helicópteros para desencadenar avalanchas. Por el peligro que corren los que van a bordo, en la mayoría de los países alpinos y otros países montañosos sólo se recurre a este procedimiento cuando es urgente para eliminar un peligro grave, cuando no pueden utilizarse otros procedimientos o cuando utilizarlos representaría un riesgo aún mayor. Debido a la particular situación legal que crea el uso de vehículos aéreos para tales propósitos y a los riesgos que ello implica, en los países alpinos se han elaborado directrices concretas sobre el desencadenamiento de avalanchas desde helicópteros con la colaboración de las autoridades de aviación, de las instituciones y autoridades responsables de la salud en el trabajo y de especialistas en este terreno. Dichas directrices contemplan no sólo las leyes y normativas sobre explosivos y las disposiciones de seguridad, sino también las cualificaciones físicas y técnicas de las personas encargadas de tales operaciones.

Las avalanchas se desencadenan desde helicópteros ya sea bajando la carga con una cuerda y detonándola sobre la cubierta de nieve o dejándola caer con la mecha ya encendida. Deben emplearse helicópteros especialmente adaptados y provistos de una autorización para realizar tales operaciones. Para proceder con seguridad, debe haber una estricta división de responsabilidades entre el piloto y el técnico de explosivos. La carga debe prepararse correctamente y la longitud de la mecha se seleccionará dependiendo de que ésta vaya a ser bajada o lanzada. Por seguridad, deben utilizarse dos detonadores y dos mechas, como en los otros métodos. Por regla general, cada carga contiene de 5 a 10 kg de explosivo. Pueden bajarse varias cargas o dejarse caer una tras otra en un solo vuelo. Las detonaciones deben observarse visualmente, para comprobar que ninguna de ellas ha fallado.

Todos estos procesos de voladura requieren el uso de explosivos especiales, eficaces en condiciones de frío e insensibles a influencias mecánicas. Las personas encargadas de llevar a cabo estas operaciones deben estar especialmente cualificadas para ello y contar con la experiencia necesaria.

Las medidas de protección temporales y permanentes contra avalanchas se diseñaron originalmente para zonas de aplicación claramente diferentes. Las costosas barreras permanentes se destinaban sobre todo a proteger pueblos y construcciones, en especial contra avalanchas graves. En un principio, las medidas de protección temporales se limitaban casi exclusivamente a proteger carreteras, estaciones de esquí e instalaciones que podían cerrarse con facilidad. En la actualidad, se tiende a aplicar una combinación de los dos métodos. Para elaborar un programa de seguridad eficaz para una zona determinada, es necesario analizar la situación en detalle y determinar qué método ofrece la mayor protección posible.

● TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS: SUSTANCIAS QUÍMICAS Y RADIATIVAS

Donald M. Campbell

La industria y la economía de los países dependen, en parte, del gran número de materiales peligrosos que se transportan desde el proveedor hasta el usuario y, en última instancia, hasta la planta de eliminación de residuos. Los materiales peligrosos se transportan por carretera, ferrocarril, vías navegables, aire, gasoductos y oleoductos, y en su gran mayoría llegan a destino con seguridad y sin incidentes. La magnitud y el alcance del problema pueden

ilustrarse con la industria del petróleo. En el Reino Unido, se distribuyen anualmente unos 100 millones de toneladas de productos a través de tuberías, carretera, ferrocarril y vías navegables. Aproximadamente un 10 % de las personas que trabajan en la industria química británica están relacionadas con la distribución (es decir, con el transporte y el almacenamiento).

Un material peligroso puede definirse como "una sustancia o material cuyo transporte puede plantear un riesgo desproporcionado para la salud, la seguridad o los bienes". La expresión "riesgo desproporcionado" engloba un amplio espectro de consideraciones sanitarias, ambientales y en materia de incendios. Son materiales peligrosos los explosivos, los gases inflamables, los gases tóxicos, los líquidos altamente inflamables, los líquidos inflamables, los sólidos inflamables, las sustancias peligrosas en contacto con la humedad, las sustancias oxidantes y los líquidos tóxicos.

Los riesgos consisten directamente en la posibilidad de escapes, combustiones y otros incidentes durante el transporte de la sustancia o sustancias. Los accidentes más graves se producen en el transporte por carretera y ferrocarril y "pueden afectar tanto a los trabajadores como a la población en general". El peligro existe tanto cuando los materiales se están cargando o descargando, como en ruta. La población de riesgo comprende las personas que viven cerca de la carretera o del ferrocarril, y las que van en otros vehículos o trenes que se vean implicados en un accidente grave. Entre las zonas de riesgo se encuentran los puntos de detención temporal, como las zonas de maniobras del ferrocarril o las zonas de estacionamiento de camiones en las áreas de servicio de las carreteras. Los riesgos marítimos se concentran en la entrada y salida de puerto de los barcos, y en la carga y descarga en él; también presenta riesgos el tráfico costero y el tráfico angosto, así como por las vías de navegación interior.

El tipo de incidentes que pueden producirse en relación con el transporte, tanto en tránsito como en instalaciones fijas, incluye el sobrecalentamiento químico, los derrames, los escapes, las emisiones de vapor o gas, los incendios y las explosiones. Dos de los sucesos fundamentales que ocasionan incidentes son las colisiones y los incendios. En los camiones cisterna, otras causas de escape pueden ser fugas en válvulas o un exceso de llenado. En general, tanto en carretera como en ferrocarril, los incendios no provocados por choques son mucho más frecuentes que los provocados por éstos. Los incidentes asociados al transporte pueden producirse en zonas rurales, industriales o residenciales, y pueden implicar a vehículos o trenes solos o vigilados. En muy pocos casos la causa principal del incidente es un accidente.

El personal de emergencia debe ser consciente de la posibilidad de exposición y contaminación de los seres humanos a sustancias peligrosas en los accidentes de ferrocarril, en carreteras y terminales de carga, en buques (tanto oceánicos como interiores) y sus correspondientes almacenes. Los gasoductos y oleoductos (tanto de larga distancia como de sistemas locales de distribución) pueden constituir un peligro si se producen daños o escapes, ya sea aisladamente o en asociación con otros incidentes. Los incidentes de transporte suelen ser más peligrosos que los que tienen lugar en instalaciones fijas. Puede ocurrir que los materiales implicados sean desconocidos, que las señales de aviso queden ocultas por un vuelco, humos o escombros, y que no haya especialistas o que éstos hayan sido víctimas del incidente. El número de personas expuestas depende de la densidad de población, tanto de día como de noche, de la proporción de personas dentro y fuera de las casas y del sector de población que pueda considerarse particularmente vulnerable. Además de la población que normalmente se encuentra en la zona, corre también peligro el personal de los servicios de emergencia que acuden al accidente. No es raro que, en un incidente de

transporte de sustancias peligrosas, una proporción significativa de las víctimas pertenezcan a dichos servicios.

En los veinte años transcurridos de 1971 a 1990, 15 personas perecieron en las carreteras del Reino Unido por causa de sustancias químicas peligrosas, frente a la media anual de 5.000 muertos en accidentes. Ahora bien, pequeñas cantidades de materiales peligrosos pueden ocasionar daños significativos. Entre los ejemplos en varios países pueden citarse los siguientes:

- un avión se estrelló cerca de Boston, EE.UU., a causa de un escape de ácido nítrico;
- más de 200 personas murieron debido a la explosión de un camión cisterna que transportaba propileno cerca de un camping en España;
- en un accidente de tren en el que se vieron envueltos 22 vagones de sustancias químicas en Mississauga, Canadá, se rompió una cisterna que contenía 90 toneladas de cloro; se produjo una explosión y un gran incendio. No se produjeron víctimas mortales, pero hubo que evacuar a 250.000 personas;
- una colisión ferroviaria junto a la autopista en Eccles, Reino Unido, provocó tres muertos y 68 heridos y fue seguida de un grave incendio de los productos petrolíferos transportados que no ocasionó víctimas;
- un camión cisterna de gasolina quedó sin control en Herrborn, Alemania, quemando gran parte de la ciudad;
- en Peterborough, Reino Unido, un vehículo que transportaba explosivos ocasionó la muerte a una persona y casi destruye un centro industrial,
- en Bangkok, Tailandia, explotó un camión cisterna de gasolina y produjo la muerte a gran número de personas.

La mayoría de los incidentes graves son provocados por gases o líquidos inflamables (en parte debido a los volúmenes transportados), con algunos incidentes causados por gases y emanaciones tóxicas (incluidos los productos de la combustión).

Los estudios realizados en el Reino Unido han arrojado los siguientes datos relativos al transporte por carretera:

- frecuencia de accidentes durante el transporte de materiales peligrosos: $0,12 \times 10^{-6}/\text{km}$;
- frecuencia de escapes durante el transporte de materiales peligrosos: $0,027 \times 10^{-6}/\text{km}$,
- probabilidad de un escape tras un accidente de tráfico: 3,3 %.

Estas incidencias no son sinónimo de accidentes con materiales peligrosos en que intervienen vehículos, y pueden constituir sólo una pequeña proporción de éstos. Existe asimismo la categoría de accidentes relacionados con el transporte por carretera de materiales peligrosos.

Entre los acuerdos internacionales sobre transporte de sustancias potencialmente peligrosas hay que citar los siguientes:

Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, 1985 (modificado en 1990), Agencia Internacional de la Energía Atómica, Viena, 1990 (STI/PUB/866). Su objetivo es establecer normas de seguridad que ofrezcan un nivel aceptable de control del riesgo de radiación a personas, bienes y medio ambiente asociado al transporte de material radiactivo.

Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974 (SOLAS 74). En este Convenio se establecen normas básicas de seguridad para buques de transporte de pasajeros y de mercancías, incluidos los que transportan materiales peligrosos en grandes cantidades.

Convenio internacional para la prevención de la contaminación causada por buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (MARPOL 73/78). En este documento se estipulan normas para la prevención de la contaminación por aceite, por líquidos nocivos a granel, por contaminantes envasados o en contenedores,

Estudio de caso: transporte de materiales peligrosos

Un camión cisterna articulado que transportaba unos 22.000 litros de tolueno circulaba por una carretera principal que atraviesa Cleveland, Reino Unido. Un coche se interpuso en su camino y, como consecuencia del volantazo del conductor, la cisterna volcó. Se abrieron las tapas de registro (bocas de hombre) de los cinco compartimientos y el tolueno se derramó por la carretera y entró en ignición, provocando una balsa de fuego. El incendio afectó a cinco coches que circulaban por el carril contrario, pudiendo escapar todos sus ocupantes.

Los bomberos llegaron a los cinco minutos de la llamada. El líquido en ignición había entrado en los sumideros y a unos 400 m del accidente podían verse los sumideros en llamas. Se activó el Plan de emergencia del condado; los servicios sociales y de transporte público fueron alertados de la posibilidad de una evacuación. En un principio, los bomberos se centraron en la extinción de los incendios de los automóviles y en la búsqueda de sus ocupantes. La siguiente tarea fue encontrar una fuente de agua adecuada. Acudió al lugar un miembro del equipo de seguridad de la empresa química para coordinar la acción con la policía y los bomberos. También acudió personal del servicio de ambulancias y de las autoridades sanitarias y del agua. Tras varias consultas, se decidió dejar que el tolueno se quemara, en lugar de extinguir el incendio y provocar con ello la emisión de vapores químicos. La policía emitió avisos durante un período de cuatro horas por el radio nacional y local aconsejando a la población que no saliera de casa y que cerrase las ventanas. La carretera se cerró durante ocho horas. Cuando el tolueno llegó a un nivel inferior a las tapas de registro, se apagó el fuego y se extrajo de la cisterna el resto del tolueno. El siniestro se dio por concluido unas 13 horas después del accidente.

La radiación térmica representaba un peligro potencial para los seres humanos; la contaminación del suelo, el aire, y el agua, para el medio ambiente; y la interrupción del tráfico, para la economía. El plan de la empresa para este tipo de accidentes de transporte se activó en 15 minutos, con la presencia de cinco personas en el lugar del siniestro. Existía un plan del condado de actuación exterior, que se siguió desde un centro de control en el que participaron la policía y los bomberos. Se tomaron mediciones de la concentración del contaminante, pero no se hicieron predicciones de su dispersión. La respuesta de la brigada de incendios movilizó a más de 50 personas y diez aparatos, cuyas funciones principales fueron la lucha contra el incendio, el lavado y la retención del derrame. Más de 40 oficiales de policía intervinieron en la dirección del tráfico, advertencia a la población, seguridad y control de la prensa. La respuesta del servicio sanitario se materializó en dos ambulancias y dos miembros del personal médico presentes en el lugar del accidente. La reacción de la autoridad local englobó a los servicios de medio ambiente, transporte y asistencia social. Se informó a la población del incidente por medio de altavoces, por el radio y haciendo correr la voz. La información se concentró en qué debía hacerse, en especial refugiarse en el interior de los edificios.

En términos de daños a seres humanos, el resultado del accidente fue de dos hospitalizaciones: un particular y un empleado de la empresa, que resultaron heridos en el choque. Se produjo una contaminación atmosférica visible, pero la contaminación del suelo y del agua fue leve. Desde el punto de vista económico, se ocasionó un daño importante a la carretera y grandes retrasos en el tráfico, pero no se perdieron cosechas, ganado o producción. Entre las conclusiones que se sacaron, hay que citar el valor de una rápida recuperación de información del sistema Chemdata y la presencia del experto técnico de la empresa, que inmediatamente dirigió la acción del modo más adecuado. Se destacó asimismo la importancia de la adopción de comunicados de prensa conjuntos para todos los servicios de respuesta al accidente. Hay que considerar la repercusión ambiental de la lucha contra el fuego. Si se hubiera combatido el incendio en las fases iniciales, una cantidad considerable de líquido contaminante (alcohol etílico y tolueno) podía haber entrado en los sumideros, en los suministros de agua y en el suelo.

cisternas o vagones de carretera o ferrocarril, por aguas residuales y por basuras. Los requisitos establecidos en esta normativa se amplían en el Código marítimo internacional de sustancias peligrosas.

Existe un importante corpus de reglamentación internacional sobre el transporte de sustancias nocivas por aire, ferrocarril, carretera y vías navegables (en muchos países convertido en legislación nacional). En la mayoría de los casos se ha tomado como base normas impulsadas por Estados Unidos y se contemplan los principios de identificación, etiquetado, prevención y mitigación. El Comité de Expertos de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Materiales Peligrosos ha elaborado unas *Recomendaciones sobre el transporte de sustancias peligrosas*. Esas normas van dirigidas a los Estados y las organizaciones internacionales interesadas en la reglamentación del transporte de sustancias peligrosas. Entre otros aspectos, las recomendaciones comprenden principios de clasificación y definición de categorías, enumeración de los componentes de las sustancias peligrosas, requisitos generales de embalaje, procedimientos de prueba, elaboración, etiquetado o rotulado, y documentos de transporte. Las recomendaciones ("Libro naranja") no tienen fuerza de ley, pero constituyen la base de todos los reglamentos internacionales adoptados por diversas organizaciones:

- Organización Internacional de la Aviación Civil: *Instrucciones técnicas para la seguridad del transporte aéreo de sustancias peligrosas* (Tis)
- Organización Marítima Internacional: *Código marítimo internacional de sustancias peligrosas* (Código IMDG)
- Comunidad Económica Europea: *Acuerdo europeo sobre el transporte internacional por carretera de sustancias peligrosas* (ADR)
- Oficina de Transporte Ferroviario Internacional: *Reglamento sobre el transporte internacional ferroviario de sustancias peligrosas* (RID).

Es necesario elaborar planes de emergencia para reaccionar ante un accidente grave con sustancias peligrosas tanto durante el transporte como en instalaciones fijas. La tarea de planificación se ve dificultada por el hecho de que no se sabe de antemano dónde va a producirse un accidente, lo que exige una planificación flexible. No puede preverse qué sustancias intervendrán en un accidente de transporte. Por la naturaleza del incidente, pueden mezclarse varios productos en un mismo lugar y ocasionar considerables problemas a los servicios de emergencia. El incidente puede tener lugar en una zona altamente urbanizada, aislada o rural, muy industrializada o comercial. Otro factor es la población transeúnte que pueda verse envuelta sin saberlo, ya sea porque el accidente ocasione una caravana en la carretera o porque se detengan trenes de pasajeros debido a un accidente de ferrocarril.

Es necesario, por tanto, desarrollar planes locales y nacionales para reaccionar ante tales sucesos. Los planes deben ser sencillos, flexibles y fáciles de comprender. Dado que los accidentes graves de transporte pueden producirse en muchos lugares, el plan debe adecuarse a todas las localizaciones posibles. Para que el plan funcione eficazmente en todo momento y en localidades tanto rurales y aisladas como urbanas y superpobladas, todas las organizaciones que participen en la respuesta al accidente deben actuar con flexibilidad, sin dejar de respetar por ello los principios básicos de la estrategia general.

Los primeros en acudir deben recabar la mayor cantidad posible de información para determinar la índole del peligro. La reacción más adecuada vendrá determinada por la naturaleza del incidente: si se trata de un derrame, un incendio, un escape tóxico o una combinación de los anteriores. Los servicios de

emergencia deben conocer los sistemas nacionales e internacionales de señalización de los vehículos que transportan sustancias y materiales peligrosos, y tener acceso a alguna de las bases de datos nacionales e internacionales que pueden ayudar a identificar el peligro y los problemas conexos.

Es vital controlar rápidamente el incidente. La cadena de mando debe estar claramente identificada, aunque puede cambiar en el curso del suceso, pasando de los servicios de emergencia a la policía o al gobierno civil de la localidad afectada. El plan debe permitir reconocer los efectos para la población, tanto para las personas que trabajen o residan en la zona potencialmente afectada como para las que pasen por allí. Hay que recurrir a expertos en asuntos de salud pública para que asesoren tanto sobre la gestión inmediata del incidente como sobre los posibles efectos para la salud a largo plazo, directos e indirectos (a través de la cadena alimentaria). Deben determinarse puntos de contacto para obtener asesoramiento sobre la contaminación ambiental de cursos de agua y otros puntos, así como sobre la repercusión de las condiciones climáticas en el movimiento de nubes de gas. Entre las medidas de reacción, los planes deben contemplar la posibilidad de evacuación. No obstante, las propuestas deben ser flexibles, pues puede ocurrir que haya que considerar cuestiones en materia de costes y beneficios, tanto en la gestión del incidente como en términos de salud pública. Se debe definir con toda claridad la política a seguir para mantener a los medios de comunicación plenamente informados, así como las medidas que se adoptarán para mitigar los efectos del accidente. La información debe ser exacta y oportuna, y el portavoz debe conocer el plan de respuesta global y tener acceso a expertos para responder a preguntas especializadas. Unas relaciones inadecuadas con los medios de comunicación pueden trastornar la gestión del suceso y provocar comentarios desfavorables, y a veces injustificados, sobre la respuesta global al episodio. Todo plan debe incluir ejercicios adecuados de simulacros de catástrofes, que permiten a los distintos organismos participantes conocer los puntos fuertes y débiles en la organización de los demás. Son necesarios tanto los ejercicios con maquetas como los físicos.

Aunque la bibliografía especializada en derrames químicos es muy amplia, la parte dedicada a la descripción de sus consecuencias ecológicas es pequeña. En su mayoría se trata de estudios de casos. Las descripciones de derrames reales se centran en los problemas para la salud y la seguridad humanas, y se limitan a describir en términos generales las consecuencias ecológicas. Las sustancias químicas se integran en el medio ambiente fundamentalmente a través de la fase líquida. Sólo en pocos casos los accidentes que tuvieron consecuencias ecológicas afectaron inmediatamente a los seres humanos, y los efectos sobre el medio ambiente no fueron motivados por las mismas sustancias o por las mismas vías de escape.

Los controles realizados para prevenir los riesgos para la salud y la vida humana derivados del transporte de materiales peligrosos contemplan: las cantidades transportadas, la dirección y control de los medios de transporte, la trayectoria, la autoridad en los puntos de intercambio y de concentración, y los asentamientos cercanos a tales zonas. Es necesario seguir investigando cuestiones relacionadas con los criterios de riesgo, la cuantificación del riesgo y la equivalencia del riesgo. El Health and Safety Executive del Reino Unido ha desarrollado un servicio de datos denominado "Servicio de Datos del Major Incident Data Service" (MHIDAS), una base de datos de los incidentes químicos más graves de todo el mundo. Actualmente, esa base contiene información sobre más de 6.000 incidentes.

● ACCIDENTES POR RADIACION

Pierre Verger y Denis Winter

Descripción, fuentes y mecanismos

Aparte del transporte de materiales radiactivos, existen tres situaciones en las que pueden producirse accidentes por radiación:

- utilización de reacciones nucleares para producir energía o armas, o para la investigación;
- aplicaciones industriales de la radiación (gammagrafía, irradiación),
- medicina de investigación y medicina nuclear (diagnóstico o terapia).

Los accidentes por radiación pueden clasificarse en dos grupos, atendiendo a si se produce o no emisión o dispersión de radionúclidos en el medio ambiente; cada uno de ellos afecta a poblaciones diferentes.

La magnitud y duración del riesgo de exposición para la población en general depende de la cantidad y características (semivida, propiedades fisicoquímicas) de los radionúclidos liberados al medio ambiente (Tabla 39.18). Este tipo de contaminación se produce cuando, en centrales nucleares o industriales o en instalaciones médicas, se rompe alguna de las barreras de contención que separan los materiales radiactivos del medio ambiente. Si no tiene lugar una emisión al entorno, sólo resultarán expuestos a la radiación los trabajadores presentes en la instalación o los que manipulan los equipos o materiales radiactivos.

La exposición a la radiación ionizante puede producirse por tres vías, independientemente de que el grupo diana se componga de trabajadores o de población en general: irradiación externa, irradiación interna y contaminación de piel y heridas.

La irradiación externa tiene lugar cuando las personas se ven expuestas a una fuente de radiación exterior al cuerpo, ya sea concentrada (radioterapia, fuentes de radiación) o difusa (nubes radiactivas y lluvia radiactiva, Figura 39.5). La irradiación puede ser parcial y afectar sólo a una parte del cuerpo, o total y extenderse a todo él.

Se produce irradiación interna cuando se introducen sustancias radiactivas en el organismo (Figura 39.5), ya sea por inhalación de partículas radiactivas presentes en el aire (por ejemplo

cesio 137 o yodo 131, contenidos en la nube de Chernóbil), o por ingestión de materias radiactivas presentes en los alimentos (como yodo 131 en la leche). La irradiación interna puede afectar a todo el cuerpo o sólo a determinados órganos, dependiendo de la naturaleza de los radionúclidos: el cesio 137 se distribuye de forma homogénea por todo el cuerpo, en tanto que el yodo 131 y el estroncio 90 se concentran respectivamente en la glándula tiroides y en los huesos.

Por último, puede producirse también una exposición por contacto directo de las sustancias radiactivas con la piel y las heridas.

Accidentes en centrales nucleares

Entre las instalaciones pertenecientes a esta categoría se encuentran las centrales energéticas, los reactores experimentales, las plantas de fabricación y de tratamiento y retratamiento de combustible nuclear y los laboratorios de investigación. Los centros militares disponen de reactores de plutonio y de reactores situados en barcos y en submarinos.

Centrales nucleares

La transformación de la energía térmica emitida por la fisión atómica es la base de la producción de electricidad a partir de la energía nuclear. Esquemáticamente, puede considerarse que las centrales nucleares constan de: *a)* un núcleo que contiene el material fisionable (para reactores de agua a presión, de 80 a 120 toneladas de óxido de uranio); *b)* equipos intercambiadores de calor, que contienen fluidos refrigerantes; *c)* equipos de transformación de energía térmica en electricidad, similares a los utilizados en otros tipos de centrales energéticas.

Los principales riesgos de estas instalaciones son aumentos intensos y repentinos de energía, que funden el núcleo y emiten productos radiactivos. Se han producido dos accidentes con fusión del núcleo del reactor: en Three Mile Island (1979, Pensilvania, Estados Unidos) y en Chernóbil (1986, Ucrania).

El accidente de Chernóbil fue lo que se denomina un *acontecimiento límite*: es decir, un repentino (en el espacio de pocos segundos) aumento en la fisión que provoca la pérdida de control del proceso. En este caso, el núcleo del reactor resultó completamente destruido y se liberaron cantidades masivas de materiales radiactivos (Tabla 39.19). Las emisiones alcanzaron una altura de 2 km, lo que favoreció su dispersión a gran distancia (a todos los efectos, todo el hemisferio norte).

Tabla 39.18 • Radionúclidos típicos y sus correspondientes semividas radiactivas.

Radionúclido	Símbolo	Radiación emitida	Semivida física*	Semivida biológica tras la incorporación*
Bario 133	Ba-133	γ	10,7 a	65 d
Cerio 144	Ce-144	β, γ	284 d	263 d
Cesio 137	Cs-137	β, γ	30 a	109 d
Cobalto 60	Co-60	β, γ	5,3 a	1,6 a
Iodo 131	I-131	β, γ	8 d	7,5 d
Plutonio 239	Pu-239	α, γ	24.065 a	50 a
Polonio 210	Po-210	α	138 d	27 d
Estroncio 90	Sr-90	β	29,1 a	18 a
Trítio	H-3	β	12,3 a	10 d

* a = años; d = días.

Figura 39.5 • Trayectoria de la exposición a radiaciones ionizantes tras un escape accidental de radiactividad al medio ambiente.

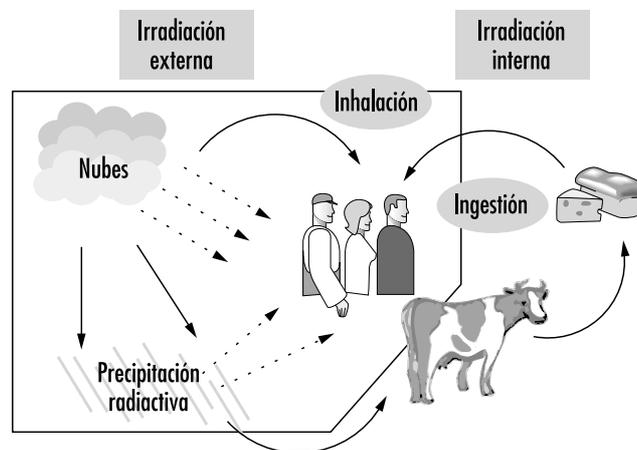


Tabla 39.19 • Comparación de distintos accidentes nucleares.

Accidente	Tipo de instalación	Mecanismo del accidente	Radiactividad total emitida (GBq)	Duración de la emisión	Principales radionúclidos emitidos	Dosis colectiva (hSv)
Khyshtym 1957	Almacenamiento de productos de fisión de alta actividad	Explosión química	740x10 ⁶	Casi instantánea	Estroncio 90	2.500
Windscale 1957	Reactor de producción de plutonio	Incendio	7,4x10 ⁶	Aproximadamente 23 horas	Iodo 131, polonio 210, cesio 137	2.000
Three Mile Island 1979	Reactor industrial PWR	Problema de refrigerante	555	?	Iodo 131	16-50
Chernóbil 1986	Reactor industrial RBMK	Acontecimiento límite	3.700x10 ⁶	Más de 10 días	Iodo 131, iodo 132, cesio 137, cesio 134, estroncio 89, estroncio 90	600.000

Fuente: UNSCEAR 1993.

El comportamiento de la nube radiactiva resulta difícil de analizar debido a los cambios meteorológicos sucedidos durante el periodo de emisión (Figura 39.6) (OIEA 1991).

Se elaboraron mapas de contaminación a partir de la medición del cesio-137, uno de los principales productos de emisión radiactiva (Tablas 39.18 y 39.19), en diversos puntos de la atmósfera. Resultaron extremadamente contaminadas extensas zonas de Ucrania, Bielorrusia (Belarús) y Rusia; la repercusión sobre el resto de Europa fue menos significativa (Figuras 39.7 y 39.8 (UNSCEAR 1988). En la Tabla 39.20 se ofrecen datos sobre las superficies contaminadas, las características de la población expuesta y las vías de exposición.

El accidente de Three Mile Island se clasifica como accidente térmico sin escape del reactor principal, y se produjo por un

fallo en el refrigerante del núcleo del reactor durante varias horas. Gracias a la carcasa de contención, sólo escapó al medio ambiente una cantidad limitada de material radiactivo, y ello a pesar de la destrucción parcial del núcleo del reactor (Tabla 39.19). Aunque no se dio el orden de evacuar, 200.000 habitantes abandonaron voluntariamente la zona. Por último, en 1957, en la costa occidental de Inglaterra, tuvo lugar un accidente con un reactor de producción de plutonio (Windscale, Tabla 39.19). Este incidente se debió al incendio del núcleo del reactor, que provocó emisiones al medio ambiente por una chimenea de 120 metros de altura.

Instalaciones de tratamiento de combustible

Las instalaciones de producción de combustible se sitúan en un nivel industrial anterior a los reactores nucleares y se utilizan para la extracción de mena y la transformación fisicoquímica de uranio en material fisionable para su uso en reactores (Figura 39.9). Estas instalaciones presentan esencialmente riesgos de accidente químico, relacionados con la presencia de hexafluoruro de uranio (UF₆), un compuesto gaseoso del uranio que, en contacto con el aire, puede descomponerse y producir ácido fluorhídrico (HF), un gas muy corrosivo.

Entre las instalaciones situadas en un nivel industrial posterior a los reactores nucleares se encuentran los almacenes y centrales de reprocesamiento de combustible. El reprocesado químico del uranio enriquecido o de plutonio ha originado cuatro acontecimientos límite (Rodríguez 1987). A diferencia de los accidentes en centrales nucleares, en éstos intervinieron cantidades pequeñas de material radiactivo —como mucho, decenas de kilogramos—, sus efectos mecánicos fueron desdéniables y no se produjo ninguna emisión ambiental de radiactividad. La exposición se limitó a una dosis muy alta en un periodo muy corto (del orden de minutos) de irradiación externa de los trabajadores por rayos gamma y neutrones.

En 1957, un tanque que contenía residuos altamente radiactivos explotó en la primera central militar de producción de plutonio de Rusia, situada en Khyshtym, al sur de los Urales. Se contaminaron más de 16.000 km² y se emitieron 740 PBq (20 MCi) a la atmósfera (Tablas 39.19 y 39.21).

Reactores de investigación

En estas instalaciones, los riesgos son similares a los que plantean las centrales nucleares, pero menos graves, dada la menor generación de energía. Se han registrado diversos acontecimientos límite con irradiación significativa del personal (Rodríguez 1987).

Figura 39.6 • Trayectoria de las emisiones del accidente de Chernóbil, 26 de abril - 6 de mayo de 1986.

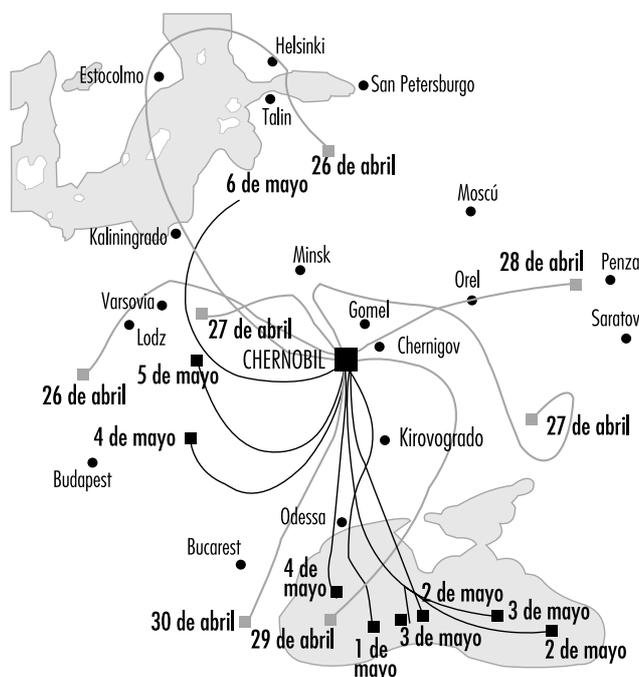


Figura 39.7 • Deposición de cesio-137 en Bielorrusia, Rusia y Ucrania, tras el accidente de Chernóbil.



Accidentes relacionados con el empleo de fuentes de radiación en la industria y en la medicina (excluidas las centrales nucleares) (Zerbib 1993)

El accidente más común de este tipo son las pérdidas de fuentes de radiación para gammagrafías utilizadas en la industria (por ejemplo, para la inspección radiográfica de juntas y soldaduras). No obstante, los usos médicos también pueden generar pérdidas de fuentes de radiación (Tabla 39.22). Pueden darse dos situaciones distintas: es posible que alguien recoja y conserve la fuente durante varias horas (por ejemplo en el bolsillo) y después notifique el hallazgo y la restituya; o puede recogerla y

Tabla 39.21 • Superficie de las zonas contaminadas y dimensión de las poblaciones expuestas a contaminación por estroncio-90 tras el accidente de Kyshtym (Urales, 1957).

Contaminación (kBq/m ²)	(Ci/km ²)	Area (km ²)	Población
≥ 37.000	≥ 1.000	20	1.240
≥ 3.700	≥ 100	120	1.500
≥ 74	≥ 2	1.000	10.000
≥ 3,7	≥ 0,1	15.000	270.000

Tabla 39.20 • Superficie de las zonas contaminadas, tipos de poblaciones expuestas y modalidades de exposición en Ucrania, Bielorrusia y Rusia tras el accidente de Chernóbil.

Tipo de población	Superficie (km ²)	Tamaño de la población (000)	Principales modalidades de exposición
<i>Poblaciones expuestas por motivos profesionales:</i>			
Empleados presentes en la instalación en el momento del accidente		≈0,44	Irradiación externa, inhalación, contaminación de la piel por el reactor averiado, fragmentos del reactor dispersos por la instalación, vapores y polvos radiactivos
Bomberos (primeros auxilios)		≈0,12	
Trabajadores de la limpieza y de socorro*		600–800	Irradiación externa, inhalación, contaminación de la piel
<i>Población general:</i>			
Evacuada de la zona prohibida en los primeros días		115	Irradiación externa por la nube, inhalación de elementos radiactivos presentes en la nube
Habitantes de zonas contaminadas** (MBq/m ²) (Ci/km ²)			Radiación externa por precipitación de lluvia radiactiva, ingestión de productos contaminados
>1,5 (>40)	3.100	33	
0,6–1,5 (15–40)	7.200	216	
0,2–0,6 (5–15)	17.600	584	
0,04–0,2 (1–5)	103.000	3.100	
Habitantes de otras áreas <0.04MBq/m ²		280.000	Irradiación externa por precipitación de lluvia radiactiva, ingestión de productos contaminados

* Personas que participan en la limpieza en un radio de 30 km de la instalación. Se trata, entre otros, de bomberos, personal militar, técnicos e ingenieros que intervinieron en las primeras semanas, así como médicos e investigadores en fecha posterior.

** contaminación por cesio-137.

Fuente: UNSCEAR 1988; IAEA 1991.

llevársela a casa. Mientras que en el primer caso se producen quemaduras parciales, en el segundo puede tener lugar una irradiación fuerte de varias personas.

La recuperación de fuentes de radiación de los equipos de radioterapia ha provocado varios accidentes con exposición de trabajadores de la chatarra. En dos casos, los accidentes de Juárez y de Goiânia, la población en general también resultó expuesta (véase la Tabla 39.22 y el recuadro de la página 39.35).

El accidente de Juárez se descubrió de la forma más casual (OIEA 1989b). El 16 de enero de 1984, un camión de barras de acero que entró en el laboratorio científico de Los Alamos (Nuevo México, Estados Unidos) activó un detector de radiaciones. Tras una investigación posterior, se descubrió la presencia de cobalto 60 en las barras y se siguió la pista de esta

sustancia hasta una fundición mexicana. El 21 de enero, se determinó que la fuente de material radiactivo era una chatarrería de Juárez, altamente contaminada. Gracias a una vigilancia sistemática de las carreteras y autopistas con detectores, se identificó un camión altamente contaminado. Finalmente, se estableció que la primera fuente de radiación era un aparato de radioterapia que había estado en un centro médico hasta diciembre de 1983, momento en que se desmontó y se llevó a la chatarrería. En la chatarrería, la cápsula protectora del cobalto-60 se rompió, liberando los gránulos de cobalto. Algunos de ellos cayeron en el camión utilizado para transportar desechos y otros se dispersaron por la chatarrería en operaciones posteriores, mezclándose con los demás residuos.

Se han producido algunos accidentes relacionados con la entrada de trabajadores en zonas industriales de radiación (por ejemplo para la preservación de alimentos, esterilización de productos médicos o polimerización de sustancias químicas). En todos los casos, los accidentes se debieron a un inadecuado o nulo respeto de los procedimientos de seguridad, o a la desconexión o mal estado de los sistemas de seguridad y de alarma. En dichos accidentes, las dosis de irradiación externa a que se vieron expuestos los trabajadores fueron lo bastante altas para causar la muerte. Las dosis se recibieron en pocos segundos o minutos (Tabla 39.23).

Por último, el personal médico o científico que elabora o manipula fuentes de radiación puede verse expuesto a radiación por contaminación de la piel o heridas, o por inhalación o ingestión de materiales radiactivos. Este tipo de accidente también es posible en centrales nucleares.

Aspectos del problema relacionados con la sanidad pública

Evolución en el tiempo

El Radiation Accident Registry de EE.UU. (Oak Ridge, Estados Unidos) es un registro mundial de los accidentes por radiación con participación de personas que se han producido desde el

Tabla 39.22 • Accidentes por pérdida de fuentes de radiación, que provocaron la exposición de la población general.

País (año)	Número de personas expuestas	Número de personas que recibieron dosis altas*	Número de fallecidos**	Material radiactivo
México (1962)	?	5	4	Cobalto 60
China (1963)	?	6	2	Cobalto 60
Argelia (1978)	22	5	1	Iridio 192
Marruecos (1984)	?	11	8	Iridio 192
México (Juárez, 1984)	≈4.000	5	0	Cobalto 60
Brasil (Goiânia, 1987)	249	50	4	Cesio 137
China (Xinhou, 1992)	≈90	12	3	Cobalto 60
Estados Unidos (Indiana, 1992)	≈90	1	1	Iridio 192

* Personas expuestas a dosis capaces de inducir efectos graves o prolongados o la muerte.

** Entre las personas que recibieron dosis altas.

Fuente: Nénot 1993.

El accidente de Goiânia, 1987

Entre el 21 y el 28 de septiembre de 1987, fueron hospitalizadas varias personas con vómitos, diarrea, vértigo y lesiones cutáneas en varias partes del cuerpo en el centro especializado en enfermedades tropicales de Goiânia, una ciudad de un millón de habitantes situada en el Estado brasileño de Goiás. Estos problemas se atribuyeron a una enfermedad parasitaria común en Brasil. El 28 de septiembre, el médico responsable de la supervisión sanitaria de la ciudad se reunió con una mujer que le entregó una bolsa con material de un aparato recogido de una clínica abandonada y polvo que, según la mujer, emitía "una luz azul". Pensando que el aparato era probablemente un equipo de rayos X, el médico llamó a sus colegas del hospital de enfermedades tropicales. Se informó al Departamento de Medio Ambiente de Goiás y, al día siguiente, un médico tomó mediciones en la sala del departamento de higiene, lugar en que se dejó la bolsa durante la noche. Se encontraron niveles de radiactividad muy altos. En posteriores investigaciones, pudo determinarse que la fuente de la radiación era una fuente de cesio 137 [actividad total: aproximadamente 50 TBq (1.375 Ci)] que había pertenecido a un equipo de radioterapia de una clínica abandonada desde 1985. La cápsula protectora del cesio había sido desmontada el 10 de septiembre de 1987 por dos trabajadores de la chatarrería y la fuente de cesio, en polvo, había sido retirada. Tanto el cesio como los fragmentos de la cápsula contaminada se dispersaron con el tiempo por la ciudad. Muchas personas que habían transportado o manipulado el material, o que sencillamente lo habían visto (incluidos padres, amigos y vecinos) resultaron contaminadas. En total, se examinó a más de 100.000 personas, de las cuales 129 resultaron gravemente contaminadas, 50 tuvieron que ser hospitalizadas (14 por insuficiencia medular) y 4 murieron, entre ellas una niña de 6 años. El accidente tuvo gravísimas consecuencias económicas y sociales para toda la ciudad de Goiânia y el Estado de Goiás: un 1/1000 de la superficie de la ciudad quedó contaminada y el precio de los productos agrícolas, alquileres, sector inmobiliario y terrenos cayó. Los habitantes de todo el Estado sufrieron una auténtica discriminación.

Fuente: IAEA 1989a.

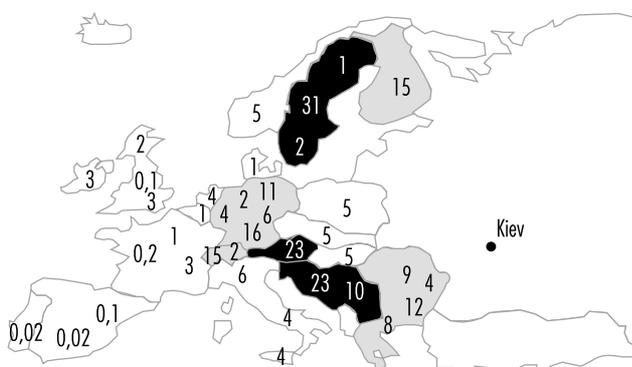
año 1944. Para ser incluido en este registro, un accidente debe ser objeto de un informe publicado y haber generado una exposición total del cuerpo humano superior a 0,25 Sievert (Sv), una exposición cutánea superior a 6 Sv o una exposición de otros tejidos y órganos superior a 0,75 Sv (para la definición de dosis, véase el recuadro de la página 39.37). Así, quedan excluidos del registro accidentes interesantes para la sanidad pública, pero que dieron como resultado niveles inferiores de exposición (para la discusión sobre las consecuencias de la exposición, véase más adelante).

El análisis de los datos de 1944 a 1988 pone de manifiesto un claro aumento tanto en la frecuencia de los accidentes por radiación como en el número de individuos expuestos a partir de 1980 (Tabla 39.24). Es probable que el aumento del número de personas expuestas se deba al accidente de Chernóbil, y concretamente a los cerca de 135.000 habitantes iniciales de la zona prohibida, en un radio de 30 km del lugar del accidente. Los accidentes de Goiânia (Brasil) y Juárez (México) se produjeron también en este período y ocasionaron una exposición significativa de gran cantidad de personas (Tabla 39.22).

Poblaciones potencialmente expuestas

Desde el punto de vista de la exposición a radiaciones ionizantes, hay dos poblaciones de interés: las poblaciones expuestas por motivos de trabajo y la población en general. El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las

Figura 39.8 • Precipitación de cesio-137 (kBq/km²) sobre Europa tras el accidente de Chernóbil.



Fuente: UNSCEAR 1988.

Radiaciones Atómicas (UNSCEAR 1993) estima que, en todo el mundo, 4 millones de trabajadores se vieron expuestos a radiaciones ionizantes en el trabajo durante el período comprendido entre 1985 y 1989; de ellos, aproximadamente el 20 % trabajaban en la producción, utilización y procesamiento de combustible nuclear (Tabla 39.25). Se ha estimado que los Estados miembros del OIEA poseían 760 fuentes de radiación en 1992, de los cuales 600 eran aceleradores de electrones y 160 fuentes de radiación gamma.

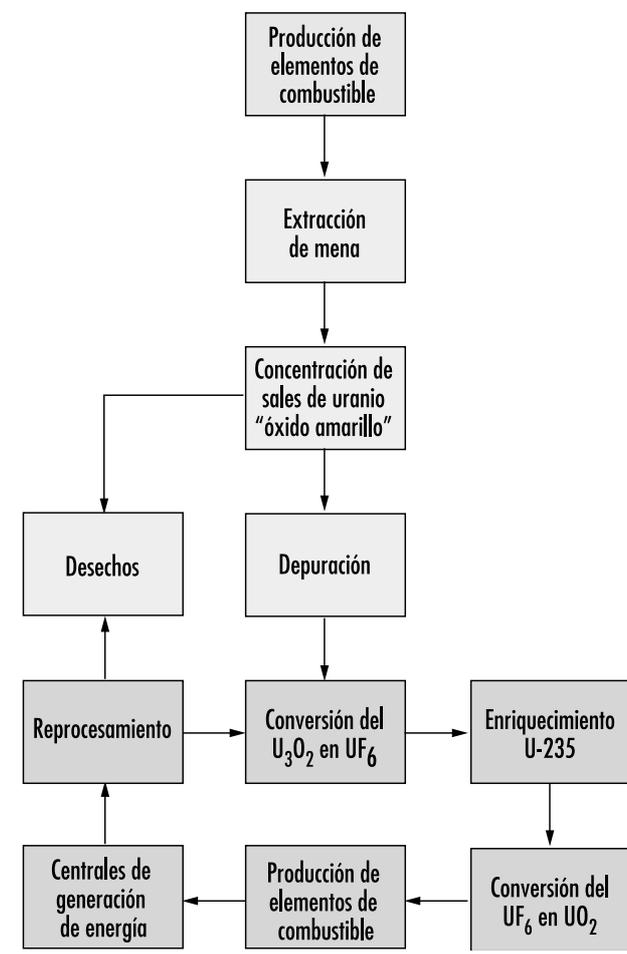
El número de instalaciones nucleares por país es un buen indicador del potencial de exposición de la población en general (Figura 39.10, página 39.38).

Efectos sobre la salud

Efectos directos de la radiación ionizante sobre la salud

En general, los efectos de la radiación ionizante sobre la salud son bien conocidos y dependen de la intensidad de la dosis recibida y

Figura 39.9 • Ciclo de tratamiento del combustible nuclear.



de la cuantía de la dosis (dosis recibida por unidad de tiempo; véase el recuadro de la página siguiente).

Tabla 39.23 • Principales accidentes con fuentes industriales de radiación.

Fábrica, fecha	Equipos*	Número de víctimas	Nivel y duración de la exposición	Organos y tejidos afectados	Dosis recibida (Gy), fábrica	Efectos médicos
Forbach, agosto de 1991	AE	2	varios deciGy/segundo	Manos, cabeza, tronco	40, piel	Quemaduras del 25 % al 60 % de la superficie del cuerpo
Maryland, diciembre de 1991	AE	1	?	Manos	55, manos	Amputación digital bilateral
Vietnam, noviembre de 1992	AE	1	1.000 Gy/minuto	Manos	1,5, cuerpo entero	Amputación de la mano derecha y de un dedo de la izquierda
Italia, mayo de 1975	IC	1	Varios minutos	Cabeza, cuerpo entero	8, médula ósea	Muerte
San Salvador, febrero de 1989	IC	3	?	Cuerpo entero, piernas, pies	3-8, cuerpo entero	Amputación de 2 piernas, 1 muerte
Israel, junio de 1990	IC	1	1 minuto	Cabeza, cuerpo entero	10-20	Muerte
Bielorrusia, octubre de 1991	IC	1	Varios minutos	Cuerpo entero	10	Muerte

* AE: acelerador de electrones IC: irradiador de cobalto-60.

Fuente: Zerbib 1993; Nénot 1993.

Tabla 39.24 • Accidentes de radiación incluidos en el registro (mundial, 1944-1988) de accidentes de Oak Ridge (Estados Unidos).

	1944-79	1980-88	1944-88
Número total de accidentes	98	198	296
Número de personas afectadas	562	136.053	136.615
Número de personas expuestas a dosis superiores a los límites de exposición*	306	24.547	24.853
Número de muertes (efectos agudos)	16	53	69

* 0,25 Sv para exposición total del cuerpo, 6 Sv para exposición de la piel, 0,75 Sv para otros tejidos y órganos.

Efectos deterministas

Se producen efectos deterministas cuando la dosis supera cierto nivel y la cuantía de la dosis es alta. La gravedad de los efectos es proporcional a la dosis, aunque existe una dosis máxima para cada órgano (Tabla 39.26).

En accidentes del tipo de los comentados anteriormente, los efectos deterministas pueden ser generados por una irradiación parcial intensa, como la causada por la irradiación externa, por contacto directo con una fuente (como una fuente encontrada fuera de su sitio, recogida y guardada en el bolsillo) o por contaminación dérmica. Todo ello provoca quemaduras radiológicas. Si la dosis parcial es del orden de 20 a 25 Gy (Tabla 39.23, Recuadro 1), puede producirse necrosis del tejido. Una irradiación total del cuerpo humano en una dosis superior a 0,5 Gy puede generar un síndrome conocido como *síndrome de radiación agudo*, caracterizado por trastornos digestivos (náuseas, vómitos, diarrea) y aplasia medular de gravedad variable. Hay que tener en cuenta que puede darse simultáneamente una irradiación parcial y una irradiación total del cuerpo humano.

En acontecimientos límite, murieron nueve de los 60 trabajadores expuestos en centros de procesamiento de combustible nuclear o en reactores de investigación (Rodríguez 1987). Los fallecidos recibieron de 3 a 45 Gy, en tanto que los supervivientes recibieron de 0,1 a 7 Gy. Entre los supervivientes se observaron los efectos siguientes: síndrome de radiación agudo (efectos gastrointestinales y hematológicos), cataratas bilaterales y necrosis de miembros con amputación.

En Chernóbil, el personal de la central, así como el personal de emergencia que no llevaba equipos de protección especiales,

Tabla 39.25 • Evolución temporal de la exposición profesional a radiación ionizante artificial en todo el mundo (en miles).

Actividad	1975-79	1980-84	1985-89
Tratamiento de combustible nuclear*	560	800	880
Aplicaciones militares**	310	350	380
Aplicaciones industriales	530	690	560
Aplicaciones médicas	1.280	1.890	2.220
Total	2.680	3.730	4.040

* Producción y reprocesamiento de combustible: 40.000; funcionamiento del reactor: 430.000.

** incluidos 190.000 miembros del personal a bordo de buques.

Fuente: UNSCEAR 1993.

¿Qué quiere decir dosis?

Hay muchas maneras de definir una dosis de radiación ionizante y cada una responde a objetivos diferentes.

Dosis absorbida

La dosis absorbida es la más parecida a la dosis farmacológica. Mientras que la dosis farmacológica es la cantidad de sustancia administrada a una persona por unidad de peso o de superficie, la dosis radiológica absorbida es la cantidad de energía transmitida por radiación ionizante por unidad de masa. La dosis absorbida se mide en Grays (1 Gray = 1 julio/kg).

Cuando las personas se ven expuestas de una forma homogénea —por ejemplo, por radiación externa de rayos cósmicos y terrestres o por radiación interna de potasio-40 presente en el interior del cuerpo—, todos los órganos y tejidos reciben la misma dosis. En tales circunstancias, puede hablarse de dosis *total*. Sin embargo, también es posible que la exposición no sea homogénea, en cuyo caso algunos órganos y tejidos recibirán dosis mucho mayores que otros. Entonces resulta más adecuado hablar de *dosis en órgano*. Por ejemplo, la inhalación de derivados del radón provoca principalmente una exposición de los pulmones, y la integración de yodo radiactivo provoca la irradiación de la glándula tiroidea. En estos casos, podemos hablar de dosis pulmonar y dosis tiroidea.

No obstante, también se han desarrollado otras unidades de dosis, que tienen en cuenta las diferencias entre los efectos de los distintos tipos de radiación y los grados de sensibilidad a la radiación de los diversos tejidos y órganos.

Dosis equivalente

El desarrollo de efectos biológicos (como la inhibición del crecimiento celular, la necrosis de células, la azoospermia) depende no sólo de la dosis absorbida, sino también del tipo específico de radiación. La radiación alfa tiene mayor potencial ionizante que la radiación beta o gamma. El concepto de dosis equivalente tiene en cuenta esta diferencia, al aplicar factores de ponderación de la radiación. El factor de ponderación para la radiación beta y gamma (bajo potencial ionizante) es igual a 1, mientras que el de las partículas alfa (alto potencial ionizante) es 20 (ICRP 60). La dosis equivalente se mide en Sieverts (Sv).

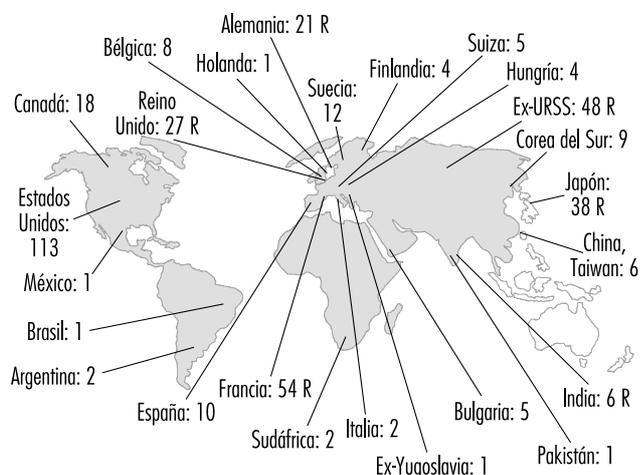
Dosis efectiva

En casos de irradiación heterogénea (como la exposición de varios órganos a radionúclidos diferentes), puede ser útil calcular una dosis total que englobe las dosis recibidas por todos los órganos y tejidos. Para ello, es necesario tener en cuenta la sensibilidad a la radiación de cada uno de los tejidos y órganos, calculada a partir de los resultados de estudios epidemiológicos sobre cánceres inducidos por radiación. La dosis efectiva se mide en Sieverts (Sv) (ICRP 1991). El concepto de dosis efectiva se desarrolló a los fines de la protección contra la radiación (por ejemplo, gestión del riesgo), y por tanto resulta inadecuada para su uso en estudios epidemiológicos.

Dosis colectiva

La dosis colectiva refleja la exposición de un grupo o una población y no de un individuo, y resulta útil para evaluar las consecuencias de la exposición a radiación ionizante a escala de población o de grupo. Se calcula sumando las dosis individuales recibidas, o bien multiplicando la dosis individual media por el número de individuos expuestos o de la población afectada. La dosis colectiva se mide en man-Sieverts (man Sv).

Figura 39.10 • Distribución mundial de reactores de generación de energía y de centrales de reprocesamiento de combustible, 1989-1990.



Fuente: UNSCEAR 1993.

sufrió una alta exposición a radiación beta y gamma en las primeras horas o días después del accidente. Hubo que hospitalizar a 500 personas; 237 que recibieron irradiación total presentaron síndrome de radiación agudo y 28 murieron a pesar del tratamiento (Tabla 39.27) (UNSCEAR 1988). Otras recibieron irradiación parcial de miembros, que en algunos casos afectó a más del 50 % de la superficie del cuerpo: muchos años después, siguen padeciendo trastornos dérmicos múltiples (Peter, Braun-Falco y Birioukov 1994).

Efectos estocásticos

Son de tipo probabilístico (es decir, su frecuencia aumenta con la dosis recibida), pero su gravedad es independiente de la dosis. Los principales efectos estocásticos son los siguientes:

- *Mutación.* Se ha observado en experimentos con animales, pero ha sido difícil de documentar en seres humanos.
- *Cáncer.* El efecto de la irradiación sobre el riesgo de desarrollar cáncer se ha estudiado en los pacientes de radioterapia y en los supervivientes de los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki. El UNSCEAR (1988, 1994) resume periódicamente los resultados de estos estudios epidemiológicos. La duración típica del período de latencia es de 5 a 15 años a partir de la fecha de exposición, en función del órgano y del tejido expuesto. En la Tabla 39.28 se indican los cánceres para los que se ha confirmado una asociación con radiación ionizante. Se ha demostrado una presencia excesiva de cáncer entre los supervivientes de los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki, con exposiciones superiores a 0,2 Sv.
- *Tumores benignos seleccionados.* Adenomas tiroideos benignos.

En torno a los efectos de la radiación ionizante, siguen siendo polémicos dos puntos importantes.

En primer lugar, ¿cuáles son los efectos de dosis bajas de radiación (por debajo de 0,2 Sv) y de cuantías bajas de dosis? La mayoría de los estudios epidemiológicos se han efectuado sobre los supervivientes de los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki o pacientes de radioterapia, poblaciones expuestas a dosis relativamente altas en períodos muy cortos, y las estimaciones del riesgo de cáncer tras la exposición a dosis bajas y a cuantías bajas de dosis han sido esencialmente resultado de extrapolaciones de

Tabla 39.26 • Efectos deterministas: cantidades máximas en determinados órganos.

Tejido o efecto	Dosis equivalente individual recibida por el órgano (Sv)
<i>Testículos:</i>	
Esterilidad temporal	0,15
Esterilidad permanente	3,5-6,0
<i>Ovarios:</i>	
Esterilidad	2,5-6,0
<i>Cristalino:</i>	
Opacidades detectables	0,5-2,0
Visión deficiente (cataratas)	5,0
<i>Médula ósea:</i>	
Disminución de la hematopoyesis	0,5

Fuente: ICRP 1991.

dichas poblaciones. Algunos estudios sobre trabajadores de centrales nucleares expuestos a dosis bajas durante varios años han puesto de manifiesto que los riesgos de leucemia y otros cánceres son coherentes con las extrapolaciones de grupos de alta exposición, pero estos resultados no se han confirmado (UNSCEAR 1994; Cardis, Gilbert y Carpenter 1995).

En segundo lugar, ¿hay una dosis mínima? (es decir, una dosis por debajo de la cual no se producen efectos) La respuesta a esta pregunta sigue sin conocerse. Algunos estudios experimentales han demostrado que constantemente se están reparando daños en el material genético (ADN) provocados por errores espontáneos o por factores ambientales. Con todo, esta reparación no siempre es eficaz, y puede dar como resultado una transformación maligna de las células (UNSCEAR 1994).

Otros efectos

Por último, hay que mencionar la posibilidad de efectos teratogénicos debido a la irradiación durante el embarazo. Se ha observado microcefalia y retraso mental en niños nacidos de mujeres supervivientes a los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki que recibieron una irradiación mínima de 0,1 Gy en el primer trimestre de gestación (Otake, Schull y Yoshimura 1989; Otake y Schull 1992). No se sabe si estos efectos son deterministas o estocásticos, pero los datos sí sugieren la existencia de un umbral mínimo.

Efectos observados tras el accidente de Chernóbil

El de Chernóbil es el accidente nuclear más grave acaecido hasta la fecha. Con todo, hasta ahora, diez años después, no se han

Tabla 39.27 • Distribución de pacientes con síndrome de radiación agudo (SAG) tras el accidente de Chernóbil, por gravedad de la patología.

Gravedad del SAG	Dosis equivalente (Gy)	Número de sujetos	Número de muertes (%)	Período medio de supervivencia (días)
I	1-2	140	-	-
II	2-4	55	1 (1,8)	96
III	4-6	21	7 (33,3)	29,7
IV	>6	21	20 (95,2)	26,6

Fuente: UNSCEAR 1988.

Tabla 39.28 • Resultados de los estudios epidemiológicos del efecto de una alta cuantía de dosis de radiación externa sobre el cáncer.

Localización del cáncer	Hiroshima/Nagasaki		Otros estudios Nº positivo/ total N ¹
	Mortalidad	Incidencia	
<i>Sistema hematopoyético</i>			
Leucemia	+*	+*	6/11
Linfoma (sin especificar)	+		0/3
Linfoma no hodgkiniano		+*	1/1
Mieloma	+	+	1/4
<i>Cavidad oral</i>			
Glándulas salivares	+	+	0/1
<i>Sistema digestivo</i>			
Esófago	+*	+	2/3
Estómago	+*	+*	2/4
Intestino delgado			1/2
Colon	+*	+*	0/4
Recto	+	+	3/4
Higado	+*	+*	0/3
Vesícula biliar			0/2
Páncreas			3/4
<i>Sistema respiratorio</i>			
Laringe			0/1
Tráquea, bronquios, pulmones	+*	+*	1/3
<i>Piel</i>			
Sin especificar			1/3
Melanoma			0/1
Otros cánceres		+*	0/1
<i>Pecho (mujeres)</i>	+*	+*	9/14
<i>Sistema reproductor</i>			
Utero (no específico)	+	+	2/3
Cuerpo uterino			1/1
Ovarios	+*	+*	2/3
Otros (mujeres)			2/3
Próstata	+	+	2/2
<i>Sistema urinario</i>			
Vejiga	+*	+*	3/4
Riñones			0/3
Otros			0/1
<i>Sistema nervioso central</i>			
Tiroides		+*	4/7
Médula			2/6
Tejido conjuntivo			0/4
Todos los cánceres, excepto leucemias			1/2

+ Localizaciones de cáncer estudiadas en los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki.

* Asociación demostrada con radiación ionizante.

¹ Estudios de cohortes (incidencia o mortalidad) o de caso-control.

Fuente: UNSCEAR 1994.

evaluado con exactitud todos los efectos sobre la salud de la población más expuesta. Y ello por múltiples razones:

- algunos efectos no aparecen hasta muchos años después: por ejemplo, los tumores sólidos suelen tardar de 10 a 15 años en aparecer;
- como transcurrió algún tiempo entre el accidente y el inicio de los estudios epidemiológicos, pueden no haberse detectado algunos efectos surgidos en el periodo inmediatamente posterior al accidente;
- no siempre se recogieron adecuadamente datos útiles para la cuantificación del riesgo de cáncer. Así ocurre especialmente con los datos necesarios para estimar la exposición de la glándula tiroides a yoduros radiactivos emitidos en el incidente (telurio-132, yodo-133) (Williams y cols. 1993),
- por último, muchas personas inicialmente expuestas abandonaron las zonas contaminadas, y es probable que su seguimiento no se continuara.

Trabajadores. En la actualidad, no existen datos exhaustivos sobre todos los trabajadores que sufrieron una fuerte irradiación en los primeros días después del accidente. Se están realizando estudios sobre el riesgo de leucemia y tumores sólidos en los trabajadores de la limpieza y de socorro (véase la Tabla 39.20), pero existen muchas dificultades. El seguimiento periódico del estado de salud de los trabajadores de la limpieza y de socorro resulta obstaculizado en gran medida por el hecho de que muchos de ellos procedían de distintas zonas de la antigua Unión Soviética y volvieron a sus lugares de origen después de trabajar en la central de Chernóbil. Además, la dosis recibida debe estimarse retrospectivamente, puesto que no hay datos fiables para este período.

Población en general. Hasta la fecha, el único efecto verosímil asociado con la radiación ionizante es el aumento de la incidencia del cáncer de tiroides a partir de 1989 en los niños menores de 15 años. Este efecto se detectó en Bielorrusia (Belarús) en 1989, sólo tres años después del incidente, y ha sido confirmado por varios grupos de expertos (Williams y cols. 1993). El incremento ha sido especialmente visible en las zonas más contaminadas de Belarús, como la región de Gomel. El cáncer de tiroides, que suele ser raro en niños menores de 15 años (tasa anual de incidencia de 1 a 3 por millón), multiplicó su incidencia por diez a escala nacional y por veinte en la zona de Gomel (Tabla 39.29, Figura 39.11) (Stsjazhko y cols. 1995). Posteriormente, se notificó una incidencia de cáncer de tiroides diez veces mayor en las cinco zonas más contaminadas de Ucrania y también un aumento de este cáncer en la región de Bryansk (Rusia) (Tabla 39.29). Se sospecha igualmente que se haya producido un aumento del mismo entre los adultos, pero esta suposición no ha sido confirmada. Los programas sistemáticos de detección selectiva emprendidos en las zonas contaminadas permitieron observar los cánceres latentes antes del accidente; a este respecto, fue especialmente útil la utilización de ultrasonografías capaces de detectar cánceres de tiroides de pocos milímetros. La magnitud del aumento de la incidencia en los niños, junto con la agresividad de los tumores y la rapidez de su desarrollo, sugieren que el aumento observado en el cáncer de tiroides se debe parcialmente al accidente.

En las zonas más contaminadas (es decir, la región de Gomel), las dosis tiroideas fueron altas, especialmente en los niños (Williams y cols. 1993). Este resultado es coherente, si tenemos en cuenta las significativas emisiones de yodo que provocó el accidente y el hecho de que el yodo radiactivo, en ausencia de medidas preventivas, tiende a concentrarse en la glándula tiroides.

Tabla 39.29 • Evolución temporal de la incidencia* y número total de cánceres de tiroides en niños en Bielorrusia, Ucrania y Rusia, 1981-94.

	Incidencia (/100.000)		Número de casos	
	1981-85	1991-94	1981-85	1991-94
<i>Bielorrusia</i>				
Todo el país	0,3	3,06	3	333
Región de Gomel	0,5	9,64	1	164
<i>Ucrania</i>				
Todo el país	0,05	0,34	25	209
Las cinco áreas más contaminadas	0,01	1,15	1	118
<i>Rusia</i>				
Todo el país	?	?	?	?
Regiones de Bryansk y Kaluga	0	1,00	0	20

* Incidencia: proporción entre el número de casos nuevos de una enfermedad durante un periodo determinado y la población total en estudio durante el mismo periodo.

Fuente: Stsjazhko y cols. 1995.

La exposición a la radiación es un factor de riesgo muy documentado para el desarrollo del cáncer de tiroides. En numerosos estudios sobre niños expuestos a radioterapia en zonas de la cabeza y cuello se ha observado un claro aumento de la incidencia del cáncer de tiroides. En la mayoría de los casos, el incremento se hizo patente de 10 a 15 años después de la exposición, pero en ocasiones fue detectable en un plazo de 3 a 7 años. Por otro lado, no están bien establecidos los efectos de la irradiación interna de yodo 131 y de isótopos de yodo de semivida corta en niños (Shore 1992).

Hay que estudiar la magnitud y las pautas exactas del aumento de la incidencia de cáncer de tiroides en las poblaciones más expuestas en los años venideros. Cabe prever que los estudios epidemiológicos en curso ayuden a cuantificar la relación entre la dosis recibida por la glándula tiroides y el riesgo de desarrollar cáncer, y a identificar la función de otros factores genéticos y ambientales de riesgo. Hay que señalar que en las zonas afectadas se registra una insuficiencia de todo generalizada.

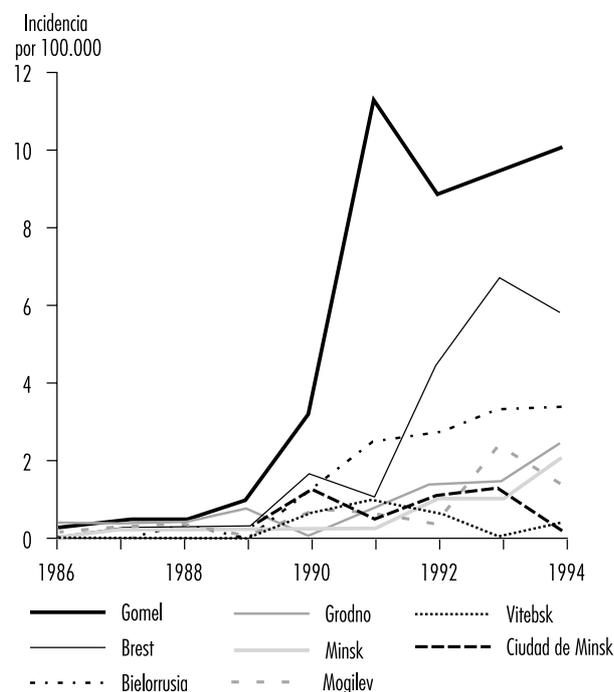
En un plazo de cinco a diez años después del accidente, cabe esperar un aumento de la incidencia de la leucemia —y en especial de la leucemia juvenil, puesto que los niños son más sensibles a los efectos de la radiación ionizante— entre los miembros más expuestos de la población. Aunque aún no se ha observado un aumento de este tipo, las carencias metodológicas de los estudios realizados hasta la fecha no permiten sacar conclusiones definitivas.

Efectos psicosociales

La aparición de problemas psicológicos crónicos más o menos graves después de haber sufrido traumas está firmemente establecida y ha sido estudiada sobre todo en poblaciones sometidas a catástrofes ambientales como inundaciones, erupciones volcánicas y terremotos. El estrés postraumático es una afección grave, duradera e incapacitadora (APA 1994).

La mayoría de nuestros conocimientos sobre los problemas psicológicos y el estrés provocados por accidentes de radiación proceden de los estudios realizados tras el accidente de Three

Figura 39.11 • Incidencia* del cáncer de tiroides en niños menores de 15 años en Bielorrusia.



* Incidencia: número de casos nuevos de una enfermedad en un periodo dado, expresado en fracción de la población expuesta.

Mile Island. En el año que siguió al accidente, se observaron efectos psicológicos inmediatos en la población expuesta, en particular las madres de niños pequeños mostraron mayor sensibilidad, ansiedad y depresión (Bromet y cols. 1982). Además, se detectaron más problemas de depresión y ansiedad en los trabajadores de la central que en los de otra central de energía (Bromet y cols. 1982). En los años siguientes (es decir, tras la reapertura de la central), alrededor de una cuarta parte de la población estudiada presentó problemas psicológicos relativamente importantes. No se observaron diferencias en la frecuencia de los problemas psicológicos entre el resto de la población estudiada y las poblaciones de control (Dew y Bromet 1993). Los problemas psicológicos fueron más frecuentes en las personas que vivían cerca de la central y no disponían de una red de apoyo social, las que tenían un historial anterior de problemas psiquiátricos o las que habían desalojado sus casas en el momento del accidente (Baum, Cohen y Hall 1993).

También se están realizando estudios sobre las poblaciones expuestas al accidente de Chernóbil: el estrés parece ser un aspecto importante de salud pública (por ejemplo, trabajadores de la limpieza y de socorro, y personas que viven en una zona contaminada). Ahora bien, todavía no hay datos fiables sobre la naturaleza, la gravedad, la frecuencia y la distribución de los problemas psicológicos entre las poblaciones objetivo. Entre los factores que deben tenerse en cuenta al evaluar las consecuencias psicológicas y sociales del accidente sobre los habitantes de áreas contaminadas se encuentran las duras condiciones socioeconómicas existentes, la diversidad de los sistemas de compensación disponibles, los efectos de la evacuación y el reasentamiento (unas 100.000 personas se reinstalaron en los años posteriores al accidente) y los efectos del descenso de la calidad de vida (por ejemplo, modificación de la alimentación).

Tabla 39.30 • Escala internacional de incidentes nucleares.

Nivel	Fuera de la instalación	Dentro de la instalación	Estructura de protección
7—Accidente mayor	Emisión grave, amplios efectos sobre la salud y sobre el medio ambiente		
6—Accidente grave	Emisión significativa, puede ser necesario aplicar todas las medidas de reacción.		
5—Accidente	Emisión limitada, puede ser necesario aplicar algunas medidas de reacción.	Daños graves en los reactores y estructuras de protección	
4—Accidente	Emisión baja, exposición de la población cercana a los límites de exposición	Daños en los reactores y estructuras de protección, exposición mortal de los trabajadores	
3—Incidente grave	Emisión muy baja, exposición de la población inferior a los límites de exposición	Nivel grave de contaminación, efectos graves sobre la salud de los trabajadores	Se ha evitado por muy poco el accidente
2—Incidente		Nivel grave de contaminación, sobreexposición de los trabajadores	Deficiencias graves de las medidas de seguridad
1—Anomalía			Anomalía superior a los límites normales de funcionamiento
0—Disparidad	Sin importancia desde el punto de vista de la seguridad		

Principios de prevención y directrices

Principios de seguridad y directrices

Uso industrial y médico de fuentes de radiación

Aunque es cierto que todos los accidentes graves de radiación notificados se han producido en centrales nucleares, también el uso de fuentes de radiación en otros contextos ha provocado accidentes con consecuencias graves para los trabajadores o para la población en general. La prevención de este tipo de accidentes es esencial, en particular dado el desalentador pronóstico en caso de exposición a dosis elevadas. La prevención depende de

una adecuada formación de los trabajadores y del mantenimiento de un exhaustivo inventario de los ciclos de vida de las fuentes de radiación, lo que incluye información tanto sobre su naturaleza como sobre su ubicación. La OIEA ha elaborado una serie de directrices y recomendaciones de seguridad para la utilización de fuentes de radiación en la industria, la medicina y la investigación (Safety Series nº 102); se trata de aplicar principios similares a los que se exponen más adelante para las centrales nucleares.

Seguridad en centrales nucleares (OIEA Safety Series nº 75, INSAG-3)

El objetivo es proteger a los seres humanos y al medio ambiente de cualquier tipo de emisión de materiales radiactivos. A tal fin, es necesario aplicar una serie de medidas en las fases de diseño, construcción, funcionamiento y desmantelamiento de las centrales nucleares.

La seguridad de las centrales nucleares depende fundamentalmente del principio de "defensa en profundidad": es decir, de la existencia simultánea de varios sistemas y mecanismos diferentes diseñados para compensar errores y deficiencias técnicas o humanas. En concreto, los materiales radiactivos están separados del medio ambiente por una serie de barreras sucesivas. En los reactores de producción de energía nuclear, la última de estas barreras es la *estructura de contención* (inexistente en la central de Chernóbil, pero presente en Three Mile Island). Para evitar que se rompan estas barreras y limitar las consecuencias de posibles rupturas, deben aplicarse tres medidas de seguridad a lo largo de toda la vida operativa de la central: control de la reacción nuclear, refrigeración del combustible y contención del material radiactivo.

Otro principio esencial de la seguridad es el "análisis de la experiencia": es decir, la utilización de información resultante de todo tipo de sucesos ocurridos en otras centrales para aumentar la seguridad de la central. Así, el análisis de los accidentes de Three Mile Island y Chernóbil ha conducido a la introducción de modificaciones para garantizar que no se produzcan accidentes similares en otros lugares.

Por último, cabe señalar que se han realizado importantes esfuerzos para potenciar una cultura de la seguridad, es decir, una cultura que responda de forma continuada a las necesidades de la seguridad en la organización, la actividad y la práctica de la central, así como en los comportamientos personales. Para aumentar la visibilidad de los incidentes y accidentes en centrales nucleares, se ha desarrollado una escala internacional

Tabla 39.31 • Ejemplos de niveles generales de intervención en las medidas de protección de la población general.

Medidas de protección	Nivel de intervención (dosis preventiva)
<i>Emergencia</i>	
Contención	10 mSv
Evacuación	50 mSv
Distribución de yodo estable	100 mGy
<i>Posteriores</i>	
Reasentamiento provisional	30 mSv en 30 días; 10 mSv en los 30 días siguientes
Reasentamiento permanente	1 Sv el resto de la vida

Fuente: IAEA 1994.

de accidentes nucleares (INES), idéntica en principio a las utilizadas para medir la gravedad de fenómenos naturales como terremotos y vientos (Tabla 39.30). Ahora bien, dicha escala no permite evaluar la seguridad de una central o establecer comparaciones a escala internacional.

Principios de protección de la población en general contra la exposición radiactiva

En casos de posible exposición de la población en general, puede ser necesario aplicar medidas de protección diseñadas para impedir o limitar la exposición a la radiación ionizante, algo especialmente importante para evitar los efectos deterministas. Las primeras medidas que deben aplicarse en caso de emergencia son la evacuación, el refugio y la administración de la cantidad adecuada de yodo. Debe distribuirse entre la población expuesta una cantidad adecuada de yodo estable, al objeto de saturar la tiroides e inhibir la absorción de yodo radiactivo. Ahora bien, para que sea eficaz, el bloqueo de la tiroides debe producirse antes o inmediatamente después del comienzo de la exposición. Por último, puede ser necesaria el reasentamiento temporal o permanente, la descontaminación y el control de la agricultura y de los alimentos.

Cada una de estas medidas de reacción tiene su propio "nivel de acción" (Tabla 39.31), que no debe confundirse con las dosis límite de CIPR para los trabajadores y para la población en general, desarrolladas para garantizar una adecuada protección en casos de exposición no accidental (CIPR 1991).

Necesidades de investigación y tendencias futuras

En la actualidad, la investigación sobre seguridad se centra en mejorar el diseño de los reactores de energía nuclear; más concretamente en reducir el riesgo y los efectos de una posible fusión del núcleo.

La experiencia adquirida en accidentes anteriores debe permitir mejorar el tratamiento

terapéutico de las víctimas de una irradiación grave. Se está investigando el uso de factores de crecimiento de las células de la médula ósea (factores de crecimiento hematopoyético) para el tratamiento de la aplasia medular inducida por la radiación (insuficiencia en el desarrollo) (Thierry y cols. 1995).

Aún no están claros los efectos que provocan unas dosis bajas de radiación ionizante ni los efectos según la frecuencia de las dosis; dichos efectos deben comprenderse, tanto desde un punto de vista estrictamente científico, como con vistas a establecer dosis límite para la población en general y para los trabajadores. Es necesario desarrollar más la investigación biológica para dilucidar los mecanismos carcinogénicos que tienen lugar. Los resultados de estudios epidemiológicos a gran escala, especialmente los que se están realizando sobre trabajadores de centrales nucleares, deben contribuir a mejorar la exactitud de las estimaciones de riesgo de cáncer en poblaciones expuestas a dosis bajas o cuantías bajas de dosis. Los estudios sobre poblaciones expuestas a radiación ionizante a causa de accidentes nos ayudarán a comprender mejor los efectos de dosis mayores, con frecuencia administradas en bajas cuantías de dosis.

La infraestructura necesaria (organización, equipo y material) para una recopilación de los datos a su debido tiempo, que es esencial para la evaluación de los efectos de los accidentes de radiación sobre la salud, debe estar implantada desde mucho antes del accidente.

Por último, es preciso realizar una amplia investigación para determinar con exactitud los efectos psicológicos y sociales de los accidentes de radiación (por ejemplo, la naturaleza, frecuencia y factores de riesgo de las reacciones psicológicas postraumáticas,

patológicas o no). Esta investigación es esencial para mejorar la gestión de la población expuesta, tanto por el motivos profesionales como por otras razones.

SALUD EN EL TRABAJO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD EN AREAS AGRARIAS CONTAMINADAS POR RADIONUCLIDOS: LA EXPERIENCIA DE CHERNOBIL

Yuri Kundiev, Leonard Dobrovolsky y V. I. Chernyuk

En general, la contaminación masiva de tierras agrícolas por radionúclidos se produce por accidentes graves en empresas pertenecientes a la industria nuclear o en centrales nucleares. Accidentes de este tipo se produjeron en Windscale (Inglaterra) y al sur de los Urales (Rusia). El accidente más grave tuvo lugar en abril de 1986, en la central nuclear de Chernóbil: provocó una intensa contaminación del suelo en varios miles de kilómetros cuadrados.

Los principales factores que influyen en los efectos de un accidente radiológico en zonas agrarias son los siguientes:

- el hecho de que la radiación se deba a una sola exposición o a una exposición prolongada;
- la cantidad total de sustancias radiactivas que se han incorporado al medio ambiente;
- el ratio o proporción de radionúclidos en la precipitación o lluvia radiactiva caída a distancia;
- la distancia entre la fuente de radiación y las tierras y asentamientos agrarios;
- las características hidrogeológicas y edafológicas de las tierras agrícolas, y los fines a que se destinan;
- las características laborales de la población rural; dieta, suministro de agua,
- el tiempo transcurrido desde el accidente radiológico.

Como resultado del accidente de Chernóbil, se incorporaron al medio ambiente más de 50 millones de curios (Ci) de radionúclidos, en su mayoría volátiles. En la primera fase, que duró 2,5 meses (el período de semidesintegración

del yodo), el yodo 131 ocasionó el mayor peligro biológico, con dosis significativas de radiación gamma de alta energía.

Durante el período de semidesintegración del yodo debe regularse estrictamente el trabajo en las tierras agrícolas. El yodo-131 se acumula en la glándula tiroides, dañándola. Tras el accidente de Chernóbil, en un radio de 30 km de la central se definió una zona de elevadísima intensidad de radiación, en la que no estaba permitido vivir ni trabajar.

Fuera de la zona prohibida, se distinguieron cuatro áreas con distintas proporciones de radiación gamma en el suelo, en función de los tipos de tareas agrarias que podían llevarse a cabo; durante el período de semidesintegración del yodo, las cuatro zonas presentaban los siguientes niveles de radiación, medidos en roentgen (R):

- zona 1: menos de 0,1 mR/h
- zona 2: 0,1 a 1 mR/h
- zona 3: 1,0 a 5 mR/h
- zona 4: 5 mR/h y más.

En realidad, debido a la contaminación "concentrada" de radionúclidos durante el período de semidesintegración del yodo,

en estas zonas se llevaron a cabo las tareas agrarias con unos niveles de radiación gamma comprendidos entre 0,2 y 25 mR/h. Aparte de la desigual contaminación, la causa de la variación en los niveles de radiación gamma residió en las diferentes concentraciones de radionúclidos en los distintos cultivos. En particular, los cultivos forrajeros están expuestos a altos niveles de emisores de partículas gamma durante la cosecha, transporte, ensilaje y utilización como forraje.

Tras la desintegración espontánea del yodo 131, el mayor peligro para los trabajadores agrarios lo representan los núclidos de vida larga de cesio 137 y estroncio 90. El cesio 137, un emisor de partículas gamma, es un producto químico análogo al potasio; su ingesta por seres humanos o animales produce una distribución uniforme por todo el cuerpo y se expele con relativa rapidez con la orina y las heces. Así, en las zonas contaminadas, el estiércol representa una fuente adicional de radiación y debe eliminarse lo antes posible de las explotaciones ganaderas, almacenándolo en instalaciones especiales.

El estroncio 90, un emisor de partículas beta, es un producto químico análogo al calcio; se deposita en la médula ósea de los seres humanos y de los animales. El estroncio 90 y el cesio 137 pueden introducirse en el cuerpo humano a través de leche, carne o verduras contaminadas.

Tras la desintegración espontánea de los radionúclidos de vida corta, la división de las tierras agrícolas en zonas se lleva a cabo atendiendo a un principio diferente. En este caso, se tiene en cuenta no el nivel de radiación gamma, sino la medida de

la contaminación del suelo por cesio 137, estroncio 90 y plutonio 239.

Cuando se dan niveles de contaminación particularmente graves, la población es evacuada y el trabajo en las explotaciones agrícolas se realiza siguiendo una rotación quincenal. En la Tabla 39.32 se muestran los criterios de delimitación zonal en las áreas contaminadas.

Al trabajar en tierras agrícolas contaminadas por radionúclidos, puede producirse absorción física de radionúclidos por inhalación y contacto con el polvo del suelo y con los cultivos. Aquí, son extremadamente peligrosos los emisores de partículas tanto beta (estroncio 90) como alfa.

Como resultado de los accidentes en centrales nucleares, parte de los materiales radiactivos que se incorporan al medio ambiente son partículas del combustible del reactor muy activas y de baja dispersión: "partículas calientes".

Durante las tareas agrarias y en períodos de viento, se generan grandes cantidades de polvo con partículas calientes. Esta circunstancia se ha visto confirmada por los resultados de las investigaciones realizadas sobre los filtros de aire de tractores que trabajaban en tierras contaminadas.

La evaluación de la dosis en los pulmones de los trabajadores agrarios expuestos a partículas calientes puso de manifiesto que, fuera de la zona de los 30 km, ésta ascendía a varios millisieverts (Loshchilov y cols. 1993).

Según los datos de Bruk y cols. (1989), la actividad total de cesio 137 y cesio 134 en el polvo inhalado por personas que trabajaban con máquinas fue de entre 0,005 y 1,5 nCi/m³. De acuerdo con sus cálculos, la dosis efectiva en los pulmones variaba de 2 a 70 cSv en el período total de trabajo.

Se estableció una relación entre la cantidad de contaminación por cesio 137 del suelo y la radiactividad del aire en la zona de trabajo. Según los datos del Instituto de salud en el trabajo de Kiev, cuando la contaminación del suelo por cesio 137 estaba comprendida entre 7,0 y 30,0 Ci/km², la radiactividad del aire de la zona alcanzaba los 13,0 Bq/m³. En las zonas de control, donde la densidad de la contaminación era de 0,23 a 0,61 Ci/km², la radiactividad del aire en la zona de trabajo variaba entre 0,1 y 1,0 Bq/m³ (Krasnyuk, Chernyuk y Stezhka 1993).

Los análisis médicos de los operadores de máquinas agrícolas en las zonas "limpias" y en las contaminadas pusieron de manifiesto un aumento de las afecciones cardiovasculares en estos últimos, en forma de cardiopatía isquémica y de distonía neurocirculatoria. Entre otros trastornos, se registró una mayor frecuencia de displasia de la glándula tiroidea y un mayor nivel de monocitos en sangre.

Requisitos de higiene

Programas de trabajo

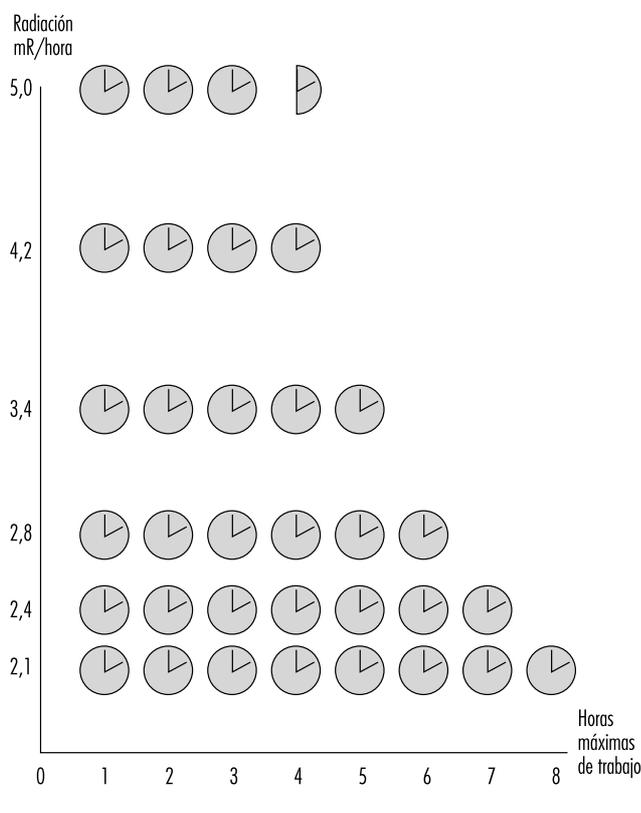
Después de accidentes graves en centrales nucleares, suelen implantarse normativas temporales para la población. Tras el accidente de Chernóbil, se adoptaron normas para un período de un año, con el TLV de 10 cSv. Se considera que los trabajadores reciben el 50 % de su dosis por radiación externa durante el trabajo. Aquí, la intensidad máxima de radiación en la jornada laboral de ocho horas no debe superar los 2,1 mR/h.

En las faenas agrarias, los niveles de radiación en el lugar de trabajo pueden fluctuar mucho dependiendo de la concentración de sustancias radiactivas en el suelo y en las plantas; varían también durante su procesamiento tecnológico (ensilaje, elaboración de forraje seco, etc.). Para reducir las dosis soportadas por los trabajadores, se introducen reglamentos de limitación temporal de las tareas agrarias. En la Figura 39.12 se indican los reglamentos adoptados tras el accidente de Chernóbil.

Tabla 39.32 • Criterios para las zonas de contaminación.

Zonas de contaminación	Límites de contaminación de suelos	Límites de dosis	Tipo de medida
1. Radio de 30 km	—	—	Están prohibidos la residencia y el trabajo agrícola.
2. Reasentamiento sin condiciones	15 (Ci)/km ² cesio-37 3 Ci/km ² estroncio 90 0,1 Ci/km ² plutonio	0,5 cSv/año	El trabajo agrícola se lleva a cabo siguiendo una rotación quincenal y bajo un riguroso control radiológico.
3. Reasentamiento voluntario	5–15 Ci/km ² cesio 137 0,15–3,0 Ci/km ² estroncio 90 0,01–0,1 Ci/km ² plutonio	0,01–0,5 cSv/año	Se toman medidas para reducir la contaminación de la primera capa de suelo; el trabajo agrícola se lleva a cabo bajo un riguroso control radiológico.
4. Vigilancia radiológica y ecológica	1–5 Ci/km ² cesio 137 0,02–0,15 Ci/km ² estroncio 90 0,05–0,01 Ci/km ² plutonio	0,01 cSv/año	El trabajo agrícola se lleva a cabo de la forma habitual pero bajo control radiológico.

Figura 39.12 • Límites temporales del trabajo agrícola en función de la intensidad de la radiación gamma en los lugares de trabajo.



Agrotecnología

Al realizar tareas agrarias en condiciones de contaminación intensa de suelos y plantas, es necesario respetar estrictamente las medidas de prevención de la contaminación por polvo. La carga y descarga de sustancias secas y polvorientas debe mecanizarse, cubriendo con tela el cuello del tubo transportador. También deben adoptarse medidas para reducir la liberación de polvo en cualquier otra faena agrícola.

El trabajo con maquinaria agrícola debe efectuarse vigilando la presurización de la cabina y eligiendo la dirección adecuada para trabajar con el viento por el costado preferible. Si es posible, se recomienda regar primero las áreas de cultivo. Es aconsejable utilizar las tecnologías industriales para eliminar en la mayor medida posible el trabajo manual en el campo.

Conviene aplicar a los suelos sustancias capaces de potenciar la absorción y fijación de los radionúclidos, transformándolos en compuestos insolubles e impidiendo así su transmisión a las plantas.

Maquinaria agrícola

Uno de los principales peligros para los trabajadores es la maquinaria agrícola contaminada por radionúclidos. El tiempo de trabajo admisible con máquinas depende de la intensidad de la radiación gamma emitida por las superficies de la cabina. No sólo es imperativa la total presurización de la misma, sino también un control adecuado de los sistemas de ventilación y de aire acondicionado. Concluido el trabajo, deben lavarse las cabinas y sustituirse los filtros.

Al mantener y reparar las máquinas tras los procedimientos de descontaminación, la intensidad de la radiación gamma en las superficies exteriores no debe superar los 0,3 mR/h.

Edificios

Hay que lavar regularmente tanto el exterior como el interior de los edificios. Las construcciones deben estar provistas de duchas. Para la preparación de forraje que contenga componentes en polvo, es necesario respetar los procedimientos de prevención de la absorción de polvo por parte de los trabajadores, así como mantener libre de polvo los suelos, equipos, etc.

La presurización del equipo debe realizarse bajo control. Los lugares de trabajo deben dotarse de una ventilación general eficaz.

Uso de pesticidas y fertilizantes minerales

Debe limitarse la aplicación de pesticidas en polvo y en gránulos y de fertilizantes minerales, así como la aspersión desde aviones. Son preferibles la aspersión automática y la aplicación de sustancias químicas granuladas y fertilizantes líquidos mixtos. Los fertilizantes minerales en polvo deben almacenarse y transportarse en contenedores herméticamente cerrados.

El trabajo de carga y descarga, la preparación de soluciones pesticidas y otras actividades deben realizarse con el mejor equipo posible de protección personal (guardapolvos, cascos, gafas protectoras, respiradores, guantes de goma y botas).

Suministro de agua y alimentación

Hay que disponer de un local especial cerrado, o de camionetas sin corrientes de aire, para que los trabajadores puedan comer. Antes de comer, deben limpiarse la ropa y lavarse completamente las manos y la cara con jabón y agua corriente. En verano, debe suministrarse agua potable a los trabajadores de campo. El agua ha de guardarse en contenedores cerrados, en los que no debe entrar polvo cuando se llenen de agua.

Análisis médico preventivo de los trabajadores

Un médico debe realizar análisis médicos periódicos; es obligatorio efectuar análisis de sangre, electrocardiogramas y pruebas de la función respiratoria. Si los niveles de radiación no rebasan los límites tolerables, la frecuencia de los análisis médicos no debe ser inferior a una vez cada 12 meses. Si se observan niveles mayores de radiación ionizante, los análisis deben realizarse con mayor frecuencia (después de la siembra, de la cosecha, etc.) teniendo debidamente en cuenta la intensidad de la radiación en los lugares de trabajo y la dosis total absorbida.

Organización del control radiológico en zonas agrarias

Los principales índices que caracterizan la situación radiológica tras la precipitación de lluvia radiactiva son los siguientes: intensidad de la radiación gamma en la zona, contaminación del terreno agrícola por los radionúclidos seleccionados y contenido en radionúclidos de los productos agrícolas.

La determinación de los niveles de radiación gamma permite trazar los límites geográficos de las zonas gravemente contaminadas, estimar las dosis de radiación externa de las personas que trabajan en tareas agrarias y elaborar los correspondientes programas de seguridad radiológica.

Habitualmente, las funciones de seguimiento radiológico en agricultura son responsabilidad de los laboratorios radiológicos del servicio de sanidad, así como de los laboratorios radiológicos veterinarios y agroquímicos. Estos laboratorios se encargan asimismo de la formación y educación del personal adscrito al control dosimétrico y a las consultas a la población rural.

● ESTUDIO DE CASO: EL INCENDIO DE LA FABRICA DE JUGUETES KADER

Casey Cavanaugh Grant

Un trágico incendio industrial acaecido en Tailandia llamó la atención del mundo entero sobre la necesidad de adoptar y aplicar códigos y normas actualizados a las instalaciones industriales.

El 10 de mayo de 1993, un gran incendio declarado en la fábrica Kader Industrial (Thailand) Co. Ltd., situada en la provincia de Nakhon Pathom en Tailandia, ocasionó la muerte a 188 trabajadores (Grant y Klem 1994). Se trata del peor incendio accidental con pérdida de vidas humanas en un edificio industrial de toda la historia reciente, dudoso honor que durante 82 años correspondió al incendio de la fábrica Triangle Shirtwaist en la ciudad de Nueva York, en el que perecieron 146 trabajadores (Grant 1993). A pesar de los años que separan ambas calamidades, las dos presentan sorprendentes características comunes.

Varios organismos nacionales e internacionales prestaron atención a este incidente. Con respecto a la protección contra el fuego, la Asociación nacional de protección contra incendios (National Fire Protection Association, NFPA) cooperó con la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y el Cuerpo de bomberos de Bangkok para documentar este incendio.

Cuestiones de economía mundial

En Tailandia, el incendio de Kader despertó un gran interés por las medidas nacionales de seguridad contra incendios y, en particular, por los requisitos en materia de construcción y las políticas de aplicación. Chuan Leekpai, Primer Ministro de Tailandia, que se trasladó esa misma tarde al lugar del incendio, prometió que el Gobierno se ocuparía de los problemas de la seguridad contra incendios. Según el *Wall Street Journal* (1993), Leekpai pidió la adopción de medidas rigurosas contra quienes infrinjan las normas de seguridad y Sanan Kachornprasart, ministro de Industria, declaró que "las fábricas que no tengan sistemas de prevención de incendios recibirán la orden de instalarlos o serán cerradas".

Seguidamente, el *Wall Street Journal* afirma que, en opinión de líderes sindicales, expertos en seguridad y funcionarios, aunque el incendio de Kader puede contribuir a hacer más estrictos los códigos de construcción y los reglamentos de seguridad, es de temer que aún esté lejos un progreso duradero, pues las empresas ignoran las normas y los gobiernos consideran más importante el crecimiento económico que la seguridad de los trabajadores.

Dado que la mayor parte de las acciones de Kader Industrial (Thailand) Co. Ltd. estaban en manos extranjeras, el incendio impulsó también el debate internacional sobre la responsabilidad de los inversores internacionales en la seguridad de los trabajadores de los países en que invierten. El 20 % de los accionistas de Kader son de Taiwán y el 79,96 % de Hong Kong. Sólo el 0,04 % de Kader es propiedad de tailandeses.

La mundialización de la economía significa que los productos se fabrican en un lugar y se utilizan en otros, a veces muy distantes. El deseo de competitividad en este nuevo mercado no debe llevarnos a poner en peligro las normas básicas de seguridad contra incendios industriales. Tenemos la obligación moral de ofrecer a los trabajadores un nivel adecuado de protección contra incendios, estén donde estén.

La fábrica

La fábrica Kader, que producía juguetes de trapo y muñecas de plástico fundamentalmente para su exportación a Estados Unidos y otros países desarrollados, estaba ubicada en la localidad de Sam Phran, en la provincia de Nakhon Pathom, prácticamente a medio camino entre Bangkok y la cercana ciudad de Kanchanaburi, donde se encontraba el vergonzoso puente ferroviario sobre el río Kwai de la segunda Guerra Mundial.

Todas las estructuras destruidas en el incendio eran propiedad de Kader, dueño y gestor de la fábrica. Kader tiene dos empresas hermanas que también operan en este lugar en virtud de un acuerdo de arrendamiento.

La sociedad Kader Industrial (Thailand) Co. Ltd. se registró por primera vez el 27 de enero de 1989, pero se suspendió el permiso a la empresa el 21 de noviembre del mismo año, tras un incendio acaecido el 16 de agosto de 1989, que destruyó la nueva fábrica. El incendio se atribuyó a la ignición de una tela de poliéster utilizada para la fabricación de muñecas en un hilador. Tras la reconstrucción de la fábrica, el Ministerio de Industria autorizó su reapertura el 4 de julio de 1990.

Entre la reapertura de la fábrica y el incendio de mayo de 1993, se produjeron numerosos incendios de menor importancia. Uno de ellos, el acaecido en febrero de 1993, dañó considerablemente el edificio Tres, que aún se estaba reparando en el momento del incendio de mayo de 1993. El incendio de febrero se produjo por la noche, en una zona de almacenamiento, y afectó a materiales de poliéster y algodón. Varios días después, un inspector del trabajo visitó la instalación y emitió un informe en el que se indicaba la necesidad de introducir en la fábrica encargados de seguridad, equipos de seguridad y un plan de emergencia.

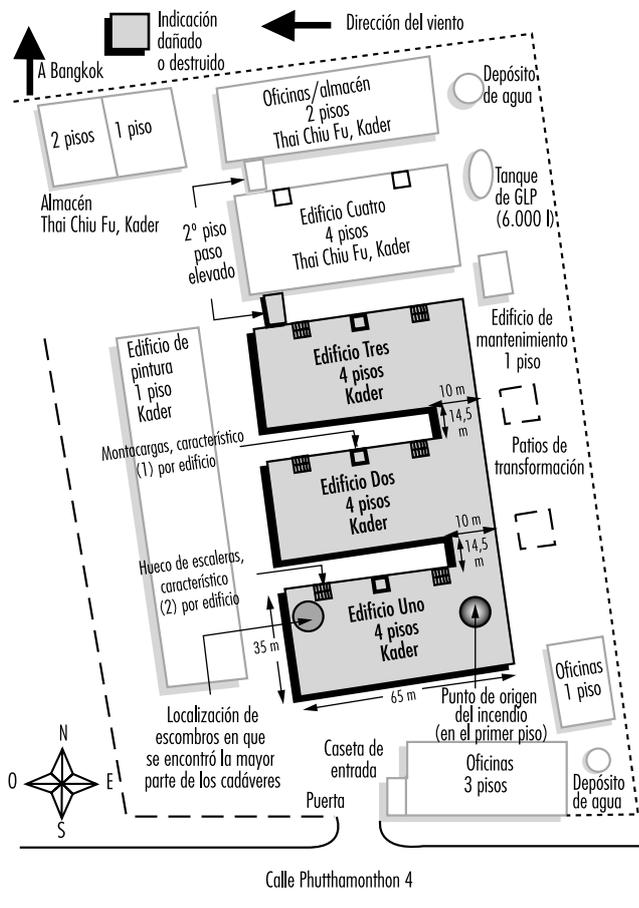
En los primeros informes del incendio de mayo de 1993 se señala que la fábrica Kader constaba de cuatro edificios: tres de ellos destruidos por el fuego. En cierto sentido, es cierto; sin embargo, esos tres edificios formaban en realidad una sola estructura en forma de letra E (véase la Figura 39.13), cuyas tres partes principales recibían el nombre de edificios Uno, Dos y Tres. Cerca, había un taller de un piso de altura y otra estructura de cuatro pisos denominada edificio Cuatro.

La construcción en forma de E era una estructura de cuatro alturas a base de bloques de hormigón sobre una estructura de acero. Había ventanas en torno al perímetro de cada piso, y el tejado era levemente inclinado, rematado en pico. Cada parte del edificio contaba con un ascensor de mercancías y dos escaleras de 1,5 metros de ancho. Los ascensores de mercancías eran jaulas de barrotes.

Todos los edificios de la fábrica estaban equipados con sistemas de alarma contra incendios. Ninguno de ellos disponía de rociadores automáticos de agua, sino de extintores portátiles, y había mangueras contra incendios instaladas en los muros exteriores y en los huecos de las escaleras de cada edificio. Ninguna parte de la estructura de acero del edificio estaba revestida contra incendios.

La información sobre el número total de trabajadores presentes en la fábrica es contradictoria. La Federación de industrias tailandesas se comprometió a ayudar a 2.500 trabajadores que quedaron sin empleo a causa del incendio, pero no está claro cuántos se encontraban allí en un momento dado. En el momento del incendio, se notificó que había 1.146 trabajadores en el edificio Uno: 36 en el primer piso, 10 en el segundo, 500 en el tercero y 600 en el cuarto. En el edificio Dos había 405 trabajadores: 60 en el primer piso, 5 en el segundo, 300 en el tercero y 40 en el cuarto. No está claro cuántos trabajadores había en el edificio Tres, pues parte de él aún estaba en obras. La mayoría de los trabajadores de la fábrica eran mujeres.

Figura 39.13 • Plano de la instalación de la fábrica de juguetes Kader



El incendio

El lunes 10 de mayo era un día normal de trabajo en la fábrica Kader. Aproximadamente a las 4.00 p.m., cuando iba a terminar el turno de día, se descubrió un pequeño incendio en el primer piso, cerca del extremo sur del edificio Uno. Esta zona se utilizaba para empaquetar y almacenar los productos acabados, de modo que contenía una considerable carga de combustible (véase la Figura 39.14). Todos los edificios de la fábrica contenían una carga combustible compuesta de telas, plásticos y materiales de relleno, así como de otros materiales normales de trabajo.

Los guardias de seguridad cercanos al incendio trataron de extinguir las llamas sin éxito; a las 4.21 p.m. llamaron a la brigada de bomberos de la policía local. Las autoridades recibieron dos llamadas más, a las 4.30 p.m. y a las 4.31 p.m. A pesar de que la fábrica Kader se encuentra justo fuera del territorio jurisdiccional de Bangkok, respondieron a la llamada tanto los bomberos de Bangkok como los de la provincia de Nakhon Pathom.

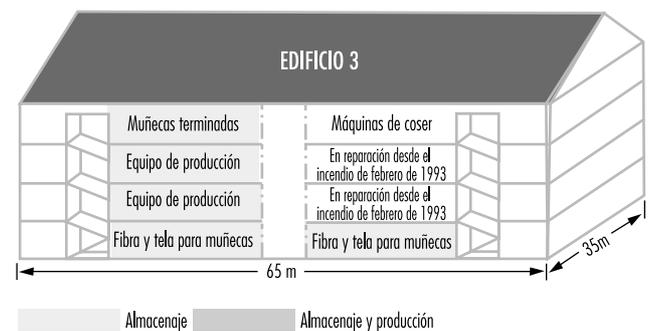
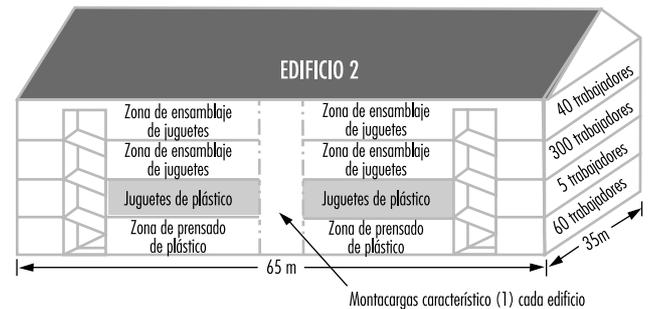
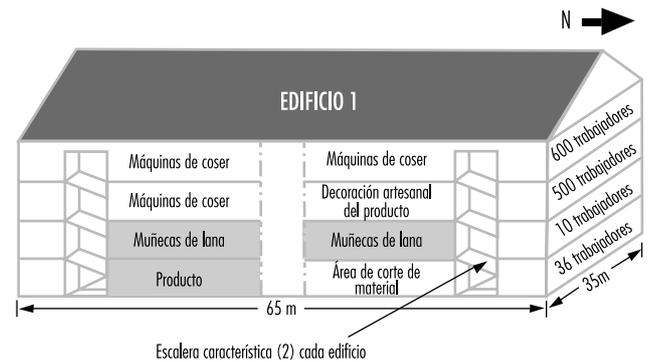
Mientras los trabajadores y los guardias de seguridad trataban en vano de extinguir el fuego, el edificio empezó a llenarse de humo y de productos de combustión. Los supervivientes contaron que en el edificio Uno no llegó a sonar la alarma de incendio, pero que muchos trabajadores se alarmaron al ver humo en los pisos superiores. Parece ser que, a pesar del humo, los guardias de seguridad dijeron a algunos trabajadores que permanecieran en sus puestos de trabajo, ya que se trataba de un incendio menor que no tardarían en controlar.

El fuego se propagó rápidamente a todo el edificio Uno y pronto resultó imposible permanecer en los pisos superiores. Las llamas bloquearon el hueco de la escalera del extremo sur del edificio, de modo que la mayor parte de los trabajadores acudieron rápidamente a la escalera norte. Esto quiere decir que había aproximadamente 1.100 personas tratando de abandonar los pisos tercero y cuarto por una sola escalera.

Los primeros bomberos llegaron a las 4.40 p.m.; habían tardado más de lo normal debido a la localización relativamente lejana de la instalación y a las condiciones del tráfico de Bangkok. Cuando llegaron, el edificio Uno era ya pasto de las llamas y empezaba a derrumbarse, mientras la gente saltaba de los pisos tercero y cuarto.

A pesar de los esfuerzos de la brigada de incendios, el edificio Uno se vino completamente abajo hacia las 5.14 p.m. Los fuertes vientos que soplaban hacia el norte extendieron rápidamente las llamas a los edificios Dos y Tres antes de que los bomberos pudieran impedirlo. Según se notificó, el edificio Dos se derrumbó a las 5.30 p.m. y el edificio Tres a las 6.05 p.m. La brigada de incendios logró evitar que el fuego entrara en el edificio Cuatro y en el pequeño taller situado allí cerca, y los

Figura 39.14 • Disposición interna de los edificios Uno, Dos y Tres.



bomberos consiguieron controlar el incendio a las 7.45 p.m. En la batalla se emplearon aproximadamente 50 equipos de lucha contra el fuego.

Al parecer, las alarmas de incendios de los edificios Dos y Tres funcionaron bien, y todos los trabajadores que se encontraban en ellos salieron con vida. Los trabajadores del edificio Uno no tuvieron tanta suerte. Muchos de ellos saltaron desde los pisos superiores. En total, fueron trasladados al hospital 469 trabajadores, de los que murieron 20. Los demás muertos fueron encontrados en la búsqueda posterior al incendio en las ruinas de la escalera norte del edificio. Muchos de ellos habían fallecido a causa de productos de combustión letales, antes o durante el derrumbe del edificio. Según los últimos datos disponibles, 188 personas, en su mayoría mujeres, murieron como consecuencia de este incendio.

Aun empleando seis grandes grúas hidráulicas que se trasladaron al lugar para facilitar la búsqueda de las víctimas, pasaron varios días hasta que se recuperaron todos los cadáveres. No se registraron muertos entre los bomberos, aunque sí un herido.

El tráfico circundante, que normalmente está congestionado, dificultó el traslado de las víctimas al hospital. Casi 300 trabajadores heridos fueron trasladados al cercano hospital Sriwichai II, pero muchos de ellos fueron enviados a otros centros médicos cuando el número de víctimas superó la capacidad del hospital.

Al día siguiente, el hospital Sriwichai II informó que había acogido a 111 víctimas del incendio. El hospital Kasemrat ingresó a 120; Sriwichai Pattanana a 60; Sriwichai I a 50; Ratanathibet I a 36; Siriraj a 22; y Bang Phai a 17. Otros 53 trabajadores heridos fueron llevados a otros centros médicos de la zona. En total, 22 hospitales de Bangkok y de la provincia de Nakhon Pathom participaron en el tratamiento de las víctimas del siniestro.

El hospital Sriwichai II notificó que el 80 % de las 111 víctimas que había acogido sufría lesiones graves y el 30 % precisaba intervención quirúrgica. La mitad de los pacientes adolecían únicamente de inhalación de humo, pero el resto sufrían también quemaduras y fracturas que iban desde tobillos rotos hasta fracturas de cráneo. Al menos el 10 % de los trabajadores de Kader hospitalizados en el Sriwichai II corrían peligro de sufrir parálisis permanente.

Determinar el origen de este incendio fue todo un desafío, pues la parte de las instalaciones en que se inició el fuego quedó totalmente destruida y los supervivientes proporcionaron informaciones contradictorias. Dado que el incendio se declaró cerca de un gran cuadro de mandos eléctricos, los investigadores pensaron, en un principio, que la causa pudo haber sido algún problema en el sistema eléctrico. Se consideró también la posibilidad de un incendio provocado. Por lo demás, en la actualidad, las autoridades tailandesas opinan que la fuente de ignición pudo haber sido un cigarrillo arrojado descuidadamente.

Análisis del incendio

Durante 82 años, el incendio declarado en 1911 en la fábrica Triangle Shirtwaist, en la ciudad de Nueva York, fue el peor incendio industrial con pérdida de vidas humanas, en el que las víctimas se limitaron al edificio en que se originó el fuego. Con 188 fallecidos, la fábrica Kader ha sustituido al incendio de Triangle en los libros de marcas.

Al analizar el incendio de Kader, la comparación directa con el incendio de Triangle ofrece algunas referencias útiles. Ambos edificios se parecían en varias cosas. La situación de las salidas era incorrecta, los sistemas fijos de protección contra incendios fueron insuficientes o ineficaces, los materiales iniciales de combustión prendieron fácilmente y las separaciones o sectori-

zaciones de incendios horizontales y verticales eran inadecuadas. Además, ninguna de las dos empresas había ofrecido a sus trabajadores una formación adecuada de seguridad contra incendios. Ahora bien, existe una clara diferencia entre estos dos incendios: el edificio de la fábrica Triangle Shirtwaist no se derrumbó, a diferencia del de Kader.

La situación inadecuada de los puntos de salida es, tal vez, el factor más significativo de la elevada mortalidad de los incendios de Kader y Triangle. Si las disposiciones en materia de salidas de la NFPA 101, el *Código de salvamento*, que se adoptaron como resultado directo del incendio de Triangle, se hubieran aplicado en el edificio Kader, se habrían perdido muchas menos vidas humanas (NFPA 101, 1994).

Muchos requisitos básicos del *Código de salvamento* se aplican directamente al incendio de Kader. Por ejemplo, dicho código exige que cualquier edificio o estructura se construya, organice y gestione de modo que sus ocupantes no corran ningún peligro indebido por fuego, humo, emanaciones o pánico que pueda surgir durante una evacuación o en el tiempo que se tarda en socorrerles.

También exige que todos los edificios cuenten con el suficiente número de salidas y otros medios de salvaguardia del tamaño suficiente y en los puntos adecuados para ofrecer una vía de escape a todos los ocupantes. Dichas salidas deben ser las adecuadas para la estructura o el edificio concreto, habida cuenta de su empleo, del número de ocupantes y la capacidad de los mismos, de la protección contra incendios disponible, de la altura y tipo de construcción y de cualquier otro factor necesario para ofrecer a todos los ocupantes un nivel razonable de seguridad. Obviamente, este no era el caso de la fábrica Kader, donde las llamas bloquearon uno de los dos huecos de escaleras del edificio Uno, lo que obligó a unas 1.100 personas a huir de los pisos tercero y cuarto por la misma escalera.

Además, las salidas deben organizarse y mantenerse de forma que ofrezcan una vía libre y sin obstáculos para salir de todas las partes del edificio, siempre que esté ocupado. Las salidas deben ser bien visibles y el camino que conduce a ellas ha de estar indicado de tal modo que todos los ocupantes del edificio física y mentalmente capacitados conozcan la dirección de escape desde cualquier punto.

Todas las salidas o aperturas verticales entre pisos de un edificio deben estar aisladas o protegidas del modo necesario para que los ocupantes estén razonablemente a salvo mientras salen y para impedir que el fuego, el humo o las emanaciones se propaguen de unos pisos a otros antes de que aquéllos hayan podido utilizar las salidas.

En el resultado de los incendios de Triangle y de Kader influyó significativamente la falta de unas separaciones o sectorizaciones horizontales y verticales adecuadas. Las dos fábricas se organizaron y construyeron de tal modo que un incendio en un piso inferior podía extenderse rápidamente a los superiores, atrapando a un gran número de trabajadores.

En las instalaciones industriales son característicos los espacios de trabajo grandes y abiertos; para frenar la propagación del fuego, deben instalarse y mantenerse suelos y muros revestidos resistentes contra incendios. También debe impedirse que el incendio se extienda por fuera, a través de las ventanas de un piso a las de otro piso, como ocurrió en el incendio de Triangle.

El modo más eficaz de limitar la propagación vertical del fuego es aislar las escaleras, los ascensores y otras aberturas verticales entre pisos. El hecho de que la fábrica Kader dispusiera de unos montacargas de barrotos abre serias dudas sobre la capacidad de la protección pasiva contra incendios del edificio para impedir la propagación vertical del fuego y el humo.

Formación en seguridad contra incendios y otros factores

Otro factor que contribuyó a la enorme pérdida de vidas humanas en los incendios de Triangle y Kader fue la falta de una formación adecuada en seguridad contra incendios y los rígidos procedimientos de seguridad de ambas empresas.

Tras el incendio en el edificio Kader, los supervivientes notificaron que los ejercicios de evacuación y la formación en seguridad contra incendios habían sido mínimos; los guardias de seguridad sí habían recibido, al parecer, una formación elemental. La fábrica de Triangle Shirtwaist no contaba con ningún plan de evacuación y no se llevaban a cabo ejercicios de evacuación. Es más, los supervivientes de Triangle informaron tras el incendio que, por motivos de seguridad, se les solía detener cuando salían del edificio al final del día. Según varias acusaciones de los supervivientes de Kader, también en este caso los mecanismos de seguridad entorpecieron la salida; estas acusaciones aún se están investigando. Sea como fuere, la falta de un plan de evacuación bien entendido parece haber sido un importante factor de la elevada mortalidad del incendio de Kader. En el capítulo 31 del *Código de salvamento* se contemplan los ejercicios de evacuación y la formación contra incendios.

La ausencia de sistemas fijos de protección automática contra incendios también influyó en el resultado de los incendios de Triangle y Kader. Ninguna de las dos instalaciones contaba con rociadores automáticos de agua, aunque los edificios de Kader sí disponían de un sistema de alarma de incendio. Según el *Código de salvamento*, deben instalarse alarmas de incendios en aquellos edificios cuyas dimensiones, organización u ocupación hacen improbable que los propios ocupantes adviertan inmediatamente un incendio. Por desgracia, según los informes, las alarmas no llegaron a funcionar en el edificio Uno, lo que provocó un considerable retraso en la evacuación. No se produjeron fallecimientos en los edificios Dos y Tres, en los que el sistema de alarma funcionó bien.

Los sistemas de alarma de incendios deben diseñarse, instalarse y mantenerse siguiendo las normas establecidas en documentos como NFPA 72, el Código nacional de alarma de incendio (NFPA 72, 1993). Los sistemas de rociado de agua deben diseñarse e instalarse con arreglo a documentos como NFPA 13, *Installation of Sprinkler Systems* y mantenerse de acuerdo con NFPA 25, *Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems* (NFPA 13, 1994; NFPA 25, 1995).

Los materiales iniciales de combustión en ambos incendios, Triangle y Kader, fueron similares. El incendio de Triangle se inició en contenedores de restos textiles y se propagó rápidamente a telas y ropas combustibles, antes de prender en los muebles, algunos de los cuales estaban impregnados de aceite de máquinas. El material inicial de combustión de la fábrica Kader consistió en telas de poliéster y algodón, plásticos y otros materiales utilizados para la fabricación de juguetes de trapo, muñecas de plástico y productos similares. Son materiales que prenden con gran facilidad, que pueden contribuir a un rápido crecimiento del fuego y que tienen una alta tasa de liberación de calor.

Probablemente, la industria manipulará siempre materiales difíciles de proteger contra el fuego, pero los fabricantes deberían tener en cuenta estas características y tomar las precauciones necesarias para minimizar los riesgos que entrañan.

Integridad estructural del edificio

La diferencia más notable entre el incendio de Triangle y el de Kader reside en el efecto del fuego sobre la integridad de la estructura. Aunque el incendio de Triangle destruyó los tres pisos superiores de un edificio de diez, su estructura permaneció intacta. En cambio, los edificios de Kader se derrumbaron con

relativa facilidad, porque los soportes estructurales de acero no estaban revestidos contra incendios y no podían resistir altas temperaturas. En la inspección de los restos del incendio no se encontró evidencia alguna de que los elementos de acero pudieran haber estado revestidos contra el fuego.

Obviamente, el derrumbe de un edificio en un incendio representa una gran amenaza tanto para sus ocupantes como para los bomberos. Desde luego, no está claro que el colapso de los edificios de Kader incidiera directamente en el número de víctimas mortales, pues éstas posiblemente habían fallecido ya cuando el edificio se vino abajo. Si los trabajadores de los pisos superiores del edificio Uno hubieran tenido una protección contra los productos de la combustión y el calor cuando trataban de escapar, el derrumbe del edificio habría contribuido más directamente en la pérdida de vidas humanas.

Principios de protección contra incendios

Entre los principios de protección contra incendios que han sido objeto de una mayor atención a raíz del incendio de Kader se encuentran el diseño de las salidas, la formación de los ocupantes en seguridad contra incendios, los sistemas de detección automática y de supresión, las separaciones o sectorizaciones contra incendios y la integridad estructural. Estas enseñanzas no son nuevas. Se aprendieron hace más de 80 años con el incendio de Triangle Shirtwaist y, más recientemente, en otros incendios fatales de lugares de trabajo, como: la fábrica de procesamiento de pollos de Hamlet, Carolina del Norte, EE.UU., en el que perecieron 25 trabajadores; la fábrica de muñecas en Kuyong, China, con 81 trabajadores muertos; y la central eléctrica de Newark, New Jersey, EE.UU., donde fallecieron los 3 trabajadores de la central (Grant y Klem 1994; Klem 1992; Klem y Grant 1993).

En particular, los incendios de Carolina del Norte y New Jersey demuestran que la mera existencia de códigos y normas actualizados, como el *Código de salvamento* del NFPA, no impide la pérdida de vidas humanas. Para que surtan efecto, estos códigos y normas deben también adoptarse y aplicarse rigurosamente.

Las autoridades nacionales, estatales y locales deben analizar la aplicación de las normas en materia de construcción y de incendios para determinar si es necesario adoptar nuevos códigos o actualizar los existentes. Al llevar a cabo esta revisión, deberían comprobar también si se ha implantado un plan de revisión e inspección de edificios para garantizar el respeto de las normas. Por último, hay que proceder a una inspección periódica de seguimiento de los edificios existentes, para garantizar que se mantiene el más alto nivel de protección contra incendios a lo largo de toda la vida del edificio.

También los propietarios y gestores de edificios deben ser conscientes de su responsabilidad a la hora de garantizar un entorno laboral seguro para sus trabajadores. Como mínimo, deberían aplicarse los conocimientos actuales en protección contra incendios, tal como se reflejan en los códigos y normas, para minimizar la posibilidad de un incendio catastrófico.

Si los edificios de Kader hubiesen estado equipados con rociadores automáticos de agua y con alarmas de incendios en buen estado, la pérdida de vidas humanas podría no haber sido tan grande. Si las salidas del edificio Uno hubieran estado mejor diseñadas, se podrían haber evitado cientos de heridos al saltar de los pisos tercero y cuarto. Si hubieran existido separaciones o sectorizaciones horizontales y verticales, el incendio podría no haberse propagado tan rápidamente a todo el edificio. Si los elementos de acero de la estructura hubieran estado revestidos, los edificios podrían no haberse derrumbado.

En palabras del filósofo George Santayana, "quienes olvidan el pasado están condenados a repetirlo". En muchos aspectos, el incendio de Kader de 1993 fue, lamentablemente, una repetición del incendio de Triangle Shirtwaist de 1911. Mirando al

futuro, tenemos que hacer todo lo necesario, como sociedad global, para impedir que la historia vuelva a repetirse.

● CONSECUENCIAS DE LAS CATASTROFES: LECCIONES DESDE UNA PERSPECTIVA MEDICA

*José Luis Zeballos**

América Latina y el Caribe no se han ahorrado su cuota de catástrofes naturales. Casi todos los años, sucesos catastróficos provocan muertos, heridos y un enorme perjuicio económico. Se estima que, en esta zona, las catástrofes naturales más graves de los dos últimos decenios ocasionaron pérdidas de bienes que afectaron a casi 8 millones de personas y provocaron unos 500.000 heridos y unos 150.000 muertos. Se trata de cifras basadas esencialmente en fuentes oficiales. (Es bastante difícil obtener información precisa sobre las catástrofes repentinas, pues existen múltiples fuentes pero no un sistema normalizado de información.) La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) estima que cada año, por término medio, las catástrofes en América Latina y el Caribe cuestan 1.500 millones de dólares de EE.UU. y se cobran 6.000 vidas humanas (Jovel 1991).

En la Tabla 39.33 se recogen las principales catástrofes naturales que se abatieron sobre países de esta región del mundo en el período de 1970 a 1993. Hay que señalar que no se incluyen las catástrofes lentas, como sequías e inundaciones.

Repercusión económica

En las últimas décadas, la CEPAL ha llevado a cabo un amplio trabajo de investigación sobre los efectos sociales y económicos de las catástrofes. Dicho trabajo ha demostrado claramente que las catástrofes tienen consecuencias negativas para el avance social y económico de los países en desarrollo. De hecho, las pérdidas monetarias causadas por una catástrofe grave superan con frecuencia los ingresos brutos anuales del país afectado. No es sorprendente que estos sucesos puedan paralizar países y potenciar las turbulencias generalizadas en los terrenos político y social.

En esencia, las catástrofes tienen tres tipos de efectos económicos:

- efectos directos sobre los bienes de la población afectada;
- efectos indirectos ocasionados por la pérdida de producción económica y de servicios;
- efectos secundarios que se hacen visibles tras la catástrofe: por ejemplo, reducción de la renta nacional, aumento de la inflación, problemas de comercio exterior, aumento del gasto financiero, déficit fiscal, reducción de las reservas monetarias, etc. (Jovel 1991).

En la Tabla 39.34 se ofrece una estimación de las pérdidas ocasionadas por seis graves catástrofes naturales. Aunque no parezcan especialmente devastadoras para países desarrollados con economías fuertes, pueden tener una repercusión importante y duradera sobre las frágiles y debilitadas economías de los países en desarrollo (OPS 1989).

Infraestructura sanitaria

En cualquier emergencia desencadenada por una catástrofe grave, la primera prioridad es salvar vidas y prestar inmediatamente asistencia de emergencia a los heridos. Entre los servicios

*Este artículo constituye una adaptación autorizada de Zeballos 1993b.

Tabla 39.33 • Principales catástrofes en América Latina y el Caribe, 1970-1993.

Año	País	Tipo de catástrofe	Nº de muertes notificadas	Estimación del nº de personas afectadas
1970	Perú	Seísmo	66.679	3.139.000
1972	Nicaragua	Seísmo	10.000	400.000
1976	Guatemala	Seísmo	23.000	1.200.000
1980	Haití	Huracán (Allen)	220	330.000
1982	México	Erupción volcánica	3.000	60.000
1985	México	Seísmo	10.000	60.000
1985	Colombia	Erupción volcánica	23.000	200.000
1986	El Salvador	Seísmo	1.100	500.000
1988	Jamaica	Huracán (Gilbert)	45	500.000
1988	México	Huracán (Gilbert)	250	200.000
1988	Nicaragua	Huracán (Joan)	116	185.000
1989	Montserrat, Dominica	Huracán (Hugo)	56	220.000
1990	Perú	Seísmo	21	130.000
1991	Costa Rica	Seísmo	51	19.700
1992	Nicaragua	Tsunami	116	13.500
1993	Honduras	Tormenta tropical	103	11.000

Fuente: OPS 1989; OFDA (USAID), 1989; UNDR0 1990.

médicos de emergencia movilizados por estos motivos, los hospitales desempeñan una función esencial. De hecho, en países con un sistema normalizado de respuesta a emergencias (donde el concepto de "servicios médicos de emergencia" engloba la asistencia de emergencia por medio de la coordinación de subsistemas independientes entre los que se incluyen paramédicos, bomberos y equipos de rescate), los hospitales constituyen el componente principal de dicho sistema (OPS 1989).

Los hospitales y otras instalaciones de asistencia sanitaria presentan una alta densidad de ocupación. Alojan a pacientes, personal y visitas, y funcionan 24 horas al día. Los pacientes pueden estar rodeados de equipos especiales o conectados a sistemas de mantenimiento de la vida que dependen del

Tabla 39.34 • Pérdidas ocasionadas en seis catástrofes naturales.

Catástrofe	Lugar	Año(s)	Pérdidas totales (en millones de dólares de EE.UU.)
Seísmo	México	1985	4.337
Seísmo	El Salvador	1986	937
Seísmo	Ecuador	1987	1.001
Erupción volcánica (Nevado del Ruiz)	Colombia	1985	224
Inundaciones, sequía ("El Niño")	Perú, Ecuador, Bolivia	1982-83	3.970
Huracán (Joan)	Nicaragua	1988	870

Fuente: OPS 1989; CEPAL.

Tabla 39.35 • Número de hospitales y de camas de hospital dañadas o destruidas en tres catástrofes naturales graves.

Tipo de catástrofe	Nº de hospitales dañados o destruidos	Nº de camas perdidas
Seísmo, México (Distrito Federal, septiembre de 1985)	13	4.387
Seísmo, El Salvador (San Salvador, octubre de 1986)	4	1.860
Huracán Gilbert (Jamaica, septiembre de 1988)	23	5.085
Total	40	11.332

Fuente: OPS 1989; OFDA(USAID) 1989; CEPAL.

suministro de energía. Según documentos en poder del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (comunicación personal, Tomas Engler, BID), el coste estimado de una cama en un hospital especializado varía de un país a otro, pero la media oscila entre 60.000 y 80.000 dólares de EE.UU., y es mayor para instalaciones altamente especializadas. En Estados Unidos, y especialmente en California, con su amplia experiencia en ingeniería de resistencia a seísmos, el coste de una cama de hospital puede superar los 110.000 dólares de EE.UU.. En suma, los hospitales modernos son instalaciones muy complejas que combinan la función de hoteles, oficinas, laboratorios y almacenes (Peisert y cols. 1984; FEMA 1990).

Estas instalaciones de asistencia sanitaria son muy vulnerables a huracanes y terremotos, lo que ha quedado sobradamente demostrado en experiencias anteriores en América Latina y el Caribe. Por ejemplo, como se muestra en la Tabla 39.35, sólo tres catástrofes del decenio de 1980 dañaron 39 hospitales y destruyeron unas 11.332 camas de hospital en El Salvador, Jamaica y México. Además de los daños físicos ocasionados a estas instalaciones en momentos críticos, hay que tener en cuenta la pérdida de vidas humanas (incluida la muerte de profesionales locales altamente cualificados con un futuro prometedor) (véanse las Tablas 39.36 y 39.37).

Actualmente, la capacidad de muchos hospitales de América Latina para resistir a catástrofes sísmicas es incierta. Son muy numerosos los instalados en estructuras antiguas, algunas ellas de la época colonial española; y aunque otros muchos ocupan

Tabla 39.37 • Camas de hospital perdidas a consecuencia del terremoto de Chile de marzo de 1985.

Zona	Nº de hospitales	Nº de camas	Camas perdidas en la zona	
			No.	%
Area urbana (Santiago)	26	11.464	2.373	20,7
Zona 5 (Viña del Mar, Valparaíso, San Antonio)	23	4.573	622	13,6
Zona 6 (Rancagua)	15	1.413	212	15,0
Zona 7 (Ralca, Meula)	15	2.286	64	2,8
Total	79	19.736	3.271	16,6

Fuente: Wyllie y Durkin 1986.

Tabla 39.36 • Víctimas del derrumbamientos de dos hospitales en el terremoto de México de 1985.

	Hospitales derrumbados			
	Hospital general		Hospital de Juárez	
	Número	%	Número	%
Fallecidos	295	62,6	561	75,8
Salvados	129	27,4	179	24,2
Desaparecidos	47	10,0	—	—
Total	471	100,0	740	100,0

Fuente: OPS 1987.

edificios contemporáneos de atractivo diseño arquitectónico, la laxa aplicación de las normas de construcción pone en duda su capacidad de resistencia a terremotos.

Factores de riesgo en terremotos

De los distintos tipos de catástrofes naturales repentinas, los terremotos son, con mucho, los más dañinos para los hospitales. Naturalmente, cada terremoto presenta sus propias características en cuanto a epicentro, tipo de ondas sísmicas, naturaleza geológica del suelo por el que se propagan las ondas, etc. No obstante, los estudios han puesto de manifiesto la existencia de una serie de factores comunes que tienden a ocasionar muertes y lesiones, y algunos otros que tienden a impedirlos. Entre ellos se encuentran las características estructurales relacionadas con el derrumbe de edificios, factores asociados al comportamiento humano y determinadas características de los equipos no estructurales, mobiliario y otros artículos, del interior de los edificios.

En los últimos años, estudiosos y planificadores han prestado especial atención a la identificación de los factores de riesgo en hospitales con la esperanza de elaborar mejores recomendaciones y normas para la construcción y organización de éstos en áreas muy vulnerables. Una breve enumeración de los factores de riesgo se muestra en la Tabla 39.38. Se ha observado que estos factores de riesgo, y especialmente los relacionados con los aspectos estructurales, influyeron en las pautas de destrucción de un terremoto ocurrido en Armenia en diciembre de 1988, que ocasionó la muerte a unas 25.000 personas, afectó a 1.100.000 y destruyó o dañó gravemente 377 escuelas, 560 instalaciones sanitarias y 324 centros públicos y culturales (USAID 1989).

Tabla 39.38 • Factores de riesgo asociados con los daños sísmicos a la infraestructura hospitalaria.

Estructural	No estructural	Del comportamiento
Diseño	Equipo médico	Información a la población
Calidad de la construcción	Equipo de laboratorio	Motivación
	Equipo de oficina	Planes
Materiales	Archivadores, estantes	Programas educativos
Condiciones del suelo	Hornos, refrigeradores, calentadores	Formación del personal de asistencia sanitaria
Características sísmicas	Aparatos de Rayos X	
Hora del acontecimiento	Materiales reactivos	
Densidad de población		

En junio de 1990, un terremoto en Irán provocó daños de importancia similar, ocasionó la muerte a unas 40.000 personas, hirió a otras 60.000, dejó sin hogar a 500.000 y derrumbó entre el 60 % y el 90 % de los edificios en las áreas afectadas (UNDRO 1990).

Para enfrentarse a este tipo de calamidades, se celebró en 1989 en Lima, Perú, un seminario internacional sobre la planificación, diseño, reparación y organización de hospitales en zonas propensas a los terremotos. Este seminario, patrocinado por la OPS, la Universidad Nacional de Ingeniería de Perú y el Centro Peruano-Japonés de Investigación Sísmica (CISMID), reunió a arquitectos, ingenieros y gestores hospitalarios para estudiar los diversos aspectos de las instalaciones sanitarias localizadas en dichas zonas. El seminario aprobó una serie de recomendaciones y requisitos técnicos para realizar los análisis de vulnerabilidad de las infraestructuras hospitalarias, mejorar el diseño de las nuevas instalaciones y establecer medidas de seguridad en los hospitales ya existentes, con especial atención a los situados en zonas de alto riesgo sísmico (CISMID 1989)¹

Recomendaciones sobre la preparación de Hospitales

Como sugiere lo anterior, la preparación de los hospitales para posibles catástrofes constituye un importante cometido de la Oficina para la preparación de emergencias y el socorro en catástrofes de la OPS. En los últimos diez años, ha animado a los Estados miembros a emprender actividades con este objetivo, entre las que se incluyen las siguientes:

- clasificación de los hospitales en función de sus factores de riesgo y puntos débiles;
- desarrollo de planes de respuesta internos y externos para hospitales y formación del personal;
- desarrollo de planes de emergencia y establecimiento de medidas de seguridad para el personal profesional y técnico,
- refuerzo de los sistemas de apoyo que ayudan a los hospitales a funcionar en situaciones de emergencia.

Más en general, un objetivo capital de la actual Década de las Naciones Unidas para la Reducción de las Catástrofes Naturales (IDNDR) es atraer, motivar y comprometer a las autoridades sanitarias y políticas de todo el mundo para que refuercen los servicios sanitarios encargados de la asistencia en catástrofes y reduzcan su fragilidad en los países en desarrollo.

Cuestiones relacionadas con los accidentes tecnológicos

En las dos últimas décadas, los países en desarrollo han entablado una intensa competencia para conseguir el desarrollo industrial.

Las principales razones de esa competencia son las siguientes:

- atraer inversión de capital y generar puestos de trabajo;
- satisfacer la demanda interna de productos a menor coste y reducir la dependencia del mercado internacional;
- competir con mercados internacionales y subregionales,
- sentar las bases del desarrollo.

Por desgracia, los esfuerzos realizados no siempre han dado como resultado los objetivos apetecidos. En efecto, la flexibilidad para atraer la inversión de capital, la falta de una normativa sólida en materia de seguridad industrial y protección ambiental, la negligencia en el funcionamiento de las fábricas industriales, el uso de tecnologías obsoletas y otros factores han contribuido a aumentar el riesgo de accidentes tecnológicos en determinadas zonas.

Además, la falta de reglamentación sobre el establecimiento de asentamientos humanos en las inmediaciones de las industrias es un factor de riesgo adicional. En las principales ciudades latinoamericanas, es común ver asentamientos humanos prácticamente en torno a los complejos industriales, y los habitantes de esos asentamientos no están al corriente de los posibles riesgos (Zeballos 1993a).

Para evitar accidentes como el sucedido en Guadalajara (México) en 1992, se sugieren las siguientes líneas directrices para el establecimiento de industrias químicas, al objeto de proteger a los trabajadores y a la población en general:

- elección de la tecnología adecuada y estudio de alternativas;
- localización apropiada de las plantas industriales;
- reglamentación de los asentamientos humanos en las inmediaciones de las industrias;
- consideraciones de seguridad para la transferencia de tecnología;
- inspección sistemática de las plantas por parte de las autoridades locales;
- conocimientos y experiencias aportados por agencias especializadas;
- papel de los trabajadores en la observancia de las normas de seguridad;
- legislación estricta;
- clasificación de materiales tóxicos y estricta supervisión de su utilización;
- educación de la población y formación de los trabajadores;
- establecimiento de mecanismos de reacción en caso de emergencia,
- formación de los trabajadores sanitarios en planes de emergencia para accidentes tecnológicos.

Referencias

Agencia de la OCDE para la Energía Nuclear. 1987. *The Radiological Impact of the Chernobyl Accident in OECD Countries*. París: Agencia de la OCDE para la Energía Nuclear.

American Psychiatric Association (APA). 1994. *DSM-IV Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. Washington, DC: APA.

Andersson, N, M Kerr Muir, MK Ajwani, S Mahashabde, A Salmon, K Vaidyanathan. 1986. Persistent eye watering among Bhopal survivors. *Lancet* 2:1152.

Baker, EL, M Zack, JW Miles, L Alderman, M Warren, RD Dobbin, S Miller, WR Teeters. 1978. Epidemic malathion poisoning in Pakistan malaria working. *Lancet* 1:31-34.

Baum, A, L Cohen, M Hall. 1993. Control and intrusive memories as possible determinants of chronic stress. *Psychosom Med* 55:274-286.

Bertazzi, PA. 1989. Industrial disasters and epidemiology. A review of recent experiences. *Scand J Work Environ Health* 15:85-100.

—. 1991. Long-term effects of chemical disasters. Lessons and result from Seveso. *Sci Total Environ* 106:5-20.

Bromet, EJ, DK Parkinson, HC Schulberg, LO Dunn, PC Condek. 1982. Mental health of residents near the Three Mile Island reactor: A comparative study of selected groups. *J Prev Psychiat* 1(3):225-276.

Bruk, GY, NG Kaduka, VI Parkhomenko. 1989. Contaminación atmosférica por radionúclidos

como resultado del accidente de la central nuclear de Chernobyl y su contribución a la radiación de la población (en ruso). Materiales del Primer Congreso Radiológico de la Unión celebrado los días 21-27 de agosto en Moscú. Resúmenes (en ruso). *Puschkina*, 1989, vol. II:414-416.

Bruzzi, P. 1983. Health impact of the accidental release of TCDD at Seveso. En *Accidental Exposure to Dioxins. Human Health Aspects*, dirigido por F Coulston y F Pocchiari. Nueva York: Academic Press.

Cardis, E, ES Gilbert, L Carpenter. 1995. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: Cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. *Rad Res* 142:117-132.

Centers for Disease Control (CDC). 1989. *The Public Health Consequences of Disasters*. Atlanta: CDC.

- Centro Peruano-Japones de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID). 1989. *Seminario Internacional de Planeamiento, Diseño, Reparación y Administración de Hospitales en Zonas Sísmicas: Conclusiones y Recomendaciones*. Lima: CISMID/Univ Nacional de Ingeniería.
- Chagnon, SAJR, RJ Schicht, RJ Semorin. 1983. *A Plan for Research on Floods and their Mitigation in the United States*. Champaign, Illinois: Illinois State Water Survey.
- Chen, PS, ML Luo, CK Wong, CJ Chen. 1984. Polychlorinated biphenyls, dibenzofurans, and quaterphenyls in toxic rice-bran oil and PCBs in the blood of patients with PCB poisoning in Taiwan. *Am J Ind Med* 5:133-145.
- Coburn, A, R Spence. 1992. *Earthquake Protection*. Chichester: Wiley.
- Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR). 1991. *Annals of the ICRP*. ICRP Publication No. 60. Oxford: Pergamon Press.
- Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR). 1988. *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation*. Nueva York: UNSCEAR.
- . 1993. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. Nueva York: UNSCEAR.
- . 1994. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. Nueva York: UNSCEAR.
- Consejo de la Comunidad Europea (CEE). 1982. Directiva del Consejo de 24 de junio relativa a los riesgos de accidentes graves en determinadas actividades industriales (82/501/CEE). *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* L230:1-17.
- . 1987. Directiva del Consejo de 19 de marzo, enmienda de la Directiva 82/501/CEE relativa a los riesgos de accidentes graves en determinadas actividades industriales (87/216/CEE). *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* L85:36-39.
- Das, JJ. 1985a. Aftermath of Bhopal tragedy. *J Indian Med Assoc* 83:361-362.
- . 1985b. The Bhopal tragedy. *J Indian Med Assoc* 83:72-75.
- Dew, MA, EJ Bromet. 1993. Predictors of temporal patterns of psychiatric distress during ten years following the nuclear accident at Three Mile Island. *Social Psych Psychiatric Epidemiol* 28:49-55.
- Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Medialuna Roja (IFRC). 1993. *The World Disaster Report*. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). 1990. *Seismic considerations: Health care facilities*. Earthquake Hazard Reduction Series, No. 35. Washington, DC: FEMA.
- Frazier, K. 1979. *The Violent Face of Nature: Severe Phenomena and Natural Disasters*. Floods. Nueva York: William Morrow & Co.
- Freidrich Naumann Foundation. 1987. *Industrial Hazards in Transnational Work: Risk, Equity and Empowerment*. Nueva York: Council on International and Public Affairs.
- French, J, K Holt. 1989. *Floods: Public Health Consequences of Disasters*. Centers for Disease Control Monograph. Atlanta: CDC.
- French, J, R Ing, S Von Allman, R Wood. 1983. Mortality from flash floods: A review of National Weather Service reports, 1969-1981. *Publ Health Rep* 6(Noviembre/Diciembre):584-588.
- Fuller, M. 1991. *Forest Fires*. Nueva York: John Wiley.
- Gilsanz, V, J Lopez Alvarez, S Serrano, J Simon. 1984. Evolution of the alimentary toxic oil syndrome due to ingestion of denatured rapeseed oil. *Arch Int Med* 144:254-256.
- Glass, RI, RB Craven, DJ Bregman. 1980. Injuries from the Wichita Falls tornado: Implications for prevention. *Science* 207:734-738.
- Grant, CC, TJ Klem. 1994. Toy factory fire in Thailand kills 188 workers. *NFPA J* 88(1):42-49.
- Grant, CC. 1993. Triangle fire stirs outrage and reform. *NFPA J* 87(3):72-82.
- Greene, WAJ. 1954. Psychological factors and reticuloendothelial disease: Preliminary observations on a group of males with lymphoma and leukemia. *Psychosom Med*:16-20.
- Grisham, JW. 1986. *Health Aspects of the Disposal of Waste Chemicals*. Nueva York: Pergamon Press.
- Herbert, P, G Taylor. 1979. Everything you always wanted to know about hurricanes: Part 1. *Weatherwise* (Abril).
- High, D, JT Blodgett, EJ Croce, EO Horne, JW McKeon, CS Whelan. 1956. Medical aspects of the Worcester tornado disaster. *New Engl J Med* 254:267-271.
- Holden, C. 1980. Love Canal residents under stress. *Science* 208:1242-1244.
- Hombberger, E, G Reggiani, J Sambeth, HK Wipf. 1979. The Seveso accident: Its nature, extent and consequences. *Ann Occup Hyg* 22:327-370.
- Hunter, D. 1978. *The Diseases of Occupations*. Londres: Hodder & Stoughton.
- Janerich, DT, AD Stark, P Greenwald, WS Bryant, HI Jacobson, J McCusker. 1981. Increased leukemia, lymphoma and spontaneous abortion in Western New York following a disaster. *Publ Health Rep* 96:350-356.
- Jeyaratnam, J. 1985. 1984 and occupational health in developing countries. *Scand J Work Environ Health* 11:229-234.
- Jovel, JR. 1991. *Los efectos económicos y sociales de los desastres naturales en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Documento presentado en el Primer Programa Regional de Formación PNUD/UN-DRO para la Gestión de Desastres celebrado en Bogotá, Colombia.
- Kilbourne, EM, JG Rigau-Perez, J Heath CW, MM Zack, H Falk, M Martin-Marcos, A De Carlos. 1983. Clinical epidemiology of toxic-oil syndrome. *New Engl J Med* 83:1408-1414.
- Klem, TJ, CC Grant. 1993. *Three Workers Die in Electrical Power Plant Fire*. *NFPA J* 87(2):44-47.
- Klem, TJ. 1992. 25 die in food plant fire. *NFPA J* 86(1):29-35.
- Krasnyuk, EP, VI Chernyuk, VA Stezhka. 1993. Condiciones de trabajo y estado de salud de los operadores de maquinaria agrícola en áreas controladas tras el accidente de Chernobyl (en ruso). En resúmenes del congreso sobre Chernobyl y salud humana celebrado los días 20-22 de abril.
- Krishna Murti, CR. 1987. Prevention and control of chemical accidents: Problems of developing countries. En *Istituto Superiore Sanita', World Health Organization, International Programme On Chemical Safety*, Edimburgo: CEP Consultants.
- Lancet*. 1983. Toxic oil syndrome. 1:1257-1258.
- Lechat, MF. 1990. The epidemiology of health effects of disasters. *Epidemiol Rev* 12:192.
- Logue, JN, HA Hansen. 1980. A case control study of hypertensive women in a post-disaster community: Wyoming Valley, Pensilvania. *J Hum Stress* 2:28-34.
- Logue, JN, ME Melick, H Hansen. 1981. Research issues and directions in the epidemiology of health effects of disasters. *Epidemiol Rev* 3:140.
- Logue, JN. 1972. Long term effects of a major natural disaster: The Hurricane Agnes flood in the Wyoming Valley of Pennsylvania, June 1972. Tesis doctoral, Columbia Univ. School of Public Health.
- Loshchilov, NA, VA Kashparov, YB Yudin, VP Proshchak, VI Yushchenko. 1993. Inhalación de radionúclidos durante los trabajos agrícolas en zonas contaminadas por radionúclidos como consecuencia del accidente de Chernobyl (en ruso). *Gigiena i sanitarija (Moscu)* 7:115-117.
- Mandlebaum, I, D Nahrwold, DW Boyer. 1966. Management of tornado casualties. *J Trauma* 6:353-361.
- Marrero, J. 1979. Danger: Flash floods—the number one killer of the 70's. *Weatherwise* (Febrero):34-37.
- Masuda, Y, H Yoshimura. 1984. Polychlorinated biphenyls and dibenzofurans in patients with Yusho and their toxicological significance: A review. *Am J Ind Med* 5:31-44.
- Melick, MF. 1976. Social, psychological and medical aspects of stress related illness in the recovery period of a natural disaster. Tesis, Albania, Universidad Estatal de Nueva York.
- Mogil, M, J Monro, H Groper. 1978. NWS's flash flood warning and disaster preparedness programs. *B Am Meteorol Soc*:59-66.
- Morrison, AS. 1985. *Screening in Chronic Disease*. Oxford: OUP.
- National Fire Protection Association (NFPA). 1993. *National Fire Alarm Code*. NFPA No. 72. Quincy, Massachusetts: NFPA.
- . 1994. *Standard for the Installation of Sprinkler Systems*. NFPA No. 13. Quincy, Massachusetts: NFPA.
- . 1994. *Life Safety Code*. NFPA No. 101. Quincy, Massachusetts: NFPA.
- . 1995. *Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems*. NFPA No. 25. Quincy, Massachusetts: NFPA.
- Nénot, JC. 1993. Les surexpositions accidentelles. CEA, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire. Rapport DPHD/93-04.a, 1993, 3-11.
- Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres (UNDRO). 1990. Iran earthquake. *UNDRO News* 4 (Septiembre).
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). 1988. *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants INSAG-3*. Safety Series, No. 75. Viena: OIEA.
- . 1989a. *L'accident radiologique de Goiânia*. Viena: OIEA.
- . 1989b. A large-scale Co-60 contamination case: Mexico 1984. En *Emergency Planning and Preparedness for Accidents Involving Radioactive Materials Used in Medicine, Industry, Research and Teaching*. Viena: OIEA.
- . 1990. *Recommendations for the Safe Use and Regulation of Radiation Sources in Industry, Medicine, Research and Teaching*. Safety Series, No. 102. Viena: OIEA.
- . 1991. *The International Chernobyl Project*. Technical report, assessment of radiological consequences and evaluation of protective measures, report by an International Advisory Committee. Viena: OIEA.
- . 1994. *Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency*. Safety Series, No. 109. Viena: OIEA.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). 1988. *Major Hazard Control. A Practical Manual*. Ginebra: OIT.
- . 1991. *Prevention of Major Industrial Accidents*. Ginebra: OIT.
- . 1993. Convenio núm. 174 (1993): Prevención de accidentes industriales graves. Ginebra: OIT.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1984. *Toxic Oil Syndrome. Mass Food Poisoning in Spain*. Copenhague: Oficina Regional de la OMS para Europa.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1989. *Analysis of PAHO's Emergency Preparedness and Disaster Relief Program*. Executive Committee document SPP12/7. Washington, DC: OPS.
- . 1987. *Crónicas de desastre: terremoto en México*. Washington, DC: OPS.

- Otake, M, WJ Schull, H Yoshimura. 1989. *A Review of Radiation-related Damage in the Prenatally Exposed Atomic Bomb Survivors*. Commentary Review Series, RERF CR 4-89.
- Otake, M, WJ Schull. 1992. *Radiation-related Small Head Sizes among Prenatally Exposed Atomic Bomb Survivors*. Technical Report Series, RERF 6-92.
- Parrish, RG, H Falk, JM Melius. 1987. Industrial disasters: Classification, investigation, and prevention. En *Recent Advances in Occupational Health*, dirigido por JM Harrington. Edimburgo: Churchill Livingstone.
- Pesert, M, RE Cross, LM Riggs. 1984. *The Hospital's Role in Emergency Medical Services Systems*. Chicago: American Hospital Publishing.
- Pesatori, AC. 1995. Dioxin contamination in Seveso: The social tragedy and the scientific challenge. *Med Lavoro* 86:111-124.
- Peter, RU, O Braun-Falco, A Birioukov. 1994. Chronic cutaneous damage after accidental exposure to ionizing radiation: The Chernobyl experience. *J Am Acad Dermatol* 30:719-723.
- Pocchiari, F, A DiDomenico, V Silano, G Zapponi. 1983. Environmental impact of the accidental release of tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) at Seveso. En *Accidental Exposure to Dioxins: Human Health Aspects*, dirigido por F Coulston y F Pocchiari. Nueva York: Academic Press.
- . 1986. The Seveso accident and its aftermath. En *Insuring and Managing Hazardous Risks: From Seveso to Bhopal and Beyond*, dirigido por PR Kleindorfer y HC Kunreuther. Berlin: Springer-Verlag.
- Rodrigues de Oliveira, A. 1987. Un répertoire des accidents radiologiques 1945-1985. *Radioprotection* 22(2):89-135.
- Sainani, GS, VR Joshi, PJ Mehta, P Abraham. 1985. Bhopal tragedy -A year later. *J Assoc Phys India* 33:755-756.
- Salzmann, JJ. 1987. *"Schweizerhalle" and Its Consequences*. Edimburgo: CEP Consultants.
- Shore, RE. 1992. Issues and epidemiological evidences regarding radiation-induced thyroid cancer. *Rad Res* 131:98-111.
- Spurzem, JR, JE Lockey. 1984. Toxic oil syndrome. *Arch Int Med* 144:249-250.
- Stsjazhko, VA, AF Tsyb, ND Tronko, G Souchkevitch, KF Baverstock. 1995. Childhood thyroid cancer since accidents at Chernobyl. *Brit Med J* 310:801.
- Tachakra, SS. 1987. *The Bhopal Disaster*. Edimburgo: CEP Consultants.
- Thierry, D, P Gourmelon, C Parmentier, JC Nenot. 1995. Hematopoietic growth factors in the treatment of therapeutic and accidental irradiation-induced aplasia. *Int J Rad Biol* (en imprenta).
- Understanding Science and Nature: Weather and Climate*. 1992. Alexandria, Virginia: Time-Life.
- Ursano, RJ, BG McCaughy, CS Fullerton. 1994. *Individual and Community Responses to Trauma and Disaster: The Structure of Human Chaos*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- US Agency for International Development, (USAID). 1989. *Soviet Union: Earthquake*. OFDA/AID Annual Report, FY1989. Arlington, Virginia: USAID.
- Walker, P. 1995. *World Disaster Report*. Ginebra: Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Medialuna Roja.
- Wall Street J*. 1993 Thailand fire shows region cuts corners on safety to boost profits, 13 May.
- Weiss, B, TW Clarkson. 1986. Toxic chemical disaster and the implication of Bhopal for technology transfer. *Milbank Q* 64:216.
- Whitlow, J. 1979. *Disasters: The Anatomy of Environmental Hazards*. Athens, Georgia: Univ. of Georgia Press.
- Williams, D, A Pinchera, A Karaoglou, KH Chadwick. 1993. *Thyroid Cancer in Children Living Near Chernobyl*. Informe del grupo de expertos sobre las consecuencias del accidente de Chernóbil, EUR 15248 EN. Bruselas: Comisión de la Comunidad Europea (CCE).
- Wyllie, L, M Durkin. 1986. The Chile earthquake of March 3, 1985: Casualties and effects on the health care system. *Earthquake Spec* 2(2):489-495.
- Zeballos, JL. 1993a. *Los desastres químicos, capacidad de respuesta de los países en vías de desarrollo*. Washington, DC: Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- . 1993b. Effects of natural disasters on the health infrastructure: Lessons from a medical perspective. *Bull Pan Am Health Organ* 27: 389-396.
- Zerbib, JC. 1993. Les accidents radiologiques survenus lors d'usages industriels de sources radioactives ou de générateurs électriques de rayonnement. En *Sécurité des sources radioactives scellées et des générateurs électriques de rayonnement*. Paris: Société française de radioprotection.

Otras lecturas recomendadas

- Akleyev, AV, ER Lyubchansky. 1994. Environmental and medical effects of nuclear weapon production in the Southern Urals. *Sci Total Environ* 142:1-8.
- Baxter, PJ, PC Davies, V Murray. 1989. Medical planning for toxic releases into the community: The example of chlorine gas. *Brit J Ind Med* 46:277-285.
- Bertazzi, PA, A di Domenico. 1994. Chemical, environment, and health aspects of the Seveso, Italy accident. En *Dioxins and Health*, dirigido por A Schecter. Nueva York: Plenum.
- Bertazzi, PA, AC Pesatori, D Consonni, A Tironi, MT Landi, C Zocchetti. 1993. Cancer incidence in a population accidentally exposed to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin. *Epidemiology* 4:398-406.
- Bertazzi, PA, C Zocchetti, AC Pesatori, S Guercilena, M Sanarico, L Radice. 1989. Ten-year mortality study of population involved in the Seveso incident in 1976. *Am J Epidemiol* 129:1187-1200.
- Bertazzi, PA. 1995. Man-made chemical disasters. En *Environmental Epidemiology: Exposures and Disease*, dirigido por R Bertollini, MD Lebowitz, R Saracci y DA Savitz. Boca Raton: Lewis.
- Castle, M. 1993. *The Transport of Dangerous Goods: A Short Guide to the International Regulations*. Leatherhead: PIRA International.
- Departamento Federal de la Aviación Civil. 1988. *Weisungen Für Lawinensprengsätze Mit Helikoptern*. Suiza: Departamento Federal de la Aviación Civil.
- Disaster epidemiology. 1990. *Lancet* 336:845.
- Doll, R. 1985. Purpose of symposium. En *Interpretation of Negative Epidemiological Evidence for Carcinogenicity*, dirigido por NJ Wald y R Doll. Lyon: Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC).
- Grupo de Trabajo OMS-ECEH. 1995. Assessment of Health Consequences of Major Chemical Incidents. Epidemiological Approach. Bilthoven: Centro Europeo de Medio Ambiente y Salud.
- Gubler, H. 1988a. Temporäre und permanente Lawinenschutzmaßnahmen für touristische Anlagen. *Int Seilbahnrundschau* 1:22-24.
- . 1988b. Temporäre und permanente Lawinenschutzmaßnahmen für touristische Anlagen. *Int Seilbahnrundschau* 2:18-20.
- Health and Safety Commission, AC on DS. 1991. *Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Substances*. Londres: HMSO.
- Lechat, MF. 1991. The international decade for natural disaster reduction: Background and objectives. *Disasters* 14:1-6.
- Meulenbelt, J, GJ Noordergraaf, TJF Savelkoud. 1994. *Health Aspects Chemical Accident*. Den Haag: CIP-Gegevens Koninklijke Bibliotheek.
- Ministerio Federal de Economía y Transporte Públicos. 1990. *Sicherheitstechnische Richtlinien für das künstliche Auslösen von Lawinen durch Sprengungen von Hubschraubern aus*. Decreto del Ministerio Federal de Economía y Transporte Públicos, Austria, ZI. 431.000/31/90, con fecha 27 de junio de 1990, versión actualmente operativa/sin copyright.
- . 1993. *Richtlinien für das künstliche Auslösen von Lawinen durch Arbeitnehmer bei Seilbahnunternehmen*. Decreto del Ministerio Federal de Economía y Transporte Públicos, Austria, ZI. 443.017/1-IV/52/93, de enero de 1993.
- Murray, V. 1990. *Major Chemical Disasters. Medical Aspects of Management*. Londres: Royal Society of Medicine Services.
- Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres (UNDRO). 1991. *Mitigating Natural Disasters*. Nueva York: UNDRO.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). 1991a. *International Directory of Emergency Response Centres*. OECD Environment Monographs, No. 43. Paris: OCDE.
- . 1991b. *Users Guide: Information Systems Useful to Emergency Planners and Responders Available*. Paris: OCDE.
- . 1992. *Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response*. Paris: OCDE.
- . 1994. *Health Aspects of Chemical Accidents*. Paris: OCDE.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). N.d. *Awareness and Preparedness for Emergencies At Local Level (APPELL) A Process for Responding to Technological Accidents*. Nairobi: PNUMA.
- Royal Society of Medicine. 1990. *Major Chemical Disasters: Medical Aspects of Management*, dirigido por V Murray. Londres: Royal Society of Medicine.
- Technica. 1991. *Lessons Learned from Emergencies After Accidents in the United Kingdom Involving Dangerous Chemical Substances*. Londres: Technica.

